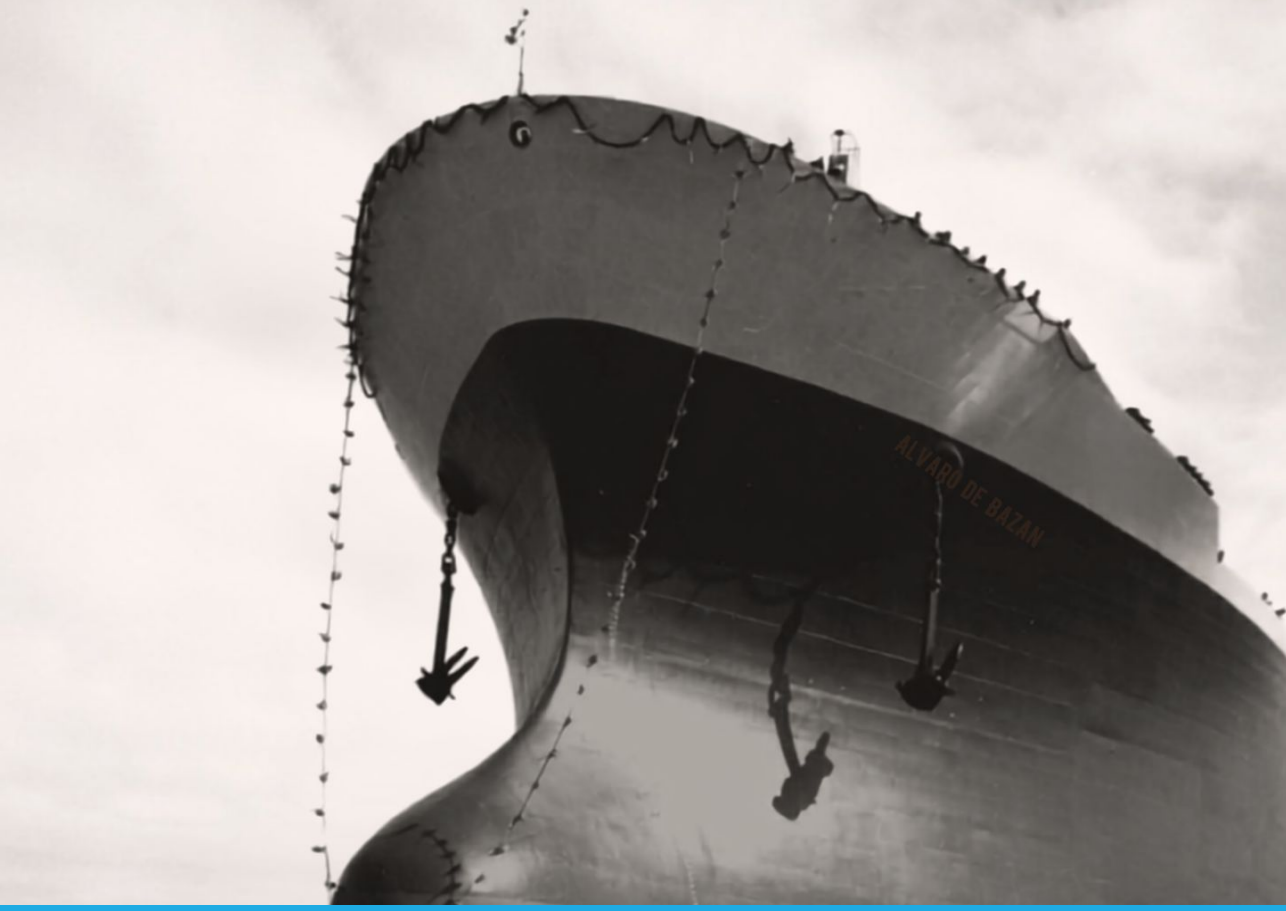
TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL

Primitivo B. González López
Juan de Dios Rodríguez García
Antonio Salamanca Giménez
Antonio Couce Casanova



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

DIXITAL

TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL

Primitivo B. González López
Juan de Dios Rodríguez García
Antonio Salamanca Giménez
Antonio Couce Casanova

Tercera edición (revisada y aumentada)

A Coruña 2021

Universidade da Coruña
Servizo de Publicacións

Técnicas de construcción naval

González López, Primitivo B.; Rodríguez García, Juan de Dios;
Salamanca Giménez, Antonio; Couce Casanova, Antonio

A Coruña, 2026 (3.ª edición)
Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións

Manuais, n.º 11
ISBNe: 978-84-9749-932-3
DOI: https://doi.org/10.17979/spu.24
CDU: 629.5(036)
Thema TRL | KNDR | WGGV | 4Z-ES-AF
EDICIÓN: Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións <www.udc.gal/publicacions>

© da edición: as persoas autoras.
© das imaxes e gráficos: as persoas autoras.

DISTRIBUCIÓN: <www.udc.gal/es/publicacions/distribucion>
ADAPTACIÓN AO DESEÑO DA COLECCIÓN: Distrito Xermar

Esta obra publícase baixo unha licenza Creative Commons
Atribución-NonComercial-NonDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

Reservados todos os dereitos. Nin a totalidade nin parte deste libro pode reproducirse ou transmitirse por ningún procedemento electrónico ou mecánico, incluíndo fotocopia, gravación magnética ou calquera almacenamento de información e sistema de recuperación, sen o permiso previo e por escrito das persoas titulares do *copyright*.

AUTORES

Primitivo B. González López. Doctor Ingeniero Naval, Catedrático E.U. jubilado y exdirector del Departamento de Construcciones Navales de la Universidade da Coruña, UDC. Actualmente Profesor Honorario de dicha Universidad.

Juan de Dios Rodríguez García. Doctor Ingeniero Industrial, Profesor del Área de Expresión Gráfica de la Ingeniería en la Escuela Universitaria Politécnica de la UDC.

Antonio Salamanca Giménez. Doctor Ingeniero Naval, Profesor de Tecnología de la Construcción del Buque. Escuela Politécnica Superior de la UDC.

Antonio Couce Casanova. Ingeniero Industrial e Ingeniero Técnico Naval, Máster en Marina Civil, Profesor del Área de Procesos de Fabricación en la Escuela Universitaria Politécnica de la UDC.

Contenidos

1 Introducción 37
2 Descripción general del astillero 79
3 El contrato de construcción 93
4 Planificación 103
5 Desarrollo del Proyecto 131
6 Definición y alisado de formas 159
7 Métodos tradicionales de desarrollo 191
8 Movimiento y elevación de pesos. Medios necesarios y maniobras 245
9 Preparación, corte y elaborado de acero 285
10 Procesos de soldadura 329
11 Prefabricado, armamento anticipado y montaje del buque 387
12 Puesta a flote del buque 465
13 Habilitación y decoración del buque 561
14 Preparación de las superficies metálicas y su protección con pintura 601
15 Construcción de embarcaciones de plástico reforzado con fibra 617
16 Construcción de barcos de madera 641
17 El empleo de otros materiales en la construcción naval: aluminio, aceros inoxidables, ferrocemento, plásticos diversos 669
18 Construcción de artefactos marinos y unidades para la explotación oceánica (off-shore) 691
19 Requisitos de las instalaciones y operaciones para el reciclado de buques de acero. Métodos de trabajo 763
Bibliografía 795

Índice

Preámbulo a la 1.ª edición (2000) 27
Introducción a la edición de 2021 29
Prólogo 31
Capítulo 1 Introducción 37
1.1 Técnicas de Construcción Naval: introducción y alcance del concepto 37
1.2 Arquitectura Naval y Construcción Naval 38
1.3 El mantenimiento de los buques, las reparaciones navales y las grandes conversiones 39
1.4 Aspectos comerciales: Prestigio, calidad, precio, financiación, plazo de entrega 40
1.5 Oficinas Técnicas: Proyectos, Delineación. Oficinas de Presupuestos y de Planificación 42
1.6 Introducción y consideraciones sobre los trabajos de delineación previos a la fabricación de las estructuras del buque. Integración de la Ingeniería de Producción desde las primeras fases del diseño/delineación. Evolución desde los métodos tradicionales hasta los actuales. Sistemas CAD/CAM/CAE 43
1.6.1 Oficinas de Delineación y de Gálibos 43
1.6.2 Plano de formas 45
1.6.3 Representación dimensional de las chapas del forro 46
1.6.4 Expansión del forro 47
1.6.5 Descripción del trabajo realizado en las antiguas salas de gálibos 48
1.6.5.1 Trazado y alisado en la Sala de Gálibos a partir del plano preparado en la Sala de Delineación 48
1.6.5.2 Plantillas de Trazado 48
1.6.5.3 Alisado numérico 48
1.6.5.4 Trazado a escala 1/10 49
1.6.6 Realización del trazado con Sistemas CAD/CAM 49

1.7 Almacenes de materias primas y de equipos. Producción. Métodos. Planta. Seguridad. Medio ambiente 51
1.8 Importancia de las compras y de las subcontrataciones 55
1.9 Departamento de Personal o de Recursos Humanos..... 55
1.10 Contabilidad 55
1.11 Organización científica. Planificación. Calidad 56
1.12 Reparaciones. Organización y funcionamiento. Reparaciones durante la navegación..... 59
1.13 Los nuevos tiempos. Las exigencias actuales 63
1.13.1 Reglamentaciones y normas..... 65
1.13.2 Gestión de la calidad/Control de Calidad (Quality Management/Quality Control. La norma ISO 9000-2008).... 65
1.13.3 Cualificación de suministradores y subcontratistas 67
1.14 Armamento anticipado o Construcción integrada. Estrategia constructiva. Ingeniería integrada 67
1.15 Complejidad de los proyectos. Concepto de Dirección por Proyectos .. 68
1.16 Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)..... 70
1.16.1 Introducción 70
1.16.2 Líneas de investigación en un astillero 72
1.16.3 Normativa aplicable para I+D+i..... 72
1.16.4 La gestión de I+D+i 73
1.17 *Big data* o disponibilidad masiva de datos..... 73
1.18 La cuarta revolución industrial: Industria 4.0 y Astillero 4.0 74
1.18.1 Introducción 74
1.18.2 La Industria 4.0. El Astillero 4.0 75

Capítulo 2 Descripción general del astillero 79
2.1 Disposición del astillero 79
2.2 Dimensionamiento del Astillero..... 85
2.3 Gradas 85
2.4 Cabinas de chorreado y pintado de bloques 86
2.5 Zona de Prefabricado..... 87
2.6 Taller de Soldadura 87
2.7 Zona de Almacenamiento Intermedio..... 88
2.8 Taller de Elaborado..... 89
2.9 Parques de Acero 90

2.10 Zona de Armamento 90
2.11 Construcción del buque en gradas o en dique 91
2.12 Construcción de buques a cubierto 91

Capítulo 3 El contrato de construcción 93
3.1 Gestiones previas al contrato 93
3.2 Partes de que consta el contrato 94
3.2.1 Primera Parte. Objeto del contrato. Especificación de contrato .. 95
3.2.2 Segunda Parte. Plazo de entrega, precio y condiciones de financiación 98
3.2.3 Tercera Parte. Garantías, penalizaciones y premios. Avales 99
3.2.4 Cuarta Parte. Parte jurídica 101
3.3 Revisión de precios 102

Capítulo 4 Planificación 103
4.1 Necesidad de la planificación 103
4.2 Planificación dinámica 105
4.3 Instrumentos de la programación y control 107
4.3.1 El diagrama de previsión (o de precedencias) 107
4.3.2 Diagrama de carga de trabajo 108
4.3.3 Diagrama de avance de obra 110
4.3.4 Ficha de trabajo 111
4.4 Organización de la Programación 113
4.4.1 Programación de máxima. Plan maestro. Hitos en la construcción 113
4.4.2 Programación a largo plazo 117
4.4.3 Programación a corto plazo 117
4.5 Métodos de programación. Método PERT 117
4.6 Fecha de terminación del proyecto. Camino crítico 118
4.6.1 Procedimiento para hallar el camino crítico 120
4.6.1.1 Dibujo del grafo 120
4.6.1.2 Matriz directa 120
4.6.1.3 Matriz en orden invertido 121
4.6.1.4 Ejemplo de obtención del camino crítico 123
4.7 Intervalo de latitud. Márgenes de las actividades 125
4.8 Documentos que se obtienen utilizando el método PERT 128

4.9 Aplicación al control de la obra 128
4.10 Otras aplicaciones 129

Capítulo 5 Desarrollo del Proyecto 131
5.1 Desarrollo del Proyecto para la construcción. Introducción 131
5.2 Documentación para solicitud del Permiso de Construcción 135
5.3 Influencia de la prefabricación en la delineación 137
5.4 Definición de conjuntos. Estrategia constructiva 139
5.5 Criterios para la definición de bloques 140
5.6 Formas de despiece en bloques 141
5.6.1 Sistema piramidal 141
5.6.2 Sistema de islas 142
5.6.3 Sistema de anillos 143
5.7 Normalización 145
5.8 Normalización de las planchas. Ventajas e inconvenientes 146
5.9 Criterio para la selección de dimensiones 147
5.10 Propuestas de normalización 149
5.11 Libro de normas 151
5.12 El Despiece 153
5.13 Planos de construcción 153
5.14 Listas de Materiales 154
5.15 Calidad del acero 155
5.16 Pruebas de Recepción 155
5.17 Pedidos de materiales y equipos. Aprovisionamientos 157

Capítulo 6 Definición y alisado de formas 159
6.1 Introducción 159
6.2 Definición de formas 159
6.3 El sistema FORAN 161
6.4 Formulación matemática de las formas 164
6.5 Módulo de generación de formas 168
6.6 Módulo para el corregido de formas 169
6.7 Módulo de definición de cubiertas y mamparos 170
6.8 Módulo de la cartilla de trazado 171
6.9 La definición parabólica 171

6.10 Alisado de formas 174
6.11 La Sala de Gálibos 176
6.12 Trazado del plano de formas y alisado en la Sala de Gálibos 177
6.13 Trazado de trancanil y baos 178
6.14 Otras líneas importantes: pies de cuaderna, tangencias del pantoque al fondo y costados. Zonas de Popa y de Proa 180
6.15 Henchimientos 180
6.16 Cartilla de trazado definitiva 181
6.17 Alisado a escala 1:10 181
6.18 Alisado por métodos numéricos 181
6.19 Procedimientos empleados para el alisado matemático y criterios utilizados en cada caso 184
6.19.1 Criterio basado en el junquillo elástico 184
6.19.2 Método usado en AUTOKON. Factores de ponderación 185
6.19.3 Alisado de curvas por ajuste de polinomios 186
6.19.4 Métodos gráficos interactivos 186

Capítulo 7 Métodos tradicionales de desarrollo 191
7.1 Trazado tradicional en Gálibos 191
7.2 Plantillas y marcado del material 191
7.3 Superficies de trazado. Caras de marcado 192
7.4 Desarrollo de los elementos del casco 193
7.5 Desarrollo de los cantos de las chapas y de otras líneas sobre el forro 193
7.6 Línea del doble fondo 194
7.7 Trazado de superficies planas 196
7.8 Superficies curvas 197
7.9 Desarrollo de las líneas de costura o contornos longitudinales de las planchas curvadas 200
7.10 Desarrollo de líneas diagonales 201
7.11 Obtención de flechas 202
7.12 Ángulos de los cantos longitudinales de las chapas con las cuadernas 208
7.13 Criterios de desarrollabilidad 211
7.14 Métodos de desarrollo de planchas 214
7.14.1 Método de las diagonales 214

7.14.2 Método de la línea base ortogonal 216
7.14.3 Método de la normal media 220
7.14.4 Método de la base recta 222
7.14.5 Método de la triangulación 225
7.14.6 Método de la línea geodésica 227
7.15 Doble fondo. Desarrollo de la chapa de margen 231
7.16 Desarrollo de palmejares 235
7.17 Trazados auxiliares: Escantillón de cuadernas 237
7.18 Trazado a escala 1:10 239
7.19 Métodos de marcado 241
7.20 La plantilla numérica 242

Capítulo 8 Movimiento y elevación de pesos. Medios necesarios y maniobras 245
8.1 Importancia de la organización del transporte 245
8.2 Equipo y disposición racional de un parque de planchas 248
8.3 Somieres magnéticos 250
8.4 Transportadores 252
8.5 Mesas transportadoras 253
8.6 Medios de movimiento en el parque de perfiles 254
8.7 El transporte en los talleres 256
8.8 Medios de movimiento en el taller de herreros de ribera 256
8.9 Medios de movimiento en los talleres de soldadura y de prefabricado 259
8.10 Manipulación local en los talleres 262
8.11 Elevación de pesos en gradas y diques de construcción: capacidad de izado, alcance y altura. Medios normalmente utilizados 262
8.12 Medios de elevación en talleres y muelles de armamento 272
8.13 Medios de elevación en muelles y diques de reparaciones 274
8.14 Grúas locomóviles sobre oruga, o sobre ruedas. Grúas de construcción. Grúas flotantes 274
8.15 Otros medios no convencionales para movimiento de grandes pesos: sistemas de transferencia horizontal sobre plataformas rodantes (o *trailers*) y sobre vigas horizontales. Sistemas de elevación por medio de gatos. Ejemplos de construcción no convencional de grandes cilindros verticales y de grandes esferas 276

8.16 Estudio de las maniobras de elevación y transporte. Vigas de equilibrio y elementos auxiliares: cables, estrobos. Cáncamos y reforzado de los bloques para el izado y maniobra. Mantenimiento. Programación de los medios de elevación y de las maniobras. Pesado de estructuras y módulos mediante dinamómetros y mediante celdas de carga, extensometría 280

Capítulo 9 Preparación, corte y elaborado de acero 285

9.1 Preparación del acero 285
9.2 Aplanado de planchas 285
9.3 Tratamiento para la protección del acero 287
9.4 Tratamiento superficial del acero inoxidable 289
9.5 El taller de herreros de ribera o de elaborado. Procesos del taller de elaborado 289
9.6 Máquinas de corte 291
9.7 Máquinas de corte y recanteo mecánico 292
9.7.1 Guillotinas y cizallas 293
9.7.2 Prensas de escotar 294
9.7.3 Otras máquinas de corte mecánico 294
9.8 Corte con gas: oxicorte 295
9.8.1 Sopletes manuales 296
9.8.2 Máquinas de oxicorte 296
9.9 Corte con plasma 301
9.9.1 Fundamento del corte con plasma 301
9.9.2 Modalidades de corte con plasma 303
9.9.2.1 Corte con plasma convencional 303
9.9.2.2 Corte con plasma “doble flujo” 305
9.9.2.3 Corte con plasma de aire 305
9.9.2.4 Corte con inyección de oxígeno 305
9.9.2.5 Corte con “protección de agua” 306
9.9.2.6 Corte con “inyección de agua” 306
9.10 Aplicaciones del corte con plasma 307
9.11 Defectología del corte con plasma 309
9.12 Otros procedimientos de corte: corte con láser, corte con agua 310
9.13 Resumen de los procesos de corte del acero 313
9.14 Curvado de planchas 314

9.15 Cilindros de volteo (o de curvar) 314
9.16 Prensa vertical 317
9.17 Prensas de afaldillar 319
9.18 Maquinaria para elaborar perfiles 319
9.18.1 Cortadora de perfiles 319
9.18.2 Prensas de curvar perfiles y llantas 320
9.19 Trabajos en caliente 322
9.19.1 Conformado de chapas en caliente 322
9.19.2 Corrección por calor de las deformaciones en planchas y perfiles 325
9.19.3 Conformado de perfiles en caliente 325
9.20 Disposición de un taller de perfiles armados 326
9.21 Verificación 327

Capítulo 10 Procesos de soldadura 329
10.1 Soldadura Oxiacetilénica 329
10.1.1 Instalación 329
10.1.2 Combustible 330
10.1.3 Fundente o desoxidante 330
10.1.4 Métodos operativos 331
10.2 Soldadura por arco manual con electrodos revestidos (SMAW: Shielded Metal Arc Welding) 332
10.2.1 Introducción. Aplicaciones 332
10.2.2 Principios del proceso 332
10.2.3 Electrodos 333
10.2.4 Revestimientos 335
10.2.4.1 Electrodos ácidos 336
10.2.4.2 Electrodos celulósicos 336
10.2.4.3 Electrodos de rutilo 336
10.2.4.4 Electrodos básicos 337
10.2.4.5 Electrodos de gran rendimiento 337
10.2.5 Selección del tipo de corriente eléctrica para soldadura con electrodo recubierto 338
10.3 Soldadura hiperbárica bajo el agua 339
10.3.1 Proceso de soldadura 339
10.3.2 Equipo necesario 340

10.4 Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible: TIG o GTAW (*Tungsten Inert Gas o Gas Tungsten Arc Welding)* / PAW *(Plasma Arc Welding*) 341
10.4.1 Introducción a la soldadura TIG 341
10.4.2 Principios del Proceso TIG 341
10.4.3 Productos de aporte. Varilla de metal de aportación. Gases de protección. Electrodos no consumibles 342
10.4.4 Corriente eléctrica e instalación de soldadura 343
10.5 Soldadura por arco plasma (Proceso PAW). Principios del proceso . 344
10.5.1 Descripción 344
10.5.2 Características 344
10.6 Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible, normalmente conocida como soldadura semiautomática (*Gas Metal Arc Welding* o GMAW, y también MIG y MAG según el tipo de gas protector) 347
10.6.1 Introducción 347
10.6.2 Principios del proceso 347
10.6.3 Parámetros a considerar 348
10.6.4 Modalidad de transporte 349
10.6.5 Material de aportación 349
10.6.6 Gases de protección 350
10.6.7 Soldadura MIG 350
10.6.8 Soldadura MAG 351
10.6.9 Instalación 351
10.6.10 Ventajas y limitaciones del proceso GMAW 351
10.6.11 Aplicaciones 352
10.7 Soldadura automática por arco sumergido (SAW) con electrodo único y múltiple 353
10.7.1 Respaldo 356
10.7.2 Cordones de raíz 356
10.7.3 Soldadura automática por arco sumergido (SAW), de chapas para formar un panel, por una sola cara, con pletina de respaldo 357
10.8 Soldadura por electroescoria 358
10.9 Soldadura por electrogás 359
10.10 Soldadura por gravedad 359

10.11 Otros procedimientos: Soldadura por resistencia eléctrica, explosión, haz de electrones, láser 359
10.12 Resanado o calafateado del acero con máquina neumática 359
10.13 Resanado con arco-aire 360
10.14 Deformaciones producidas en el proceso de soldadura y modos de contrarrestarlas 361
10.15 Precalentamiento previo, y tratamiento térmico posterior de las soldaduras 362
10.16 Listado resumen de los procesos de soldadura), con sus siglas correspondientes en inglés 363
10.17 Oficina de Métodos. Procedimientos de Soldadura. Homologación de Procedimientos. Homologación de Soldadores 363
10.18 Ensayos no destructivos o END (NDT en inglés) utilizados para el control de la soldadura. Ensayos con probetas 364
10.19 Posiciones de soldeo 367
10.19.1 Posiciones de soldeo de chapas a tope 368
10.19.2 Posiciones de soldeo de tuberías a tope 369
10.19.3 Posiciones de soldeo de chapas en ángulo 370
10.19.4 Posiciones de soldeo de tuberías en ángulo 371
10.20 Preparación de bordes para la soldadura 372
10.20.1 Diseño de la junta 372
10.20.2 Preparación de bordes para soldadura SMAW 373
10.20.3 Preparación de bordes para soldadura SAW 374
10.20.4 Preparación de bordes para soldadura SMAW + SAW 375
10.20.5 Preparación de bordes para soldadura GTAW + SMAW 375
10.21 Robotización de la soldadura en la construcción naval 375
10.21.1 Introducción 375
10.21.2 Aplicaciones en la industria de construcción naval 376
10.21.3 Soldadura robotizada automática de unidades abiertas 376
10.21.4 Talleres automatizados de fabricación de tuberías 377
10.21.5 Soldadura robotizada de mamparos y pequeñas piezas de chapa 378
10.21.6 Mejoras de la robotización de un proceso industrial 379
10.21.7 Principales características de los robots industriales 379
10.21.7.1 Grados de libertad 379
10.21.7.2 Arquitectura hardware y software del robot 380
10.21.7.3 Sensores 381

10.21.8 Clasificación de los robots 382
10.21.9 Características básicas para seleccionar un robot 384
10.21.10 Imágenes de robots de soldadura 385

Capítulo 11 Prefabricado, armamento anticipado y montaje del buque 387
11.1 Prefabricación 387
11.2 Ventajas de la prefabricación 387
11.3 Influencia del desarrollo tecnológico 388
11.4 Fases del proceso de prefabricación. Productos intermedios 389
11.5 Concepto de *previas*. Fabricación de *previas* 390
11.6 Mesas de soldadura y equipamiento 392
11.7 Fabricación de elementos lineales 397
11.8 Talleres de prefabricado. Líneas de paneles 399
11.9 Prefabricación de paneles planos y de bloques bidimensionales 400
11.9.1 Panel de chapas. Incorporación de refuerzos simples y de refuerzos primarios complejos perpendiculares/paralelos a los refuerzos simples 400
11.9.2 Prefabricación automatizada 401
11.9.2.1 Línea de paneles con instalación de montaje de perfiles o refuerzos secundarios o menores 401
11.9.2.2 Línea de paneles con incorporación de canastilla 404
11.10 Prefabricación de bloques curvos 408
11.10.1 Procedimiento general 408
11.10.2 Procedimiento con línea automatizada 410
11.11 Construcción de secciones y de anillos 410
11.12 Deformaciones y distorsiones 411
11.13 Disposiciones estructurales que facilitan la prefabricación 412
11.14 Tratamiento superficial de los bloques estructurales después del prefabricado 418
11.15 Montaje de accesorios, tubería, equipos sobre sus polines, accesos, etc. Construcción integrada o armamento anticipado 419
11.16 Inspección. Control de Calidad. Plan de Calidad. PPI 422
11.17 Gradas y diques para construcción y puesta a flote de los buques 423
11.18 Pendiente de la grada 425
11.19 Apoyo del buque: picaderos, almohadas, escoras 425
11.20 Gradas transversales 426

11.21 Gradas horizontales 427
11.22 Gradas dique 429
11.23 Servicios de las gradas y diques 430
11.24 Preparación de gradas y diques para la construcción 432
11.25 Montaje del casco 433
11.26 Montaje de los bloques de fondo 437
11.27 Montaje de mamparos 438
11.28 Bloques de costado 438
11.29 Bloques de cubierta 439
11.30 Montaje de secciones y anillos 439
11.31 Montajes de superestructuras y casetas 440
11.32 Disposiciones de diseño y constructivas que facilitan el montaje y la unión de los bloques 440
11.33 Pruebas de estanqueidad y de presión hidrostática de tanques, tomas de mar y otros compartimentos del buque 451
11.34 Instalación de equipos y accesorios de maniobra 453
11.35 Otras operaciones que tienen que realizarse en grada o dique antes del lanzamiento o puesta a flote 454
11.35.1 Alineación óptica de la línea de ejes y colocación de portacasquillos 455
11.35.2 Introducción del eje de cola 457
11.35.3 Colocación de la hélice 458
11.35.4 Mecanizado de las piezas de apoyo del timón 458
11.35.5 Sujeción de eje de cola y de timón 458
11.35.6 Pintura de la zona bajo la línea de flotación 459
11.35.7 Pintura de las zonas interiores del buque 459
11.35.8 Comprobación de estanqueidad del casco, peso total antes de la botadura, y grado de terminación 459
11.35.9 Realización del lastrado 459
11.36 Fundaciones de aparatos o polines. Polín del motor principal. Taqueado 459
11.37 Alineación racional de la línea de ejes. Generalidades 460
11.38 Equipo metálico 461
11.39 Simultaneidad y coordinación de los trabajos de fabricación estructural y de los de armamento. Procedimiento denominado Construcción Integrada o Armamento Anticipado 462

Capítulo 12 Puesta a flote del buque..... 465
12.1 Puesta a flote de buques e instalaciones marinas. Introducción..... 465
12.2 Botadura en grada. Dispositivos de lanzamiento 446
12.3 Dispositivo de zapata y corredera 447
12.4 Dispositivo de doble imada..... 471
12.5 Dispositivos de tres o más imadas. El patín..... 475
12.6 Botaduras sobre bolas de acero..... 478
12.7 Dispositivos de retenida 478
12.8 Dispositivos de empuje 485
12.9 Dispositivos de guía 485
12.10 Lubricación del plano de deslizamiento 486
12.11 Formación de la superficie de lanzamiento..... 489
12.12 Dispositivos de frenado y parada 490
12.13 Programación de las operaciones de lanzamiento. Madera mínima . 497
12.14 Estudio del lanzamiento longitudinal en grada 500
12.14.1 Magnitudes a tener en cuenta y comportamiento del buque en la botadura. Giro, arfada, contra arfada y saludo 500
12.14.2 Cálculos a realizar..... 504
12.14.3 Disposición de los cálculos..... 509
12.14.4 Reacción de las imadas 512
12.14.5 Arfada y momento de contra arfada..... 512
12.14.6 Giro y reacción en los santos durante el mismo 513
12.14.7 Análisis del saludo 515
12.14.8 Posibles imprecisiones del cálculo y márgenes a considerar. 516
12.14.9 Reacción de las imadas. Cálculo de la distribución de presiones en el fondo y en los apoyos..... 517
12.14.9.1 Cálculo de las presiones sobre el fondo..... 517
12.14.9.2 Estudio del lanzamiento en cama elástica..... 519
12.14.10 Esfuerzos en los santos de proa..... 520
12.14.10.1 Reacción y presiones sobre los santos de proa... 520
12.14.10.2 Cálculo de los santos de proa..... 522
12.14.11 Estabilidad del buque durante el lanzamiento..... 523
12.14.12 Esfuerzos de flexión durante el lanzamiento..... 528
12.14.13 Estudio dinámico del lanzamiento. Frenado del buque y distancia recorrida..... 529
12.14.14 Medidas durante el lanzamiento 540

12.15 Lanzamiento de costado 540
12.15.1 Formas diversas. Descripción..... 540
12.15.2 Dispositivos de lanzamiento 544
12.15.3 Estudio de las botaduras de costado 545
12.16 Ensayos con modelos 551
12.17 Flotadura o botadura en dique seco..... 552
12.18 Descripción y equipamiento de los diques secos para la construcción y reparación 554
12.18.1 Clasificación de los diques secos 554
12.18.2 Casa o cámara de bombas 558
12.18.3 Servicios..... 558
12.18.4 Dársena 559
12.19 Listado resumen de procedimientos de puesta a flote de buques y estructuras marinas..... 560

Capítulo 13 Habilitación y decoración del buque 561
13.1 General 561
13.2 Tripulación y espacios de tripulación 561
13.3 Espacios de pasaje..... 563
13.4 Espacios públicos de pasaje..... 563
13.5 Espacios de navegación 565
13.6 Cocina, comedores, gambuza 565
13.7 Situación de camarotes y accesos 567
13.8 Protección contra incendios 569
13.9 Conductos de ventilación y aire acondicionado 570
13.10 Superestructura. Consideraciones generales: resistencia, peso, alturas..... 571
13.11 Recubrimientos de cubiertas 571
13.12 Revestimientos y techos 572
13.13 Aislamiento..... 573
13.14 Mobiliario..... 574
13.15 Protección contra ruidos 575
13.16 Protección contra la transmisión de calor 585
13.17 Estandarización y modulación de las habilitaciones..... 587
13.18 Consideraciones a tener en cuenta en el diseño para facilitar la construcción de la habilitación de los buques..... 588

13.19 Módulos de la acomodación. Construcción en tierra y ensamblaje a bordo. Módulos autosoportantes 592
13.20 Aseos modulares 596
13.21 Otros elementos de la habilitación para ser instalados en módulos 600

Capítulo 14 Preparación de las superficies metálicas y su protección con pintura 601
14.1 Importancia de la preparación de la superficie a pintar 601
14.2 Consideraciones generales a tener en cuenta antes de pintar 602
14.3 Esquemas tipo capa normal y tipo capa gruesa. Diferencias 603
14.4 Recubrimiento de capa gruesa alquitrán-epoxi 604
14.5 Recubrimiento de capa gruesa epoxi puro 605
14.6 Recubrimiento de capa gruesa cloro caucho 606
14.7 Recubrimientos de capa gruesa vinílica 606
14.8 Métodos de aplicación de las pinturas: brocha, rodillo, pistola sin aire . 607
14.9 Diferentes formas de preparación de las superficies para el pintado. 607
14.10 Limpieza con disolventes, norma SSPC-SP-1-63 608
14.11 Limpieza manual, norma SSPC-SP-2-63 608
14.12 Limpieza mecánica, norma SSPC-SP-3-63 608
14.13 Limpieza con abrasivos 608
14.13.1 Chorreado a metal blanco, norma SSPC-SP-5-63 609
14.13.2 Chorreado comercial, norma SSPC-SP-6-63 609
14.13.3 Chorreado casi a metal blanco, norma SSPC-10-63T 609
14.13.4 Soplado con abrasivos, norma SSPC-SP-7-63 610
14.14 Preparación de superficie de acuerdo con los tipos de pintura a emplear. Influencia en la rugosidad 610
14.15 Conceptos básicos de la tecnología de pinturas. Generalidades..... 611
14.15.1 Pigmentos 611
14.15.2 Vehículo fijo 613
14.15.3 Vehículo volátil 613
14.16 Clasificación de los diversos tipos de pinturas 613
14.17 Propiedades de los diversos tipos de pintura 614
14.18 “Control de corrosión”. Sociedades de Clasificación..... 615

Capítulo 15 Construcción de embarcaciones de plástico reforzado con fibra..... 617
15.1 Introducción 617
15.2 Ventajas e inconvenientes..... 617
15.3 Materiales de núcleo. Paneles tipo sándwich 621
15.4 Diseño y detalles constructivos de las embarcaciones de GRP..... 622
15.5 Moldeo. Modelos y moldes..... 627
15.6 El modelo..... 628
15.6.1 Modelos de madera 628
15.6.2 Modelos metálicos (acero y aluminio) 629
15.7 El molde..... 629
15.7.1 Moldes de madera 629
15.7.2 Moldes de metal 629
15.7.3 Moldes de plástico reforzado 630
15.7.4 Moldes de plástico colado..... 631
15.8 Desmoldeantes..... 631
15.9 Método de moldeo. Moldeo por contacto..... 632
15.10 Pinturas 638
15.11 Distribución de una factoría para fabricación de embarcaciones de PRF 638

Capítulo 16 Construcción de barcos de madera..... 641
16.1 Características de la madera 641
16.2 Obtención, elaboración, formado y corte..... 643
16.3 Uniones. Conexiones con otros elementos 646
16.4 Mantenimiento, protección y reparación 656
16.5 Maderas usadas en la construcción de buques 657
16.6 Uso de contrachapado de madera en la construcción de embarcaciones..... 659
16.7 Soluciones constructivas para la construcción de buques y embarcaciones de madera 660
16.7.1 Lloyds Register of Shipping..... 660
16.7.2 Detalles para la construcción de buques de madera, según Reglamentación del Bureau Veritas..... 662
16.7.3 Detalles para la construcción de buques de madera, según Reglamentación de DET NORSKE VERITAS 664

16.8 Consideraciones acerca de la construcción de buques de madera y de los trabajos específicos de esta actividad. La carpintería de ribera ... 665
16.9 Evolución histórica de los buques de madera 666

Capítulo 17 El empleo de otros materiales en la construcción naval: aluminio, aceros inoxidables, ferrocemento, plásticos diversos 669
17.1 Construcción de embarcaciones en aluminio. Introducción 669
17.1.1 Características químicas, físicas y mecánicas del aluminio 671
17.1.2 Aleaciones del aluminio 671
17.1.3 Aleaciones del aluminio no tratables térmicamente y aleaciones tratables térmicamente 672
17.1.4 Exigencias de las Sociedades de Clasificación 674
17.1.5 Corte y conformado de piezas de aluminio 674
17.1.6 Uniones y conexiones con otros elementos 675
17.1.7 Protección de superficies y de uniones, protección contra el fuego. Mantenimiento y reparaciones 677
17.1.8 Empleo del aluminio en la Construcción Naval 678
17.2 Aceros inoxidables utilizados en la construcción de estructuras en buques..... 679
17.2.1 Características y aplicaciones..... 679
17.2.2 Corte y conformado. Uniones..... 680
17.2.3 Protección, mantenimiento, reparación 680
17.3 Hormigón, cemento y ferrocemento..... 681
17.3.1 Características 681
17.3.2 Construcción naval con ferrocemento 681
17.3.3 Utilización del hormigón para la construcción de estructuras off-shore. Plataformas de gravedad. Aplicaciones en obras civiles marinas 682
17.3.4 Uniones 684
17.4 Plásticos diversos 684
17.4.1 Clasificación 684
17.4.2 Características 686
17.4.3 Técnicas utilizadas en el trabajo de plásticos en la Construcción Naval 687
17.4.4 Uniones de piezas de plástico..... 688

17.4.5 Protección, mantenimiento, reparación 688
17.4.6 Construcción Naval en plástico 689

Capítulo 18 Construcción de artefactos marinos y unidades para la explotación oceánica (off-shore) 691

18.1 Introducción. El sector de la Ingeniería Oceánica como alternativa de la Construcción Naval..... 691
18.2 La Construcción Off-shore. Diferencias con la Construcción Naval... 695
18.3 Plazos de construcción más rígidos y críticos. Hitos en la construcción de un artefacto off-shore tipo FPSO 696
18.4 Construcción de una plataforma semisumergible 707
18.4.1 Descripción y características de la plataforma 707
18.4.2 Disposición del lanzamiento 713
18.4.3 Problemas que presenta la botadura de la plataforma y soluciones adoptadas..... 718
18.5 Métodos de construcción 720
18.5.1 Tipos de acero empleados 720
18.5.2 Construcción de la estructura 721
18.5.3 Elaborado 724
18.5.4 Prefabricado 724
18.5.4.1 Cascos bajos 724
18.5.4.2 Columnas..... 725
18.5.4.3 Contretes..... 728
18.5.4.4 Cubierta principal..... 732
18.5.4.5 Acomodación, Superestructura y Subestructura 732
18.5.5 Montaje 733
18.5.6 Control dimensional en el montaje 734
18.6 Soldadura 734
18.6.1 Homologación de soldadores..... 734
18.6.2 Homologación de procedimientos de soldadura 736
18.6.3 Control de calidad de las soldaduras. Ensayos no destructivos (END) 736
18.6.4 Incidencia en las rutinas de trabajo y práctica del taller..... 738
18.7 Sistema de Gestión de Calidad. Implantación..... 739
18.8 Control Dimensional y Control de Pesos 741
18.9 El Sistema de Dirección del Proyecto (Proyect Management) 741

18.10 Otros artefactos, unidades y componentes diversos para la explotación marina y oceánica (off-shore) 743
18.10.1 Para la explotación de hidrocarburos 743
18.10.2 Para la protección medioambiental: Barcazas y buques con equipos de limpieza antipolución de puertos y costas, y para actuación en vertidos accidentales. Bateas, dragas y artefactos flotantes para realización de obras civiles marinas 755
18.10.3 Instalaciones de acuicultura flotante de diversos tipos 756
18.10.4 Diques flotantes 757
18.10.5 Plantas industriales flotantes diversas. Plantas de procesado, plantas energéticas y desalinizadoras flotantes, plantas de amoniaco flotantes, etc. 757
18.10.6 Hoteles flotantes 758
18.10.7 Jackets para soportado de aerogeneradores marinos..... 759
18.10.8 Spar buoys para soportado de aerogeneradores marinos 760
18.11 Transformaciones y conversiones 760

Capítulo 19 Requisitos de las instalaciones y operaciones para el reciclado de buques de acero. Métodos de trabajo 763
19.1 Introducción 763
19.2 Consideraciones a tener en cuenta a fin de planificar la capacidad de la industria de reciclaje en la UE o en uno de sus Estados. Consideraciones de partida 764
19.3 Buques y estructuras que en su día han de ser desmantelados y potencialmente reciclados: buques mercantes, buques del Gobierno, plataformas petrolíferas y otras estructuras off-shore 765
19.4 El Convenio de Hong-Kong..... 768
19.5 Requisitos técnicos para el reciclado de buques 769
19.6 Instalaciones y requerimientos en el lugar donde se verifica el reciclaje de los buques..... 773
19.7 Equipo necesario para el reciclaje de buques..... 776
19.8 Preparación del buque antes del reciclaje 778
19.9 Proceso de desguace de los de buques 781
19.10 Almacenamiento de los materiales desmontados 788
19.11 Transporte de residuos desde la instalación de reciclaje 790
19.12 Conclusiones..... 791

Bibliografía 795

Preámbulo a la 1.ª edición (2000)

Hablar del mar es hablar del hombre. Desde el principio de los tiempos el hombre se ha esforzado por dominar un medio hostil, por convertir una frontera, una distancia insalvable, en un camino de comunicación y de cultura, de riqueza y hermanamiento. Pero también de guerra, enfrentamiento y desgracia. El hombre fue, es y será un navegante entre dos aguas, muchas veces turbias.

En este libro se habla del hombre y también del mar. Sus páginas recogen el conocimiento acumulado que ha permitido a los pueblos construir barcos, plataformas y todo tipio de artefactos para extraer del mar el potencial que alberga. Es por ello, y en cierta manera, un tributo a todos aquellos que han gastado las horas de su tiempo en este esfuerzo. Un esfuerzo que ha costado muchas vidas y no pocos sin sabores.

Quizás aprender a construir más y mejor sea una de las vías para conseguir que los océanos se conviertan en un patrimonio de paz y beneficio para todos, desterrando de sus aguas los fantasmas de la guerra y las tragedias para las personas que trabajan, viven y sueñan en el mar.

Serxio Daniel González Souto
Periodista

Introducción a esta edición (2021)

Dada la buena acogida de las tres ediciones anteriores, dos en idioma castellano y una en idioma gallego, cuyos volúmenes se encuentran agotados, tras su venta en diversas librerías técnicas españolas y de otros países, pareció oportuno el realizar una nueva edición, no sólo para su uso por los alumnos de Grado y Máster en Ingeniería Naval y Oceánica de la Universidade da Coruña, sino también por los de otros centros universitarios y de enseñanza, por instituciones, empresas y personas que lo consideren interesante.

Se ha procedido para ello a una revisión de las anteriores ediciones, actualizando y añadiendo contenidos, como los relativos a cálculos y análisis de las botaduras, así como dibujos y fotografías.

En particular, se ha destacado la importancia que tienen para la construcción naval determinadas tecnologías, como es la robotización, especialmente en la soldadura; aspectos como la implantación de un departamento o sección dedicados a I+D+i en los astilleros; la sistematización y utilización de los recursos proporcionados por lo que se ha denominado *big data*; y la adaptación de los astilleros a las pautas de lo que va exigiendo la Industria 4.0 o adecuación a lo que ya se ha llamado Cuarta Revolución Industrial.

Además, se ha hecho especial hincapié en uno de los aspectos que más preocupan de las actividades industriales, como es el respeto y conservación del medio ambiente, con una especial dedicación al reciclaje de los buques al final de su vida, tema ampliamente tratado en un nuevo capítulo, el Capítulo 19.

Se expone también, de forma más ampliada en esta edición, las oportunidades y alternativas que, a la construcción naval propiamente dicha, ofrece a los astilleros la construcción de instalaciones oceánicas para aprovechamiento de la energía eólica y renovables marinas en general, además de la construcción de plataformas petrolíferas off-shore para crudo y gas, y otros posibles recursos oceánicos en un futuro.

A lo largo del texto se encontrarán referencias a ASTANO (Astilleros y Talleres del NO, S.A.), hoy llamado NAVANTIA Fene, donde fueron construidos muchos

grandes buques petroleros, buques de carga seca a granel, LNG y otros, y plataformas petrolíferas *off-shore* para perforación y para producción de hidrocarburos, así como *jackets, spar buoys* y semisumergibles para soporte de generadores eólicos *off-shore*, parte de cuyo *know how* y experiencias se han querido reflejar, al menos parcialmente, en este libro.

Los autores

Prólogo

Debe llenar de satisfacción y, en cierta forma, de sano orgullo, máxime desde un centro universitario ubicado en una ciudad como Ferrol, nacida hace más de trescientos años para atender a la construcción y servicio de los buques, recordar que, desde hace siglos, los sectores marítimo y naval han contribuido al impulso y crecimiento económico, la creación de riqueza, y sustentado un número inestimable de medios de vida.

La **construcción naval** se ha ido adaptando a lo largo de la historia, a medida que la sociedad ha ido cambiando: transportes, comunicaciones, cultura, recreo, deportes, normativa en seguridad, transportes y mercancías, etc.

A medida que la **modernización** y las mejoras en las diversas áreas de especialización involucradas directamente en la construcción naval (barcos, buques, plataformas off-shore, artefactos flotantes con distintos fines, etc.) y que las nuevas tecnologías se han ido incorporando a los procesos de fabricación y producción, ha sido necesario asumir una nueva forma de trabajar, asumiendo los nuevos retos que impone el mercado, una mejora de la productividad-competitividad, cambios en la metodología de trabajo y cambios, por tanto, en la forma de gestión empresarial.

La **innovación** y la I+D (ahora **I+D+i**), son sin duda los factores clave de la competitividad en cualquier industria. La innovación (la "i" pequeña) constituye uno de los grandes retos que cualquier organización, empresa, proceso productivo, producto, y sobre todo la sociedad en general debe afrontar para adaptarse a las nuevas circunstancias tecnológicas y sus cambios; «la necesidad trae el ingenio». Según la Real Academia Española, innovación se refiere a la creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado.

En economía, Joseph Schumpeter fue quien introdujo el concepto *innovación* en su «teoría de las innovaciones» (*Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung* [Teoría del desarrollo económico], 1911) en la que lo define como el establecimiento de una nueva función de producción. La innovación es la imposición de una novedad técnica u organizacional en el proceso de producción y no simplemente el correspondiente invento.

La innovación debe llevar necesariamente a la modernización de cualquier área de especialización que tenga relación tanto directa como indirecta con la industria de que

se trate, en el caso que nos ocupa, con la construcción naval: innovación en materias primas y nuevos materiales, control de calidad de productos y procesos, logística y transporte, control de procesos, gestión de residuos, eficiencia energética, procesos industriales, análisis económicos, etc., y el software desarrollado para implementación y mejora de todas estas áreas.

Al igual que nos estamos introduciendo en conceptos que en un principio pudiesen parecer "ajenos" a lo que es la construcción naval propiamente dicha (o de cualquier otro tipo de proceso productivo más o menos complejo), conviene destacar que es importante, en cualquier proceso de mejora, no perder de vista conceptos surgidos en los últimos años, aplicables al proceso productivo y derivados de la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, que facilita la información actualizada sobre las tendencias del mercado y la evolución de la tecnología.

Aplicación efectiva de tecnologías de información y comunicaciones, mejora y eficiencia de procesos organizativos e industriales:

Robotización o aplicación de máquinas automáticas a un proceso de fabricación o a una industria.

La evidencia empírica indica que **la tecnología siempre acaba creando nuevos empleos** y enriqueciendo a la sociedad. La desaparición de determinados sectores económicos a causa del progreso tecnológico no solo no es negativa para el conjunto de la sociedad, sino que es un proceso necesario para que los recursos se destinen a actividades más eficientes y la economía progrese. Con la robotización desaparecen algunos empleos pero surgen otros nuevos. Este proceso se denomina d**estrucción creativa**, término acuñado por el economista austriaco Joseph Schumpeter. La historia de la humanidad desde la revolución industrial está marcada por una constante desaparición de los trabajos tal como los conocíamos… y la aparición de otros muchos más que no conocíamos.

Big Data (recogido en el ensayo de Viktor Schönberger: *La revolución de los datos masivos*), macrodatos, datos masivos, inteligencia de datos o datos a gran escala, es un concepto que hace referencia a conjuntos de datos tan grandes que aplicaciones tradicionales del proceso de datos no son suficientes para tratar con ellos y a los procedimientos usados para encontrar patrones repetitivos dentro de esos datos.

La diferencia entre las aplicaciones analíticas y de gestión y los nuevos conceptos de Big Data se asocian, en la mayoría de los artículos de referencia, a tres palabras, las tres <V> del Big Data: Volumen, Variedad y Velocidad. Sin embargo, en base a la experiencia adquirida por las empresas pioneras en esta aventura, se ha ampliado la definición original, añadiendo nuevas características como son la Veracidad y Valor del dato (5V). Hablamos de Big Data cuando los volúmenes superan la capacidad

del software habitual para ser manejados y gestionados. Este concepto se encuentra en continuo movimiento porque los avances tecnológicos permiten tratamientos de volúmenes mayores.

Industria 4.0, concepto que expresa la idea que el mundo se encuentra en los prolegómenos de lo que podría llamarse Cuarta Revolución Industrial (o sea, en una fecha próxima a un hito importante en el desarrollo industrial, que justifique decir que se ha iniciado una nueva fase o una nueva etapa). Después del desarrollo de la máquina de vapor y de la mecanización (segunda mitad del siglo XVIII), después del desarrollo de la electricidad con fines domésticos e industriales (fin del siglo XIX), y después de la automatización/robotización (siglo XX), la nueva etapa (cuarta etapa) de la transformación industrial muy posiblemente estará sustentada en la llamada **fábrica inteligente**, caracterizada por la interconexión de máquinas y de sistemas en el propio emplazamiento de producción, y también caracterizada por un fluido intercambio de información con el exterior (con el nivel de oferta y demanda de los mercados, y/o con los clientes, y/o los competidores, y/o con otras fábricas inteligentes, etc.).

Este concepto de nueva estructuración industrial o Industria 4.0, fue manejado por primera vez en la Feria de Hanover (salón de la tecnología industrial) en el año 2011. Y en la misma feria pero en el año 2013, un pormenorizado informe detallando este concepto y sus implicaciones, también fue presentado y defendido por un selecto grupo de trabajo e investigación.

La llamada Industria 4.0 en buena medida implica un buen grado de automatización y digitalización de usinas y fábricas. Recurriendo a Internet y a los sistemas ciber-físicos, o sea, recurriendo a redes virtuales con posibilidades de controlar objetos físicos, se pueden ir modernizando las plantas fabriles hasta transformarlas en fábricas inteligentes caracterizadas por una intercomunicación continua e instantánea entre las diferentes estaciones de trabajo que componen las propias cadenas de producción, de aprovisionamiento, impresión 3D, Big Data, almacenamiento y computación, en la nube, realidad virtual…

Astillero 4.0, denominación derivada y adaptada del concepto Industria 4.0 y acuñado a la idea de construcción naval y evolución futura del astillero: soldadura robotizada y las soluciones CAD/CAM, tecnologías de inducción, realidad virtual y realidad aumentada, software de gestión y Big Data, tecnologías de control dimensional 3D, soluciones de unión de alta productividad y de tratamientos de superficie, aligeramiento de estructuras navales, fabricación flexible y automatizada de micro paneles y previas, nuevos procesos de fabricación y reparación, entre muchos otros que se citan en el presente manual.

En un mercado en el que los astilleros españoles no pueden competir en costes con los gigantes asiáticos, coreanos, japoneses y, ahora también, chinos que fabrican

en grandes series, petroleros, portacontenedores o *bulkcarriers*; en un mercado de construcción naval complicado y donde Europa occidental ya solo capta un poco más del 5% de la cuota de mercado naval mundial, los astilleros españoles deberían apostar por la flexibilidad, la tecnología y la especialización para seguir a flote. El **negocio off-shore** ofrece importantes posibilidades de futuro a los astilleros, **como alternativas a la construcción naval** tradicional.

Las empresas de construcción naval han de elevar sustancialmente su nivel tecnológico y disponer de una importante red de empresas auxiliares subcontratistas para poder competir en costes, especializándose en buques muy técnicos, elaborados casi a medida, remolcadores de altura, barcos de apoyo a las plataformas petrolíferas en alta mar. Probablemente las oportunidades futuras para el sector de la construcción naval tendrán un espacio garantizado en el mercado off-shore, reactivado a nivel mundial gracias al incremento de la prospección en aguas profundas, lo cual demanda buques muy especializados. También en el sector eólico off-shore, en el de las grandes dragas, en el de buques de pasaje y en el de buques para fines especiales.

Otro mercado de potencial interés en el futuro, pese al parón inversor actual, es el eólico marino, **energías renovables marinas**, aprovechando el conocimiento de la industria eólico-terrestre creando sinergias con el conocimiento de las técnicas de construcción naval adquiridas.

Y ya para finalizar, deberíamos tener en cuenta el **reciclado de buques,** cuando estos ya no son útiles para las funciones para la que fueron construidos. Hasta finales del siglo XX, la mayoría de los buques se desguazaban en astilleros o instalaciones de los países desarrollados, pero desde hace unos 20 años, la mayoría se reciclan en países en vías de desarrollo, especialmente Bangladesh e India. Dado que la mayoría de los buques contienen más o menos cantidades de productos peligrosos, como pinturas que contienen plomo, mercurio de las baterías, etc. las condiciones laborales y medioambientales de las actividades de desguace han llegado a constituir una importante preocupación del sector en los últimos años, porque los países que dominan esta actividad suelen tener bajos controles de seguridad. El REGLAMENTO (UE) N^{o} 1257/2013 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 20 de noviembre de 2013 relativo al reciclado de buques y por el que se modifican el Reglamento (CE) no 1013/2006 y la Directiva 2009/16/CE, publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea, el 10 de diciembre de 2013, y establece, entre otros mucho detalles, las condiciones y fechas de entrada en vigor del mismo.

María Antonia García Regueiro. Licenciada en Ciencias Económicas y Empresariales (Universidade de Santiago de Compostela, 1994); Master en Gestión Tecnológica e Industrial (Universidade da Coruña/Escuela de Organización Industrial EOI, 1995). Técnico de la Axencia Galega de Innovación (GAIN), Consellería de Economía, Emprego e Industria de la Xunta de Galicia.

Capítulo 1

Introducción

1.1 Técnicas de Construcción Naval: introducción y alcance del concepto

Desde el punto de vista de la asignatura, este concepto abarca *el conjunto de tecnologías que se utilizan para la construcción, reparación y mantenimiento de buques y embarcaciones, así como de otros artefactos empleados en la explotación del mar.*

Conviene advertir que es posible que en gran parte de la literatura y citas aludidas o utilizadas en la redacción que sigue se haya empleado el término buque de forma casi exclusiva, aunque se haga referencia en muchos casos a la construcción de otros tipos de unidades marinas, como son *las unidades empleadas para la explotación oceánica u off-shore, con propósitos de uso diferentes de los de los buques en su concepción tradicional*, sin que por ello deje de ser igualmente rigurosa, en general, la aplicación de los conceptos que se están tratando a esos otros tipos de unidades marinas diferentes a los buques convencionales. Por ello será frecuente encontrar de aquí en adelante, *el término buque utilizado para referirse de forma genérica a los buques propiamente dichos y a otros tipos de unidades marinas, en casos en que los las teorías y formulaciones expresadas sean comúnmente válidas.*

Conviene también advertir que, aunque los términos *buque* y *embarcación* pudieran ser tomados habitualmente como sinónimos, la intención que se quiere expresar en el primer párrafo más arriba, al citar ambos términos, es que dichos vocablos tengan matices diferentes en el sentido que con el término *buque* se haga referencia en general a las unidades flotantes de mayor tamaño, mientras que con el término *embarcación* se hará en general referencia a unidades de menor porte, ya sean con finalidad deportiva, unidades auxiliares, embarcaciones para pesca, etc.; dando con ello a entender que el alcance de la asignatura Técnicas de Construcción Naval ha de abarcar ambos campos.

Las actividades de exploración y explotación de diferentes recursos existentes en mares y océanos, fundamentalmente energéticos y minerales, incrementadas en gran

manera en los últimos años, de lo cual es claro exponente la búsqueda y extracción *off-shore*, *mar adentro* o *fuera costa*, según la terminología española que más nos agrade, de hidrocarburos, por citar el ejemplo más representativo actualmente, sugiere la conveniencia de utilizar un nuevo concepto para englobar el conjunto de tecnologías relativas a la explotación de dichos recursos. Dicho concepto ha venido a decantarse en lo que se entiende por *Ingeniería Oceánica.*

Estas últimas actividades requieren el concurso de unidades con características específicas, genéricamente denominadas *unidades off-shore*, que pueden ser fijas o flotantes, para cuya construcción se pueden utilizar en gran medida tecnologías e instalaciones comunes a las empleadas para la construcción naval, aunque con las adaptaciones que sean necesarias, y quizá con diferentes modos organizativos y operativos. Es por ello que, además de las técnicas habituales para construir buques y embarcaciones, se han incluido, o se han de entender incluidas también, las referentes a la construcción de otros artefactos marinos como son los destinados a la *exploración y explotación off-shore, al aprovechamiento de energías renovables marinas, y otros como barcazas o bateas para usos diversos, grúas y diques flotantes, etc.*

La prevista explotación industrial a escala considerable de la *acuicultura* así como de la *minería oceánica*, exigirá también la construcción y puesta en operación, bajo criterios del buen saber hacer de la construcción naval, de artefactos concebidos ex profeso para tales fines de acuerdo con las pautas de la ingeniería oceánica.

1.2 Arquitectura Naval y Construcción Naval

El buque es el objeto móvil de mayores dimensiones que el hombre construye, cuya estructura, además de poder resistir las solicitaciones más complejas, ha de ser estanca, estable y habitable en las circunstancias más adversas, ha de navegar con seguridad y economía, ha de tener cierta flotabilidad y volumen, ha de disponer de los equipos y servicios más diversos y ha de generar autónomamente la energía necesaria para alimentarlos. Cualquiera de los elementos que lo integran, aun el más común, está sometido a condiciones tan especiales que su instalación sólo puede acometerse con la suficiente garantía cuando se ampara en una serie extensa de conocimientos específicos que el constructor naval debe poseer junto con una gran experiencia en la materia.

Estos conocimientos nos los enseña la Arquitectura Naval, que es "la ciencia y el arte de optimizar el proyecto y la construcción de los buques". Tiene mucho de ciencia y también de arte, porque en las excelencias de un proyecto acertado se conjugan cálculos extensos para prever el comportamiento y resistencia de la carena con la belleza de las líneas, la aplicación e instalación de los últimos adelantos técnicos en las más diversas ramas, la seguridad y la eficacia en los servicios con la disposición estética, armoniosa, y de acuerdo con los tiempos que corren, de los elementos más dispares, y todo ello

dentro de un presupuesto limitado, y con unos costes de explotación que hay que demostrar que serán tan buenos o mejores que los de la competencia. Pero hay que tener en cuenta además que, el resultado final depende de la selección hecha de una u otra combinación de opciones que, aun siendo, una a una, correctas todas ellas, el resultado conjunto final puede ser más o menos afortunado, como puede suceder con un cuadro en que se combinen diferentes formas, colores y matices. Imagínense los muy diferentes niveles de aceptación y éxito, lo que a la par implicará seguramente muy diferentes resultados económicos, que pueden alcanzarse con el mismo presupuesto, pero con diferentes diseños y disposiciones de elementos, en la construcción de un lujoso transatlántico.

La obtención de las características finales requiere la aplicación de los métodos más modernos que la técnica pone a nuestra disposición y el trabajo de muchos hombres que han de hacerlo de forma racional y estudiada para que el producto final pueda lograrse con plazos y coste competitivos. *Estos conocimientos del oficio del Constructor Naval constituyen la Tecnología de la Construcción Naval; o conjunto de las Técnicas de Construcción Naval.*

1.3 El mantenimiento de los buques, las reparaciones navales y las grandes conversiones

Si la parte de la Construcción Naval que se ocupa en la construcción de nuevos buques tiene la importancia que hemos visto, su *otra vertiente* referente a *la reparación de buques no es menos importante.*

Como norma, los buques necesitan ser varados una vez por año en dique para efectuar los reconocimientos reglamentarios y se suele aprovechar esta inmovilización del buque para efectuar todas las reparaciones y el mantenimiento normal pendientes. Esto requiere diques y talleres capacitados que dispongan de medios y personal competente y entrenado que los lleve a cabo eficazmente en plazos increíblemente cortos.

Además de estas reparaciones habituales, puede ocurrir que todo buque tenga que someterse una gran reparación, bien por accidente, por avería o por la acción del tiempo en el servicio tan duro a que está sometido.

Otra interesante posibilidad que se ofrece al constructor naval, generalmente como aplicación adicional de los medios utilizados para el trabajo de reparaciones, es decir de los diques, muelles de atraque, medios de elevación y talleres usados para las reparaciones, así como de otros medios habitualmente utilizados para nuevas construcciones, incluyendo hasta las gradas, como es en el caso de tener que construir una nueva parte cilíndrica del buque, es la de realizar *grandes conversiones o transformaciones de buques*

existentes para destinarlos a otro fin del que fueron inicialmente concebidos, aumentar o reducir su eslora, adaptarlos a nuevas reglamentaciones, etc.

Como conjunto de conocimientos y experiencia, la reparación de buques requiere una preparación y una práctica semejantes a la del constructor y siempre con una agilidad y capacidad de improvisación superior a la de aquél, en atención a los problemas tan dispares que pueden presentar los distintos buques, cuya procedencia, equipos e instalaciones son de gran diversidad. Como por otra parte la propia naturaleza de la actividad no admite espera para planificarla, la organización del trabajo es más difícil.

Como negocio no hay que olvidar que así como la contratación de un nuevo buque es muy problemática y siempre se desarrolla en un campo de tal competencia que sitúa al constructor en una posición muy desfavorable, en reparaciones la situación puede ser muy diferente: en primer lugar, porque el armador, en el caso de una nueva construcción, siempre tiene el recurso de no contratar si no está conforme con el precio, pero en el caso de un buque en servicio que tiene que reparar, no tiene más remedio que hacerlo en un sitio u otro y en segundo lugar, porque los buques están dedicados a determinadas líneas, y alejarse mucho de su ruta supone unos gastos de tal importancia que esto ya de por sí restringe la competencia de las ofertas a unos cuantos astilleros de la zona en que el buque se mueve, a menos que haya diferencias tan notables en precio y plazo que le compense un largo desplazamiento y pérdida de tiempo.

Pero además hay otra razón importante que es la disponibilidad de dique. Los armadores tienen que aprovechar para reparar el tiempo de detención obligado por la varada reglamentaria en dique, y ésta ha de efectuarse dentro de ciertos plazos de tiempo cuando no es forzada por una avería, lo que, unido a la ocupación de diques, muchas veces no deja apenas donde elegir.

Por último, no hay que olvidar que con una buena organización de esta actividad se pueden ofrecer plazos de ejecución muy breves y estos pueden ser tan atractivos para el cliente, cuyos gastos de inmovilización son muy elevados, que, muchas veces, el precio toma un carácter secundario en la decisión de contratar.

1.4 Aspectos comerciales: Prestigio, calidad, precio, financiación, plazo de entrega

Como en cualquier otro tipo de industria, el objeto de la producción es el de vender, lo normal es que con un margen comercial positivo. En la construcción naval, generalmente se contrata previamente el buque, por lo que el contrato constituye el punto de partida de toda construcción. Por otra parte, a fin de amortizar las instalaciones, las gradas

tienen que estar ocupadas y los tiempos en que se decía que cada astillero tiene sus clientes habituales han quedado ya atrás.

Por ello se necesita personal comercial de gran preparación, dotado de lo que se denomina agresividad, mejor sería llamarle habilidad o eficacia comercial, que no pierda las oportunidades de conseguir los contratos necesarios, pero conviene también considerar los factores que pueden favorecer la obtención del contrato, ya que muchos de ellos serán de política general del astillero y no se puede imputar toda la responsabilidad a la oficina comercial.

El astillero ha de gozar de un prestigio técnico sin el cual es muy difícil que ningún armador serio se arriesgue a contratar a menos que se trate de algún aventurero, clase de cliente que puede resultar muy peligroso. El nivel de calidad del astillero ha de ser siempre elevado ya que, cuando un buque se entrega, solamente el personal directivo del constructor sabe si la obra se liquidó con pérdidas o ganancias. El armador y el constructor sabrán también si se ha cumplido el plazo previsto y conocen las discusiones que haya podido originar la entrega pero, en cambio, la calidad de la construcción la va a pasear por todo el mundo a la vista de cuantos quieran contemplarla. Los defectos o fallos que puedan presentarse son pronto el cebo de habladurías en los corros marítimos, con gran perjuicio comercial para el armador y pérdida de crédito del constructor.

Otros dos factores esenciales para la obtención del contrato son el precio y el plazo que podemos ofrecer. El primero se obtiene adicionando el beneficio industrial, que pudiera ser del 10 al 15%, al coste de construcción que se ha presupuestado. Las oficinas de presupuestos pasarán a la dirección el coste de construcción presupuestado y ésta, o el Consejo de Dirección, decide el precio de la oferta según circunstancias tales como el estado de la cartera de pedidos, la necesidad de contratar nuevo trabajo, la naturaleza del mismo, las facilidades de crédito y ayudas fiscales y otras que se hallen en vigor para esta actividad.

En cuanto al plazo vendrá determinada por las posibilidades que señale la Oficina de Planificación, pero también puede quedar afectado por otras circunstancias que considerará la Dirección según convenga.

Un tercer factor que ha pasado en la actualidad a primer término, por la presión de la competencia en su afán de poner el elevado coste de un buque al alcance de nuevos clientes, lo constituyen *las condiciones de financiación y los avales*. En este terreno, la organización comercial del astillero ha de conocer perfectamente las cuestiones y posibilidades financieras del momento tanto en el mercado financiero nacional como en el internacional, ha de estar muy introducida en los medios y disponer de los recursos necesarios. Por supuesto ha de conocer la legislación aplicable, nacional e

internacional, o solicitar la asesoría legal que sea necesaria, a fin de no cometer errores en este campo que pueden ser de consecuencias desastrosas.

Aunque estos son aspectos muy importantes, sino vitales, que ha de conocer el constructor naval, no siendo el objetivo fundamental de esta asignatura, no merece la pena detenerse más en ellos por el momento, pero conviene señalar que la contratación de buques requiere que la gerencia de la empresa se desenvuelva con agilidad en campos financieros, comerciales, legales, y muy frecuentemente diplomáticos y de relaciones internacionales de gran altura que, muchas veces, escapan a la apreciación simplista del asunto.

1.5 Oficinas Técnicas: Proyectos, Delineación. Oficinas de Presupuestos y de Planificación

Para poder preparar las ofertas que hay que presentar a los clientes, se necesita una *Oficina de Proyectos* que realice y estudie los anteproyectos con las características requeridas. A veces, el anteproyecto es presentado por el armador, preparado por su propia oficina de proyectos o por una tercera, que trabaja para él. En otros casos, la oficina de proyectos del propio astillero realiza los anteproyectos para oferta, y así era habitual antes en los astilleros de cierta envergadura. Otra alternativa es que el astillero encargue a una oficina independiente la realización del anteproyecto que ha de servir de soporte para realizar la oferta.

Otra sección de gran responsabilidad será la de *Presupuestos,* en la que, con los datos del anteproyecto, se estudiarán los costes de construcción que han de servir de base para determinar el precio de oferta.

En todo caso, la preparación y presentación de las ofertas suele implicar unos costes de cierta entidad por los aspectos comerciales, de representación, viajes, comunicaciones, así como por el número de horas x hombre que se han de invertir en las oficinas de proyectos, presupuestos, planificación, etc. Por otra parte, el formato de presentación de las ofertas suele exigir cierta calidad. Por todo ello, antes de concurrir a todos los concursos de oferta que se presenten, ha de hacerse una selección de los que puedan tener más posibilidades.

Una vez conseguido el contrato, el desarrollo de todos los planos que se necesitan para la construcción del buque y la preparación de las especificaciones de equipos y listas de materiales que han de adquirirse constituye un trabajo al que hay que dedicar muchas horas x hombre. Además, en cuanto se firma el contrato empieza a correr el plazo de entrega y todo ese trabajo ha de preceder necesariamente al resto. Será necesario pues, una *Oficina de Delineación* con gran experiencia, que sea capaz de llevarlo a cabo, y de acuerdo con los cálculos y previsiones de la *Oficina de Planificación*.

1.6 Introducción y consideraciones sobre los trabajos de delineación previos a la fabricación de las estructuras del buque. Integración de la Ingeniería de Producción desde las primeras fases del diseño/ delineación. Evolución desde los métodos tradicionales hasta los actuales. Sistemas CAD/CAM/CAE

1.6.1 Oficinas de Delineación y de Gálibos

La tradicionalmente llamada oficina de delineación es la responsable de preparar los planos estructurales para la fabricación en el taller y para el montaje de las estructuras de los buques, así como los planos de disposiciones y de detalle para otras partes del casco y para el armamento. Los planos estructurales preparados por la oficina de delineación estarán de acuerdo con las reglas de una sociedad de clasificación, según se haya establecido en la especificación contractual y sujetos a su aprobación. También se incorporarán en los planos los requerimientos adicionales del armador y los estándares de fabricación del astillero. Se prepararán además las disposiciones de todos los espacios de acomodación, espacios de carga y pañoles, las cuales incorporarán los requerimientos oficiales, así como los requerimientos y normas del armador. Otros planos que se han de preparar son los de disposiciones y detalles para armamento, como son las disposiciones de maquinaria y tuberías, ventilación y aire acondicionado, electricidad, control y automatización (siendo todos estos últimos, a menudo, hechos por un *subcontratista* exterior) y las disposiciones de equipos de cubierta, planos de habilitación y mobiliario, etc.

Desde finales de los años 70, el desarrollo de los ordenadores ha puesto a disposición de la industria potentísimos sistemas de computación a costes moderados. Esta tecnología ha contribuido a significativos avances en la capacidad de los sistemas gráficos para lo que se llama diseño y fabricación asistidos por ordenador (CAD/CAM). Tales sistemas han desplazado el dibujo manual. Sistemas de construcción naval basados en ordenador, que han sido desarrollados a finales de los 60 y principios de los 70, y han sido usados para máquinas de producción con control numérico y para el desarrollo del trazado, han sido últimamente mejorados, haciéndose ya extensivos a todas las funciones de las oficinas de diseño y delineación, proporcionando "interfaces" con los sistemas de control del astillero como son los de planificación, control de costes, aprovisionamiento de materiales (almacén y adquisiciones), control de calidad, etc., creándose un sistema más complejo que abarca también las funciones llamadas de ingeniería y de gestión de los proyectos (CAE), así como las contables, de facturación y financieras.

Era práctica común en la oficina de delineación el tener una sección de pedidos de materiales que fuera capaz de tomar de los planos los datos necesarios de los mismos y procesarlos para su adquisición y/o suministro desde el almacén hasta el

lugar necesario en el momento oportuno. También esta oficina trabajaba en estrecho contacto con la oficina de trazado y con la oficina de planificación de producción. Con la introducción de los sistemas *CAD*/*CAM*/*CAE*, estas funciones han sido mejoradas pudiendo realizarse ya directamente desde los mismos ordenadores en los que se están confeccionando los planos.

Por otra parte, la precisión de los planos de *escantillonado* generados permite que sean usados para pedir los materiales de acero con mayor confianza que lo que se hacía con los planos manuales, y la información que acompaña a las requisiciones (o demandas para compras) puede ser introducida en el ordenador para ser utilizada por el sistema de compras y de control de materiales del astillero.

Los planos de *subprefabricados, prefabricados y de bloques* pueden ser creados en forma *bi-* y *tridimensional*, y se puede utilizar una librería informatizada de componentes estándar para producción, de forma que el delineante pueda fiarse de que los diseños estructurales están siguiendo *prácticas establecidas, ya acordadas con Producción, para hacer el uso más eficiente posible de los recursos del astillero*.

El desarrollo del proyecto ha de realizarse además, desde el principio, bajo criterios de lo que se denomina *Ingeniería Integrada*, que no es ni más ni menos que concebir y desarrollar los diseños de los buques para que, independientemente de cumplir con el condicionante básico de que, una vez construidos y puestos en operación, constituyan en sí productos buenos que satisfagan los deseos del cliente, sean además lo más económicamente posibles de fabricar con los recursos disponibles en la factoría de acuerdo con la experiencia y *know how* contrastado del departamento de producción, cuyos criterios han de ser, por lo tanto, tenidos también en cuenta en la concepción y desarrollo mencionados del proyecto.

Longitudes y tipos de soldadura, pesos de acero y listas detalladas de partes pueden ser procesados de la información de los planos y pasadas a los sistemas de control de producción. Un ensamblaje en 3-D de acero puede ser girado en la pantalla con objeto de establecer la orientación más adecuada para conseguir que la mayor parte de soldadura se pueda hacer *en posición* (horizontal hacia abajo). Además el uso de planos 3-D es particularmente valioso para el armamento, donde los diversos elementos como tubos y conductos pueden verse en forma 3-D y medidos con más exactitud antes de ser definitivamente dibujados en planos 2-D. Igualmente se detectarán a priori automáticamente, o de forma mucho más fácil, *las interferencias* que pueden existir entre las estructuras y otros componentes (tuberías, conducciones, equipos, etc.) o entre estos entre sí, pudiendo corregirse las anomalías mucho antes de que éstas llegaran a producirse realmente en la obra.

Hay varios planos o tareas realizadas en la oficina de delineación de especial interés y merecen mayor atención, a saber:

1.6.2 Plano de formas

Una versión preliminar debe ser hecha cuando se realiza el anteproyecto del buque, la cual es necesaria al menos para preparar su oferta, y para el contrato si ésta tuviera éxito, con objeto de poder determinar *la capacidad, el desplazamiento, el trimado y las necesidades propulsivas*. Dicho plano será a continuación refinado durante la etapa de desarrollo, de acuerdo con lo que aconsejen los ensayos de canal u otros métodos de predicción más elaborados de las características propulsivas y marineras del casco.

El plano de formas es un plano, a una escala conveniente, de las líneas de trazado horizontales, o líneas de agua del barco en planta; y de las secciones verticales longitudinales y transversales. El dibujo de las secciones transversales, igualmente espaciadas entre las perpendiculares de popa y proa, constituye lo que es conocido como *caja de cuadernas*.

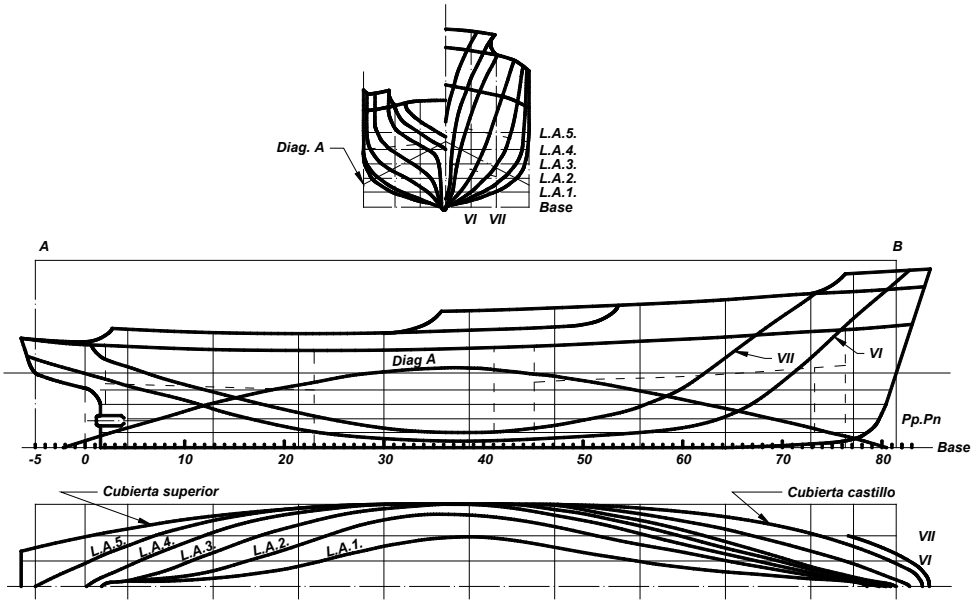


Fig. 1.1 Se ve un plano de formas con las tres series de líneas: *Secciones horizontales o líneas de agua,* **secciones** *verticales longitudinales, y secciones transversales o cuadernas*. Se dibuja también un cierto número de *vagras inclinadas*, o intersecciones de la superficie ideal del casco con planos diagonales, perpendiculares al transversal, pero inclinados con respecto al de crujía.

Normalmente se seleccionan diez secciones llamadas *cuadernas de trazado*, igualmente espaciadas (o 20, generalmente para mayores esloras) y además dos secciones en los puntos medios de los espacios finales de popa (-1/2, +1/2) y de proa (19+1/2, 20+1/2) donde es más acentuado el cambio de formas del buque. Sólo se dibuja la mitad de la sección transversal ya que el buque es simétrico con respecto al plano de crujía. Las secciones de la mitad de proa se dibujan a la derecha de la línea que representa el plano de crujía, y las de popa a la izquierda.

Cuando el *plano de formas*, realizado tradicionalmente de forma manual, ya estaba acabado, el delineante tomaba una serie de medidas y formaba una tabla o *cartilla de trazado* consistente en las medidas de las *medias mangas* a las diferentes alturas de las líneas de agua y a las diferentes alturas de cubiertas en cada una de las secciones transversales. Esta tabla y el plano de formas se pasaban antiguamente a la *Sala de Gálibos* para realizar el alisado gráfico a escala natural o a escala 1/10. Dicho alisado había de ser realizado ya que las líneas obtenidas originalmente en el plano de formas tenían que ser corregidas (o "faireadas", del término inglés *fairing*) con objeto de conseguir el alisado o suavidad de las formas del casco ("eliminar bollos"). Cuando se finalizaba el plano de formas, éste estaba completamente alisado, tanto el perfil como las secciones longitudinales y transversales del buque, así como las formas de las líneas de agua a diferentes alturas sobre la base y las vagras o secciones diagonales.

Actualmente el plano de formas y su alisado se realizan numéricamente por medio de programas informáticos (CAD).

Una vez que el plano está alisado se dibujan las cuadernas de construcción, las cuales deben de quedar también perfectamente alisadas.

Este fue el sistema tradicional usado en la Construcción Naval, hoy en día prácticamente superado con el empleo generalizado de sistemas informáticos de diseño, con los que tanto la creación de las formas del casco como su alisado para propósitos de fabricación, se realizan, en general, sin tener que dibujar a escala real ni a escala 1/10 las formas del buque.

1.6.3 Representación dimensional de las chapas del forro

Cuando se está preparando la distribución de las chapas del forro en las etapas de preparación de los planos, es difícil determinar en ciertas partes con forma del casco, con un plano convencional bidimensional, las líneas de soldadura y la forma de las chapas. Por ello, la antigua costumbre en los astilleros era hacer uso de un modelo a escala de medio buque, desde el plano de crujía hasta el límite del contorno del casco o forro exterior, montado sobre un tablero base. El modelo era construido, o bien

de secciones sólidas de madera con la superficie exterior labrada y pulida o bien de tableros laminados pegados, con el contorno exterior con la forma de las líneas de agua que, finalmente, eran pulidos por afuera como un conjunto. Se finalizaba con una pintura de laca blanca, y así se usaba para dibujar los contornos de las cuadernas, los topes y costuras de las soldaduras de las chapas, las líneas de intersección de las cubiertas con el forro así como de los refuerzos, mamparos, vagras, palmejares, los contornos de la roda y del codaste, las aberturas en el casco, etc.

Actualmente la situación ha cambiado, y con un sistema CAD la disposición de las chapas del forro se obtiene en una pantalla interactiva sobre el plano de formas obtenido a partir de un *modelo 3-D de alambres, de superficies, etc.,* creando así un plano de formas que incluye los contornos de las chapas. Este plano puede ser después usado para crear representaciones tridimensionales de todas las líneas que sean representativas sobre la superficie curva del forro, creando un efectivo modelo visual 3-D del buque y de sus zonas según se requiera.

1.6.4 Expansión del forro

La disposición de las chapas que forman el forro, tomada del modelo 3-D, puede representarse en un plano 2-D denominado "plano de expansión del forro". Las dimensiones verticales de este plano, que son las reales, se toman alrededor del contorno del forro en las secciones transversales, y no de la proyección vertical. Sin embargo, al no ser las superficies desarrollables en ciertas zonas, las dimensiones longitudinales de las chapas no son las reales, excepto las de aquellas que están totalmente situadas dentro del cuerpo cilíndrico.

Por este procedimiento se representan ambos, el costado y el fondo, como un paño continuo de chapas. En la **Fig. 1.2** se representa la expansión típica del forro de un buque petrolero, la cual permite identificar las chapas con números en sentido longitudinal, y con letras en sentido transversal, que identifican las tracas o filas de chapas correspondientes, tal como se suele hacer en muchos sitios. Se muestran, además, a popa y a proa, las zonas donde se interrumpe la continuidad de las tracas debido a que dos de éstas, a causa de la disminución de la longitud desarrollada del contorno transversal, que va siendo progresiva en estas secciones, se suelen unir en una sola pieza denominada *atún*.

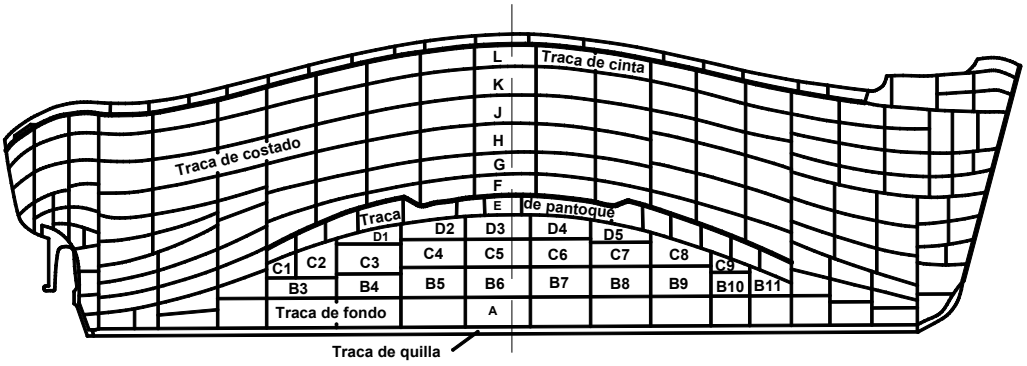


Fig. 1.2 Plano de expansión del forro. (D.J. Eyres) En él se muestran también las cuadernas, los palmejares, las cubiertas y las aberturas en el costado, pero se han omitido aquí por claridad del dibujo.

1.6.5 Descripción del trabajo realizado en las antiguas salas de gálibos

1.6.5.1 Trazado y alisado en la Sala de Gálibos a partir del plano preparado en la Sala de Delineación

Cuando el personal de la sala de gálibos recibía el plano de formas a escala y la cartilla de trazado preparados por la sala de delineación, se dibujaban las líneas a escala real y se alisaban siguiendo el método tradicional. Esto implicaba el tener que dedicar una sala de considerable superficie plana, cubierta con madera, aun contrayendo la escala en sentido longitudinal, tanto de las secciones verticales longitudinales como de las horizontales, y dibujando las cajas de cuadernas de popa y de proa en el mismo lugar, una sobre otra.

1.6.5.2 Plantillas de Trazado

De las secciones y líneas, dibujadas y alisadas a escala real, quedaba preparado un trazado en el suelo del que se tomaban las plantillas de tablilla de madera, necesarias para dar forma a las cuadernas, así como otras usadas para cortar chapas con bordes curvos, e igualmente se preparaban los moldes requeridos para dar forma a algunas de las chapas.

1.6.5.3 Alisado numérico

Para evitar el tener que usar una gran superficie para el trabajo de alisado, muchos astilleros usaron, en cuanto se dispuso de ellos, programas informáticos de cálculo que proporcionaban el alisado numérico a escala real, de forma que ya sólo había

que dibujar el trazado final a verdadera escala, tomando las medidas de la Cartilla de Trazado alisada por métodos numéricos.

1.6.5.4 Trazado a escala 1/10

A finales de los años 50 se introdujo, y fue universalmente adoptado, el trazado a escala 1/10, lo cual, aparte de reducir la superficie y la cantidad de trabajo de las salas de gálibos, facilitó la adopción de métodos de ingeniería de producción. Las líneas pudieron ser alisadas a escala 1/10 y los trazados finales se prepararon a dicha escala. Muchos astilleros utilizaron máquinas de oxicorte controladas con plantillas, consistentes en dibujos realizados a escala 1/10.

1.6.6 Realización del trazado con Sistemas CAD/CAM

Las líneas alisadas numéricamente a escala real por medio de sistemas informáticos u obtenidas ya alisadas a partir del plano de formas inicial generado por el ordenador, pueden ser almacenadas como un modelo 3-D.- Para el trazado se puede acceder a esta información con objeto de preparar la información necesaria para curvar las cuadernas y los perfiles longitudinales, para desarrollar las chapas del forro, para proporcionar las plantillas de las cuadernas, proporcionar las plantillas y datos para curvado de planchas con los cilindros de volteo y con líneas de calor; todo lo cual puede ser realizado vía interactiva usando la pantalla para presentación visual.

Para las máquinas de corte con control numérico se realiza el anidado (*nesting*) de las piezas, con objeto de producir la mínima cantidad de *desperdicio o recortes* en las chapas de las que se van a cortar. Esto puede ir haciéndose ya previamente en la etapa de delineación cuando se van definiendo y agrupando las formas de piezas de chapa para preparar las *requisiciones (demandas)* para la *oficina de compras*. Estas formas de piezas se archivan con objeto de ser más tarde utilizadas para realizar el anidado interactivo definitivo con la pantalla.

Al realizar el *trazado* se incluyen las *marcas identificativas* y se define el orden en el cual se han cortar las diferentes piezas, simplemente moviendo el puntero alrededor de las piezas en la pantalla gráfica. Cuando se han completado las instrucciones de corte, se puede reordenar la secuencia del mismo y comprobar si existen errores por medio de un *plotter* o de la misma pantalla.

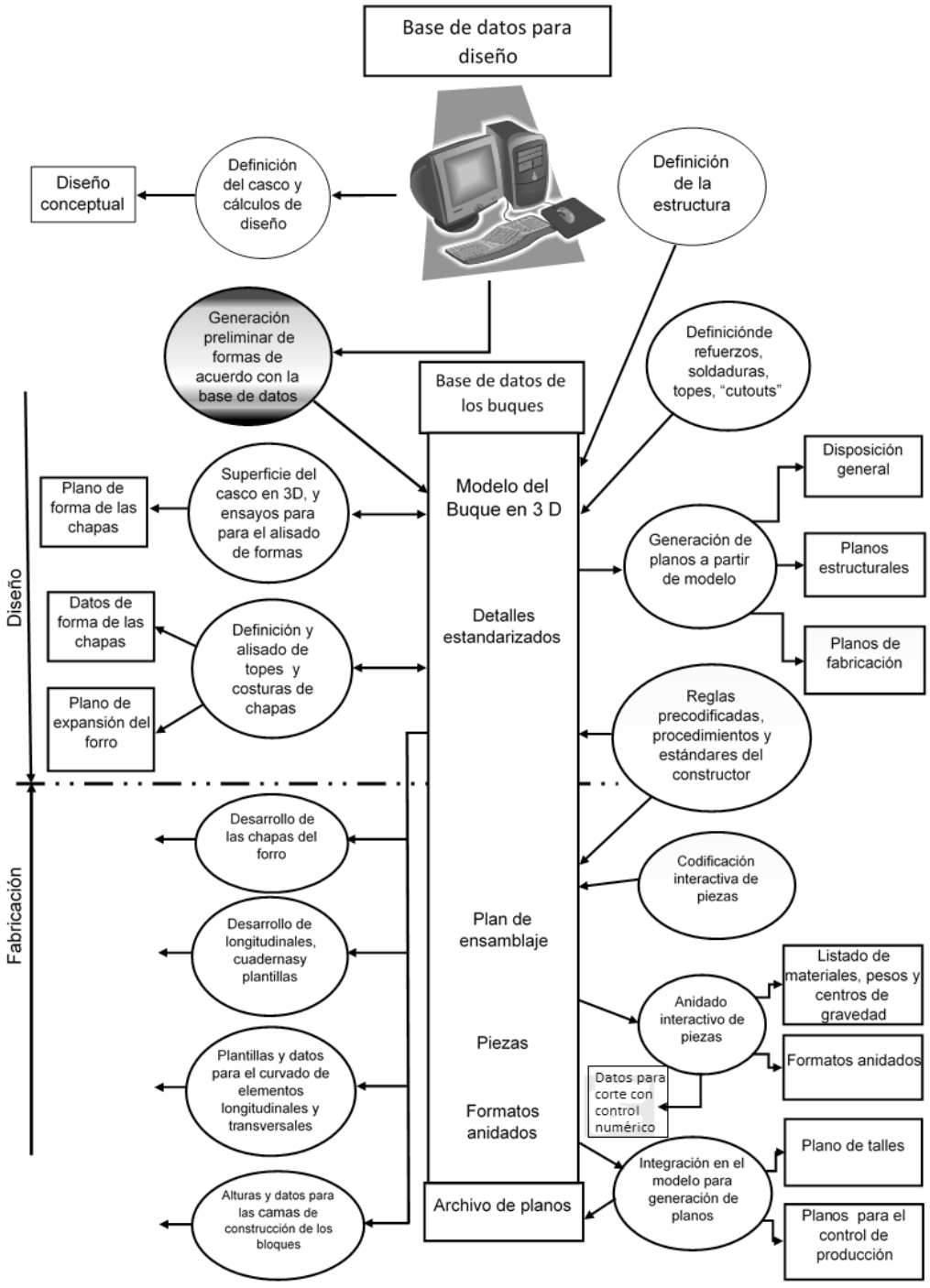


Fig. 1.3 Diagrama funcional sistema CAD/CAM.

Se obtienen también datos para soldar las piezas de chapa al prefabricar y montar los bloques, así como las alturas de las plantillas y guías usadas para adaptar piezas curvas de chapa a cuadernas y a otros miembros tanto en la fase de prefabricación de los bloques como en la de su ensamblaje en las gradas o en dique.

Sin embargo, en las partes del casco en que existan superficies de *doble curvatura*, lo cual ocurre normalmente en los extremos de popa y proa, máxime si ésta es con bulbo, puede ser útil el recurrir a procedimientos clásicos de trazado manual a escala 1/10.

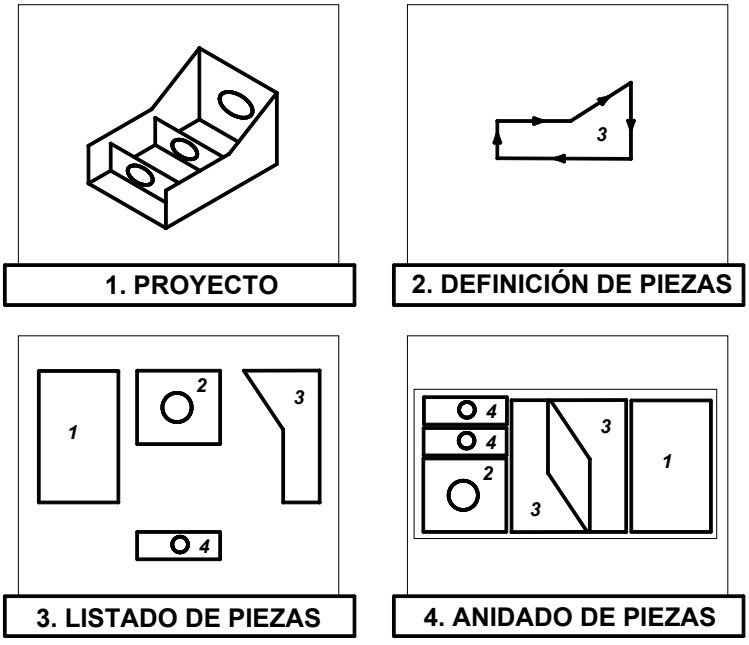


Fig. 1.4 Esquema para intuición del concepto de anidado de piezas.

1.7 Almacenes de materias primas y de equipos. Producción. Métodos. Planta. Seguridad. Medio ambiente

A medida que los materiales vayan llegando al astillero harán falta unos parques donde clasificarlos y colocarlos, en espera de su posterior utilización y un personal que se ocupe de recepcionarlos, ordenarlos y almacenarlos según un plan previsto. Para determinados materiales y equipos hacen falta almacenes cerrados donde se puedan conservar en debidas condiciones hasta el momento en que se vayan a emplear. Ni que decir tiene que los almacenes de los materiales y equipos deben estar situados lo más cerca posible a su empleo para la fabricación y, en su caso, montaje.

Llegado el momento, habrá que sacar el material de su almacenamiento y situarlo en los distintos puestos de trabajo debidamente agrupado y clasificado en lo que se denominan *pallets* o *unidades de planificación*.

La construcción del buque comprende la del casco estructural, metálico en el caso de los buques de acero, el equipo denominado metálico como son las defensas metálicas, guías y elementos fijos de amarre, escalas, candeleros y pasamanos, etc., el montaje de accesorios, maquinaria y equipos y la instalación de los servicios, que están constituidos principalmente de tuberías y conductores eléctricos, y la acomodación o habilitación de todos los espacios, terminando con la puesta a punto y pruebas.

Para todas estas operaciones necesitaremos unas gradas o diques de construcción, unos muelles, unos talleres y espacios de los que se tratará con más detalle en los capítulos siguientes. Para la producción ha de hacerse la debida preparación de los trabajos, consistente básicamente en la preparación y lanzamiento de órdenes de trabajo, cálculo de horas x hombre y cargas de trabajo a que da lugar cada tarea, la preparación de las fichas de trabajo y otras instrucciones para los mandos intermedios del taller, los vales con listados e identificación de materiales para ser retirados del almacén, la preparación y el control de cumplimentación de los programas de trabajo a corto plazo (semanales y quincenales generalmente), todo ello de acuerdo con los datos de planificación, en general a más largo plazo, suministrados por la oficina de Planificación General, a la que a su vez han de suministrarse los datos necesarios para que esta última pueda estar continuamente actualizada con los resultados reales de las previsiones realizadas para poder proceder a los necesarios reajustes y estar en posesión de los ratios correctos. Otros datos han de ser suministrados a Contabilidad y Personal. De toda esta labor, que en gran parte es técnica, pero también administrativa, tienen que encargarse las Oficinas de Producción, que deben disponer de personal competente y especializado en los trabajos correspondientes.

Para la preparación de instrucciones especiales de trabajo como son las de soldadura, muy importante en los astilleros dedicados a la construcción de buques con casco metálico, se suele disponer de una *Oficina de Métodos de Soldadura*, cuyo cometido se describe en el Capítulo X dedicado a Soldadura.

Otras oficinas de métodos serán las encargadas de realizar los cálculos de pesos, centros de gravedad, estudios de las maniobras y cálculo de cáncamos y medios de sujeción para el volteo y la elevación de bloques y grandes conjuntos, las cartillas con instrucciones para realizar el armamento anticipado en los bloques (llamado también construcción integrada si es superior a un 75%), o por el sistema de módulos, el cuadernillo con instrucciones en detalle para realizar el tratamiento de protección superficial de cada área, etc.

Baste por el momento citar estos trabajos que después se desarrollarán con más detalle en los capítulos correspondientes.

Estas oficinas de métodos de trabajo, en astilleros pequeños, pueden formar parte de lo que es la Oficina Técnica. En astilleros más complejos y de mayor dimensión pueden integrar una sección separada de *Métodos de Producción*, dependiendo normalmente de Producción. En todo caso su trabajo *ocupa el eslabón entre los trabajos de la Oficina Técnica y los de la de Producción.*

Será imprescindible un *Departamento o Sección de Planta* que con los equipos apropiados de mantenimiento se encargará de tener a punto, en perfectas condiciones de seguridad y de trabajo, los medios de producción, soldadura, maquinaria, muelles, medios de transporte, servicios, calles para paso de vehículos pesados, pisos resistentes a grandes pesos, concentrados o no, en talleres cerrados y áreas de trabajo a la intemperie, tapancos y cobertizos, etc.

Capítulo aparte constituyen los andamiajes necesarios para poder acceder y trabajar con seguridad y comodidad a alturas considerables. Para una correcta colocación, con los adecuados accesos, debe realizarse un estudio previo de su disposición. Los soportes de los andamios que hayan de ir soldados a los bloques deben ser colocados durante la fabricación o armamento anticipado de los mismos, como si fueran verdaderos accesorios. Igualmente se ha de prever el adecuado desmontaje de los andamios y reparación de superficies. Otro aspecto a considerar es la colocación de redes de seguridad debajo de los andamios, y de protección contra la caída de objetos. Todo este capítulo de trabajos puede corresponder a Planta, a Producción o a ambos, y constituye un componente de la programación y del coste nada desdeñable.

Los andamios, totalmente metálicos, están formados por piezas estandarizadas que se montan y desarman como las piezas de un mecano, formando estructuras de la altura necesaria en tiempos asombrosamente cortos. Suelen existir empresas especializadas, propietarias de estos andamios, a las que se subcontrata la realización de este trabajo.

La Seguridad e Higiene en el Trabajo tienen una importancia especial en la construcción naval debido a las propias características del trabajo: trabajos frecuentes a gran altura y en posiciones difíciles, oxicorte y soldadura con producción de gases tóxicos o insalubres en espacios confinados, iluminación deficiente, posibilidad de formación de mezclas de gases explosivos por varias razones, entre ellas por uso de disolventes y aplicación de pinturas en huecos y locales cerrados o con escasa ventilación, aparte de las eventuales posibles pérdidas de gases utilizados para calentamiento y oxicorte, encendidos de arco eléctrico frecuentes, maniobras de elevación y movimiento de grandes pesos, posibilidad de caída de objetos, peligro de accidentes en ojos, manos y pies, posibilidad de accidentes eléctricos, existencia de combustibles líquidos y otros,

con peligro de incendios, derrames de grasas y sustancias resbaladizas, posibilidad de caídas al mar, maniobras en que se generan fuerzas enormes como son las botaduras, estando además expuestos a los agentes atmosféricos, con fuertes temporales y vientos, etc.

En todos los astilleros ha de existir una sección *responsable de los cometidos de seguridad* e higiene en el trabajo, dependiendo normalmente del Dpto. de Planta, y que en las empresas de cierta entidad puede llegar incluso a constituir un propio departamento. No es cuestión de especificar aquí con detalle las funciones de la Sección de Seguridad, lo cual puede ser objeto de una especialidad o asignatura distinta, pero sí conviene, en un tratado de técnicas de construcción naval, el mencionar su importancia y cometidos más relevantes.

En todo caso, debe estar perfectamente informada de, y cumplir, y obligar a cumplir la legislación sobre seguridad como la relativa a uso del casco y prendas de protección, etc.

En los astilleros de cierta entidad suele existir también una Sección de Bomberos, dependiendo también de Seguridad, formada con personal entrenado, aunque en condiciones normales puede estar atendiendo otras funciones, excepto un pequeño retén de guardia.

De la misma manera Seguridad suele ser responsable del cuidado y buen orden de los medios de evacuación de emergencia, camillas, botiquines, Primeros Auxilios o Servicios Médicos dependiendo del tamaño de la empresa, etc.

El Dpto. de Planta se ocupará también de la cumplimentación de la legislación medioambiental. Dada la necesidad ineludible de proteger el medio ambiente y la gran sensibilidad social creada sobre este importantísimo asunto, es absolutamente necesario evitar las consecuencias negativas del impacto producido por las actividades industriales, proponiendo las medidas correctoras y preparando las instrucciones precisas.

Las normas ISO 14000 constituyen una serie de normas internacionales para la gestión medioambiental. Es la primera serie de normas que promueve a las organizaciones de todo el mundo a realizar esfuerzos medioambientales comunes y medir la actuación de acuerdo con unos criterios aceptados internacionalmente. La ISO 14001 es la primera de la serie 14000 y especifica los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión medioambiental. La ISO 14001 se aplica a cualquier organización que desee mejorar y demostrar a otros su actuación medioambiental mediante un Sistema de Gestión Medioambiental Certificado.

1.8 Importancia de las compras y de las subcontrataciones

Los aprovisionamientos son todos aquellos suministros que le llegan al astillero desde el exterior. Del orden de un 70% del coste total del buque está exteriorizado, es decir, constituye un valor añadido fuera del astillero. De ahí resalta la extraordinaria importancia que tiene la gestión de la sección que se haya de ocupar de las compras o adquisiciones.

Una simple operación nos hará ver que si la sección de compras consiguiera una reducción del coste de las adquisiciones de un 10%, habría logrado influir tanto en el coste del buque como la de producción aumentando su rendimiento en algo más del 23%.

1.9 Departamento de Personal o de Recursos Humanos

Más importante que todas las instalaciones de producción es el elemento humano o trabajador, del cual se ocupa el Dpto. o Sección de Recursos Humanos. En ella no se debería tratar solamente de administrar lo legislado sobre salarios, antigüedad, seguridad social, promoción, formación, nuevos ingresos, etc., sino que hay que estudiar al hombre, conocer sus estímulos y necesidades y vincularlo con la empresa. Para ello hay que analizar los puestos de trabajo y las personas, premiar el interés y la competencia, fomentar el espíritu de equipo y ayudarle a resolver muchos problemas personales que por su carácter hay que atender muchas veces de forma individual, para lo que se requieren grandes conocimientos y cualidades humanas en las personas que haya de atenderlos.

Actualmente, un gran porcentaje del personal de una factoría pertenece a empresas exteriores, pero hay aspectos de los cuales es responsable la empresa principal. Por ello, dependiendo del tamaño y complejidad, puede ser conveniente que el Dpto. de Personal tenga una sección que atienda específicamente determinados asuntos relacionados con el personal de empresas subcontratistas.

Una de las facetas más interesante de esta sección la constituye la *Formación del Personal*, indispensable para nutrir los cuadros de operarios, de cuya competencia y habilidad dependerá en gran parte la calidad de los productos terminados.

1.10 Contabilidad

La función contable es inherente a todo negocio. Habrá que pagar todo lo que se compra y el personal que trabaja en la factoría ha de cobrar. Para hacerlo es necesario controlar las facturas y conocer el trabajo que ha realizado cada uno, con lo que se calculan las liquidaciones.

Una de las operaciones fundamentales del astillero es la *Facturación*, la cual requiere conocer con precisión los materiales, los gastos que estos han ocasionado, los salarios y todos los demás gastos que pueden imputarse a cada obra para determinar los costes. Con ello resulta que, no sólo se necesitan conocer las horas de actividad que ha desarrollado cada productor, sino también en que obra o encargo las ha aplicado.

Pero en un astillero se utilizan una serie de materiales, se consume energía y se invierten muchas horas de trabajo de sus hombres que no pueden imputarse a una obra determinada como puede ser, por ejemplo, los materiales que se utilizan en reparaciones y entretenimiento de las máquinas herramienta, grúas, etc., el material de oficina y los salarios del personal que no aplica su actividad a una obra determinada como el directivo, el de mantenimiento y gran parte de subalternos como porteros, ordenanzas, etc.

Hace tiempo, estos gastos se cargaban a una cuenta denominada de *Gastos Generales*, que para determinar los precios de coste se repartían entre las distintas obras, proporcionalmente al importe de los salarios directos, que son los que se pagan al personal empleado en una obra determinada, pero este sistema puede conducir a serios errores.

Para poder aplicar los gastos generales de una forma más realista, se acostumbra actualmente a analizarlos de una forma más detallada, y esto, que hace unos años hubiera representado un considerable trabajo, hoy en día se soluciona con la mecanización de la contabilidad, llegándose *a fijar con mayor precisión y frecuencia los gastos generales de cada taller e incluso de cada grupo de máquinas, en los que se incluyen materiales y salarios invertidos concretamente en cada uno de ellos y la parte de amortizaciones, intereses y otros gastos que deberían cargarse a las obras que en ellos se efectúan.*

La contabilidad de costes puede llevarse así con detalle y rapidez, permitiendo a su vez al departamento de producción aplicar a tiempo las medidas correctoras necesarias cuando se aprecien desviaciones importantes sobre la programación prevista.

Por último, se dispone de la *Contabilidad General* con la que se preparan los balances necesarios para seguir la marcha de la empresa.

1.11 Organización científica. Planificación. Calidad

Cuanto se ha visto es de tal complejidad, particularmente en los astilleros dedicados a grandes construcciones, que su realización de forma correcta y fluida requiere un estudio constante e inteligente de la organización y de los métodos de trabajo que se

aplican. La finalidad de la organización científica es el estudio racional de todos los detalles necesarios del proceso de construcción para lograr los fines siguientes:

1. Cumplimiento de los plazos programados dentro de los costes previstos.
2. Coordinación entre los elementos que intervienen en la producción para que ninguno de ellos vea su trabajo interrumpido por falta de otros elementos (dando lugar a los ruinosos "tiempos muertos").
3. Análisis y mejora de métodos.

Los (1) y (2) se logran mediante *una programación de las actividades* de la que se ocupa la sección de *Planificación*. Para realizar este trabajo hace falta una información abundante que se recoge en una sección de *Estadística*, que se ordena de forma adecuada. Actualmente este trabajo se resuelve por medio de ordenadores, existiendo varios programas acreditados en el mercado, que, utilizando las fichas que se preparan para el control de materiales y horas de trabajo, pueden darnos con gran rapidez las respuestas que solicitemos, el grado de avance de cada una de las obras emprendidas y las acciones correctoras a tomar para poder superar las posibles deficiencias.

Con esta información se prepara la *programación* que es la pieza fundamental a que han de atenerse todos cuantos intervienen en la producción como único modo de hacer posible la coordinación y el cumplimiento de los plazos.

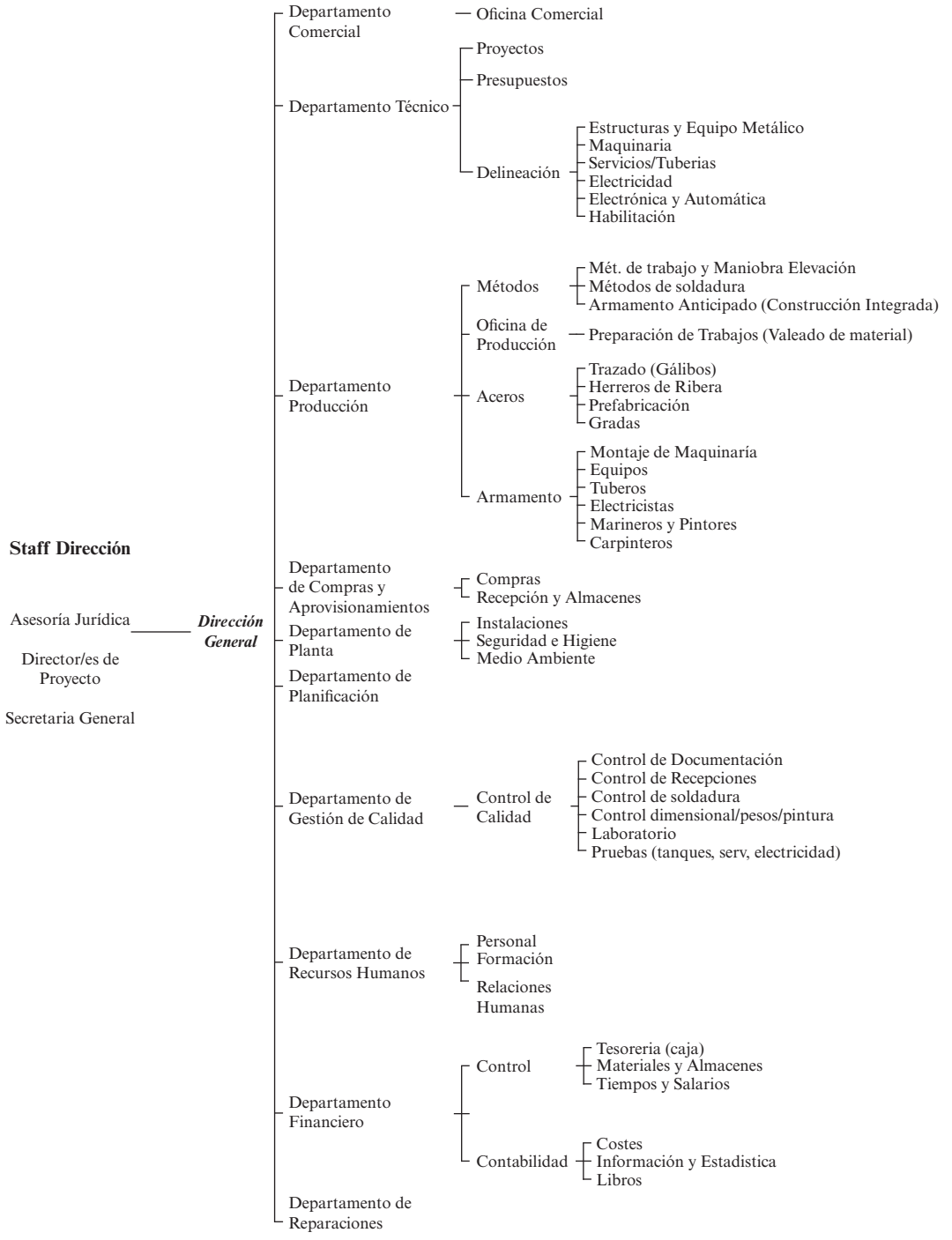


Fig. 1.5 Organigrama genérico de un astillero.

Igualmente, se pueden obtener los costes totales de cada obra, que se obtienen sumando, a los costes de las horas invertidas, los cargos de almacén realizados en cada obra.

Entre las mayores perturbaciones para la necesaria fluidez del trabajo, se encuentran *los rechazos*. A fin de evitar o paliar estos trastornos, el departamento o sección de *Control de Calidad* debe realizar las verificaciones adecuadas de las características y parámetros que procedan, con independencia de que lo hagan a su vez. o después, las inspecciones correspondientes de las Sociedades de Clasificación, armador, u organismos oficiales.

La calidad del buque o unidad se extiende a cada uno de los elementos que lo componen, y la misión de esta sección de C. de Calidad será también la de verificarla cuidadosamente a la recepción de dichos elementos en el astillero, comprobando escrupulosamente dimensiones, calidades y características, que habrán de ajustarse a las especificaciones de los pedidos correspondientes. Muchas veces no será posible la comprobación directa, pero podrá hacerse mediante la verificación de los certificados emitidos por las inspecciones que hayan intervenido.

De este modo se evita que en una comprobación posterior se tenga que rechazar algún elemento cuando ya está montado, interrumpiendo la continuidad del trabajo previsto.

De (3) se ocupará una sección de *Métodos*, ya citadas antes, con la colaboración de los responsables de Producción.

El estudio de las alternativas de organización del astillero es objeto de otra asignatura de la carrera. Baste por ahora, como ejemplo, la exposición de un organigrama típico, en el que, sin entrar en discusiones acerca de qué tipo de organización es más o menos ventajosa, aparecen las diversas funciones a desempeñar, lo cual es lo que se necesita conocer de momento para seguir avanzando en la asignatura.

1.12 Reparaciones. Organización y funcionamiento. Reparaciones durante la navegación

Se puede observar que en las organizaciones descritas se ha omitido lo concerniente a Reparaciones. Las actividades que esta sección requiere son tan particulares que en la mayoría de los casos se integran en un departamento separado que depende directamente de la dirección del astillero, para que puedan desenvolverse con la mayor autonomía en aras de la mayor agilidad posible. Puede suceder que ni siquiera dependan de dicha dirección y se organice la actividad de Reparaciones, a veces en algunas factorías denominada Carenas, como una empresa independiente, tal como

ocurre en caso de que la factoría se dedique exclusivamente a dicha actividad. Habrá pues, un Director o Jefe del Departamento de Reparaciones que deberá contar con los servicios que se relacionan y describen en los párrafos que siguen.

Las reparaciones se contratan generalmente del siguiente modo: el armador somete, normalmente a varias factorías, una lista de las obras que necesita efectuar, solicitando oferta a las Oficinas Comerciales de los correspondientes departamentos de reparaciones de las diferentes factorías, en la que se solicita los precios y el plazo en que se comprometen a realizarlas.

De las ofertas recibidas, selecciona la que más le conviene y, ateniéndose a ella, concierta con el astillero correspondiente la entrada del buque para su reparación.

Por lo tanto, el primer servicio que tiene que atender toda empresa de reparaciones es la preparación de las ofertas. De ello se suele encargar una *oficina de presupuestos*. El personal dedicado a ello ha de tener una habilidad especial que sólo puede adquirirse con mucha experiencia y una información abundante y ordenada. Como puede imaginarse, presupuestar una reparación, a la vista de una simple relación de obras, entraña grandes dificultades debido por una parte a la falta de precisión con que éstas se relacionan, ya que es muy difícil precisar el trabajo que se debe realizar sin desmontar los equipos y servicios, lo que ya de por si constituye una parte de la obra, y, por otra, a que el personal que las prepara tiene una mayor preocupación por el fallo o avería que padece que por los detalles necesarios para elaborar un presupuesto. Como los buques suelen encontrarse a gran distancia, no es fácil encontrar la oportunidad de desplazarse a bordo para tomar los datos necesarios.

Hay que tener en cuenta, además, que las dificultades que pueden complicar una obra son innumerables, y, si no se han previsto, el presupuesto puede rebasarse con facilidad.

El conocimiento del buque y una buena información de reparaciones anteriores del mismo puede ser muy útil para esta tarea, que, aunque siempre entraña un riesgo, no hay más remedio que realizar, si no se quieren perder los clientes. Cubrirse con márgenes amplios no conduciría a nada pues el cliente se inclinará por otras ofertas más atractivas.

Esta oficina tendrá que llevar también una *planificación global* que permita establecer los plazos que se pueden ofrecer.

Una oficina de *coordinación* hará una *planificación de las obras* y preparará las *órdenes de trabajo* contando con los equipos asignados al departamento de reparaciones y, cuando sea necesario, con la organización del astillero, haciendo las previsiones necesarias. Pero cuando se inicien los trabajos empezarán a surgir las obras imprevistas,

que son la característica peculiar de este tipo de trabajo. Como esto será inevitable, habrá que tener una organización lo suficientemente elástica para rectificar sobre la marcha y poder encajar todos los trabajos.

Por ello es importante que esta oficina dependa del *Jefe de Trabajos,* con el fin de que éste pueda resolver en cada momento lo que proceda, sirviendo al mismo tiempo de enlace con la organización general del astillero para lograr los auxilios necesarios.

Del Jefe de trabajos dependerán también una serie de Jefes de Obra que, generalmente, se asignan a cada uno de los buques en reparación en los que han de ocuparse no sólo del desarrollo de los trabajos, sino que habrán también de atender a las relaciones con los inspectores del armador, revisando con ellos las listas de obras para percatarse del verdadero alcance de las mismas así como el desarrollo de su ejecución. Esto se efectúa generalmente en presencia de los maestros o encargados de los talleres que han de intervenir en la obra.

En cuanto surge la necesidad de efectuar un *trabajo no previsto*, el *Jefe de Obra* tiene también la misión de *abrir* inmediatamente *las nuevas órdenes*, recogiendo *la conformidad y aprobación del presupuesto por parte del representante del armador*, y de *darle el curso oportuno para que se realicen, y se facturen* cuando se finalicen. Por el contrario, cuando hay que cancelar alguna obra de las previstas, deberá pasar la nota correspondiente para rectificación de la programación. Este trabajo podrá realizarlo por sí mismo o con el auxilio de algún empleado de la oficina de coordinación.

Posteriormente habrá de seguir la marcha de los trabajos, recibir las reclamaciones que puedan existir, y conseguir algo que es de extraordinaria importancia en reparaciones: que el cliente se encuentre atendido en todo momento y satisfecho de la atención prestada a su buque.

Cuando los trabajos no se desarrollen de acuerdo con la planificación prevista, tendrá que actuar sobre la oficina de coordinación para lograr los auxilios que sean precisos. No hay que olvidar que en reparaciones los plazos suelen estar muy comprometidos y muchas veces hay que responder de ellos con penalizaciones importantes.

Por último, se encargará de solicitar de los inspectores del cliente la *conformidad con las obras realizadas.*

Para mantener en perfectas condiciones de eficacia todas las instalaciones de diques, muelles y talleres que tenga asignados, será necesaria una *sección de planta.*

Para atender a las *maniobras que han de efectuar los buques, incluyendo las entradas en dique y las varadas*, habrá una *sección de movimiento* a cargo de los *Capitanes de Dique.*

Así podremos llegar a una organización del tipo que se presenta en la **Fig. 1.6**, en la que puede verse *dependiendo del Jefe de Trabajos*, una sección nueva denominada *Contratas.*

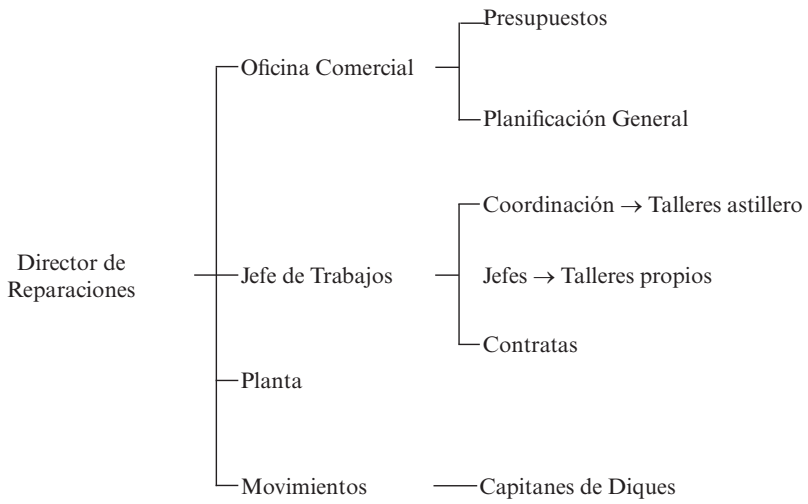


Fig. 1.6 Organización típica sección Reparaciones.

En la reparación de buques hay que realizar una serie de trabajos que se *subcontratan* con otras empresas ajenas al astillero. Pueden ser trabajos que no requieren un personal especializado o, por el contrario, sea preferible encargarlos a empresas muy especializadas, puesto que la discontinuidad con que se presentan en el astillero no justifica tener una sección especializada para dedicarla permanentemente a ellos. Así ocurre, por ejemplo, con *las limpiezas* de tanques, sentinas, cascos, y *trabajos de pintura*, que requieren mucho personal durante períodos breves.

Las limpiezas, incluyendo la desincrustación de calderas, enfriadores, etc. se realizan por medios químicos y se suelen encargar a casas especializadas. Por ello es necesario conocer a las empresas subcontratistas que se dedican a estos trabajos para poder disponer de ellas en el momento oportuno.

Un trabajo que es habitualmente necesario realizar en los carenados periódicos, es la sustitución de los zines electrógenos.

Reparaciones suele disponer, aunque en pequeña escala, de talleres propios para determinados trabajos que son habituales, así como de equipos reducidos de personal muy especializado, aunque polivalente, en la realización de determinados trabajos. No obstante, habrá que recurrir con frecuencia a los talleres del astillero, especialmente

a los de aceros y maquinaria. En caso de que una factoría de reparaciones no esté ligada a una de nuevas construcciones, es conveniente tener un acuerdo con los talleres circundantes para poder efectuar en ellos, con la prontitud requerida, los trabajos que puedan surgir.

Trabajos típicos son la revisión de espesores de las chapas de acero, y fabricación para su sustitución de las que sean necesarias. Otro ejemplo típico lo constituye la reparación del *eje de cola*, cuya extracción es un trabajo habitual de reparaciones y lo efectúa normalmente el personal propio. Pero si al reconocerlo se decide que debe tornearse, hará falta un torno grande, habrá que recurrir al del astillero o al de algún taller próximo que se preste a ello.

Igualmente ocurre con el *desmontaje del timón y su reparación, así como de la mecha.*

Reparaciones durante la navegación: ha cobrado interés la realización de trabajos de reparación/modificaciones a bordo en equipos y áreas del buque que no afectan a la propulsión, durante viajes de un puerto a otro sobre todo en rutas cercanas a la costa, facilitándose así el embarque y desembarque del personal por medio de helicóptero, trabajos que son realizados por compañías subcontratistas especializadas, con las ventajas que ello conlleva de disminuir o eliminar tiempos muertos que afectan a la operación del buque.

1.13 Los nuevos tiempos. Las exigencias actuales

Las orientaciones actuales de las empresas constructoras tienen que acoplarse a coyunturas cambiantes, incorporación en los proyectos de construcción naval y oceánica de tecnologías diversas, plazos de construcción cortos, cargas de trabajo no uniformes, necesario mantenimiento de la competitividad a nivel internacional, evolución rápida de tecnologías y estrategias, volumen muy importante de recursos económicos puestos en juego para la construcción de un buque, serie de buques y unidades navales de cierto porte, reparto de riesgos, etc.

División del trabajo en fases, en unidades físicas, en tiempos y en lugares diferentes. Subcontratación de la mayor parte de las actividades a realizar, por supuesto las de pura obra, pero también los trabajos de oficina técnica, los de ingeniería en general, los de adquisición de materiales (o "procurement"), trabajos de inspección, etc. Los equipos y medios necesarios para la construcción pueden ser propios, arrendados o, frecuentemente, compartidos.

El astillero resulta así ser el contratista principal de una gran cantidad de trabajos, que van a ser realizados por empresas subcontratistas ("subcontractors"), cuyo correcto

control exige un sistema detallado de información y comunicación ("report system"), que al mismo tiempo tiene que ser muy ágil.

Conceptualización, y esto no es nada nuevo, pero es ahora mucho más evidente*, de la construcción naval y oceánica, y por tanto del astillero, como el lugar de confluencia, integración, coordinación y ensamblaje de materiales, de equipos y de trabajos finalizados o cuasi finalizados diversos realizados por otras empresas*; incluidos también, en muchos casos, los de oficina técnica; de los que resultará al final una unidad o serie de unidades productiva(s) compleja(s); que, al menor coste posible, deben ser fabricada(s), finalizada(s), probada(s) y puesta(s) en explotación de acuerdo con los requerimientos del proyecto y del contrato, y en un plazo comprometido, a riesgo de que, de no cumplirse, puedan derivarse muy serias *consecuencias económicas*, que el *cliente (armador) revertirá* sin duda en *el astillero constructor (contratista principal)*; y que éste, a su vez, debe *poder traspasar a sus subcontratistas y suministradores* en caso de incumplimiento por parte de estos últimos.

Concepto de *contratos parciales "llave en mano" (Turn key basis),* en los que el subcontratista entrega la instalación objeto del subcontrato totalmente finalizada y lista para funcionar.

En los casos de construcciones off-shore, y alguna vez en las de buques, es práctica que el astillero aparezca como un subcontratista intermedio de la cadena, que entrega la unidad bajo contrato a otro contratista de más alto rango dentro de dicha cadena. El último responsable de toda la construcción es el llamado *contratista principal (main contractor). El cliente final suele ser el operador.*

Como en el caso de plantas industriales complejas (y los buques en general lo son realmente; y, por supuesto, las unidades off-shore que formarán parte del desarrollo de un campo petrolífero, que a su vez es un conjunto productivo mucho más amplio), así como en otros casos en que se han de montar sistemas de venta y financiación también complejos, es frecuente el que aparezca el concepto de *UTE: Unión Temporal de Empresas,* ya sean nacionales, o que se constituya por empresas de varios países, en que *cada una se hace cargo de una parte, normalmente específica, del trabajo.*

Es normal también que el cliente final contrate todo el trabajo a una *gran firma de ingeniería o UTE de ingenierías especializadas* (que llamaremos *la INGENIERÍA*). Esta aparecería como contratista principal, desarrolla todos los planos y especificaciones hasta un cierto nivel, y subcontrata los trabajos de fabricación a astilleros y otras empresas, dando así lugar a la cadena normalmente ramificada de subcontrataciones sucesivas.

Es habitual también que *el cliente final, o la INGENIERÍA, se haga cargo de la compra y suministro de una cantidad importante de equipos y materiales, que llamaremos*

suministros del armador (o del cliente), de los cuales, el astillero tiene que hacerse cargo en un momento determinado y para los cuales hay que prever lugares muy controlados de almacenaje y protección mientras no se montan a bordo.

En definitiva, como en otros campos, la evolución de las empresas dedicadas a la construcción naval ha sido tal que, mientras al principio del siglo XX todos los trabajos de diseño y producción solían ser realizados dentro del propio astillero, ya que no solía existir personal cualificado ni herramental adecuado en el exterior, con el paso de los años la tónica fue ir externalizando las actividades empresariales de producción, cadena de suministro y logística, y esta forma de actuar se convirtió en el modelo de organización típico del siglo XX, en cierto sentido consistente en que los proveedores puedan ser reemplazables y su elección se limite a cuestiones de coste y eficiencia. Los primeros desarrollos de la tecnología de la información favorecieron esta forma de actuación, al facilitar la coordinación de los procesos.

Como reacción se necesita y se generan un cambio de estrategia y cambios en los modelos organizativos en las empresas, que pasan de corporaciones a plataformas.

Andando así las cosas, en la primera década del siglo XXI se externaliza también la actividad correspondiente al I+D convencional y la innovación así como el diseño, mediante diferentes modelos organizativos y productivos: comunidades, plataformas, contratación directa del I+D, adquisición en los mercados de innovación o incluso compra de empresas tecnológicas.

1.13.1 Reglamentaciones y normas

Aparte de los reglamentaciones de las Sociedades de Clasificación, de las del país de abanderamiento, de las del país constructor, habituales en la Construcción Naval, y en su caso, de la UE; en proyectos de cierta complejidad tienen que tenerse en cuenta, de forma normalmente muy exhaustiva, una gran cantidad de normas específicas que afectan a instalaciones, materiales muy diversos, formas de realización de los trabajos, pruebas e inspecciones por parte de varios organismos, con criterios que pueden ser diferentes, las cuales deben venir especificadas en los planos e información de trabajo y cuyo estudio, interpretación y previsión con bastante antelación por parte del constructor son ineludibles, y por supuesto tienen que ser consideradas en la preparación de los presupuestos.

1.13.2 Gestión de la calidad/Control de Calidad (Quality Management/Quality Control. La norma ISO 9000-2008)

El aseguramiento a priori del resultado de toda la obra, de acuerdo con lo exigido en las especificaciones y cláusulas contractuales, obliga, como ya es práctica habitual en

la mayoría de los astilleros y empresas constructoras de cierto prestigio, y así lo obliga el mercado, a disponer de un Manual, y sistema operativo, de "Gestión de la Calidad" ("Quality Management") que debe depender directamente del más alto nivel ejecutivo de la empresa, a fin de poder garantizar su independencia e imparcialidad con relación a otros departamentos con posible incidencia en la calidad, que de forma fehaciente vigile la cumplimentación de los aspectos organizativos del trabajo y responsabilidades en lo relativo a calidad (la cual afecta en primer lugar a los planos e información técnica para ejecutar la obra) y señale las comprobaciones, inspecciones, rectificaciones y pruebas a realizar, así como el registro de resultados ("Quality Reports").

El Sistema de Gestión de la Calidad, dependiente del Departamento de Gestión de Calidad, bajo responsabilidad directa de la Dirección, aparece así como una faceta en cierta forma organizativa.- Los aspectos operativos que son las comprobaciones de la calidad en sus diversas facetas específicas (Planos e información técnica, Control Dimensional, Control de Pesos, Control de Recepciones, Soldadura, Pintura, Electricidad, pruebas diversas de equipos e instalaciones, etc.) corresponden a Control de Calidad que dependerá de Gestión de Calidad en sus diversas facetas específicas (control dimensional, control de pesos, control de recepciones, soldadura, pintura, electricidad, etc.). La preparación de la organización del sistema de Gestión de la Calidad y la elaboración del Manual suele ser realizada por consultores especializados, previas reuniones y consultas con los responsables de la factoría a fin de acomodarlo lo mejor posible a la organización y forma de trabajo real, debiendo ser obtenido un certificado de adecuación del Manual, que ha de ser emitido por una entidad autorizada como puede ser una Sociedad de Clasificación.

La norma general a aplicar es la ISO 9000-2008, familia de normas y directrices internacionales de reconocida reputación para la Gestión de la Calidad. Engloba como fundamental la norma ISO 9001- 2008 que especifica los requerimientos del Sistema de Gestión de la Calidad para toda organización que ha demostrar su capacidad para proporcionar productos que cumplan los requerimientos del cliente e, igualmente, que cumplan las reglamentaciones aplicables.

Con la adopción de la norma ISO 9001-2008 se alcanzaría un primer nivel de cumplimiento, pero lo mejor es utilizar toda la familia de normas de forma integrada. Habiendo adoptado la ISO 9001-2000, se pueden implantar las normas prácticas descritas en la ISO 9004-2000 para aumentar la efectividad del Sistema de Gestión de Calidad.

Las Sociedades de Clasificación tienen también sus propias guías para preparar los manuales adaptados a cada tipo de trabajos, p.e. para construcción off-shore. Incluso algunos países tienen sus propias normas estatales como Noruega. Para cierto tipo de trabajos como recipientes a presión y calderas, ASME tiene también su guía.

Paralelo al Manual de Gestión de Calidad existirán los Procedimientos de Trabajo y de las propias operaciones de Control de Calidad con directrices para realizar cada tipo de inspección y de registrar los diferentes *reports*: soldaduras, pruebas a presión, control dimensional, etc.

Mantener el Certificado de la empresa de cumplimentación con el Sistema de Gestión de Calidad exige auditorías periódicas que comprueban su grado de operatividad y de cumplimentación real.

Hoy en día dicho certificado de es una tarjeta de visita imprescindible, sin la cual es inútil presentar una oferta y tratar de estar en el mercado.

El departamento de Gestión de Calidad debe preparar los programas de inspección de recepciones, soldadura, pruebas de presión, pruebas de servicios, inspecciones y pruebas en talleres de subcontratistas y suministradores, pruebas sobre amarras, pruebas a la entrega, etc. Igualmente revisará los planos e información técnica y propone correcciones a realizar.

Para cada proyecto complejo suele ser exigida la preparación de un *Plan de Calidad*, con su correspondiente manual para dicho proyecto y un *Programa de Puntos de Inspección (P.P.I.)* adaptado al mismo. Los *reports* correspondientes, acciones correctoras, etc. se registran y archivan formando una documentación que se entrega con la obra.

1.13.3 Cualificación de suministradores y subcontratistas

Es otra de las misiones de un Sistema de Gestión de Calidad. Junto con otros criterios comerciales, permite disponer de un directorio seleccionado de firmas proveedoras y subcontratistas que de forma fiable cumplirán con las exigencias de calidad y otras. Dicho directorio es un valioso recurso, prácticamente imprescindible, pues suele ser también exigido por los clientes del astillero.

1.14 Armamento anticipado o Construcción integrada. Estrategia constructiva. Ingeniería integrada

A fin de poder cumplir plazos, mejorar la ejecución y tener menores riesgos de accidentes en el trabajo, es prácticamente imprescindible recurrir al armamento anticipado, que no es ni más ni menos que ir instalando los equipos y los diversos servicios a medida que se van fabricando las partes de estructura donde aquellos van situados.

El armamento anticipado, concepto también denominado como Construcción integrada, se puede realizar en los bloques en que se divide la estructura y en módulos

formados por equipos y servicios diversos (tubería, electricidad, etc.) montados sobre una fundación o polín común. La terminación de trabajos a bordo se realizará completando las partes necesarias (tubos y elementos de cierre, etc.) de servicios, para unir lo ya instalado en los bloques y módulos, pudiendo ser organizada por Servicios Completos, o por Zonas (Concepto de Pallet de Armamento a Bordo). El concepto de Pallet se hace también extensivo a la agrupación de elementos y trabajos que han de montarse y realizarse en un lugar y período determinado, lo cual es un magnífico instrumento para la realización de la planificación.

Un paso más avanzado consiste en la selección y agrupación de los elementos similares cuya fabricación puede realizarse por series, de acuerdo con sus características comunes, tomándolos de los diversos pallets y conjuntos de estructura, con objeto de obtener las ventajas del efecto escala en el aumento de la productividad.

Todo esto conlleva la necesidad de preparar un Plan de Armamento Anticipado (A.A.) en las primeras fases del desarrollo del proyecto para definición de topes de bloques, contenido y tamaño de módulos, etc., lo cual tiene que ser tenido en cuenta en las disposiciones de aparatos y tuberías, así como de un sin fin de elementos, desarrollo de la delineación, planificación de las fechas de los trabajos, adquisiciones, etc.

Todo ello forma parte de lo que hoy se denomina e*strategia constructiva.*

Integración de la ingeniería de fabricación. Algo más que es muy importante para que los proyectos puedan ser competitivos y que por lo tanto se pueda seguir en el mercado. Es tratar de *conseguir: 1º) Por una parte, que los proyectos de los buques o unidades a construir en el astillero estén concebidos de principio para utilizar con la mayor rentabilidad posible los medios de la factoría*, lo cual puede ser difícil porque no siempre es posible construir lo que a uno le gusta, sino lo que se puede vender. 2*º) Por otra parte, que la ingeniería necesaria para su ejecución,* lo que se llama desarrollo del proyecto, comprendiendo planos de disposiciones en detalle y planos de despiece para el taller, división del buque en bloques, el plan de montaje y el plan de armamento, estén concebidos para utilizar con el máximo rendimiento dichos medios de la factoría; y además, lo que es quizá más importante: tener en cuenta la experiencia y recomendaciones de los propios talleres, cuyos responsables deben aportar sus criterios, para ser tenidos en cuenta en el desarrollo y preparación de toda la ingeniería de fabricación.

1.15 Complejidad de los proyectos. Concepto de Dirección por Proyectos

Todos estos aspectos considerados, aparte de los específicos que se estudian en otros apartados de esta asignatura y en otras de la profesión, tienen que incorporarse al

buen "saber hacer" ("know-how") actual de la construcción naval y oceánica, con las particularidades y extensión que requiera la envergadura de cada tipo de proyecto.

Es fundamental una estricta *coordinación entre las múltiples interfaces* que tendremos entre partes diseñadas o construidas por varias compañías, o en áreas diferentes del astillero. Debe ser esta una labor de las oficinas técnicas y de las secciones de control de calidad (Control de Recepciones, Control Dimensional).

Hay una frontera, a veces difusa si no se ha establecido muy claramente en el manual de organización de la empresa, entre los trabajos de las oficinas técnicas (las cuales se suelen identificar con los cálculos, planos e información de diseño, y la preparación de las especificaciones de materiales y equipos para Compras), y los de las oficinas que preparan el trabajo para su ejecución en taller (Planos de despiece, instrucciones de trabajo, de montaje, preparación de maniobras, listados de materiales para almacén) y si algunos de estos últimos trabajos deben incumbir a lo que es el Dpto. Técnico o al Dpto. de Producción.

El conflicto puede suceder también con la información técnica obtenida, en el momento oportuno o no, de los suministradores, cuya reclamación suele ser incumbencia del Dpto. de Aprovisionamientos (Compras).

Todo ello justifica la importancia que hoy cobra en los astilleros, y mucho más si se trata de los dedicados a construcción de unidades complejas, el concepto de organización en base a la dirección y administración por proyectos, frente a la tradicional organización por departamentos o por áreas de trabajos específicos (aceros, monturas, compras, oficina técnica, etc.), sin que, de ninguna forma, ésta deba desaparecer. Cada departamento dispondrá de su organización y sus medios, que deberán ser distribuidos y aplicados a cada proyecto según las necesidades del mismo.

Aparte del seguimiento de los trabajos que debe hacer cada departamento específico, dicho seguimiento, debe ser estrictamente controlado por el equipo asignado a cada proyecto, que, en general, dispondrá de un responsable total *o director de proyecto* y, a sus órdenes, personas con responsabilidad asignada en cada especialidad. Surge así el concepto de organización horizontal, coordinada matricialmente con la forma de organización vertical por departamentos o tradicional.

El equipo asignado a cada proyecto es el que diariamente dialoga con los representantes del cliente o armador y de otros organismos relacionados con el mismo como pueden ser las Sociedades de Clasificación.

Es incumbencia también de este equipo la preparación, discusión de presupuestos adicionales o abonos, y modificaciones de plazos de entrega debidos a requerimientos

de modificaciones, de obras extra y de cancelaciones, por parte del cliente *(variation orders)*, tanto más frecuentes cuanto más complejo es el proyecto, para lo que debe contar con la colaboración de los departamentos implicados del astillero y por supuesto con la aceptación de la Dirección General.

A modo de ejemplo:

PROYTO.	**Dept.A**	**Dept.B**	**Dept. C**	**Etc.**	**…**	**…**	**…**
1	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X	X
…	X	X	X	X	X	X	X

Cada equipo director de proyecto debería tener una ubicación asignada con oficinas separadas dentro de la factoría. Operativamente, viene a ser como el primer receptor de la obra realizada por el resto de los departamentos, y, a su vez, se la va entregando al cliente o a sus representantes.

Pero es más, en caso de proyectos complejos, lo normal es que el cliente mantenga también de forma casi permanente su propio equipo director de proyecto en el astillero, con funciones similares, pero desde su punto de vista.

Si existen varias empresas que concurren en la ejecución de una forma importante, caso de las UTE citadas antes, lo normal es que cada una disponga también de su equipo de responsables en la factoría.

Y los organismos inspectores, caso de las Sociedades de Clasificación, pueden requerir lo mismo.

Todo esto ha de ser previsto para las disponibilidades de espacio, costes implicados y su control, etc.

1.16 Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)

1.16.1 Introducción

Expresado en forma resumida por I+D+i, es un concepto de reciente aparición en el contexto de los estudios de ciencia, tecnología y sociedad, sustituyendo al anterior concepto de investigación y desarrollo (I+D).

Mientras que el de desarrollo es un término proveniente del mundo de la economía, los de investigación e innovación provienen respectivamente del mundo de la ciencia y la tecnología, y su relación dinámica se encuentra en la diferenciación entre ciencia pura y ciencia aplicada. Cualquiera de ellos es de compleja definición. En sentido quizá muy pragmático, se podría definir la investigación como invertir dinero para obtener conocimiento, mientras que innovación sería invertir conocimiento para obtener dinero, lo que explica el fenómeno de retroalimentación al que lógicamente debe llevar una estrategia exitosa de I+D+i.

Se puede definir como:

— **Investigación:** tiene como fin, ampliar el conocimiento sobre lo que trata el trabajo en que se está involucrado. El fin de la investigación es mejorar y adquirir nuevos conocimientos para aplicarlos a la empresa y así continuar su desarrollo.

— **Desarrollo:** implica el desarrollo tecnológico o científico, tanto en los conocimientos y actuación de los empresarios y demás personas de la empresa involucradas en sus productos como en las instalaciones y procesos que han de emplearse.

— **Innovación:** se refiere a la creación o modificación de un producto o proceso productivo, para introducirlo en el mercado o introducirlo, respectivamente, en la empresa, como proceso.

La Investigación se clasifica en Básica y Aplicada

La *Investigación Básica* comprende todos aquellos estudios o trabajos originales que tienen como objetivo adquirir conocimientos científicos nuevos, se analizan propiedades, estructuras y relaciones, con el objetivo de formular hipótesis, teorías y leyes. En esta etapa los científicos e ingenieros realizan *descubrimientos* y también pueden *patentar*.

La *Investigación Aplicada* parte de los trabajos originales desarrollados en la investigación básica, pero con el objetivo de adquirir conocimientos nuevos orientados a un producto u objetivo práctico determinado. Dichos resultados son susceptibles de *ser patentados*, para una futura explotación comercial. En esta etapa los científicos o técnicos *inventan* y, normalmente, *patentan*.

El *Desarrollo Tecnológico* comprende la utilización de los conocimientos adquiridos en la investigación aplicada para la producción de un bien nuevo, o de materiales, dispositivos, procedimientos o servicios nuevos. En esta etapa la empresa ha conseguido los conocimientos o *know how* y se desarrollan los *prototipos* o *plantas pilotos*.

Por último si los resultados del prototipo son eficaces y viables, se realizan inversiones para producir el nuevo producto, material o servicio; en casos, en grandes series, y para vender al *mercado*. Entonces, cuando el *mercado acepta el producto o servicio*, se convierte en *innovación.*

1.16.2 Líneas de investigación en un astillero

Las líneas estratégicas de innovación se deben enfocar fundamentalmente en:

1. *Buques y artefactos innovadores*, para usos tradicionales y para nuevos usos, que sean fiables y seguros, respetuosos con el medio ambiente, competitivos para el propietario y para el armador, con eficiencia energética mejorada y ergonómicos.
2. *Diseño competitivo y flexible*, orientado al producto y a la ingeniería de producción, la seguridad y fiabilidad, productividad, trazabilidad (mejor sería llamarle facilidad para su seguimiento, o *traceability* en inglés), satisfacción del cliente, empleo de materiales avanzados, estructuras innovadoras, estandarización, herramientas de diseño concurrente y reciclaje del producto orientado a la protección del medio ambiente.
3. *Procesos de fabricación, de montaje y de gestión innovadores*, competitivos y orientados a la seguridad y eficiencia en la fabricación, al respeto con el medio ambiente y a la calidad del producto, mejorando las prácticas de fabricación y que faciliten una rápida capacidad de respuesta, orientados a facilitar las pruebas y entrega, y promoviendo la modularización, la intercambiabilidad y versatilidad si es posible, y los sistemas integrados, así como la gestión integrada de la información. Sistemas de gestión que faciliten el control de cumplimentación de calidad, plazos y coste, y faciliten la capacidad de reacción.

1.16.3 Normativa aplicable para I+D+i

Normas de la serie UNE 166000:

- UNE 166000, que establece la terminología que se utiliza en las diferentes normas de esta familia.
- UNE 166001, que establece los requisitos de los proyectos de I+D+i.
- UNE 166002, la más relevante de este conjunto, que establece los requisitos de un sistema de gestión de la I+D+i.
- UNE 166004, que establece los criterios de competencia y evaluación de los auditores de sistemas de I+D+i.

- UNE 166005, una guía de aplicación de la norma UNE 166002 a los bienes de equipo.
- UNE 166006, que establece las características y requisitos de un sistema de vigilancia tecnológica.
- UNE 166007, una guía de aplicación de la norma UNE 166002.

1.16.4 La gestión de I+D+i

Constituye una faceta básica como pilar de la empresa para poder tener futuro. Todo cambia, todo se mueve hacia una mayor calidad y eficiencia de los productos, aparecen nuevas oportunidades y necesidades, la ciencia, la tecnología y la oferta de nuevos productos y servicios avanzan a pasos de gigante. Si no se innova en la medida que lo hace el mercado o, mejor, por delante, la empresa se marchita, valga la expresión, y queda *noqueada* y desplazada. El futuro depende en gran medida de una gestión ágil y adecuada de I+D+i, gestión que además es responsable de la llamada Vigilancia Tecnológica de lo que va a acontecer y, en cierta medida, *puesta continua al día***.** Por ello, dicha gestión debe constituir un departamento o sección situados a uno de los más altos niveles de decisión, como *staff* de la dirección general o de la gerencia.

1.17 Big data o disponibilidad masiva de datos

Big data, macrodatos, datos masivos, inteligencia de datos o datos a gran escala es un concepto que hace referencia a conjuntos tan grandes de datos que, aplicaciones informáticas tradicionales de los mismos, no son suficientes para tratar con ellos, ni con los procedimientos usados para encontrar patrones repetitivos dentro de esos datos. En los textos científicos en español con frecuencia se usa directamente el término en inglés *big data*, habiéndose también tildado a este fenómeno como "la revolución de los datos masivos".

La disciplina dedicada a los datos masivos se enmarca en el sector de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Esta disciplina se ocupa de todas las actividades relacionadas con los sistemas que manipulan grandes conjuntos de datos. *Las dificultades más habituales vinculadas a la gestión de estas cantidades de datos se centran en la recolección y el almacenamiento, búsqueda, compartición, análisis, y visualización*. La tendencia a manipular enormes cantidades de datos se debe a la necesidad, en muchos casos, de incluir dicha información para la creación de informes estadísticos y modelos predictivos utilizados en diversas materias, como los análisis de negocio, publicitarios, el espionaje y seguimiento de la población, etc.

Big data o *macrodatos* es un término que hace referencia a una cantidad de datos tal, que supera la capacidad del software convencional para ser capturados, administrados y procesados en un tiempo razonable. El volumen de los datos masivos crece constantemente. Tal como se mencionó antes, hay que distinguir las siguientes etapas en el proceso de tratamiento:

- *Captura*
- *Transformación*
- *Almacenamiento*
- *Análisis de los datos; técnicas empleadas*:
  - asociación,
  - minería de datos (*data mining*): tiene como objetivo
    - encontrar comportamientos predictivos,
    - agrupación (*cluster*ing),
    - análisis de textos

Y, finalmente, las técnicas de *visualización* de los datos procesados y su utilización.

1.18 La cuarta revolución industrial: Industria 4.0 y Astillero 4.0

1.18.1 Introducción

A principios del siglo XIX surgió la primera revolución fabril o industrial, llámese **Revolución 1.0,** caracterizada por el inicio de la generación masiva de valor añadido en los procesos manufactureros, siendo sus referencias típicas los primeros telares mecánicos y la máquina de vapor.

A principios del siglo XX surge la producción en cadena, llámese **Revolución 2.0**, caracterizada por el uso masivo de la electricidad como elemento motriz y la aparición de las primeras cadenas de montaje, siendo una de sus manifestaciones más destacadas, la fabricación de automóviles en serie.

Y aún hay que esperar a la década de los 80 del pasado siglo XX, para ver la que, siguiendo las anteriores, puede llamarse **Revolución 3.0**, caracterizada por un mayor nivel de Automatización, por el uso masivo de las facilidades que puede reportar la Electrónica y las TIC, dando lugar a lo que ha venido a denominarse *Industrias 3.0*.

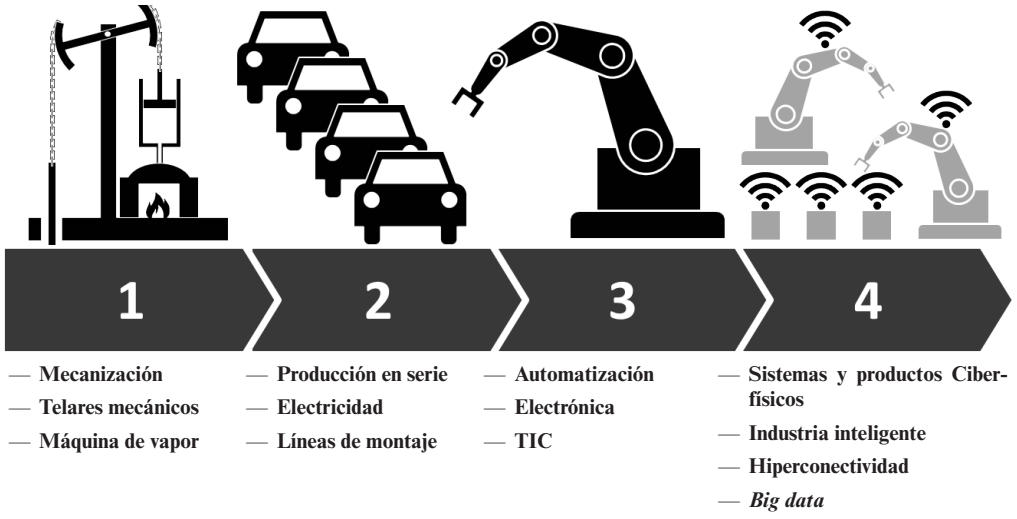


Fig. 1.7 Adelantos que propiciaron las sucesivas revoluciones industriales.

Llegamos así a los albores del siglo XXI en que surgen los llamados Sistemas y Productos Ciber-físicos, la Industria y Productos Inteligentes, Internet para Productos y Servicios, la Hiperconectividad y el fenómeno, realmente recurso o herramienta, que se ha venido en llamar *Big Data*, más arriba descrito. Siguiendo en la misma línea que en los párrafos anteriores, podemos considerar que se está produciendo actualmente la Cuarta Revolución Industrial o **Revolución 4.0,** dando lugar a lo que ha venido a denominarse *Industrias 4.0*, y los astilleros, como industrias integradoras singulares de un sin número de tecnologías, procesos y de la actividad industrial de un gran número de empresas colaboradoras y suministradoras, no pueden ser menos.

1.18.2 La Industria 4.0. El Astillero 4.0

Supone un modelo de producción industrial donde productos, equipo y entorno de la empresa, están conectados entre sí de forma digital y también con otras empresas (proveedores, mantenimiento, logística, etc.) e incluso con el cliente final.

La organización está orientada a la gestión de los datos en tiempo real.

Objetivos: Poder responder a la demanda del mercado con un enfoque asentado en tres pilares:

— Reducción del tiempo de respuesta al requerimiento del mercado y del cliente.

— Incremento de la flexibilidad en la producción.

— Incremento de la eficiencia de la producción, en el consumo de materiales, en el empleo eficiente de la mano de obra, en el consumo energético y, así mismo, en la generación y tratamiento de residuos. Economía circular.

Todo ello englobado y orientado al objetivo principal que es incrementar la competitividad industrial de la empresa.

Aspectos clave:

— Inteligencia de la fábrica (en este caso, del astillero): gran parte de las decisiones son tomadas por parte de la fábrica y no por el operario. Inteligencia artificial.

— Auto Organización + Auto Aprendizaje + Conectividad:

— El sistema piensa y toma decisiones, a diferencia de en las Industrias 3.0.

— Asume tareas de forma eficiente y optimizada, antes delegadas en personas.

— Consumo eficiente de materiales y de energía, ésta de forma descentralizada.

Herramientas:

— Big Data: análisis y gestión inteligente de grandes volúmenes de datos.

— Cálculo en la nube (Cloud Computing) y HPC: plataforma compartida de recursos computacionales con acceso desde cualquier dispositivo con conexión a Internet.

— Sensorización: sensores conectados a Internet que generan información diversa.

— Comunicaciones: intercambio de información.

— Sistemas ciberfísicos (CPS): integración de capacidades de computación, almacenamiento y comunicación en un dispositivo, dotándolos de inteligencia para controlar e interactuar con un proceso físico, con toma de decisiones en tiempo real.

— Robótica colaborativa: con robots que comparten espacio y colaboran con operarios de forma segura e inteligente.

— Puestos de trabajo inteligentes.

— Ciberseguridad: seguridad de la información digital en los sistemas interconectados.

Productos intermedios *inteligentes* en fase de producción. Almacenes *inteligentes*. Trazabilidad y seguimiento.

— Dada la inmensa cantidad de información que hoy se puede acumular por medios informatizados, los productos que se van fabricando en las fases intermedias, véase por ejemplo (Capítulo 11): bloques estructurales, módulos con conjuntos de aparatos y tubería, etc. para armamento anticipado, *pallets*, e incluso elementos más sencillos, irían acompañados de un *código* propio que permite asociar de forma acumulativa la información correspondiente a datos de diseño e incluso planos, a los materiales utilizados, con sus certificados si fuera necesario, lo que permite una perfecta trazabilidad o seguimiento de las piezas empleadas, por ejemplo si se trata de partes de chapa en zonas de responsabilidad, procedimientos de soldadura empleados, soldadores y operarios certificados que hayan realizado los trabajos, datos del control dimensional de las partes y del conjunto, control de pesos, inspecciones realizadas y pendientes de realizar, resultados de pruebas, ensayos no destructivos o NDE, rechazos, reparaciones y aprobaciones por parte de las Sociedades de Clasificación y otros, posibles modificaciones debidas a alteraciones en el diseño, datos referentes al grado de cumplimentación de la Planificación con posibles retrasos o adelantos, programa que posibilite vías alternativas (cambios de orden en la fabricación o montaje) para, en caso de incidencias, no retrasar o adelantar el final de la fabricación, datos para el control de tiempos empleados, lugar físico y posición en que se encuentra el producto intermedio en el Astillero, o bien en los talleres del subcontratista en un momento determinado. Toda esta información o memoria, llamémosla *inteligente* facilita considerablemente la tomar decisiones rápidas y seguras, casi sobre la marcha, por parte de los mandos, y con las menores consecuencias negativas, o incluso con consecuencias positivas, entre ellas, al menos, la experiencia registrada de forma fehaciente para futuras actuaciones.

— En el caso de los *almacenes*, es aún más sencillo: cada elemento de cierta entidad que se reciba: aparatos, recipientes, accesorios, chapas, tubos, cables, piezas para una nueva construcción, serían etiquetadas a su recepción con su *código*, que permita también asociar la información relativa al número de construcción o buque al que va destinado, al pedido, aceptación de la recepción por parte del astillero, dimensiones, materiales, pruebas, certificados, etc. así como su estantería, estiba o lugar de ubicación en el almacén y, si procede, *pallet* de bloque u otro al que va destinado, lo cual, además de facilitar enormemente el control y la labor de almacenaje, retirada y suministro, máxime si los almacenes están mecanizados, a los talleres, zona de fabricación o buque, lo cual se puede realizar de forma automatizada, o casi, siguiendo la programación si no hay perturbaciones. Pero, además, permite tomar decisiones, normalmente inmediatas, sobre sustituciones de elementos

destinados a una nueva construcción para otra, o entre elementos destinados a diferentes partes de una nueva construcción, cuando surgen problemas de falta de materiales o equipos por retrasos por parte de los suministradores u otras incidencias.

Capítulo 2

Descripción general del astillero

2.1 Disposición del astillero

Se puede considerar esquemáticamente que un astillero está constituido por un recinto dotado de unas instalaciones en las que unos trabajadores, bajo una organización adecuada, y sirviéndose de una técnica y diversas formas de energía, reciben una serie de materiales; de los cuales los más importantes son los estructurales como ocurre con el acero en la mayoría de los casos; junto con otros muy diversos entre los que destacan por su importancia las tuberías y los conductores eléctricos, y una serie de productos elaborados en otras factorías, como máquinas, equipos y accesorios variados; para dar como salida una o varias unidades de producción terminadas, las cuales son precisamente los buques.

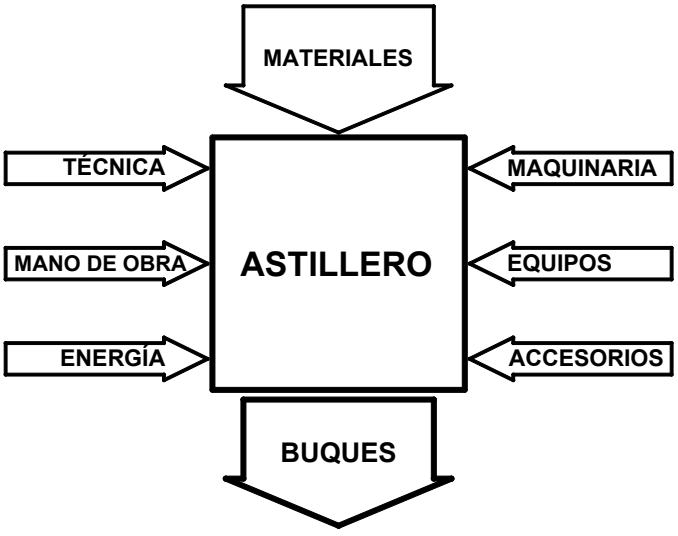


Fig. 2.1 Diagrama de flujo simplificado representativo de la operativa de un astillero.

La mayoría de los astilleros fueron originalmente establecidos en un lugar adecuado para construir pequeños buques, con métodos que ahora ya están superados. Con el aumento del tamaño de los buques y la introducción de nuevos métodos de construcción es indudable que lo más conveniente, o incluso totalmente necesario, fue readaptar la disposición del astillero.

Aparte de tener que aumentar la capacidad para construir buques de mayor tamaño, el poder mantener la competitividad en el mercado ha obligado, entre otras mejoras, a conseguir un ciclo de construcción más corto y un proceso de construcción más económico, basándose en la utilización de procesos automatizados para reducir horas de trabajo personal aparte de poder realizarlo de forma más cómoda y segura y a la reducción de transportes y movimientos de materiales. Todo esto se facilita al tener una disposición de talleres y equipos adecuados que faciliten el flujo de materiales de un proceso a otro, eliminando cuellos de botella.

Muy pocas veces, sin embargo, se puede seleccionar un nuevo emplazamiento y adoptar una disposición ideal. Normalmente hay que seguir utilizando el sitio del que se dispone y tratar sólo de aproximarse lo mejor posible a las condiciones ideales, pero adaptándose a las peculiaridades del lugar que se tiene. Por otra parte, las modificaciones que hayan de hacerse en el astillero tienen que ir realizándose paulatinamente, con objeto de no entorpecer la construcción de los buques que, mientras tanto, se esté llevando a cabo.

La disposición ideal de un astillero debe basarse en facilitar el flujo de producción, extendiendo el área del astillero hacia atrás desde la orilla del mar o del río donde se sitúan las gradas o diques de construcción. El área más alejada de las gradas se reserva generalmente para el almacenamiento de los materiales de construcción, y entre estas dos áreas se disponen en la debida secuencia los trabajos y procesos de taller consecutivos. Pero existen a menudo astilleros que están limitados para poder extenderse hacia atrás debido a su localización en un área edificada o a la excesiva pendiente de las laderas de la costa o del río, y entonces se requieren líneas de producción modificadas.

Al plantear la ubicación y disposición de la planta de un nuevo astillero, o replantear la de uno existente, aparte de consideraciones sobre disponibilidad de mano de obra cualificada y de acopio de materiales en la zona o su transporte económico a la misma, y otras desde los puntos de vista comercial, financiero y estratégico, hay que tomar decisiones en cuanto a:

Tamaño y tipo de los buques a construir.

— Volumen de producción anual.

— Equipos a instalar para movimiento y manejo de los materiales.

— Procesos de fabricación a usar.

— Tamaño y peso de los bloques y conjuntos que van a ser fabricados y ensamblados.

— Cantidad de armamento e instalaciones de equipo y maquinaria que van a ser montadas en el astillero, así como la parte de estos que se van a montar como armamento anticipado en los bloques y en los módulos.

— Servicios de administración y control que serán necesarios.

La disposición del astillero ha tenido que ser reconfigurada debido a la introducción de la soldadura y el procedimiento de construcción por bloques, el armamento anticipado, los procesos informatizados CAD/CAM/CAE para diseño, fabricación, planificación e ingeniería, las exigencias del sistema de Gestión y de Control de Calidad, la automatización y desarrollo de sofisticadas herramientas para la preparación de las chapas y de los perfiles, con objeto de, entre otras consideraciones, poder explotar los mayores ratios de producción que se alcanzan con estos procesos para poder mantenerse en el mercado.

Los astilleros disponen generalmente de un muelle de armamento donde se amarra el buque después de la botadura para completar su acabado con la finalización de los trabajos de montaje, conexionado y pruebas diversas de los diferentes equipos y servicios. Este muelle tiene que estar dotado del adecuado equipamiento de grúas.

Asimismo, este muelle de armamento debería contar en su proximidad con talleres auxiliares para dichos trabajos de armamento. Sin embargo, si se instala la mayor parte del armamento en módulos o como armamento anticipado en los bloques o en la grada durante la fabricación del casco y de las casetas de superestructura, tal como se hace ahora, la proximidad de los talleres de armamento a los muelles puede ser menos significativa.

Antes de decidir la disposición del astillero, hay que estudiar la relación existente entre los procesos de trabajo involucrados en la construcción de un buque, como se ve en la **Fig. 2.2**:

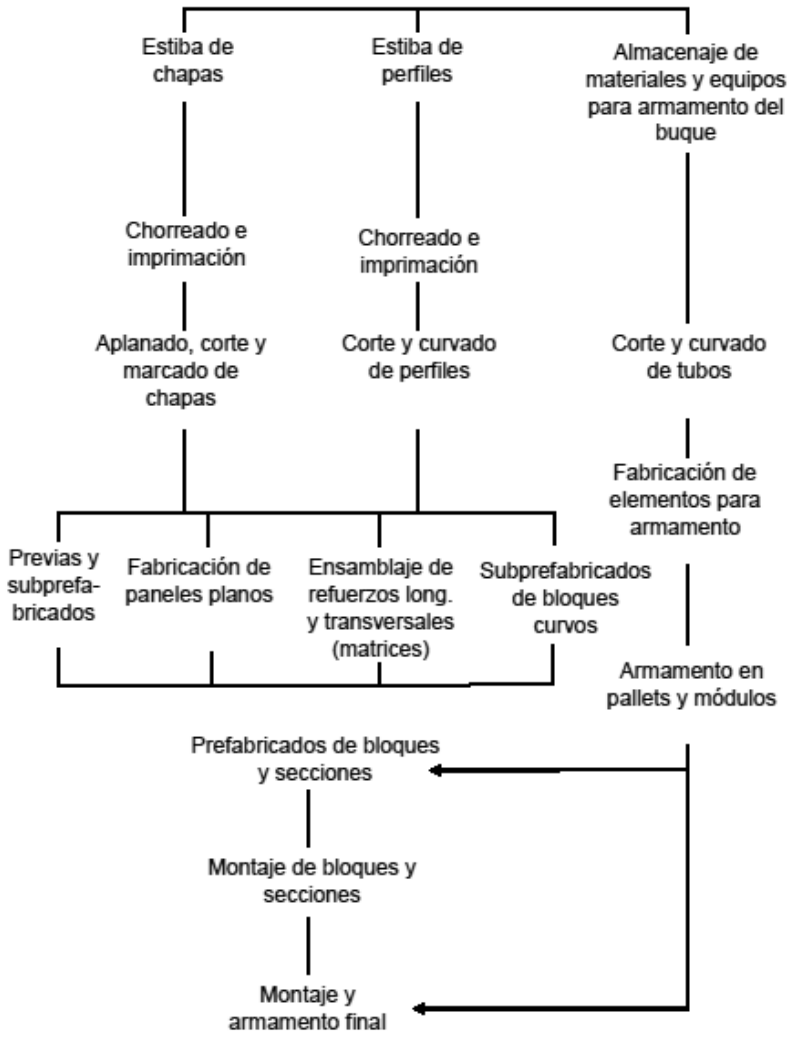


Fig. 2.2 Esquema de proceso para la fabricación de buques de acero.

Una disposición idealizada de un nuevo astillero sería la que se adjunta en la **Fig. 2.3**, la cual sería apropiada para un astillero de tamaño medio o pequeño, especializado en uno o dos tipos de buques estándar y con un ratio alto de producción, de forma que sea suficiente contar con una sola grada o dique de construcción.

El producto más importante del astillero es el casco del buque, en la mayoría de los casos de acero. Su construcción, que comienza normalmente poco después de la contratación, empieza con la entrada de los materiales de acero en el recinto de la factoría en forma de planchas y perfiles. Aquí tienen que clasificarse para pasar debidamente ordenados a los parques de acero (M), donde permanecerán hasta que se inicie su movimiento hacia el taller de Elaborado, también conocido como de Herreros de Ribera, materiales que deben llegar desde la acería, debidamente aplanados, granalladas e impregnados con una capa protectora de la oxidación. Estos tres últimos trabajos solían realizarse antes en los astilleros, como paso previo, por medio de aplanadoras, granalladoras e imprimadoras (a y b).

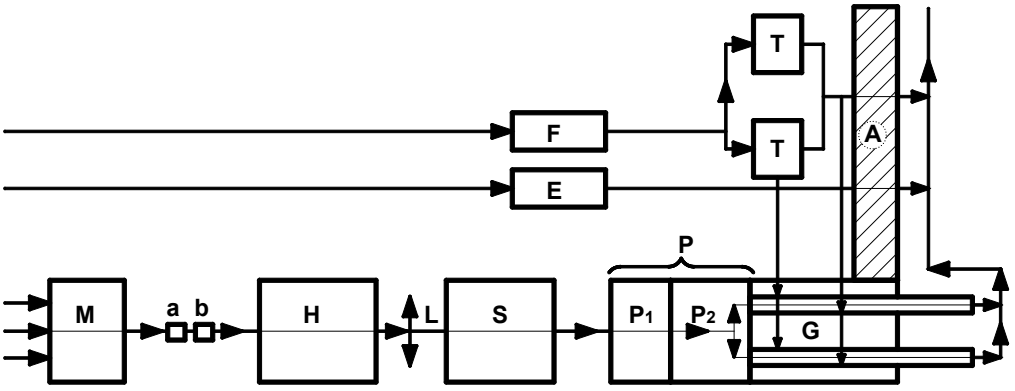


Fig. 2.3 Esquema de disposición de astillero.

En los parques, las planchas se apilan situándolas en posición preferentemente horizontal. Para tener un almacenaje adecuado y facilitar su retirada para ser empleadas en la fabricación, es necesario tener presentes las vías más usuales de llegada del acero. En factorías muy distantes de las acerías probablemente llegarán por vía marítima siempre que sea posible y la cantidad lo justifique. Convendrá disponer de un muelle propio en el que se pueda efectuar fácilmente su desembarque y desde el que se dispongan medios de transporte adecuados para enlazar con el parque.

Al entrar en el Taller de Elaborado de Acero (H), los materiales seguirán distintas líneas según el proceso de elaboración que han de sufrir, por lo que habrá que prever los medios necesarios para efectuar la distribución. A la salida de las líneas respectivas habrá que disponer un espacio de almacenamiento intermedio (L) para reagrupar los materiales elaborados a fin de preparar los lotes que han de pasar al Taller de Soldadura (S) a fin de que este último se pueda alimentar de forma continua. Como la preparación de los lotes dependerá de las cargas en las diversas líneas, en esta zona almacenamiento intermedio se acumula, clasifica y reagrupa el material elaborado.

En el Taller de Soldadura, siguiendo el orden del proceso, los materiales citados se montan y se sueldan para construir los bloques llamados bidimensionales, por tratarse de bloques cuya tercera dimensión, determinada generalmente por la altura de los refuerzos del panel, es apreciablemente inferior a las otras dos.

Hay quienes llaman Taller de Prefabricación a este último taller, pero es mejor reservar este nombre para el de fabricación de los bloques tridimensionales que algunos astilleros han habilitado para este fin separadamente del de soldadura de paneles. Se hace así porque también la prefabricación puede realizarse a la intemperie, en una zona especialmente preparada con mesas de soldar. Vamos pues a designar este espacio por (P1) para distinguirlo del (P2) destinado al almacenamiento de los bloques prefabricados hasta su montaje en gradas. A la totalidad de los espacios (P1) y (P2) se le suele asignar la denominación de Zona de Prefabricación (P). De los subconjuntos que salen de (S), la mayoría se montan y se sueldan en (P) para construir los bloques tridimensionales que pasan al espacio destinado al almacenamiento. Para los movimientos de paneles hasta la prefabricación, y de ésta al almacenamiento de bloques, hay que prever los medios adecuados de transporte, que habrán de ser de potencias de izada creciente a medida que va aumentando el peso de los conjuntos a levantar, y de dimensiones adecuadas para permitir su volteo.

Por fin los bloques pasan a la grada (G) o dique de construcción, para su montaje y unión, además de añadir posiblemente algún otro panel y elementos de menores dimensiones y construir así el casco del buque. Este trabajo se realiza valiéndose de grandes y potentes grúas que deberán, por tanto, poder desplazarse hasta la zona de almacenamiento de los bloques para tomarlos allí. De no ser así habrá que disponer de otros medios auxiliares de transporte de los grandes bloques.

En estas últimas zonas (P) y (G) se empieza ya el montaje de maquinaria y equipos procedentes de los almacenes (E) y al montaje de otras instalaciones y módulos que se hubieran fabricado en los Talleres de Armamento (T), los cuales a su vez habrán recibido otros materiales procedentes de su almacenamiento (F).

Terminada la construcción del casco en la grada se procede a su botadura. Si en lugar de gradas tuviéramos diques de construcción el proceso sería el mismo, pero se simplifica la última fase de puesta a flote.

El casco pasa al Muelle de Armamento (A) donde se atraca. Muelle en el que hay que disponer de las grúas necesarias para que se pueda completar el montaje final a bordo de equipos e instalaciones diversas, así como las pruebas que proceda hasta dejar el buque completamente terminado y en condiciones de realizar las llamadas pruebas que preceden a su entrega.

2.2 Dimensionamiento del Astillero

Ordenar la estructura del astillero con los principios acabados de mencionar requiere cierta armonía entre las superficies de las secciones descritas. Los valores de estas superficies se designan con las mismas letras con que se han designado.

Así, "G" es la superficie de las gradas o diques de construcción; "P" la de la zona de prefabricación, que incluye el espacio de prefabricación propiamente dicho "P1" y el de almacenamiento de bloques prefabricados "P2", por lo que P = P1 + P2; "S" la del Taller de Soldadura; "L" la de la zona de almacenamiento intermedio; "H" la del Taller de Herreros de Ribera; y "M" la del Parque de Aceros.

La superficie fundamental que se toma como referencia para todas las demás es la "G" de las gradas o diques de construcción.

2.3 Gradas

Tanto si se trata de gradas como de diques, es en ellos donde se montan y se completan los cascos de acero para terminar con su puesta a flote. Sus dimensiones vienen determinadas por las de los buques que se pretende construir.

Cuando se está proyectando la instalación de una nueva grada o dique habrá que tener en cuenta el tamaño creciente de los buques que se contratan. Algunas factorías han hecho un esfuerzo grande para construir una nueva grada y antes de terminarla se han encontrado con un aumento muy considerable de los tonelajes usualmente contratados, porque difícilmente podrían encontrar trabajo para lograr el aprovechamiento más rentable de la grada construida.

No hay que olvidar que, en una grada terminada, la manga no es fácil de rectificar, y la eslora, aunque se ha ampliado en muchas factorías, suele ser a costa de la zona de prefabricación a la cabeza de la grada, restando así un espacio que es muy necesario para el almacenamiento, unión de bloques y maniobras de izado. Alternativamente, el incremento de la eslora tendría que hacerse hacia el mar, lo cual es caro. En cualquiera de los casos, debido a la pendiente de la grada, su alargamiento resulta costoso. En diques, dependiendo de su diseño y forma de construcción, es probable que no haya posibilidad de ensancharlos, y alargarlos por la proa tiene el mismo problema.

El número de gradas viene determinado por el volumen previsto de producción y por el ritmo de lanzamientos.

2.4 Cabinas de chorreado y pintado de bloques

Los modernos astilleros han sido dotados de cabinas cerradas (C CH) para limpieza de las superficies de acero de los bloques, mediante procedimientos de chorreado con granalla de acero o con arena, con o sin aire, y su pintado a continuación, según el esquema de protección de superficies especificado, véase el Capítulo 14, que en ciertos casos puede ser muy exigente y que difícilmente podría ser realizado a la intemperie con corrientes de aire y en condiciones de temperatura y humedad que dependen del clima y la estación del año. Su temperatura y humedad interna suelen ser controladas, disponiendo de sistemas de calefacción.

Dispondrán de fosos y medios para recogida de la granalla para su posterior reciclado y reutilización.

El tamaño de las cabinas suele ser considerable ya que cada una ha de ser mayor que el mayor de los bloques que se pretenda chorrear y pintar y la altura s suficiente para la entrada y salida de los bloques mediante las plataformas de transporte de los mismos de que disponga de astillero, su elevación por medio de cilindros hidráulico y su apoyo sobre soportes o dados de acero, que permitan la salida de la plataforma después de dejar el bloque y, de nuevo, su entrada para recogerlo, una vez que se haya realizado el trabajo y hayan pasado los tiempos de secado y curado establecidos para las pinturas empleadas.

El tamaño de las puertas de estas cabinas, que normalmente son verticales y de corredera, pudiendo en casos ser abatibles, es también considerable, ya que deben permitir sin dificultades las maniobras de entrada y salida de los bloques montados sobre las plataformas de transporte.

El número de cabinas de que ha de disponer el astillero depende de su carga y secuencia de trabajo, pero dados los tiempos necesarios para todo el proceso en cada bloque, incluidos los tiempos de secado y curado, suelen provocarse cuellos de botella en momentos críticos de montaje de los bloques de los buques en la grada, y para evitar grandes problemas, lo mejor sería disponer de al menos tres, en un astillero de tamaño medio.

La ubicación de estas cabinas, en un astillero de nuevo diseño, debe ser tal que las maniobras para la entrada y salida en ellas de los bloques, ya prefabricados, desde y hasta la zona de prefabricado/almacenamiento intermedio, sobre las plataformas de transporte, sean lo más cortas y sencillas posible. En astilleros antiguos que se han tenido que dotar con estas cabinas, la ubicación tiene que hacerse según las posibilidades de espacio anexo, teniendo en cuenta los principios anteriores.

Si no se dispone de cabinas de pintado, para bloques pequeños y para retoque y reparaciones puede utilizarse un sistema de protección cerrado por medio de lonas, aunque en general, resulta precario.

2.5 Zona de Prefabricado

La superficie "P" de la zona de prefabricado es función de la de la superficie "G" destinada a las gradas y del ritmo de producción, de tal forma que cuanto menor haya de ser el tiempo que los buques han de ocupar las gradas, mayor será la superficie requerida para la zona de prefabricado "P".

Conviene recordar que "P" comprende la parte en que se fabrican los bloques tridimensionales y la superficie donde se almacenan antes de su montaje en la grada. Para esto no es indispensable disponer de una nave cerrada y para los trabajos de soldadura de los bloques tridimensionales bastará en algunos casos una simple protección, que incluso puede ser móvil para llevarla al punto que más convenga en los casos en que se hayan de utilizar determinados tipos de soldadura automática que no pueden realizarse entre grandes corrientes de aire. En algunos países muy fríos, sometidos a continuas inclemencias de los agentes atmosféricos, se han obtenido muchísimas ventajas prolongando el proceso de construcción que se realiza en el interior de talleres aumentando las dimensiones del taller de soldadura, con lo que puede reducirse "P", al ser absorbida en "S" parte de P1.

La aplicación de una rigurosa planificación científica permite reducir el porcentaje de acumulación del material que se prefabrica, repercutiendo a su vez sobre el valor necesario de "P".

2.6 Taller de Soldadura

El valor de la superficie "S" que se destina al Taller de Soldadura representa la de las plataformas o mesas de soldar que se encuentran en el taller cerrado.

La superficie total del taller o talleres de soldadura que se necesiten para un astillero determinado es función del ritmo del tonelaje de acero que ha de pasar por ellos. Para ello habrá que considerar que aproximadamente un 80% del acero del buque, o más, pasará por las mesas o plataformas de soldadura.

Actualmente se subcontrata a compañías auxiliares en el exterior del astillero gran parte de la fabricación de los bloques estructurales. Por ello, la superficie que se ha de destinar en la propia factoría a la soldadura y fabricación de la estructura depende

en gran manera de la política de la empresa. Otras veces, las compañías auxiliares realizan el trabajo en talleres situados dentro del astillero.

La producción semanal, en total de toneladas de acero de los bloques fabricados por semana y por unidad de área, en base a los turnos diarios de trabajo y duración que se establezcan, oscilará mucho con los tipos y dimensiones de los buques que se construyan. En los gigantescos petroleros, los espesores del material son grandes y las estructuras relativamente simples y pesadas, permitiendo alcanzar una producción semanal por unidad de área muy superior que la que puede lograrse en la construcción de cargueros de menores dimensiones y otros tipos de buques más pequeños.

En todo caso, la producción semanal por unidad de superficie depende, además, en gran medida, de los medios y procedimientos disponibles, automatización y robotización, organización del trabajo y otras circunstancias. Concretamente, en el Taller de Soldadura se ha comprobado que, con independencia del tipo y dimensiones del buque que se está construyendo, la capacidad de producción por unidad de superficie de las mesas puede mejorarse mucho con las siguientes medidas:

— Con un almacenamiento intermedio adecuado del acero elaborado, y facilidad de salida de los conjuntos prefabricados.

— Como regla general, absteniéndose de iniciar la prefabricación de un bloque hasta que se disponga de todos los elementos que lo componen.

— Destinando a cada bloque todo el personal que pueda trabajar de forma continua.

— Con una programación adecuada de la superficie de mesa que se ha de utilizar en cada bloque.

El Taller de Soldadura, además de la superficie apropiada de mesas de soldar, tendrá que adaptarse en su diseño y dimensiones a una serie de características tales como la altura necesaria para que las grúas puedan voltear los bloques, el peso total y por unidad de superficie que pueda resistir el piso, la anchura del taller, la anchura y altura libres de las puertas de salida, que limitarán las dimensiones del conjunto máximo que se puede fabricar, la capacidad y el número de grúas, servicios, etc., lo cual vendrá afectado por el tamaño del bloque máximo que se haya previsto construir, que a su vez viene condicionado por las dimensiones de las gradas y medios de elevación previstos en ellas.

2.7 Zona de Almacenamiento Intermedio

Las planchas y los perfiles elaborados en el taller de Herrero de Ribera salen por las distintas líneas del mismo para llegar a la zona de Almacenamiento Intermedio

"L", donde han de clasificarse y agruparse por lotes, que estarán constituidos por los conjuntos de elementos que han de formar cada uno de los bloques o sub-bloques. Esta tarea favorece el rendimiento de la siguiente zona según se ha citado en el punto anterior. Pero no es lógico realizar la ordenación del material en un espacio tan caro como es el del Taller de Soldadura, por ello se suele utilizar con esta finalidad el que hay entre los Talleres de Herreros de Ribera y de Soldadura, pudiendo estar incluido en aquél, que requiere menor altura de techo.

Como los distintos elementos saldrán de su proceso de labrado o elaborado en líneas paralelas, para su reagrupación será necesario disponer de medios adecuados de transporte transversal que se crucen con aquellas líneas.

El espacio que se necesitará para la clasificación y almacenamiento de los lotes dependerá de la agilidad con que se puedan programar los trabajos de las distintas líneas de Herreros de Ribera para simultanear la salida de elementos del mismo bloque. Un valor que se estima generalmente adecuado es de L = 10% G.

2.8 Taller de Elaborado

Siguiendo el orden inverso de la marcha de la cadena, se pasa a dimensionar el Taller de Elaborado de Acero, también llamado de Herreros de Ribera, en el que tendrá lugar la transformación de las planchas y perfiles de acero con las que se va a construir la estructura del casco.

La totalidad de las operaciones que hay que realizar en este taller queda comprendida en cuatro o cinco tipos de proceso de elaborado para lo que la superficie del taller se suele dividir en cuatro o cinco fajas paralelas, en cada una de las cuales se desarrollar completo el proceso elegido, de tal modo que los materiales se someten sucesivamente a las operaciones programadas, hasta salir por el otro extremo completamente elaborados antes de llegar a la zona de almacenamiento intermedio. Dichas operaciones de elaborado, así como la maquinaria específica necesaria se describen en el capítulo 9º. En esencia consisten en el trazado, corte y conformado de las chapas y perfiles y la fabricación de refuerzos, para elaborar las piezas a ser soldadas para formar los bloques y conjuntos estructurales de los buques.

Cada faja del taller deberá estar provista de la maquinaria necesaria para completar el tipo de proceso que se le asigne y dispuesta en el orden de la secuencia de fabricación para que los materiales avancen, como hemos dicho, por una línea continua. Entre máquinas deberá haber espacio suficiente para depositar los materiales a la salida de una operación, y poderlos tomar para someterlos a la siguiente, con la acumulación intermedia necesaria para asegurar la continuidad del flujo y de la actividad de todos los equipos de la cadena.

La superficie que ha de ocupar el Taller de Herreros de Ribera se decide a la vista del plano en que se haya planteado la disposición de la maquinaria. Actualmente, lo mismo que ocurre con la fabricación estructural de los bloques, es frecuente que el elaborado de las chapas y de los perfiles sea subcontratados a empresas del exterior, que normalmente realizan el trabajo en sus propios talleres, aunque también pueden realizarlo dentro del astillero si dispone de los mismos.

Las grandes máquinas de aplanar y las granalladoras e imprimadoras que se utilizaban para la preparación y protección anticorrosiva de la superficie de los aceros, y que hoy no suelen ser utilizadas en el astillero porque, tal como se dijo antes, las chapas y perfiles ya vienen tratados, solían ser montadas fuera del Taller de Herreros de Ribera, en edificaciones (a y b) al efecto que se disponían en el trayecto de los materiales que va del parque de aceros al Taller. Tenían que ser dotadas con el espacio y equipo auxiliar de transporte necesario para asegurar la continuidad del trabajo en ellas.

2.9 Parques de Acero

El principio de la cadena está constituido por el Parque de Aceros, en el que se recepciona, se ordena y se almacena el material del acero.

Normalmente el stock de aceros que se tiene en el parque es del orden del 10% de la producción anual del astillero, antes se llegaba un 40%. El moderno sistema organizativo que teóricamente permitiría los suministros *just in time* reduce los stocks necesarios.

2.10 Zona de Armamento

Las instalaciones principales de esta zona están constituidas por los Muelles de Armamento y los Talleres de Armamento.

En los primeros su característica fundamental es la longitud de atraque que hay que dimensionar en función de la eslora máxima del buque a construir y del ritmo de producción, del que dependerá el número de buques que se han de tener en período de armamento.

La falta de longitud de atraque obligará a situar los buques abarloados con todos los inconvenientes que esto conlleva, especialmente si las grúas no tienen suficiente alcance.

Si en estos muelles se han atracar también buques en reparación, habrá que considerarlo previamente para aumentar la longitud de atraque convenientemente.

También es de interés considerar la superficie disponible en dichos muelles, en la que se ordena y prepara el material y los conjuntos que se han de montar.

En cuanto a la configuración dependerá del espacio disponible y del frente al agua de que dispongamos.

2.11 Construcción del buque en gradas o en dique

Al llegar a este punto conviene mencionar las ventajas y desventajas de construir los buques en dique o en grada. Los diques de construcción ofrecen ventajas para la construcción de grandes buques, cuya botadura convencional en gradas es costosa, además de existir el riesgo de posibles daños estructurales debido a los grandes esfuerzos impuestos en el lanzamiento. Por otra parte, los diques de construcción ofrecen mayor altura libre de gancho a las grúas para el montaje de los bloques. No obstante, los diques de construcción presentan la desventaja de su elevado coste inicial, por lo que hay que estudiar cuidadosamente a priori si la inversión se puede amortizar y resulta rentable en función del número de buques que se podrán contratar y construir en un periodo determinado.

2.12 Construcción de buques a cubierto

Varios astilleros han sido modificados con la incorporación de áreas de fabricación bajo cubierto, como son diques o gradas dentro de una nave de construcción cerrada. Otros disponen de naves de construcción a la cabeza de las gradas, con sistemas de transferencia avanzados, instalados de tal forma que los cascos pueden ir siendo sacados del taller y transferidos a la grada o dique para su botadura. Tales medios permiten la construcción en un medio ambiente cerrado, proporcionando protección contra los perjudiciales efectos de mal tiempo, además de poder tener una magnífica iluminación durante las 24 horas del día.

Capítulo 3

El contrato de construcción

3.1 Gestiones previas al contrato

La construcción de un buque se inicia con su contratación. Esta puede lograrse por gestión directa o por concurso.

Cuando se contrata por decisión directa sin concurso de ofertas, el armador empieza por definir sus preferencias o necesidades que generalmente son: peso muerto, volumen de bodegas, clase de cargamento que se ha de transportar (si es congelado o refrigerado, mineral, grano, líquidos, etc.) y sus características, la carga en cubierta o cubertada (esto es muy importante porque puede dar lugar a dificultades con la estabilidad), la forma en que piensa cargar, es decir, el orden de estiba que puede tener según los puertos que ha de tocar, los medios de carga que necesita, la velocidad, la autonomía, etc.

Si el armador está bien asesorado no omitirá detalle, pero en caso contrario hay que interrogarlo para obtener estos datos y otros que han de repercutir en el proyecto inicial o anteproyecto y cuya omisión puede dar lugar posteriormente a que no esté satisfecho con el buque. A veces el armador puede tener predilección por cierto equipo propulsor o determinados equipos. Si el armador tiene un buen equipo en la oficina técnica, entregará incluso un esquema de especificación bastante completo. Con estos datos la oficina de proyectos desarrolla el anteproyecto, que se reduce al dimensionamiento del buque, el plano de disposición general, la sección estructural definida en la cuaderna maestra y la especificación del buque. En este anteproyecto hay que apurar las posibilidades de ajustarse a las características solicitadas, y cuando esto no es posible, habrá que discutir con el armador los detalles hasta llegar a un acuerdo.

Este anteproyecto habrá que modificarlo de común acuerdo según sea discutido, retocando características y especificación hasta conseguir un acuerdo final que, como es natural, incluirá el precio, las condiciones de pago y financiación y el plazo de entrega que se estipulen. Ahora hay que discutir y redactar las cláusulas del contrato que se va a firmar.

En la modalidad de concurso el cliente o armador suele anticipar un anteproyecto más o menos desarrollado, especificación y pliego de condiciones, que pueden ser preparados por su propio equipo técnico, ser encargados a un ingeniero o firma de ingeniería o ser adquirido también por concurso previo. Alternativamente, si el armador no hace entrega de su propio anteproyecto para poder preparar la oferta, comunica a los astilleros que deseen participar en el concurso, a los que normalmente se les exige que estén precualificados para poder concursar, las características más relevantes del buque y el pliego de condiciones, necesarios para que el astillero pueda preparar y redactar su propio anteproyecto, el cual forma parte de la oferta, y las características técnicas del mismo pueden ser uno de los criterios de decisión utilizados por el armador, además de las otras condiciones como son el precio, las condiciones de pago, el plazo de entrega, etc. Las ofertas podrán tener así algunas características técnicas diferentes con tal de que se amolden a las exigencias básicas requeridas por el cliente o armador.

Entrará con ello también a concurso la competencia técnica de la oficina técnica y del astillero para lograr el proyecto con las mejores características, de las que habrá de responder si gana dicho concurso y construye el buque, ya que si éstas hubieran sido impuestas por el cliente no debe tomar tal responsabilidad a menos que así lo declare de forma explícita.

Si se trata de concursos de oferta para la Administración Pública o entidades pertenecientes a la misma, habrán de seguirse las normas establecidas en la correspondiente legislación vigente para contratos con el Estado o Administraciones Públicas del país de que se trate.

Con la información suministrada por el armador se abre el concurso para la oferta de la construcción, que puede ser público o restringido entre los astilleros que desee el cliente, facilitando una copia a cada concursante y fijando un plazo para presentar las ofertas. En la fecha y hora señaladas se procede a la apertura de los sobres, generalmente ante notario, y se estudian las ofertas, lo cual no es tan sencillo como puede parecer a simple vista, porque la de menor precio puede tener plazo de entrega mayor o diferentes condiciones de financiación, por lo que es preferible que el pliego de condiciones sea lo más explícito posible en todos los detalles que vayan a decidir la contratación. Tomada la decisión, se firma el contrato con los documentos que fijen los compromisos y condiciones acordados, que en líneas generales se describen a continuación

3.2 Partes de que consta el contrato

El contrato es un documento público o privado en el que se establecen las condiciones que se han acordado previamente, para que el armador reciba del constructor el buque

que éste se compromete a construir, en un precio, plazo y lugar establecidos. Se indican también las condiciones necesarias para que el contrato entre en vigor de forma efectiva, como suelen ser que la Administración de su aprobación a la construcción y que se consiga la financiación necesaria, aparte otras que se puedan establecer.

Como en todos los contratos, hay que incluir un preámbulo en que se establece la identidad y representación de los firmantes, y lo que han convenido, y a continuación se especifican las cláusulas que, generalmente, se agrupan en las tres partes que siguen.

3.2.1 Primera Parte. Objeto del contrato. Especificación de contrato

En esta parte debe indicarse con toda claridad que es lo que se va a dar por el precio convenido. Se empieza por definir las características técnicas del buque o unidad de que se trate. Normalmente se hace referencia a la *especificación de contrato* que, firmada hoja por hoja, debe incluirse como parte de tal contrato.

Debe llevarse buen cuidado de no fijar características innecesarias para evitar conflictos posteriores. Por ejemplo, si se indica que el buque tendrá un peso muero de 4.000 t (toneladas) con un calado de 5,10 m y luego resulta que el certificado de francobordo sólo permite un calado de 4,90 m con el que sólo se alcanza un peso muerto (P.M.) de 3.700 t, tenemos un conflicto, porque sin alcanzar el buque el peso muerto previsto, tampoco se puede decir que se haya incumplido el contrato. Cuando se especifique una capacidad de peso en toneladas hay que discernir si son toneladas métricas o *long tons* o *short tons*, e igual sucede para otras unidades de peso. Lo mismo ocurre cuando se especifican capacidades de volúmenes, ya que, por ejemplo, hay diferentes tipos de galones.

Al armador le conviene fijar solamente aquellas características que le interesan técnicamente y al astillero, con sensatez, también le interesa que el cliente quede satisfecho, pues solo así asegurará su futuro.

Estas características, salvo casos especiales, son las siguientes:

a) *Peso muerto y capacidad de bodegas*: deberá además indicarse la carga máxima de cubertada que se piensa llevar y las condiciones especiales de carga que se deseen, capacidad de tanques de carga, etc.; e indicar que esta carga podrá ser transportada en condiciones de estabilidad, lastrado y trimado adecuadas, fijando incluso la tolerancia; pero en cambio puede no interesar fijar el calado correspondiente a menos que se tenga necesidad de imponer una limitación al mismo.

   Se indicará todo lo que debe comprender el contrato, incluyendo los certificados de inspección que se han de preparar y a cargo de quien serán, ya que su coste es de cierta importancia; y se fijarán los detalles que pudieran

tener un coste relativamente significativo, como si se desea que se suministre o no una maqueta del buque, etc. Se evitarán expresiones poco concisas como la expresión *de la mejor calidad*, que ha costado muchas discusiones y problemas a los astilleros.

b) *Velocidad*: deben aclararse las condiciones en que se ha de desarrollar determinada velocidad. Al armador le interesa más fijar la velocidad en servicio, pero esto es un dato muy poco concreto que no puede establecerse en un contrato porque dependerá del estado de suciedad del casco, del viento y de la mar, así como de los calados y del trimado. Como hay que *fijar unas condiciones para realizar las pruebas de mar* en las que se va a medir la velocidad del buque antes de ser aceptado por el armador, y muchas veces es un problema encontrar pesos para lastrar el buque a plena carga, se fijará la velocidad en pruebas con determinados calados y trimado, limitando también la potencia que el motor ha de dar en esas condiciones.

   Si en el contrato se establece la velocidad a plena carga y esta condición no se pudiera alcanzar en las pruebas por las razones indicadas, se puede deducir dicha velocidad de la que resulte en pruebas con una condición de carga distinta, por medio de curvas que se solicitarán al Canal de Experiencias Hidrodinámicas.

   Con los resultados obtenidos puede deducir el armador, para su gobierno, la velocidad que puede esperar en servicio, de acuerdo con su experiencia y teniendo en cuenta que es costumbre llevar los motores al 85% - 90% de su potencia máxima continua.

c) *Consumo*: es costumbre establecer un consumo del buque navegando, que se suele expresar en *gramos de F.O. consumido/ C.V. x hora (actualmente se da en g F.O./kWh)*, pero para que esto tenga cierto sentido debe fijarse el régimen de navegación (velocidad del buque, calados, condiciones del mar) y del motor (RPM y potencia) y los auxiliares que han de estar en marcha, que generalmente serán los que necesita el motor para su funcionamiento a ese régimen, y potencia consumida que afecte al consumo necesaria para servicios generales propios de la carga o misión específica del buque y condiciones de habilitación como puede ser el aire acondicionado funcionando, alumbrado, gobierno, etc.

   Debe fijarse la duración de la prueba que, para que tenga algún significado, debe ser larga y después del tiempo suficiente para que la máquina se ponga a régimen, ya que en frío el consumo puede ser excesivo.

La medición de consumo de F.O. se efectuará en un tanque tarado o por medio de un contador calibrado de consumo de combustible. La potencia se puede obtener de las curvas de pruebas de potencia al freno del motor principal en banco, aunque el procedimiento más fiable es obtenerla a partir de la medida del par desarrollado por el motor a partir de la medida un torsiómetro colocado sobre el eje y de la medida de las RPM del motor.

$$Pot\ (kW) = 2\pi Par\ (Nw.m)\ .\ RPM/60000$$

Para que la referencia del consumo de combustible sea correcta, ha de especificarse el *poder calorífico del mismo usado para las pruebas y su viscosidad*.

d) *Otras características técnicas*: las que se desee establecer: capacidad, temperatura y humedad de las bodegas refrigeradas, limitación de arqueo, sociedad de clasificación etc., pero sólo se incluirán las generales y alguna en particular que revista importancia destacada para figurar en el contrato. El resto de las características y los detalles se recogerán en la especificación.

e) *Pruebas antes de la entrega*: para evitar discusiones posteriores se fijarán claramente las condiciones en que se han de efectuar las pruebas de entrega como son, en el caso de las llamadas pruebas de mar, las características y estado de la mar, condiciones meteorológicas, etc.

Antes de las llamadas *pruebas de mar*, antes citadas, que son propiamente las pruebas de entrega, deben realizarse en el astillero, con el buque atracado, lo que se llaman las *pruebas sobre amarras*, en las que, con el buque atracado, se comprueba el arranque del motor principal y auxiliares y se comprueba el funcionamiento de las máquinas, instalaciones y servicios principales.

También, previamente a las pruebas de mar, se ha de realizar la *predicción del peso muerto* mediante la determinación del peso real en rosca a partir de la medición del calado real del buque en esa condición y, a partir de esta cifra, la predicción del peso muerto como diferencia al desplazamiento al calado de proyecto, determinados por cálculo en las curvas hidrostáticas.

Igualmente, se ha de realizar la *prueba de estabilidad* a partir de la determinación del GM real del buque correspondiente a su condición en rosca, mediante la medida del ángulo de inclinación causado por traslado horizontal de un peso conocido. Comprobado ese dato, se puede calcular el GM del buque en las diferentes condiciones de carga a las que a vaya a ser sometido.

f) *Repuestos*: en la especificación de contrato se indicará cuáles son los repuestos (frecuentemente aparece este concepto en la jerga naval con el nombre de

respetos) de los diversos equipos que se entregarán con el buque, a cuenta del constructor, para los cuales habrá que prever además espacio y, en casos, soportado y sujeción adecuados a bordo. Normalmente se hace referencia a los repuestos recomendados por la Sociedad de Clasificación para un año de operación pero, en caso que el armador requiera otra cosa, hay que tenerlo en consideración, ya que para algunos equipos puede tener repercusiones muy importantes en el coste.

g) *Suministros por parte del armador*: es habitual que el armador sea el suministrador de ciertos equipos y materiales, que en casos tienen una importancia fundamental, como pudiera ser en el caso de que uno de los suministros del armador fuera el motor propulsor, o el acero del casco, o ambos.

   En estos casos hay que fijar en el contrato quien correrá con determinados costes y responsabilidades como gastos de transporte, almacenaje, seguro de conservación, consecuencias de incumplimiento del plazo de entrega de los materiales por parte del armador, etc.

   Es muy importante tener en cuenta que, a fin de evitar discusiones posteriores, que pueden ser muy costosas para el astillero y para el armador, se fijarán claramente en el contrato las condiciones en que se han de efectuar las pruebas para aceptación del buque en su entrega, así como otras posibles condiciones.

3.2.2 Segunda Parte. Plazo de entrega, precio y condiciones de financiación

a) Para definir el plazo de entrega debe especificarse no sólo la fecha sino el lugar y las condiciones en que el buque será recibido por el armador, concretando las pruebas que han de realizarse y los cargos y pertrechos que debe contener.

b) Es fundamental fijar la paridad de la divisa en la cual se van a realizar los pagos, y estudiar la conveniencia de suscribir una póliza de seguro de cambio así como la estimación de su coste, y determinar quién se hará cargo del mismo.

c) El precio puede estipularse fijo o variable. En este último caso se establecerán las condiciones de revisión que figuran en un anexo tal como se expone más adelante.

d) En las condiciones de financiación se establece el importe que el armador ha de abonar hasta el momento de recibir el buque, y la parte que queda diferida, con los fraccionamientos, plazos e intereses que se acuerden. La parte que ha de adelantar el armador, como la construcción dura bastante tiempo, se fracciona también, y en el contrato se especifican los plazos de pago convenidos.

En principio un astillero no es una institución de crédito, pero la necesidad de contratar y la competencia mundial han obligado a las direcciones comerciales a moverse en el mundo de las finanzas y, si bien el astillero no dispone generalmente de tesorería para financiar el fabuloso volumen que representa el crédito que hay que conceder, se encarga de buscar el apoyo de entidades crediticias que, en casos, pertenecen al mismo grupo financiero que el astillero. Hoy en día los contratos que se firman se establecen en base a un crédito al armador que se pudiera estimar, sólo como cifra orientativa, del orden del 80% del valor del buque a amortizar en un plazo de 8 a 10 años, con un interés "preferencial".

3.2.3 Tercera Parte. Garantías, penalizaciones y premios. Avales

El contrato de construcción de un buque es un típico ejemplo de contrato llamado *en obra* en el que el constructor se compromete a entregar un bien físico, normalmente de gran coste, que sólo existe en papeles, por lo que los conceptos de garantías y avales son muy importantes.

En esta parte deben establecerse las garantías que se ofrecen tanto de una parte como de la otra. El constructor ha ofrecido un objeto con una serie de características técnicas que debe cumplir. Durante cierto plazo que sirve de garantía, el constructor responde del objeto vendido, siempre que éste no haya sido sometido a trato inadecuado.

Se comprende igualmente que el constructor tampoco puede responder de todas las consecuencias de un fallo, por lo que en estas cláusulas hay que establecer con toda claridad el alcance de la responsabilidad que el constructor se compromete a aceptar durante dicho periodo de garantía.

Normalmente se responde contra todo defecto de fabricación, comprometiéndose a reponer la pieza defectuosa, pero no de las consecuencias *(o daños consecuenciales)*, responsabilidad que, para el constructor, es de vital importancia excluir expresamente en el contrato, sobre todo cuando se trata de contratos para otros países, sujetos a una legislación que puede ser difícil de conocer en todo su alcance.

El armador obtiene el compromiso real del astillero de responder de los citados defectos del buque por un importe del orden del 5% durante el periodo de garantía, demorando el pago del último plazo hasta que esté vencido dicho periodo, que normalmente es de un año, aunque con frecuencia es de 18 meses, y en casos de 24.

Hay que distinguir, no obstante, a fin de evitar la confusión a que puede dar lugar el usar habitualmente el mismo término para las garantías citadas (que responden

de defectos de fabricación); y para las garantías del crédito que exigen las entidades financieras, así como para los denominados avales que, aunque constituyen en realidad una forma de garantía, responden a otros conceptos, como se explica más abajo.

Para cubrir los defectos que sean de difícil solución en características técnicas, como la velocidad, el peso muerto, la capacidad de las bodegas, etc., y/o las demoras en la entrega, que normalmente causarán un perjuicio económico grave al armador, se acostumbra a imponer penalizaciones en escala progresiva según el alcance del defecto, que consisten en multas de determinado importe, que reducen el precio del buque y que pueden llegar a la rescisión del contrato, con indemnización por el perjuicio que el armador ha sufrido.

Las penalizaciones se establecen generalmente sobre el plazo de entrega, sobre el peso muerto y sobre la velocidad. En el primer caso, la escala de penalizaciones se define por meses y a veces hasta por semanas de retraso, estableciendo alguna de margen. En el segundo, sobre cada cantidad o porcentaje de toneladas de menos. Y en el tercero, sobre cada décima de nudo de velocidad que el buque dé de menos. Naturalmente pueden establecerse otras penalizaciones sobre otras características según el interés del armador, como por ejemplo puede ser sobre el consumo, sobre el volumen de bodegas, sobre la capacidad frigorífica, etc.

Por el contrario, cuando las características del buque resulten más brillantes que las contratadas, el constructor tiene también el derecho, si el armador que se va a beneficiar lo acepta, de establecer unas primas o premios que se fijan sobre las mismas bases que las penalizaciones.

El constructor también tiene derecho a exigir ciertas garantías, por lo que se acostumbra a establecer en el contrato lo que aquél podrá exigir en el caso de incumplimiento del pago de alguno de los plazos por parte del armador.

Si la venta se efectúa con créditos, el constructor, si es él quien provee la financiación, tomará también las garantías que considere oportunas, siendo la más corriente el exigir una primera hipoteca sobre el buque en el momento de la entrega.

Cuando se trata de buques que se han acogido a una financiación por terceros, esta hipoteca la exige la propia entidad financiera. Además, tanto en un caso como en otro, debe exigirse un seguro del buque que incluya todas las cláusulas que aconseje la asesoría jurídica y, naturalmente, a favor siempre en primer lugar de quien concede el crédito.

Es frecuente también que una, o las dos partes contratantes, se exijan garantías recíprocas (avales, *grants* en inglés) que cubran los perjuicios que un eventual

incumplimiento, la cuestionable solidez, seriedad o solvencia de una o ambas partes, o un acontecimiento (por ejemplo, una bancarrota), pueda producir a la otra parte. Este tipo de garantías pueden ser garantías reales, consistentes en depósitos reembolsables, realizados por una de las partes contratantes (o por una tercera) en una entidad financiera determinada, y pagaderos a favor de la otra en caso de incumplimiento de la primera; y pueden consistir también, si ello es aceptado, en garantías formales como una simple carta o compromiso que, aunque escrito, la ejecución de su contenido requería posiblemente litigio judicial.

3.2.4 Cuarta Parte. Parte jurídica

En esta parte se establece la forma en que se han de resolver las diferencias y litigios que puedan surgir entre las dos partes en su interpretación del contrato, cuya redacción tiene una gran trascendencia, por las consecuencias que puede tener para las partes, incluida la anulación si se diera el caso.

a) Aunque en el contrato deben quedar establecidos todos los detalles incluyendo quien ha de pagar los impuestos, derechos, etc., que puedan derivarse, la posibilidad de encontrar criterios contrapuestos en la interpretación del mismo y de las especificaciones es siempre grande. Por ello conviene tener prevista la forma de resolver estas diferencias, bien sea:

   — Mediante normas que regulan una amistosa componenda.

   — Mediante arbitraje previsto, que suelen constituirlo un árbitro designado por el constructor, otro por el armador y un tercero neutral que puede ser una entidad o persona reconocida, normalmente en el ámbito internacional, un cargo determinado, o un inspector de una sociedad de clasificación.

b) Otros aspectos jurídicos que se recogen en el contrato son por ejemplo *el derecho de dominio, seguros durante la construcción, circunstancias de fuerza mayor, etc.*

c) Por último, se establece la forma de resolver la quiebra de alguna de las partes durante la construcción y las medidas de protección de ambas partes por incumplimiento del contrato por parte de la otra.

d) Es muy importante indicar en el contrato la legislación y el país correspondiente, por la cual se regirá el mismo. El no hacerlo así, por ignorancia, puede dar lugar a tremendos perjuicios.

3.3 Revisión de precios

Aunque algunos contratos se han tenido que firmar conviniendo un precio fijo, su tiempo de duración suele ser lo suficientemente largo para que antes de la entrega del buque se produzcan variaciones imprevistas de precios de los materiales, de los equipos, y de la maquinaria que se ha de montar en el buque, así como de jornales y salarios y de la paridad de la moneda en que se ha establecido realizar los pagos. Estas variaciones pueden alcanzar valores tan importantes que, de no tener prevista en el contrato una fórmula que permita revisar el precio y, en el caso de variaciones en la paridad de las monedas, un póliza de seguro que proteja de las consecuencias negativas este evento, el resultado puede ser desastroso para el astillero.

Dicha fórmula de revisión puede basarse en los datos que publica el Boletín Oficial de Estadística, como se hace en otros países o en cualquier otro medio aceptable, con tal de que esté bien definido en el contrato.

En el contrato pueden acordarse partidas que estén sujetas a revisión directa según haya sido el coste real de compra por parte del astillero, como pueden ser para el acero, el equipo propulsor, etc.

Restando las partidas a revisión directa del precio total del contrato, quedará el resto del precio sujeto a otro tipo de revisión que puede efectuarse mediante una fórmula que determine el valor de un índice que represente la influencia ponderada de los aumentos de precios de los distintos conceptos que componen las partidas del buque restantes, no sometidas a revisión directa, en el precio contratado.

Capítulo 4

Planificación

4.1 Necesidad de la planificación

En un astillero en que no se planifique el trabajo, las cosas ocurrirían poco más o menos del siguiente modo: cuando un operario termina un trabajo, lo comunica a su encargado preguntando lo que hay que hacer. Lo primero será desembarazarse de la pieza terminada y colocarla donde no moleste hasta que quien ha de continuar el proceso siguiente venga a llevársela. Después hay que encontrar un nuevo trabajo para el operario.

El encargado con solo una idea aproximada del orden de precedencia de las tareas, y sin una visión orgánica de los recursos de otros talleres, ordena el trabajo que, de una forma puramente intuitiva, considera adecuado. El operario entonces deberá partir en busca del material necesario sin saber siquiera si está en almacén o si ha sido ya sometido a las tareas precedentes del proceso. Si tiene la suerte de hallarlo y al mismo tiempo ha encontrado un equipo de maniobra para transportarlo a su puesto de trabajo, podrá empezar a hacer algo siempre que tenga máquina disponible.

La realidad es mucho más complicada porque puede ocurrir que el material destinado a una construcción se haya empleado en otra para salvar una falta, y mil peripecias más que, desgraciadamente, ocurren aun en factorías bien organizadas.

Andando así las cosas, de pronto empieza a extenderse la sensación de que una construcción se está retrasando, y a partir de este momento, todos los trabajos para esta construcción llevarán la coletilla de "urgente". Como casi todos los trabajos son ya urgentes, el resultado es que ya no puede haber nada urgente. Para salvar el bache pronto asignaremos a una operación la denominación de "urgentísima" y para restablecer el equilibrio pronto seguirán las demás. Se pasa entonces a la denominación de "precedencia absoluta" y a la de "¡Inmediata!", hasta que, por falta de vocabulario, y agotadas las interjecciones más sonoras, hay que comenzar de nuevo por el principio.

Quienes han trabajado en un astillero saben que esta descripción, un poco teatral, es una realidad que refleja las dificultades con que hay que desenvolverse cotidianamente, hasta que llega un momento en que se empieza a creer que todo ello forma parte del trabajo y se acepte la situación como inevitable resignándose pasivamente a este estado de cosas.

Por supuesto que no cabría hablar de retraso si no hay establecida previamente una fecha de entrega, y esto en sí ya constituiría una programación. Hay que tener presente que, para contratar un buque, hay que empezar por fijar una fecha de terminación y entrega del mismo y, desde ese punto de vista, se podría decir que existe una programación. Sin embargo, los innumerables impulsos que han de conducir a la terminación del buque, necesitan una fuerza ordenadora que los coordine. La diferencia estriba en que esta fuerza sea puramente intuitiva y personal de cada jefe de sección, o en la aplicación de una fuera exterior, ajena a los elementos productores, con una visión completa del conjunto, que, de forma detallada y científica, determine los momentos en que deben desarrollarse cada uno de los trabajos.

En caso contrario, la consecuencia inmediata de una planificación defectuosa es el retraso, el retraso crónico que acompaña a cada operación y que se traduce en pérdidas:

— Por el descontento del cliente.

— Por la aplicación de penalizaciones por retraso.

— Por los suministradores, que al percibir que los atrasos en los plazos que se le exigen no son normalmente la causa de los retrasos de los buques, sino que ésta consiste en la falta de organización del astillero, empiezan a no respetar ninguno, en beneficio del trabajo para otros, o en beneficio de los menores costes para su empresa, al realizar los trabajos *sine die* con mayor comodidad.

— Por la pérdida de tiempo de los operarios que esperan para realizar un trabajo.

— Por interrupciones ocasionadas por la falta de algún elemento indispensable para completar un conjunto.

— Por interrupciones ocasionadas por falta de máquinas o elementos de trabajo en el momento oportuno.

— Por la estancia prolongada en almacén de materiales costosos y la consiguiente inmovilización de capital.

— Por no poder facturar oportunamente los plazos previstos.

Todos estos obstáculos que merman la productividad del astillero son los que han de salvarse con la planificación, pero ésta ha de ser profunda y completa. No basta con la mejora de los métodos de trabajo, la provisión abundante de medios y la organización espectacular de determinado trabajo. Las toneladas de acero que pueden labrarse en algunos golpes de mano audaces no señalan precisamente la media total del año, del

mismo modo que un automóvil viajando puntualmente con velocidad máxima muy superior a la permitida puede llegar más tarde a la meta, aparte de los riesgos a que se expone. Con la mejora de métodos podemos elevar la productividad instantánea, con la planificación lo que se pretende es elevar la productividad media total.

4.2 Planificación dinámica

Hace ya mucho tiempo que se ha reconocido la necesidad de separar la actividad de la preparación del trabajo de la de la ejecución del mismo y de la del control de la producción. El mérito de la aplicación sistemática de esta idea se atribuye a Taylor, cuyos métodos son todavía válidos en gran parte.

La actividad principal de la planificación es la programación por la que se establece "donde" y "cuando" se ha de desarrollar la ejecución de los trabajos elementales que conducen a la construcción del conjunto.

Pero la programación no puede ser un producto estático en sí, sino un fenómeno dinámico que ha de subsistir en contacto directo con la producción para seguir estrechamente su marcha. Esto se logra por medio del control, con el que se realiza una realimentación (*feedback*) de la cadena del proceso, manteniéndolo en actividad permanente.

Así, como se puede ver en el gráfico que sigue, a una orden de trabajo sigue una programación de la que salen los planes de trabajo que se trasmiten al astillero para su ejecución.

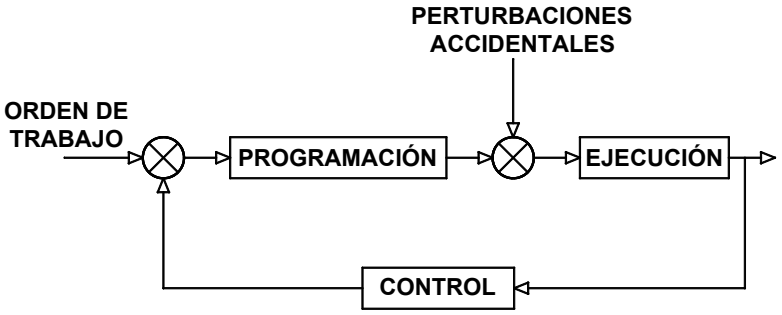


Fig. 4.1 Esquema de funcionamiento de Programación Dinámica.

Sobre esta última inciden inevitablemente perturbaciones accidentales que impiden que la realización se ajuste totalmente a lo programado. El sistema de control recoge la información relativa a la marcha de la ejecución y la entrega seguidamente al servicio de programación en el que se coteja con las previsiones establecidas y con las nuevas

órdenes recibidas, modificando, según sea necesario, los planes que han de entregarse a producción para proseguir el trabajo. De este modo se consigue una programación dinámica activada permanentemente que, al permitir su continua adaptación a los acontecimientos, la hace mucho más eficaz.

La programación en un astillero tiene dos aspectos netamente distintos: la programación a largo plazo y la de corto plazo.

La primera cubre los intervalos largos de tiempo en los que se desarrolla un contrato; establece las fechas fundamentales en que deben cumplirse ciertas operaciones clave, determina los momentos en que deben recibirse los materiales, la secuencia de elaboración de planos y fija los límites de la programación a corto plazo. En general, la programación a largo plazo es una planificación completa de trabajo que no desciende al detalle de las operaciones elementales, sino que fija las líneas generales sobre las que habrán de desenvolverse todas las actividades necesarias para el cumplimiento del proyecto.

Naturalmente, esta programación a largo plazo no deberá hacerse de una forma arbitraria, sino que debe determinarse por procedimientos científicos que se estudian más adelante. La de corto plazo abarca períodos mucho más reducidos de 15 a 60 días, y entra en los detalles de todas las operaciones que han de efectuarse en el período, determinando el momento en que deben suceder.

El detalle a que se debe llegar y el intervalo de tiempo a cubrir con la programación a corto plazo no son arbitrarios, dependiendo principalmente de la velocidad y de la capacidad del sistema de transmisión y proceso de datos que se haya adoptado.

El tiempo que transcurre desde que se manifiesta una irregularidad hasta que el servicio de programación ha hecho llegar a todas las partes interesadas el programa modificada en el que se recoge ya la influencia de dicha anomalía es el tiempo mínimo que puede considerarse en la programación. Si la duración del ciclo es por ejemplo de dos o tres días, la programación podrá establecer las fechas de comienzo de las tareas con una aproximación de tres días mientras que, si es de siete, la aproximación tendrá que ser semanal.

El procesado de datos en programación se hará con una frecuencia proporcionada a los medios disponibles. Si el período de la programación es de tres o siete días, no quiere decir que cada tres o siete días se haga una distribución de órdenes de trabajo, sino que las órdenes de trabajo, que se distribuyen a diario, tengan ya en cuenta la situación existente tres o siete días antes.

Esta aproximación del programa constituye el período de holgura, dentro del cual el taller tiene autonomía de reparto de los trabajos. Para que no haya confusión,

el volumen de trabajo que debe administrar cada encargado debe ser fácilmente controlable por una persona que, sin cualidades excepcionales, pueda reconocer las precedencias, los recursos y otras exigencias, de modo que pueda tomar decisiones válidas y conscientes dentro de los límites asignados.

Además de la consideración del tiempo, la programación a largo y corto plazo difieren también por la materia que traten. Mientras la de corto plazo regula solamente el desarrollo de las operaciones relativas a la propia fabricación, la otra considera también otros aspectos necesarios, como son: la ordenación de materiales y gestión del almacén, la preparación de planos, el control y verificación de los trabajos, y también, ya que es una actividad necesaria y que consume un tiempo importante, la propia actividad de preparación de los trabajos y de programación a corto plazo.

4.3 Instrumentos de la programación y control

4.3.1 El diagrama de previsión (o de precedencias)

Es un diagrama en el que las abscisas expresan el tiempo (en horas, días o semanas laborales) y en las ordenadas se disponen los distintos elementos que componen una unidad. La duración de cada uno de los trabajos a que se someten los elementos se representa por un trazo horizontal de longitud proporcionada a la misma.

A la terminación de cada elemento, estos trazos confluyen para constituir subconjuntos, conjuntos, bloques y unidades de nivel superior.

En este tipo de diagrama se pone de manifiesto la conexión cronológica de las distintas partes que forman un conjunto, como puede apreciarse en la **Fig. 4.2**, señalando las fechas relativas en que tiene que estar terminado un trabajo antes de poder empezar otro, la precedencia necesaria de las operaciones y la fecha límite en que pueden empezarse las distintas tareas sin retrasar todo el conjunto. Se llama por ello "diagrama de previsión teórica", porque en él se ha supuesto que los trabajos que abarca se pueden desarrollar en el momento señalado como si se dispusiese de toda la capacidad productiva del astillero y de cada uno de los talleres.

Un diagrama de previsión puede ser más o menos detallado según que los componentes de sus líneas representan a su vez un conjunto más o menos detallado de operaciones. En general, para la construcción de un buque, no convendrá llegar directamente a un diagrama demasiado detallado. Es preferible formar un primer diagrama a un cierto nivel, para elaborar después los diagramas detallados de previsión de cada una de los componentes separados del primero. Sin embargo, como veremos, en los diagramas con líneas representando operaciones más complejas, la relación de precedencia puede

no ser tan rígida, en el sentido de que no será preciso esperar a que termine totalmente una de ellas para empezar la siguiente, lo cual permitirá ciertos solapamientos entre ellas con los que se puede acortar los tiempos totales del conjunto.

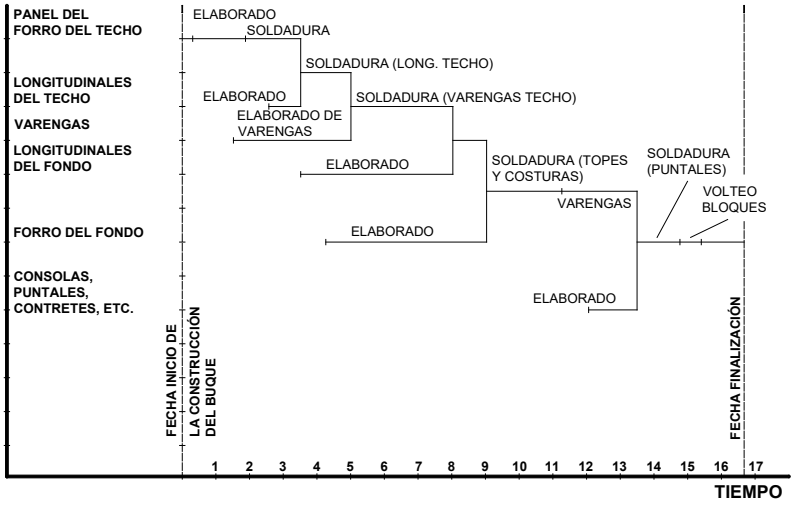


Fig. 4.2 Diagrama de previsión para la construcción de un bloque de doble fondo con estructura longitudinal.

En la realidad, las distintas secciones del astillero no tienen una capacidad ilimitada, admitiendo solamente cierta carga de trabajo. Para tener esto en cuenta, habrá que adelantar o retrasar las fechas de iniciación de las operaciones que figuran en los diagramas de previsión teórica, posponiendo si es preciso la fecha de terminación del conjunto. Esto se hace computando todas las cargas de trabajo de los distintos diagramas que gravitan sobre el mismo taller o sección, y desplazando las líneas para no exceder las cargas de trabajo de cada uno de ellos.

El diagrama que resulta, en el que en la escala de tiempo de las abscisas figuran ya las fechas efectivas, se denomina el "diagrama de previsión real".

4.3.2 Diagrama de carga de trabajo

Cada sección, taller, o puesto de trabajo del astillero, tenida en cuenta de los medios de que dispone, tiene un potencial máximo de producción bien definido. Este potencial puede medirse de distintas formas: toneladas/día, horas de trabajo/día, nº de piezas/día. En la misma unidad puede medirse el trabajo asignado y el efectivamente realizado.

Construyendo un diagrama con tiempos en las abscisas y trabajos por unidad de tiempo en las ordenadas, y adicionando en estas últimas los correspondientes a todas las

construcciones, tendremos representada la carga de trabajo de cada sección, quedando el volumen de trabajo de cada construcción reflejado en el área correspondiente, como se indica en la **Fig. 4.3**.

Para pasar del diagrama de previsión teórica al de previsión real hay que servirse de los diagramas de carga de trabajo de todas las secciones interesadas, sumando los nuevos trabajos a la carga existente hasta el límite del potencial máximo, y siempre que sea posible dentro del normal.

Este diagrama puede elaborarse con cargas reales o con cargas previstas, en cada caso con fines diferentes. En el primer caso refleja una situación de régimen en el que queda claro el concepto de la carga de trabajo.

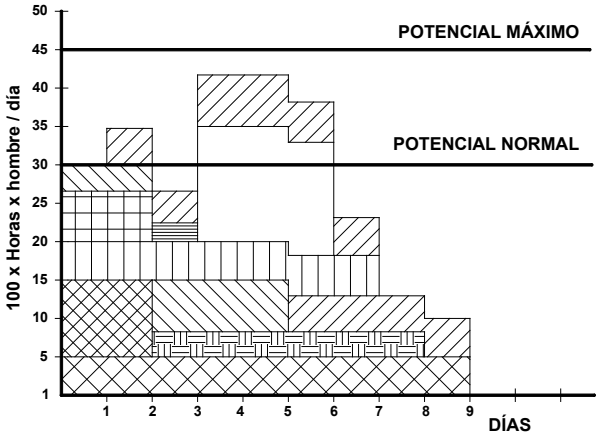


Fig. 4.3 Diagrama de carga de trabajo.

Si se trata de prever las cargas del taller, sobre el diagrama en la situación en que se encuentra, hay que superponerle la nueva carga. Esta, generalmente, no tiene una forma arbitraria. En la ficha del nuevo trabajo tendremos indicado no sólo el volumen total de unidades de trabajo o de horas hombre que necesita, sino un gráfico de la forma máxima en que se pueden aplicar, que no tiene porque ser precisamente rectangular, ya que el proceso tecnológico que se esté siguiendo solo permitirá diariamente la utilización de un número máximo de hombres. En la ficha tendremos también indicada la fecha en que debe estar terminada, y la fecha más temprana en que puede empezar.

Al superponer una nueva carga con el gráfico existente, hemos de procurar mantenernos dentro del potencial normal que supone la carga de trabajo total resultante en el taller sin turnos ni horas extraordinarias. Cuando no es posible efectuar la distribución sin salirnos de las fechas previstas, habrá que sobrepasar la carga normal pero sin exceder la máxima.

Podremos también adelantar el comienzo aprovechando los huecos disponibles del diagrama que representan los recursos residuales. Cuando no hay otro remedio habrá que retrasar la fecha de entrega y en este caso habrá que alterar la previsión establecida.

Una previsión de este tipo, que no siempre es técnicamente posible, debe modificarse cada vez que se presenta la necesidad de ponerlo al día con las nuevas órdenes.

4.3.3 Diagrama de avance de obra

En este diagrama, que aparece en la **Fig. 4.4** se refleja el avance del trabajo medido en las unidades convenientes, como pueden ser toneladas de acero montadas, tanto por ciento de la obra, *"horas x hombre" o "jornadas x hombre"*, que se registran en las ordenadas respecto al tiempo que figura en abscisas.

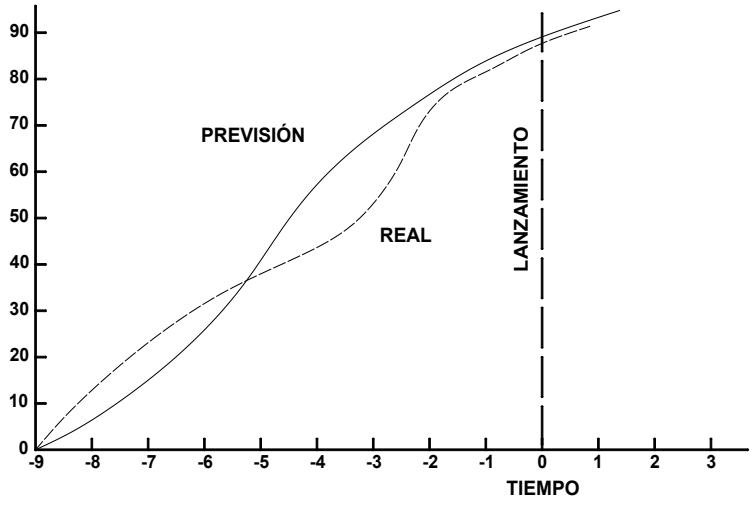


Fig. 4.4 Diagrama de avance de obra.

Conviene disponer, además del diagrama del conjunto de la obra, de los de las partes más importantes, como el casco, montaje del aparato propulsor y de la maquinaria auxiliar, de los servicios de tubería, instalación eléctrica, de la habilitación, etc.

La mayor utilidad del gráfico de avance de obra se obtiene si, como se indica en la **Fig. 4.4**, se confronta la curva del diagrama de previsión, realizado con precisión, con el de avance real. De este modo pueden apreciarse las desviaciones y tomar las medidas correctivas que sean necesarias.

4.3.4 Ficha de trabajo

Ficha de trabajo es el documento elemental de la programación a corto plazo. De esta hoja se obtendrán los datos para la verificación real de los costes por secciones y por obras, la liquidación de las primas de los operarios y los datos para las estadísticas.

En la **Fig. 4.5** se ve un ejemplo de este tipo de hoja, que se divide en tres partes. La primera sirve para la identificación del trabajo, en la segunda figura la información relativa al tiempo asignado y a la programación, el punto de donde se debe retirar el material al principio del trabajo y donde se debe entregar la pieza o trabajo realizado, el tiempo asignado incluyendo las horas eventuales de preparación, así como el unitario cuando se aplica una tarifa. Las horas totales son la suma de las de preparación, y las efectivas aumentadas en la prima si se diera el caso de utilizar este sistema de incentivo. Esto sirve para la liquidación de las nóminas de los operarios.

En la casilla de precedencia se indican los trabajos que necesariamente hay que comprobar que se han realizado antes del comienzo de la tarea. Las otras casillas se explican por sí solas.

En la tercera parte se anotan las fechas efectivas de iniciación y terminación del trabajo, las horas totales efectivas y las observaciones de verificación si procede.

En el dorso van anotados los operarios que han intervenido con la distribución de horas y tipo de ellas (nocturna, extra, etc.).

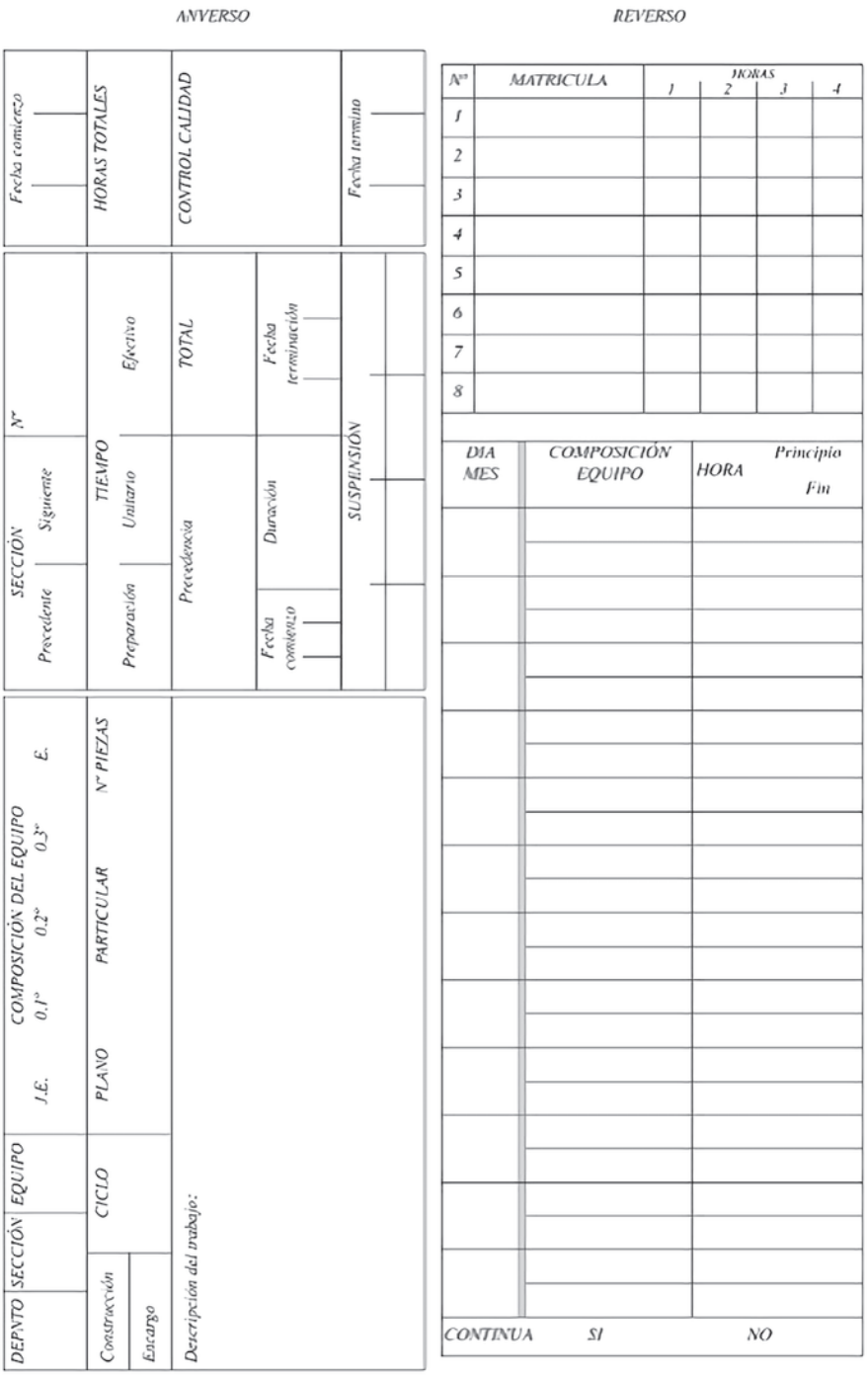


Fig. 4.5. Ficha de trabajo.

En la parte inferior se señalan con relojes marca tiempos o con registradores de la producción los tiempos de trabajo efectivo, haciendo referencia a los números señalados en la parte superior.

4.4 Organización de la Programación

La programación de la obra se efectúa en tres fases distintas:

1. Programación de máxima.
2. Programación a largo plazo.
3. Programación a corto plazo.

4.4.1 Programación de máxima. Plan maestro. Hitos en la construcción

La programación de máxima de una obra se realiza cuando el contrato está todavía en gestión. La oficina de programación tiene que formular un programa de máxima, descomponiendo la construcción en grandes conjuntos y, teniendo en cuenta las cargas existentes, comunicará a la Sección Comercial la fecha mínima aceptable para el contrato.

En primer lugar, hay que calcular el periodo estrictamente necesario para la construcción, suponiendo que todo el potencial del astillero está disponible para este proyecto.

Este tiempo se compone de los tiempos necesarios para:

— La programación a largo plazo.

— La preparación de los planos de construcción.

— El aprovisionamiento de materiales y equipos.

— La evaluación de tiempos.

— La programación a corto plazo.

— El tiempo efectivo de trabajo.

Todos estos tiempos no se suman siguiendo el calendario, sino que se solapan más o menos según unas leyes de precedencia. Teniendo todo ello en cuenta, se puede establecer la duración mínima de la obra, lo que, a partir de la fecha actual, permite establecer la fecha teórica antes de la cual es imposible terminar la construcción, aún en el caso en que pudiéramos dedicar todos nuestros recursos a esta obra.

Tomando luego en cuenta las cargas de trabajo de los compromisos ya adquiridos se determina la fecha antes de la cual no se puede efectuar la entrega sin modificar las fechas de entrega de los demás contratos en curso.

Para calcular estas dos fechas se cuenta con los siguientes elementos:

— Número de los grandes conjuntos en los que puede dividirse la construcción.

— Número de horas, semanas o meses necesarios para el proyecto, delineación.

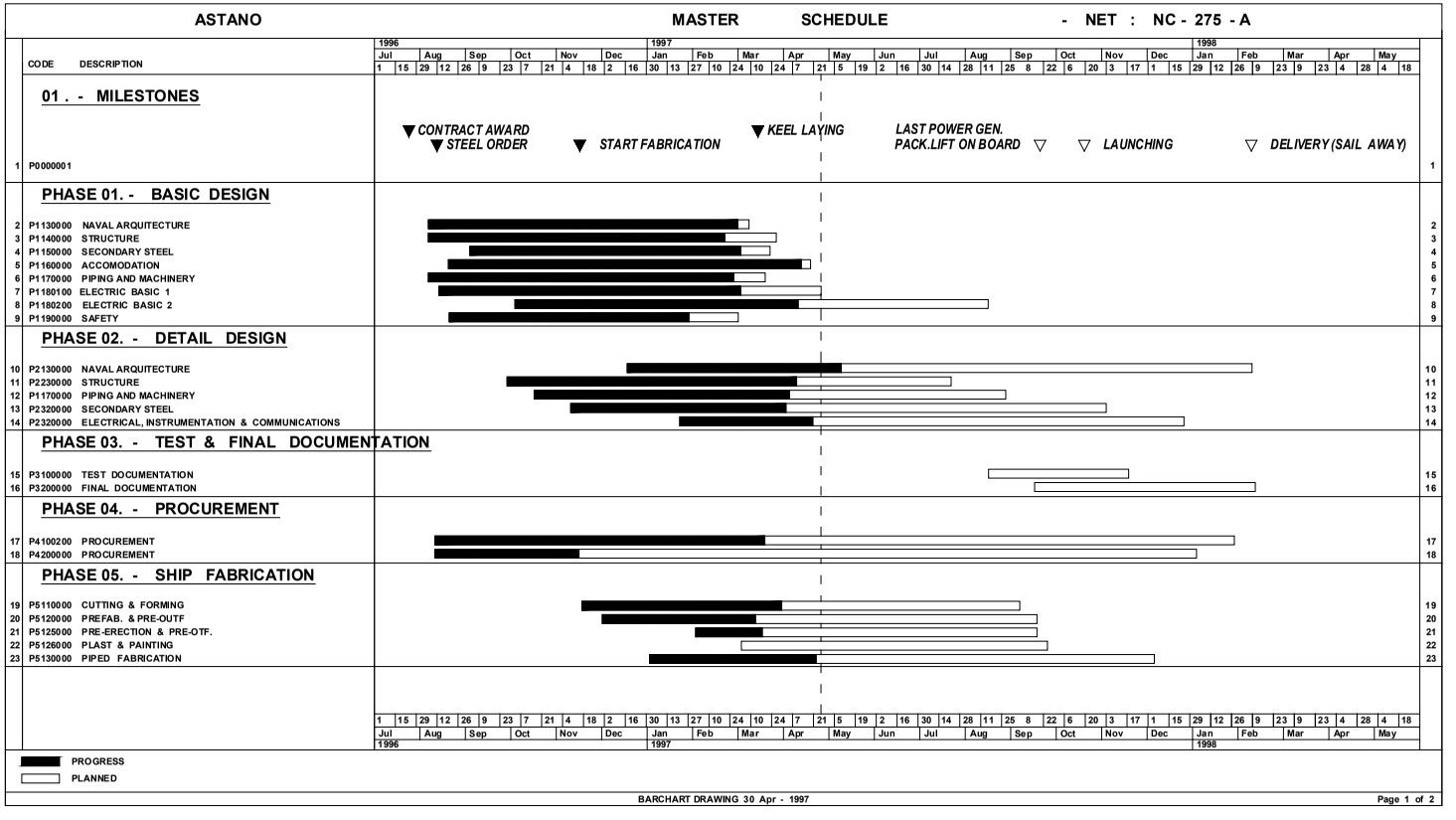
— Estimación da la programación y ejecución del trabajo en todos los puestos de trabajo, obtenidas con los oportunos coeficientes correctivos deducidos de las horas empleadas en obras similares.

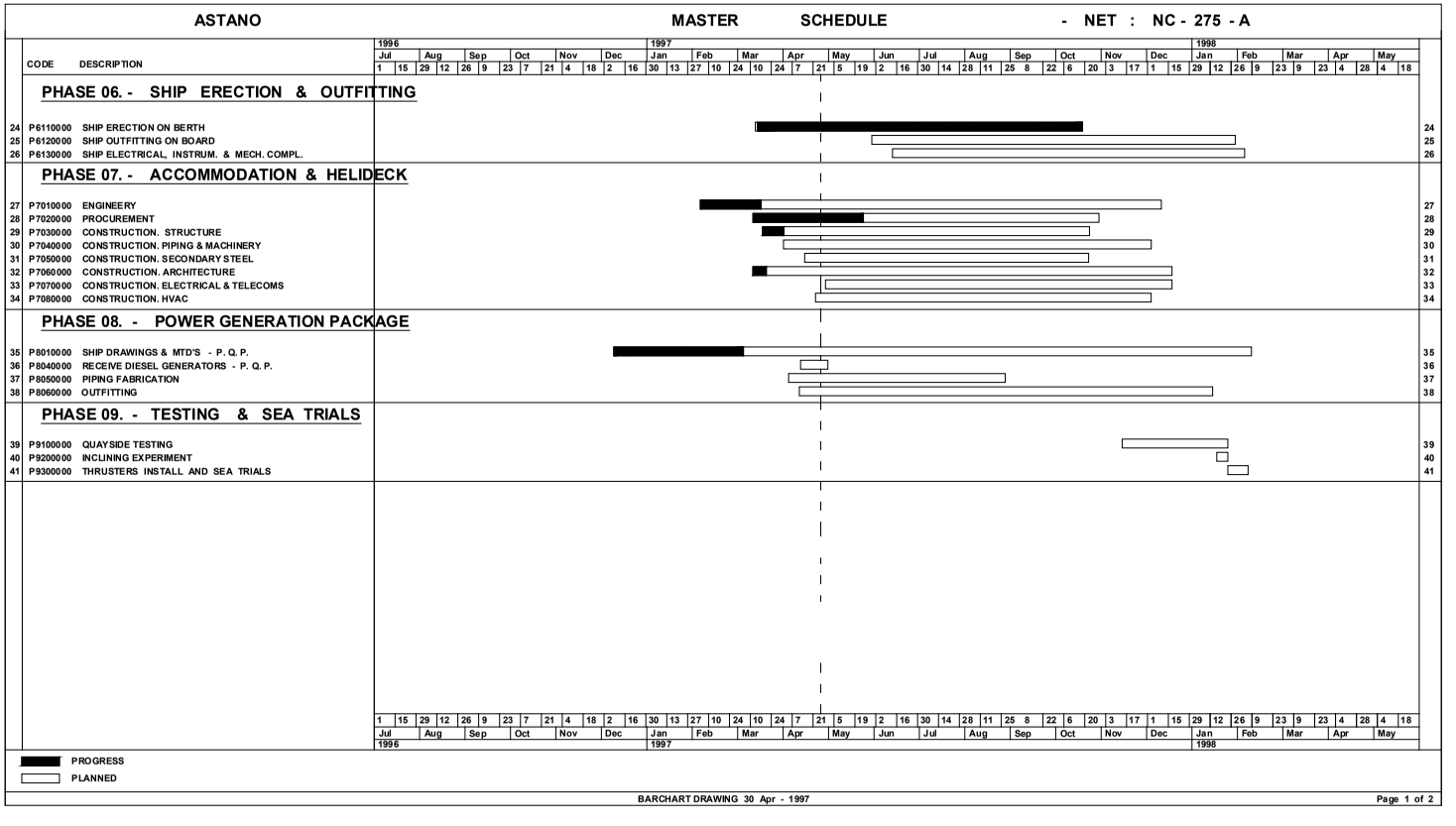
El detalle al que se debe hacer esta previsión puede llegar al puesto de trabajo, o a grupos de trabajo más amplios, dependiendo de la magnitud del trabajo y grado de detalle que se requiera.

En general se consideran grupos de trabajo los de la oficina técnica, los de compras o de gestión de los aprovisionamientos, la fabricación del acero, el montaje o prefabricado de dicho acero en bloques, el montaje de éstos en la grada o dique hasta la puesta a flote del buque o unidad marina, los trabajos finales para completar el armamento y las pruebas. La realización de la citada programación se incluye a veces como un grupo de trabajos, es decir, como una etapa más que hay que realizar, igual que un taller o sección de trabajo.

La presentación puede realizarse como lo que se denomina Plan Maestro ("Master Plan"), en forma de diagrama de barras o de Gantt, correspondiendo cada barra a uno de los grupos de trabajo citados antes. De esta manera quedan muy bien representados los solapamientos de un grupo de actividades con otro, por ejemplo, entre la duración del periodo de prefabricado de los bloques con el periodo de su montaje en la grada.

En dicho Plan Maestro se denotan de forma ostensible los llamados hitos (*milestones*) o fechas clave a lo largo de la construcción, como pueden ser el comienzo del elaborado del acero, la puesta de quilla, la recepción de motor principal, la botadura, etc., las cuales constituyen datos ineludibles de referencia para los comienzos y fines de otros trabajos, coordinación de diferentes actividades, y, tradicionalmente, son fechas para abono de los plazos fijados en el contrato. Suelen además coincidir, aunque no necesariamente todas, con las fechas del camino crítico, que se verán más adelante, pasando entonces a denominarse hitos críticos *(critical milestones)*. En las siguientes dos láminas se muestra, como ejemplo, una versión, actualizada en la fecha que se indica, del Plan Maestro, realizado con cierto grado de detalle, para una construcción off-shore. Veáse a continuación la **Fig. 4.6** Plan Maestro.


ASTANO
MASTER SCHEDULE - NET : NC - 275 - A
CODE DESCRIPTION
1996
1997
1998
Jul Aug Sep Oct Nov Dec Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec Jan Feb Mar Apr May
01 . - MILESTONES
CONTRACT AWARD
STEEL ORDER
START FABRICATION
KEEL LAYING
LAST POWER GEN. PACK.LIFT ON BOARD
LAUNCHING
DELIVERY (SAIL AWAY)
1 P0000001
PHASE 01. - BASIC DESIGN
2 P1130000 NAVAL ARQUITECTURE
3 P1140000 STRUCTURE
4 P1150000 SECONDARY STEEL
5 P1160000 ACCOMODATION
6 P1170000 PIPING AND MACHINERY
7 P1180100 ELECTRIC BASIC 1
8 P1180200 ELECTRIC BASIC 2
9 P1190000 SAFETY
PHASE 02. - DETAIL DESIGN
10 P2130000 NAVAL ARQUITECTURE
11 P2230000 STRUCTURE
12 P1170000 PIPING AND MACHINERY
13 P2320000 SECONDARY STEEL
14 P2320000 ELECTRICAL, INSTRUMENTATION & COMMUNICATIONS
PHASE 03. - TEST & FINAL DOCUMENTATION
15 P3100000 TEST DOCUMENTATION
16 P3200000 FINAL DOCUMENTATION
PHASE 04. - PROCUREMENT
17 P4100200 PROCUREMENT
18 P4200000 PROCUREMENT
PHASE 05. - SHIP FABRICATION
19 P5110000 CUTTING & FORMING
20 P5120000 PREFAB. & PRE-OUTF
21 P5125000 PRE-ERECTION & PRE-OTF.
22 P5126000 PLAST & PAINTING
23 P5130000 PIPED FABRICATION
PROGRESS
PLANNED
BARCHART DRAWING 30 Apr - 1997
Page 1 of 2


ASTANO
MASTER SCHEDULE - NET : NC - 275 - A
CODE DESCRIPTION
1996
1997
1998
Jul Aug Sep Oct Nov Dec Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec Jan Feb Mar Apr May
1 15 29 12 26 9 23 7 21 4 18 2 16 30 13 27 10 24 10 24 7 21 5 19 2 16 30 14 28 11 25 8 22 6 20 3 17 1 15 29 12 26 9 23 9 23 4 28 4 18
PHASE 06. - SHIP ERECTION & OUTFITTING
24 P6110000 SHIP ERECTION ON BERTH
25 P6120000 SHIP OUTFITTING ON BOARD
26 P6130000 SHIP ELECTRICAL, INSTRUM. & MECH. COMPL.
PHASE 07. - ACCOMMODATION & HELIDECK
27 P7010000 ENGINEERY
28 P7020000 PROCUREMENT
29 P7030000 CONSTRUCTION. STRUCTURE
30 P7040000 CONSTRUCTION. PIPING & MACHINERY
31 P7050000 CONSTRUCTION. SECONDARY STEEL
32 P7060000 CONSTRUCTION. ARCHITECTURE
33 P7070000 CONSTRUCTION. ELECTRICAL & TELECOMS
34 P7080000 CONSTRUCTION. HVAC
PHASE 08. - POWER GENERATION PACKAGE
35 P8010000 SHIP DRAWINGS & MTD'S - P. Q. P.
36 P8040000 RECEIVE DIESEL GENERATORS - P. Q. P.
37 P8050000 PIPING FABRICATION
38 P8060000 OUTFITTING
PHASE 09. - TESTING & SEA TRIALS
39 P9100000 QUAYSIDE TESTING
40 P9200000 INCLINING EXPERIMENT
41 P9300000 THRUSTERS INSTALL AND SEA TRIALS
PROGRESS
PLANNED
BARCHART DRAWING 30 Apr - 1997
Page 1 of 2

4.4.2 Programación a largo plazo

Apenas decidido el trabajo, los preparadores tienen que iniciar la elaboración de las fichas de trabajo relativas a los conjuntos en que se divide el buque en el orden de precedencia establecido.

Con los datos de estas fichas se procede a construir los diagramas de previsión de los grandes conjuntos, procediendo al revés a partir de las fechas de terminación señaladas en el programa de máxima.

Después del registro se calcula el "peso" de la operación, que viene dado por la suma de su duración con la de todas las operaciones que le siguen. El peso representa así la distancia teórica desde el principio de la operación hasta la fecha de terminación. A partir de esta fecha, viniendo hacia atrás, se obtiene el diagrama de previsión teórica y las fechas límites, o sea aquellas que no deben sobrepasarse sin retrasar todo el conjunto.

4.4.3 Programación a corto plazo

Sobre la base de la anterior, que se hace periódicamente y tiene como consecuencia el establecimiento de ciertas precedencias, se realiza la programación a corto plazo que se extiende por un período de 15 a 60 días y se repite con frecuencia del orden de unos días (1 a 5).

En esta programación, la carga de los puestos de trabajo se establece en forma de fichas de trabajo. Para iniciar el ciclo de programación se tiene una referencia del potencial de cada puesto de trabajo y se cargan en primer lugar las fichas ya previstas en el ciclo precedente que quedaron bloqueadas y no lanzadas. Es decir, las fichas para las que figuran terminadas todas las operaciones que las bloquean y que todavía no se han enviado al taller.

En segundo lugar, vienen las fichas devueltas del taller que por una causa accidental no se pudieran empezar en el momento oportuno, siempre que las causas del bloqueo hayan cesado. De lo contrario, habrá que retenerlas hasta que tenga vía libre.

Por último, se consideran las nuevas fichas que corresponden al período que se examina.

4.5 Métodos de programación. Método PERT

De entre los métodos elaborados con la finalidad de planificar y controlar la ejecución de los programas de producción, ocupa un lugar privilegiado por su simplicidad y eficacia el "*método del camino crítico*".

Para determinarlo se puede usar el método PERT (Program Evaluation and Review Technique) que se aplicó por primera vez en EE.UU. para controlar el programa de construcción de los cohetes POLARIS. El método, como otras variantes utilizadas, tiene su base matemática en la *teoría de grafos*.

4.6 Fecha de terminación del proyecto. Camino crítico

Una vez construido el grafo del proceso, a base representar las diferentes actividades o tareas por flechas o segmentos direccionales que concurren en puntos denominados *sucesos*, significando cada suceso el acontecimiento en que ya se han realizado todas las actividades necesarias para poder comenzar otra (o varias) actividad (es) nueva(s), el problema que se plantea es: ¿*cuál es la duración mínima del programa o cuál es la fecha más temprana en que la construcción podría estar terminado*?

Esta duración, en fechas de calendario, *no puede ser inferior a la mínima suma posible de tiempos operativos*, también en fechas de calendario, *de todos los caminos que se pueden seguir p*ara ir del suceso **1** hasta el **N**, o sea, *desde el primero hasta el último suceso del grafo, permitiendo que a lo largo de ese tiempo se hayan podido ir cumplimentando todas las actividades intermedias*, teniendo en cuenta los tiempos de las diferentes operaciones necesarias. Este camino, del que pueden existir varios, se denomina camino crítico. Los sucesos que se encuentran a lo largo del mismo se llaman *sucesos* o *hitos críticos*, y las actividades, *actividades críticas*.

Si una actividad crítica se alarga o no se finaliza en la fecha programada, ocasionará fatalmente que la construcción no pueda finalizarse, o el buque entregarse, en la fecha prevista.

El primer suceso **1** significa que ya se pueden comenzar las actividades para iniciar el proyecto o la construcción del buque. Podría asimilarse, como ejemplo, al momento de la entrada en vigor del contrato.

El último suceso **N** representaría, por ejemplo, el momento en que el buque está totalmente acabado y probado, según las exigencias contractuales, para poder ser entregado al armador.

Para hallar, por el método PERT, la fecha más temprana posible para poder realizar una obra, se representa el grafo, lo cual es bastante útil para un proyecto que se aborda por primera vez, y la matriz de duraciones asociada al grafo; o simplemente se escribe la matriz asociada al grafo si se trata de un proyecto similar a otros ya realizados.

El dibujo del grafo se realiza representando las actividades entre dos sucesos por medio de flechas o arcos direccionales, sobre los que se anota la duración de la actividad correspondiente.

Cuando dos ***sucesos I, J*** están ligados por una actividad direccional ***IJ***, no puede acontecer el suceso ***J*** antes de que se consuma el tiempo t_{IJ} o duración de la actividad ***IJ***, contado desde el acontecimiento del suceso anterior ***I***. Y hay que tener en cuenta que para cada suceso J, habrá, en general, varios sucesos anteriores I.

Los sucesos en sí no consumen tiempo. Significan simplemente los puntos de confluencia de varias actividades.

En el ejemplo mostrado a continuación:

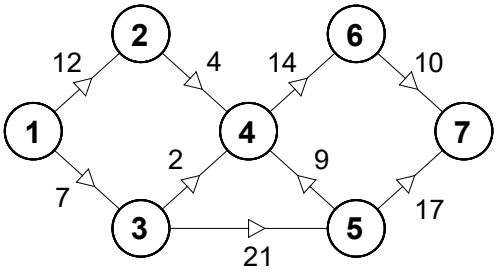


Fig. 4.7 Ejemplo de grafo de proceso.

El suceso 7 señala la realización de todas las actividades. El camino que tiene menor duración desde 1 a 7 para que, a lo largo de esa duración se hayan podido realizar todas las tareas, es el 1-3-5-4-6-7, cuya suma de tiempos operativos es Tc = 61, que es la duración del camino crítico.

Algunos sucesos pueden estar ligados por una relación de dependencia que, sin embargo, no significa ninguna actividad real entre ellos, pero cuyo significado es: *no se puede iniciar una actividad desde el suceso dependiente hasta que haya acontecido el suceso del que depende*. Esto se representa en el grafo mediante una actividad ficticia entre ambos sucesos, por medio de una flecha de línea discontinua con duración 0, indicando con ello que tal actividad no consume tiempo, pero que es una relación de obligada dependencia direccional entre los dos sucesos.

La obtención del camino crítico se reduce a la búsqueda sobre el grafo de la fecha más temprana posible de realización del suceso N para lo que se pueden utilizar diversos algoritmos, como el del ejemplo que sigue.

4.6.1 Procedimiento para hallar el camino crítico

Se pueden seguir varios sistemas, existiendo diversos programas disponibles en el mercado para su uso con el ordenador. Para resolver el problema, incluso sin ordenador para casos con un número no muy grande de actividades, se procede de la siguiente forma, como se muestra en el ejemplo a continuación:

4.6.1.1 Dibujo del grafo

Este procedimiento consiste en ir numerando los sucesos e indicando las actividades entre ellos mediante flechas o arcos con la dirección adecuada; y colocando, encima de las flechas o arcos, la duración de la actividad en días o unidades de calendario.

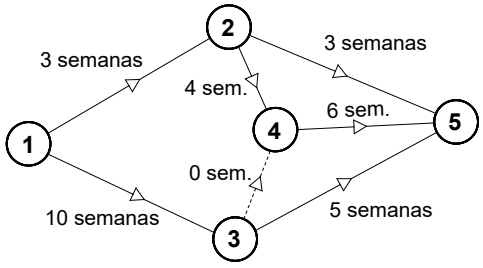


Fig. 4.8. Grafo de proceso del ejemplo.

4.6.1.2. Matriz directa

1. Se ponen los sucesos origen como números de filas

2. Se ponen sucesos destino como números de columnas

3. Se ponen duraciones de actividades en los correspondientes cruces de filas con columnas

	1	2	3	4	5
1	0	3	10		
2		0		4	3
3			0	0	5
4				0	6
5					0

Fig. 4.9 Matriz directa del ejemplo.

4. Se halla ahora la fecha más temprana en que puede estar cumplimentado cada suceso columna yendo por las vías indicadas en los sucesos fila, la cual será el máximo valor que resulte en cada columna (según se indica en negrita y subrayado)

	1	2	3	4	5
1	**0**	**3**	**10**		
2		-		7	6
3			-	**10**	15
4				-	**16**
5					-

Fig. 4.10 Matriz directa modificada.

Resulta una duración mínima, o del camino crítico, de 16 semanas, obteniéndose para cada suceso:

	1	2	3	4	5
Fecha más temprana Ti = semana	0	3	**10**	**10**	**16**
Actividades críticas:			**1-3**	**3-4**	**4-5**
Camino, y sucesos, críticos:			**1-3-4-5**		

Las actividades no críticas son, por tanto, las restantes, es decir: 1-2, 2-4, 2-5 y 3-5, y los sucesos no críticos, en este caso, sólo uno: el 2.

4.6.1.3 Matriz en orden invertido

1. Se ponen los sucesos de origen en orden inverso, como números de columnas.
2. Se ponen los sucesos destino en orden inverso, como números de filas.

	5	4	3	2	1
5	0	6	5	3	
4		0	0	4	
3			0		10
2				0	3
1					0

Fig. 4.11 Matriz en orden invertido.

3. Ahora, imaginando que se viene hacia atrás, se debe encontrar la más corta duración posible para llegar a cada suceso columna por todos los caminos que convergen en él, sin dejar ninguno; caminando hacia atrás por las vías indicadas en los sucesos fila. Dicha duración será el máximo valor que resulte en cada columna (según se indica en negrilla y subrayado)

	5	**4**	**3**	**2**	**1**
5	**0**	**6**	5	3	
4		-	**6**	10	
3			-		**16**
2				-	13
1					-

Fig. 4.12 Matriz modificada.

Se resta ahora de la duración crítica obtenida = 16 semanas, las duraciones máximas que se ven en el cuadro anterior, con lo cual se obtiene para cada suceso: **5, 4, 3, 2, 1** respectivamente:

fecha más tardía $\mathbf{T'_i}$ = semana **16 10** 10 **6 0**, para no retrasar la fecha de terminación de todo el proyecto más allá de la duración crítica.

En los sucesos críticos **1,3,4,5** coincide la fecha más temprana posible con la fecha más tardía para no retrasar el plazo de finalización del conjunto, no habiendo por tanto ningún margen.

Sin embargo, en los sucesos no críticos, en este caso sólo el **2**, hay un margen:

T'2 - T2 = 6 – 3 = 3 semanas, entre la fecha más temprana (fin de la semana 3) en que puede estar cumplimentado el suceso **2**, y la fecha más tardía (fin de la semana 6) en que si dicho suceso no está cumplimentado, el programa total inevitablemente se va a retrasar.

4.6.1.4 Ejemplo de obtención del camino crítico

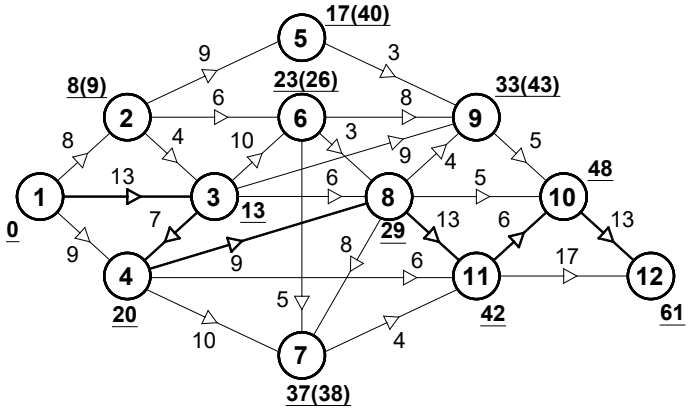


Fig. 4.13 Grafo del ejemplo segundo.

Con 12 vértices o sucesos, siendo "1" el suceso inicial y "12" el final. Comenzando por el vértice "1", al que se le asigna la fecha 0, hay que considerar en cada vértice todos los arcos que inciden en él. Para cada uno de estos arcos se efectúa la suma de su tiempo operativo con la fecha del suceso del origen del arco; se comparan los distintos resultados, y se escoge el valor mayor que es el que se anota como fecha del vértice en cuestión.

Para hacerlo ordenadamente se escribe la matriz de los valores asociados al grafo, en la que para cada suceso **i**, se toma $\mathbf{t_{ii}} = 0$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	8	13	9								
2		0	4		9	6						
3			0	7		10		6	9			
4				0	6		10	9			6	
5					0				3			
6						0	5	3	8			
7							0				4	
8							8	0	4	5	13	
9									0	5		
10										0		13
11										6	0	17
12												0

Fig. 4.14 Matriz directa del ejemplo segundo.

Se escribe ahora la matriz determinando en cada columna la fecha que corresponde al vértice que representa:

— La primera tendrá la fecha 0, que corresponde a la columna 1, puesto que en este vértice no incide ningún arco.

— En el vértice 2 sólo incide el arco (1, 2). Puesto que en 1 hay un 0, se anota 0+8=8 en la casilla 1 de esta columna. Como es el valor máximo, se asigna esta fecha al vértice 2.

— En el 3 inciden el 1 y el 2, cuyos valores asociados de arcos son 13 y 4. Como sus fechas son 0 y 8, se tiene que anotar 0+13=13 y 8+4=12.

— En 4 inciden 1 y 3. Los valores son 0+9=9, y 13+7=20. En 5 incide 2, el valor es 8 + 9 = 17.

— En 6 inciden 2 y 3, valores 8+6=14, y 13+10=23 que es el máximo. En 8 inciden 3, 4, y 6. Valores 13+6=19, 20+9=29 y 23+3=26.

— En 7 inciden 4, 6 y 8. Valores 20+10=30, 23+5=28, y 29+8=37.

— En 9 inciden 3, 5, 6 y 8. Valores 13+9=22, 17+3=20, 23+8=31, y 29+4=33.

— En el 11 inciden 4, 7 y 8; valores 20+6=26, 37+4=41 y 29+13=42.

— En el 10 inciden 8, 9 y 11. Valores 29+5=34, 33+5=38, y 42+6=48.

— Por último, en el 12 inciden 10 y 11. Valores 48+13=61, y 42+17=59.

Vemos de este modo que la duración del proyecto es de 61 y ésta es la fecha (en días laborables o semanas, según sea la unidad de tiempo que se ha elegido a partir de la iniciación) en que se puede lograr el objetivo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	(0)	(8)	(13)	9								
2		0	12		(17)	14						
3			0	(20)		(23)		19	22			
4				0			30	(29)			26	
5					0				20			
6						0	28	26	31			
7							0				41	
8							(37)	0	(33)	34	(42)	
9									0	38		
10										0		(61)
11										(48)	0	59
12												0
T_i	0	8	13	20	17	23	37	29	33	48	42	61
T_{0i}	0	9	13	20	40	26	38	29	43	48	42	61

Fig. 4.15 Matriz modificada del ejemplo segundo.

El camino crítico correspondiente a este valor máximo de suma de tiempos operacionales se obtiene retrocediendo de arco en arco. En la matriz anterior, se observa que el tiempo 61 proviene del vértice 10, el máximo de éste del 11, éste del 8, éste del 4, éste del 3 y éste del 1. El camino crítico estará constituido por 1, 3, 4, 8, 11, 10 y 12. Las cifras máximas de cada vértice se han marcado con círculos en la tabla. En el grafo, se ha señalado el camino crítico con trazos gruesos.

Las actividades **1-3, 3-4, 4-8, 8-11, 11-10 y 10-12** son actividades críticas. Si cualquiera de ellas se retrasa, es decir, no da comienzo exactamente en la fecha programada o resulta de mayor duración, todo el programa y con ello el logro del objetivo se retrasa también.

Las operaciones críticas son, pues, aquellas del programa sobre las que el planificador debe centrar su atención durante la realización del proyecto, puesto que de su desarrollo depende la fecha de terminación del programa.

Sin embargo, las actividades no críticas toleran ciertos retrasos en su ejecución sin alterar la duración del proyecto.

4.7 Intervalo de latitud. Márgenes de las actividades

Con el método expuesto se han determinado para cada vértice las sumas de los valores de cada uno de los arcos que inciden en él con las fechas de los respectivos vértices de origen de esos arcos. La mayor de estas sumas **Ti**, que será la mayor de las que figuran en la columna correspondiente de última matriz anterior, representa la fecha más temprana en que puede cumplirse el suceso. Esto quiere decir que antes de esa fecha el suceso no podrá acaecer. Estas fechas se enmarcan con círculos en la matriz.

Es asimismo interesante conocer, para cada suceso no crítico **i**, su fecha límite o fecha última que, si se rebasa, implicará el retraso de todo el programa.

Considerando el suceso **i**, el tiempo mínimo necesario para realizar las operaciones entre los sucesos **i** y **n**, se obtiene sobre el grafo, hallando el camino de valor máximo entre **i** y **n**. De este modo se garantiza que todas las operaciones que suceden a **i** pueden ser realizadas efectivamente, teniendo en cuenta sus duraciones respectivas.

La fecha buscada **Toi** se obtendrá restando este tiempo $\mathbf{t_{in}}$ de la fecha **Tn** correspondiente al suceso final **n**.

Así, se tienen para cada suceso no crítico, dos fechas:

— $\mathbf{T_i}$ = la fecha más temprana de realización del suceso **i**.

— $\mathbf{T_{oi}}$ = la fecha última de realización del suceso **i**, más allá de la cual se retrasa todo el proyecto.

El intervalo de tiempo $\mathbf{T_i}$, $\mathbf{T_{oi}}$ se denomina intervalo de latitud del suceso. Representa el intervalo de tiempo dentro del cual puede situarse el suceso no crítico sin hacer peligrar la fecha de terminación del proyecto.

Para los acontecimientos críticos, la fecha última $\mathbf{T_{oi}}$ coincide con la fecha más temprana $\mathbf{T_i}$, y su intervalo de latitud es nulo. Estos sucesos no toleran ningún retraso en su realización o, que es el mismo, las actividades críticas no toleran ningún retraso durante su ejecución.

Para calcular las fechas últimas de cada uno de los vértices se sigue el mismo procedimiento que el utilizado para calcular las fechas más tempranas, pero a partir del acontecimiento final, determinando, como si viniéramos hacia atrás, los caminos de mayor valor desde el último hasta el vértice que estamos considerando, valor que restado de la fecha de fin del proyecto da las fechas últimas de cada suceso.

Para realizar este último cálculo manualmente, ejercicio que se deja para práctica por parte del alumno a fin de cotejar los resultados que obtenga con los que aquí se exponen, es recomendable proceder como se indicó en el ejemplo anterior, escribiendo y partiendo de lo que se llamó "matriz con el orden invertido".

Finalmente, se anota en cada vértice del grafo la fecha más temprana y la fecha última.

Los sucesos cuyo intervalo se reduce a una sola fecha son los que están en el camino crítico, con lo que su intervalo de latitud es nulo.

Es asimismo interesante conocer, para cada actividad $\mathbf{P_{ij}}$, el retraso que puede sufrir su puesta en marcha sin perturbar la fecha de realización del suceso **j**. Este plazo se denomina "margen libre" de $\mathbf{P_{ij}}$. Si $\mathbf{T_i}$ y $\mathbf{T_j}$ son las fechas más tempranas de los sucesos **i** y **j**, origen y fin del arco que representa la actividad $\mathbf{P_{ij}}$ de duración $\mathbf{t_{ij}}$, su margen libre es $\mathbf{T_j - T_i - t_{ij}}$.

Es evidente que los márgenes libres de las actividades críticas son nulos, puesto que no admiten retraso en su puesta en marcha. Para cada actividad se define además un margen total y un margen cierto. El margen total de la actividad es el retraso total con

que puede abordarse dicha actividad sin perturbar el programa o sea sin afectar a la fecha del último suceso. Por definición tiene el valor siguiente:

$$\mathbf{T_{oj} - T_i - t_{ij}}$$

Y el margen cierto de $\mathbf{P_{ij}}$, también por definición es:

$$\mathbf{T_j - T_{oi} - t_{ij}}$$

Lo que representa el margen libre que quedaría después de haber absorbido el intervalo de latitud del primer suceso.

Los intervalos de latitud y los márgenes libres miden la elasticidad de un programa: Cuanto más reducidos sean, más rígido será éste. Un programa "totalmente rígido" sería aquel en que todos los caminos fuesen críticos desapareciendo en él todos los intervalos de latitud y márgenes libres: ninguna operación podría retrasarse.

La noción de margen libre representa también el tiempo que puede dilatarse una actividad no crítica sin riesgo de alterar la fecha más temprana del acontecimiento final de dicha actividad, o sea, sin alterar la fecha de iniciación de las actividades siguientes o inmediatamente descendientes.

En el grafo anterior, el intervalo de latitud del suceso 6 es (23, 26). El margen libre de la actividad P_{69} es:

$$33 - 23 - 8 = 2$$

La actividad P_{69} puede comenzar en la fecha 23 + 2 = 25 sin perturbar la fecha más temprana del suceso 9 que sigue conservando su valor 33.

El margen total de la actividad P_{69} es 43 - 23 - 8 = 12. Podrá por lo tanto iniciarse en la fecha 23 + 12 = 35, sin ocasionar retraso en el final del proyecto.

El gran interés de estas nociones de margen libre y de intervalo de latitud reside en que facilitan la nivelación de cargas de talleres, pudiéndose alterar las fechas reales de ejecución sin modificar la duración del proyecto si se mantiene una estrecha vigilancia de las fechas reales de terminación respecto a las fechas últimas Toi. Si estas no se rebasan, el programa se desarrollará normalmente y la fecha del último suceso será respetada. Si por el contrario algún suceso se retrasara respecto a su fecha última, se tienen que tomar las medidas correctoras necesarias para acelerar la parte del programa que queda afectada. De no existir esta posibilidad se puede entonces afirmar

que la fecha final del proyecto sufrirá un retraso que puede calcularse fácilmente en base a lo anterior.

4.8 Documentos que se obtienen utilizando el método PERT

La documentación de salida del ordenador comprende:

— Lista de sucesos y actividades con indicación de los que son críticos, de los intervalos de latitud y márgenes libres y totales. Si se desea saldrán marcadas las actividades clave o más importantes.

— Clasificación de los sucesos y de las actividades en función de sus intervalos de latitud o de sus márgenes libres.

— Listas de actividades que deben empezar en una fecha determinada.

— Gráfico de Gantt de las actividades del programa, con indicación de márgenes.

4.9 Aplicación al control de la obra

La planificación ha de ser dinámica, o sea que los programas habrán de ir rectificándose al recibirse los datos de control. A medida que va realizándose la obra, los datos reales reemplazan las estimaciones iniciales. Los nuevos datos se introducen en el ordenador, el cual nos proporcionará una documentación adicional de salida que permitirá controlar permanentemente el programa, precisando su futura evolución. De este modo se puede llegar, para respetar los plazos del programa establecido, a tener que modificar o acelerar ciertas actividades.

Así como la evaluación inicial del programa, cuando el número de actividades no es muy elevado puede hacerse sin recurrir al ordenador, para el posterior control de la ejecución de dicho programa, el tratamiento manual de datos llega a ser casi inabordable cuando se desean efectuar controles frecuentes y rápidos, teniendo por ello que emplear procedimientos informatizados.

La información de salida del ordenador puede ser muy variada según el programa y sistemas disponibles e implantados, pudiéndose obtener:

A. Informes de trabajo que expresan el estado de desarrollo de cada actividad, pudiendo ser:

— para todas las actividades,

— para las actividades no terminadas,

— para aquellas actividades cuya fecha más temprana de iniciación está dentro de un plazo especificado,

— etc.

B. Informes generales: clasifican la información sobre la marcha del proyecto para facilitar el estudio:

— actividades no iniciadas cuya fecha de comienzo está dentro de un plazo determinado, y en secuencia según sus fechas de comienzo;

— todas las actividades, o sólo las incompletas, clasificadas en las secuencias que se desee, indicando los márgenes de las mismas, si existen;

— etc.

C. Informes particulares: Resaltan la marcha de ciertas actividades como pueden ser:

— actividades con margen negativo;

— actividades especiales;

— actividades críticas no terminadas.

D. Informes de acción: advierten las partes del proyecto que deben vigilarse para evitar el peligro de retraso en la terminación final de la obra:

— actividades que deben terminar en el próximo período;

— actividades críticas que deberían haber terminado;

— actividades críticas que deberían haber empezado;

— actividades comenzadas cuando alguna precedente aún no finalizó.

E. Plan de obra en diagrama de Gantt.

4.10 Otras aplicaciones

Si a cada actividad, además de su duración, se le puede atribuir también coste (en función de los parámetros coste *hora x hombre*, coste *hora x máquina*, etc), será posible evaluar también el coste total del proyecto por la simple suma de los costes de todas las actividades, mientras que la duración sólo comprende la suma de las de las actividades críticas.

Más interesante será conocer el coste unitario de la aceleración de cada operación. Entonces será posible evaluar el coste mínimo de la reducción de la duración y activar

las operaciones sobre las actividades convenientes para llegar al objetivo de la forma más económica.

Así, después de calcular un programa, se podrá simular la reducción de una unidad en la actividad crítica cuya aceleración resulte menos costosa, incrementar el coste en la parte correspondiente y proseguir sucesivamente por iteración, con los nuevos datos, observando que, a cada reducción, el camino crítico variará. Prácticamente se podría llegar así a un *grafo totalmente rígido*. En la práctica no es conveniente acercarse tanto a este límite, o sea, que bastará con *localizar las actividades sobre las que es más conveniente intervenir cuando sea necesario reducir la duración de la construcción, pero manteniendo si es posible ciertos márgenes de flexibilidad.*

Capítulo 5

Desarrollo del Proyecto

5.1 Desarrollo del Proyecto para la construcción. Introducción

Antes del contrato, con objeto de calcular el presupuesto y de preparar la oferta como base de las discusiones previas al contrato y, finalmente, en el caso de haberlo conseguido, con objeto de que sirva de soporte de la documentación contractual, se prepara, ya sea en la oficina técnica del propio astillero, en una oficina exterior por encargo de este último, o por encargo y responsabilidad del propio armador, un proyecto básico consistente normalmente en:

— *Especificación*, fijando las características fundamentales del buque o unidad marina y los fines a que se va a dedicar, siguiendo con una descripción, por lo general bastante detallada, de la estructura del casco, del tratamiento superficial y forma de pintado, de la maquinaria propulsora, de los diversos equipos, tanto específicos para los fines particulares a que se va a dedicar el buque o unidad que sea, como de los equipos genéricos o normales en todos los buques, de los espacios, equipos y mobiliario de la habilitación, de los sistemas de seguridad y salvamento, servicios de tuberías, servicios de electricidad, servicios de automatización y sistemas de navegación y, por supuesto, listando las reglamentaciones a que se va a ajustar el proyecto, como son las de la Sociedad de Clasificación por la que se va a registrar, las nacionales del país de abanderamiento, y otras, ya sean nacionales o internacionales, a las que, por razones del servicio que va a realizar el buque, o por otras, haya éste de ajustarse.

— *Plano de Disposición General*, que incluye la *disposición general de la habilitación.*

— *Plano básico de estructura*, consistente básicamente en la *Cuaderna Maestra.*

— *Cálculo y Plano de Capacidades*.

— Otros cálculos y datos necesarios para propósitos de Arquitectura naval, como las *curvas hidrostáticas, cálculos de estabilidad, inundación* etc.

— Por otra parte, se habrá obtenido por cálculo, de la experiencia con buques similares, o del Canal de Experiencias, *la potencia necesaria para obtener la(s) velocidad(es), requerida(s)* en el contrato y se habrán realizado diversos cálculos como los de los *balances eléctricos y térmicos*, necesarios para el dimensionamiento y presupuesto de diversos componentes fundamentales, como son la planta eléctrica y otros.

Dada la cantidad de variables y exigencias que hay que considerar, teniendo que optimizar el resultado dentro de un presupuesto que normalmente ha de ser muy competitivo y ajustado, el proyecto de un buque o unidad marina es bastante complejo y necesariamente se tiene que ir realizando y reajustando en pasos sucesivos, frecuentemente encadenados unos con otros. Lo normal es tener que ir modificando cálculos y planos realizados anteriormente para poder reajustarlos a los resultados que paulatinamente se van obteniendo. Dado además que se suele disponer de muy corto espacio de tiempo para realizar la oferta del buque o, en caso de haber sido contratado, para comenzar su construcción, hay que realizar en el orden y secuencia más adecuados las diferentes actividades a fin de no tener que volver a ejecutar completamente en cada vuelta trabajos ya realizados con anterioridad, con la pérdida de tiempo y costes que ello implica.

Al principio difícilmente se dispone de todos los datos necesarios. Es frecuente que se parta de una idea muy básica y preliminar de la que se generará un primer anteproyecto del buque partiendo de los datos y experiencia de que se disponga. En este anteproyecto se estiman unas dimensiones principales, unas formas, una disposición general, una estimación de potencia para la velocidad requerida, una primera aproximación del peso en rosca, una cuaderna maestra, unas capacidades estimadas, unas condiciones de carga y estabilidad preliminares, una primera disposición de cámara de máquinas y de la línea de ejes, una lista de equipos esenciales, una especificación resumida (*out line*) y un presupuesto preliminar. Si es posible tener una interlocución con el armador en la fase de oferta, se pueden aclarar e ir afinando y encajando ciertos datos.

Como en otros casos, la metodología a usar debe ser la denominada *espiral del proyecto* tal como se refleja en la **Fig. 5.1** y se van intercalando y desarrollando otros trabajos necesarios como son: plano de hierros, cálculo de la resistencia longitudinal, definición de equipos como: carga, maniobra y fondeo, propulsión auxiliar, gambuza, frío, balances eléctricos y térmicos, habilitación, etc. y se van afinando la especificación y el presupuesto.

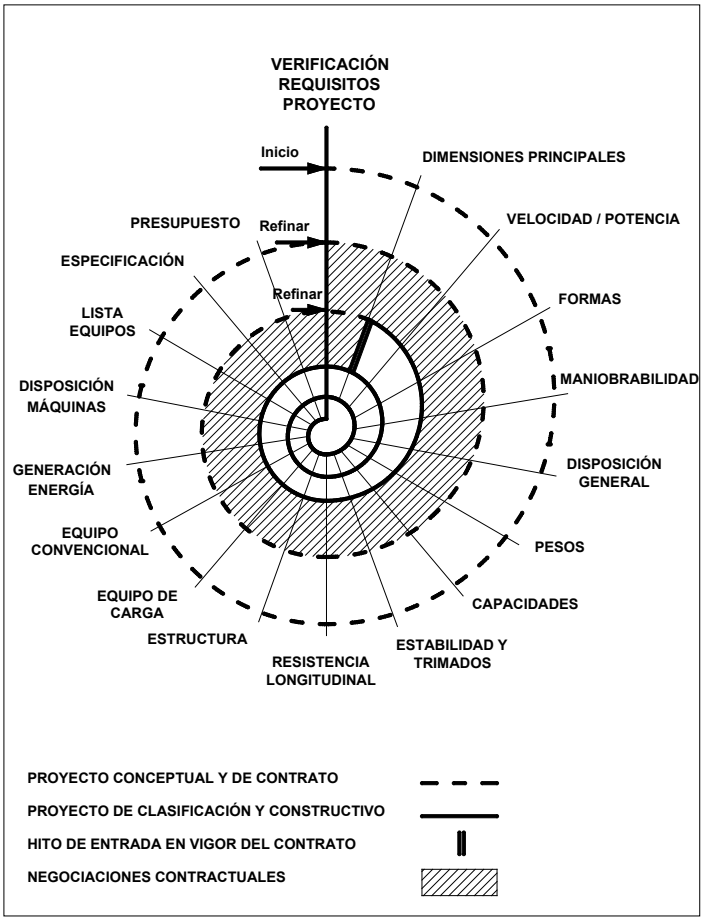


Fig. 5.1 Esquema de Espiral de Proyecto.

Una vez firmado el contrato y organizada y planificada la construcción en sus líneas generales, habrá que abordar ésta con su debido detalle, frecuentemente de forma inmediata, *siguiendo las instrucciones del Dpto. o responsable de Planificación*. El trabajo comienza completando el proyecto y realizando la delineación a fin desarrollar los planos de construcción con el grado de detalle necesario así como los cálculos que se precisen de acuerdo con las obligaciones contractuales firmadas, que son las reflejadas en la documentación citada antes, que se había preparado precisamente para el contrato.

Estos primeros trabajos comprenden, en resumen:

1. *Preparación de la especificación de construcción con el detalle necesario, a partir de la especificación de contrato y de otros detalles que se completan al desarrollar el proyecto.*

2. *Realización de cálculos y planos de desarrollo del proyecto.*
3. *Realización de los despieces, planos e instrucciones de trabajo.*
4. *Elaboración de las listas de materiales.*
5. *Especificación de materiales y equipos a pedir al exterior: demandas de materiales y equipos.*

El trabajo normalmente más urgente es el de preparar los datos para que la oficina de compras pueda solicitar ofertas y/o contratar o pedir ciertos equipos y materiales principales del buque, como son la planta de propulsión y otros, así como el acero para la estructura, para los que, por las repercusiones de su plazo de entrega y entidad económica, es necesario obtener, cuanto antes, un compromiso firme de precio y de plazo por parte de los suministradores. Algunos de estos equipos principales ya vienen definidos en la especificación de contrato, por lo que la preparación de los datos para la oficina de compras se hace prácticamente de forma casi directa (es lo que se llaman *demandas de especificación*), pero otros necesitan la realización de planos y cálculos para poder hacer las estimaciones correctas.

En el caso del acero estructural hay que preparar los datos para la demanda o consulta de los materiales, normalmente chapas y perfiles. En algunos casos, como es el de unidades off-shore y alguna clase especial de buques, puede ser necesario buscar en el mercado materiales que no son muy habituales y que además precisen homologaciones y certificados especiales, lo cual complica el problema y alarga el tiempo necesario para la gestión de los mismos.

Los trabajos de la oficina técnica comprenden las siguientes especialidades:

— proyectos.

— estructuras.

— maquinaria y servicios de tubería.

— electricidad y automatización.

— equipo metálico.

— habilitación.

En los grandes astilleros, el personal correspondiente a cada una de estas especialidades acostumbraba a ubicarse en espacios distintos, por lo que era común el hablar de Sala de Proyectos, Sala de Estructuras, etc.

No obstante, hoy en día, aunque estos trabajos siguen distinguiéndose conceptualmente, el personal suele ser más polivalente, siendo además normal que personal de distintas

especialidades se encuentre trabajando en el mismo espacio ya que, al haber cambiado la filosofía de producción de los astilleros, por lo menos en *la preparación de la información para taller*, ésta se realiza concibiendo como unidad, no el buque en su conjunto, sino *la parte del mismo que se ha definido en la estrategia constructiva como unidad de planificación, que se puede concebir como Pallet o "Conjunto de trabajos, con los correspondientes materiales y equipos, que deben respectivamente ser realizados y montados en una parte o zona del buque en un período determinado"*.

Cada sección de la oficina técnica iniciará los trabajos según la previsión del programa elaborado por Planificación, que lógicamente empezará por las primeras actividades de los caminos críticos.

Además de la información citada anteriormente para la gestión de ciertos materiales y equipos más importantes, se comienza por completar la documentación y planos de proyecto y de estructura que hay que someter a la aprobación de la Inspección de Buques, junto con la Solicitud del Permiso de Construcción y los que hay que someter a la aprobación reglamentaria de la Sociedad de Clasificación.

5.2 Documentación para solicitud del Permiso de Construcción

El Real Decreto 1837/2000 de 10 de noviembre (BOE nº 285 de 28-11-2000), por el que se aprueba el Reglamento de inspección y certificación de buques civiles, hace referencia de forma explícita, en el Capítulo II del Título I, a la no derogación del Capítulo II del Reglamento de Reconocimiento de Buques y Embarcaciones Mercantes, que figura en Decreto 3384/71 de 28 de octubre de 1.971 del Ministerio de Comercio (BOE nº 64 de 15-03-72) que, por lo tanto, establece la norma en vigor, en el que se relaciona la documentación que se ha de presentar con la solicitud del permiso de construcción de un buque nuevo. La preparación de la documentación que figura en dicha relación o listado da una idea de conjunto de los trabajos que se han de abordar en la fase de proyecto, acto seguido después de la firma del contrato:

A) *En las embarcaciones que no sean de pasaje menores de 20 toneladas de arqueo total (TAT) y embarcaciones de pasaje de menos de 10 toneladas*:

   a) Croquis de la cuaderna maestra con escantillones acotados y una memoria que, junto con el croquis citado, fije el escantillonaje, especificando las características principales de la embarcación y los materiales que han de emplearse, y si el casco es de madera se harán constar las clases de madera y la cantidad y dimensiones de los herrajes, pernos y clavazón galvanizada y forma de colocación de los mismo, debiendo estar aumentados los escantillones en los que corresponda en caso de emplearse maderas blandas;

b) Presupuesto

c) Plano de disposición general

d) Relación de los elementos de salvamento y contraincendios.

B) *En los buques que no sean de pasaje de 20 a 100 toneladas de arqueo total, ambos inclusive, y en los de pasaje entre 10 y 20 toneladas, ambos inclusive:*

a) Planos de disposición general (corte longitudinal y cubiertas).

b) Plano de la cuaderna maestra con escantillones, así como de las cuadernas de proa y popa. Si es el casco es de madera, se tendrá en cuenta lo indicado en el punto A.

c) Planos de formas: si es casco de acero, será fuera de miembros, y si es e madera, fuera de forros.

d) Plano de curvas hidrostáticas, integrado al menos por las siguientes curvas:

— Volumen y desplazamiento en agua salada de 1,025 ton/m³ de peso específico, para la diferencia de calados correspondientes a la plena carga.

— Área de la cuaderna maestra.

— Áreas de las flotaciones.

— Ordenada del centro de carena sobre la línea base.

— Abscisa del centro de carena respecto de la perpendicular de popa.

— Abscisa del centro de gravedad de las flotaciones respecto a la perpendicular de popa.

— Ordenada del metacentro transversal respecto a la línea base.

— Ordenada del metacentro longitudinal respecto a la línea base.

e) Cuadro de pesos con coordenadas del centro de gravedad, en rosca y a plena carga.

f) Cálculos y curvas de estabilidad para grandes inclinaciones, en rosca y a plena carga.

g) Presupuesto, descompuesto en casco y maquinaria.

C) *En los buques que no sean de pasaje de más de 100 toneladas de arqueo total y los de pasaje de más de 20 toneladas:*

a) Planos de disposición general (perfil longitudinal, corte longitudinal y cubiertas).

b) Planos de disposición general de elementos reglamentarios de salvamento y contraincendios.

c) Planos de disposición general de luces y marcas de navegación.

d) Plano de la cuaderna maestra con escantillones, así como de las cuadernas de proa y de popa. En los buques de acero se acompañará también el plano del desarrollo del forro y el plano de hierros.

e) Cálculo de resistencia longitudinal.

f) Plano de formas.

g) Plano de curvas hidrostáticas.

h) Cuadro de pesos con coordenadas del centro de gravedad, subdivido por lo menos en los grupos siguientes:

   1. Buques en rosca con su maquinaria, equipo, cargos y pertrechos (buques en lastre).
   2. Tripulación y efectos. Pasajeros y sus equipajes. Víveres. Agua dulce.
   3. Combustible, aceite de engrase. Agua de alimentación.
   4. Agua de lastre.
   5. Carga útil.

i) Memoria descriptiva del casco, maquinaria y servicios del buque.

j) Cálculos y curvas de estabilidad para grandes inclinaciones, en lastre, a media carga, a plena carga y con cubertada; se harán constar las superestructuras, casetas, etc., que se han tenido en cuenta para el cálculo de las mismas.

k) Presupuesto desglosado.

5.3 Influencia de la prefabricación en la delineación

La aplicación de la soldadura como método de construcción naval ha hecho, no sólo conveniente, sino indispensable *la aplicación de la prefabricación de bloques o subconjuntos estructurales para su montaje en el buque o conjunto global*. La construcción soldada de una estructura despiezada según el procedimiento clásico anterior, elemento a elemento, para la construcción remachada sería desastrosa y de hecho así sucedió en los comienzos de la aplicación de la soldadura hasta que los métodos constructivos se adaptaron a esta modalidad.

La descomposición clásica conduciría además de a un encarecimiento de la obra, por las razones que veremos a continuación, a unas distorsiones y deformaciones de muy

difícil solución, y a condenar a la estructura de antemano a unos esfuerzos internos inevitables con esas disposiciones. *Esto se soslaya mediante la prefabricación de bloques que se sueldan separadamente en el taller sin contracciones impedidas y su montaje final en grada* de acuerdo con secuencias estudiadas para evitar las distorsiones.

Pero, además, *la prefabricación en el taller permite:*

1. La soldadura en la mejor posición, generalmente hacia abajo, sobre suelo, con mayor rendimiento y mejor calidad.
2. La utilización de máquinas de soldadura automática, con las que se obtienen cordones de mucha mejor calidad, con intensidades mayores, mayor rapidez y mejor rendimiento.
3. Mayor frente de trabajo en posiciones más cómodas y por consiguiente sin necesidad de la servidumbre de andamiajes.
4. Trabajo a cubierto.
5. Mayor velocidad de montaje en gradas por aplicarse las grúas a unidades de mucho mayor peso que, como a su vez llevan mucho trabajo terminado, redundará en un tiempo total necesario de grada mucho menor.

La intermitencia de los topes remachados deja su lugar a uniones continuas con las que se logran mejores secuencias de soldadura y facilidad en el montaje, y no hay nada que objetar en cuanto a su resistencia, mientras que en una costura remachada, además de las objeciones por este último concepto, no se permitiría unir los topes de chapas pertenecientes a dos tracas contiguas, en línea uno con otro.

El sistema de prefabricación en bloques obliga a la oficina de delineación a prever la forma de hacer el trabajo al mismo tiempo que se realiza el proyecto puramente estructural, así como la disposición de los equipos y servicios que, siempre que sea posible, y los medios de elevación lo permitan, deben ser situados para que puedan ser montados en un único bloque antes de subirlo a bordo. Se tienen que definir *los tamaños* de las unidades, *su peso* y los *métodos de soldadura* a aplicar antes de preparar *los planos detallados* y las *listas de materiales*. El antiguo concepto de los *planos de estructuras por sistemas*, tales como cuadernas, forro, cubiertas, etc., ha dado paso al *nuevo de unidades prefabricadas completas* con la mejora consiguiente en los rendimientos de trabajo en la fabricación de cada uno de los elementos, métodos de unión, etc. hasta completar la unidad y su montaje a bordo. Hoy en día un plano general de estructura sería virtualmente inútil si no se tiene en cuenta el proceso tecnológico y la *planificación del trabajo en el taller de soldadura*. Esto último supone un *conocimiento muy superior de los métodos de trabajo por parte del delineante* y requiere una *mayor colaboración de equipo* que lo que se hacía anteriormente; lo que justifica mucho más la necesidad de la *Sección de Métodos* como eslabón de enlace entre delineación y producción.

5.4 Definición de conjuntos. Estrategia constructiva

Se debe resaltar la importancia que adquiere *la definición, ya desde las primeras etapas del diseño, de los bloques en que se ha de dividir el buque, así como la decisión de los equipos, con sus soportes o polines, y partes de servicios de tuberías, etc. que se han de montar como ARMAMENTO ANTICIPADO (preoutfitting) en dichos bloques o subconjuntos estructurales*, o *formando módulos con sus polines y soportado*, lo cual es indispensable para que los planos se puedan hacer de forma que se adapten al proceso de construcción real, con los despieces correctos y para que se puedan adaptar detalles constructivos y disposiciones de equipamiento a la mejor forma constructiva. Se plantea así desde el principio una *Estrategia constructiva,* en la que deben estar de acuerdo los diferentes departamentos del astillero, a todos los cuales ha de circularse por escrito junto con el *Plan de Armamento* que ha de servir de pauta para todas las posteriores actuaciones, siendo entre ellas importantísima, desde muy tempranamente, la del Dpto. de Planificación.

También se definirán las *secciones o conjuntos de bloques que se han de unir entre ellos previamente a su montaje en la grado o dique, dependiendo de la capacidad de elevación y altura libre bajo gancho de las grúas, así como espacios y capacidad de soportado del piso para realizar la prefabricación y almacenaje de bloques, etc.*

En relación con la estrategia constructiva, surge el concepto de *PALLET* como *conjunto de elementos, piezas y trabajos (valor añadido), que deben incorporarse a la obra en un lugar y momento determinados, así como de la información técnica necesaria para proceder a dicha incorporación real*. El concepto de PALLET estará ligado desde el principio a la Planificación, de forma que las diversas secciones del astillero trabajarán para completar los trabajos que le correspondan para cada pallet a fin de entregarlos en una fecha y lugar fijados de antemano. Habrá así pallets de bloque, pallets de módulo, pallets para completar una zona o un sistema a bordo.

Un paso más es la consideración de que la agrupación de *subconjuntos iguales o semejantes y cuya forma de fabricación es similar*, *y que pueden pertenecer a varios bloques*, como pueden ser las cuadernas de una zona, las varengas, etc., e incluso conjuntos mucho más simples, permite optimizar y estandarizar soluciones constructivas y el proceso de fabricación, obteniéndose mejor calidad y ahorros. Surge así el concepto de lo que se denominan las *PREVIAS*, y los *talleres* especialmente preparados *para la fabricación* de un tipo *de previa,* asimilándola a la fabricación seriada con sus consecuentes ahorros por el efecto de escala.

5.5 Criterios para la definición de bloques

El criterio para definir los bloques ha de basarse en:

1. *Limitaciones impuestas por los medios*. Estas son el peso máximo que pueden levantar las grúas, las del taller para paneles bidimensionales y las de gradas para los bloques tridimensionales. Y, tanto en uno como en otro caso, las dimensiones de los espacios de trabajo y espacios por donde se ha circular, capacidad de soportado del piso, tamaño de las puertas de salida de los talleres, medios para realizar el transporte desde las áreas de prefabricación a la grada o dique, tamaño de las cabinas de chorreado y pintado y de sus puertas, etc.

   Para considerarlas los proyectistas han de trabajar teniendo a la vista el esquema de talleres y gradas, gráficos de alcance de grúas, de vigas de compensación con esquema de los puntos de suspensión, grúas que pueden trabajar conjuntamente, etc.

2. *Limitaciones de resistencia*. Los bloques que se prefabrican hay que voltearlos, izarlos y montarlos a bordo. Si no son lo suficientemente rígidos, pueden deformarse y la rectificación posterior de todas estas deformaciones puede hacernos perder todo lo que hemos ganado con la prefabricación. Debe aprovecharse la propia estructura del buque para reducir al mínimo los elementos auxiliares necesarios para el montaje tales como vigas supletorias, etc., con las que se refuerza temporalmente el conjunto.

   Para considerarlo hay que efectuar cálculos de resistencia que se simplifican teniendo a la vista gráficos de resistencia de vigas equivalentes. El delineante debe tener continuamente a la vista el peso de los elementos que integran el bloque y uno de los datos que tiene que dar es precisamente el peso total del bloque, así como la determinación y colocación de los elementos necesarios de suspensión y, también, el procedimiento de volteo, si fuera necesario para el montaje.

3. *La facilidad del montaje será función de la aptitud de los bloques para presentarlos en su posición*. Es importante definir los límites de cada bloque y la forma de enlace con los colaterales.

4. *Complemento del punto anterior es la secuencia u orden de montaje que deberá definirse en reuniones con los Jefes de las Secciones que han de efectuarlo.*

5. *Los dos puntos anteriores no significarán gran cosa si al presentar los bloques no logramos una coincidencia aceptable que no requiera rectificaciones muy costosas*. Esto da una *gran importancia a la cuestión de tolerancias*. La más importante es la de las unidades terminadas que deben verificarse cuidadosamente. Para ello habrá que dar esquemas del bloque terminado con una serie de referencias que son las que hay que verificar.

A partir de estas dimensiones del bloque *se estimarán los márgenes que hay que dejar* para contracciones, distorsiones y falta de ajuste y cuál es la precisión con que debe elaborarse el material. Si se dejan los topes muy próximos habrá que cortar y si se dejan muy separados, habrá que aumentar notablemente el trabajo de soldadura, con todos los inconvenientes asociados a una pobre mano de obra. Para soldadura automática debe exigirse una rectitud del borde de la plancha de 3,5 décimas de mm para que en dos chapas a tope, la llaga mayor no sea superior a 7 décimas de milímetro. En soldadura manual puede tenerse una tolerancia mayor, hasta cuatro veces la anterior.

Los paneles bidimensionales pueden construirse más fácilmente con límites de tolerancia más estrechos que los bloques tridimensionales. Los primeros se logran con errores de + 2,5 mm y aún menores. Los segundos es difícil lograrlos con errores máximos inferiores a 6 mm. Estas cifras son tolerancias reales que se pueden obtener en el estado actual de la técnica de construcción naval y deben constituir el tipo mínimo de calidad a que debemos atenernos. Esta precisión no podrá ser mayor que la de los métodos de alisado que se utilicen, que se ven en el capítulo siguiente.

5.6 Formas de despiece en bloques

Este depende de la forma en que se van a montar los bloques en la grada o dique, la cual viene impuesta generalmente por los medios disponibles. Una clasificación de los sistemas utilizados para el montaje de los bloques es la que sigue:

5.6.1 Sistema piramidal

Este fue el primero con que se empezó el desarrollo de la técnica de prefabricación. El tamaño de los bloques prefabricados es relativamente pequeño comparado con las dimensiones del buque. Aquellos son bidimensionales en su mayoría, con la salvedad de los bloques de doble fondo y piques. El número total de bloques puede ser muy variable, pero en un buque de unas 10.000 TPM puede ser del orden de 50, dependiendo de la estrategia de construcción y montaje del astillero y de la capacidad de las grúas de que disponga.

El montaje de éstos debe empezarse como regla general por los compartimentos más complejos, o sea por aquellas zonas de cámara de máquinas e instalaciones en cuya terminación se encontrará el camino más crítico de actividades. Como puede suponerse, esto siempre acontece en las cámaras de máquinas, las cuales se encuentran, por lo normal, en la parte de popa del buque, y el montaje deberá empezar por estas zonas.

Simultáneamente, se continuará el montaje de bloques hacia proa y hacia popa a ambos costados y del fondo hacia arriba, engrosando sucesivamente la pirámide por

su base. Las distintas capas se van soldando cada una a la anterior hasta adquirir buena rigidez longitudinal. De este modo cada sección puede contraerse libremente mientras se van soldando bloques sucesivamente y así la deformación total del casco debida a la soldadura es mínima.

Con este sistema el buque toma rápidamente toda su manga y puntal en la zona de popa, mientras que la eslora progresará con más retraso. El frente de trabajo irá aumentando a medida que la construcción progresa y el montaje de máquinas y servicios puede iniciarse en cuanto se han colocado los bloques correspondientes del doble fondo.

En la construcción de petroleros, el montaje suele adelantarse en la parte del cajón central en su progreso hacia proa con respecto a los costados. Como la maquinaria va instalada a popa, el montaje de la pirámide se inicia con los bloques de doble fondo de máquinas.

5.6.2 Sistema de islas

Cuando se necesita lograr una mayor extensión del frene de trabajo en breve tiempo, el sistema anterior se despliega iniciándose simultáneamente el montaje de bloques prefabricados en distintos puntos o "islas" que constituyen el núcleo de otras tantas pirámides, que se desarrollarán del mismo modo que cuando se trataba de una sola. De este modo, a medida que se va terminando la soldadura en las capas sucesivas de cada pirámide, puede irse completando el armamento y montaje de accesorios y servicios en cada zona.

El número de núcleos o islas dependerá del tamaño del buque y de la necesidad expuesta de aumentar el frente de trabajo, siendo generalmente de dos o tres.

La aplicación de este sistema de montaje tiene su mayor dificultad en el enlace de las distintas "islas" entre sí. A pesar de que este tipo de trabajo se realiza hoy con gran precisión debido a que con los métodos modernos de construcción se han reducido muchísimo las tolerancias, conviene tener prevista la forma de realizar dicho enlace.

Si estas islas se hubieran montado sobre plataformas móviles, la unión puede facilitarse maniobrando dichas plataformas. Tanto en este caso como si el montaje se ha hecho sobre picaderos conviene dejar sin montar hasta el final determinados bloques del perímetro del casco *(bloques de cierre)* con los que se facilita el enlace de las islas.

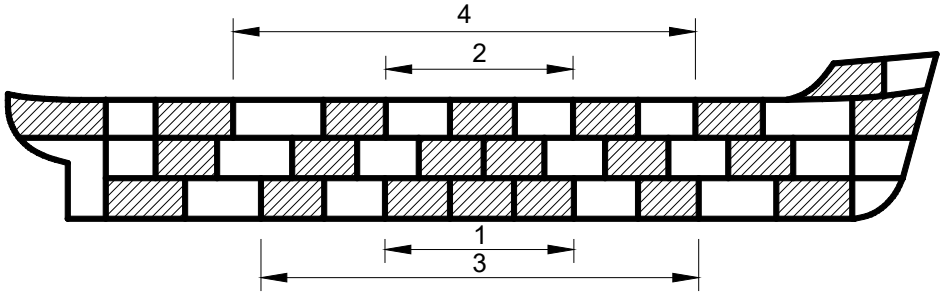


Fig. 5.2a Sistema piramidal.

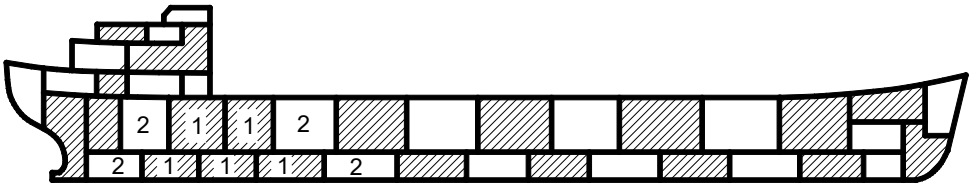


Fig. 5.2b Sistema piramidal para petroleros y bulkcarriers.



Fig. 5.2c Sistema de islas.

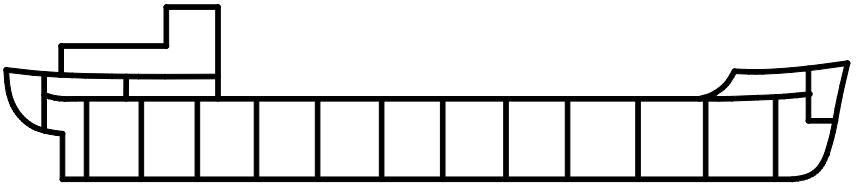


Fig. 5.2d Sistema de anillos.

5.6.3 Sistema de anillos

Cuando los medios de montaje lo permiten y se desea reducir al mínimo el tiempo de estancia en grada o dique de construcción, los bloques prefabricados tridimensionales llegan a constituir secciones completas o anillos del casco comprendidos entre dos planos transversales, anillos los cuales se construyen en el taller de prefabricación o en área de integración en secciones uniendo bloques menores, ya sean bi- o tridimensionales. Con este sistema el número total de conjuntos es muy reducido y las deformaciones de soldadura se reducen también al mínimo.

Cada conjunto o anillo suele constituir ya una sección de tamaño considerable en la que puede adelantarse el trabajo de armamento con montaje de accesorios y servicios.

Al unir los anillos en la grada hay que terminar el trabajo de enlace de estos servicios a través de la zona de unión de cada dos anillos. Se comprende que utilizando este sistema es fundamental una verificación rigurosa de las dimensiones y forma final de cada anillo. Según el tipo de buque conviene empezar el montaje de los anillos por una u otra parte de la eslora a fin de lograr el mayor avance en las zonas que han de llevar mayor número de instalaciones.

Una vez colocado el primer anillo se van presentando sucesivamente los siguientes, efectuando el enlace con un colateral y luego con el otro, o bien con los dos simultáneamente. Si el número de anillos es grande, puede convenir a veces enlazar dos o tres de ellos entre sí, formando grupos o anillos mayores que luego se enlazan entre sí.

El enlace de anillos se simplifica si se dispone de potentes medios de montaje con equipos mecánicos o hidráulicos con los que efectuar su alineación. Con las potentes grúas pórtico y otros dispositivos, este método ofrece grandes ventajas que pueden resumirse como sigue:

a) El período de montaje del casco se reduce.

b) El frente de trabajo es mucho más extenso, lo que permite reducir también el ciclo total de construcción al disponer de muchas más zonas en las que se puede trabajar simultáneamente.

c) Como consecuencia de a) se aprovechan mejor las gradas y diques.

d) Los anillos puede terminarse en talleres cerrados, lo que es de gran importancia en países con climas duros.

e) Llevado al límite este sistema permite la construcción del buque en dos o tres secciones que se botan independientemente y se unen después en dique.

Actualmente estas uniones, aunque representan un trabajo de gran precisión, se consiguen mediante una preparación adecuada para lograr la nivelación y alineación correcta de los anillos. Incluso se ha llegado en JAPON a patentar un sistema con el que se efectúa la unión de estas secciones a flote, sin necesidad de varar los trozos. Esta técnica conocida como "jumboinización" ha permitido realizar espectaculares trabajos de alargamiento de buques, así como acortamientos e incluso unión de trozos de cascos de buques diferentes para formar un buque nuevo.

Al progreso de este último sistema ha contribuido notablemente el avance tecnológico de una serie de procedimientos como la prueba de estanqueidad con aire comprimido,

que se acepta por las sociedades de clasificación, y los modos modernos de unión de tubos y cables eléctricos con absoluta garantía de estanqueidad, lo que permite enlazar los servicios que ya se han instalado sobre los bloques prefabricados.

Una vez elegido el sistema hay que definir los bloques teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas. La estructura de reforzado o gran parte de ella se proyectará unida a los paneles para lograr el mejor autoreforzado. Para facilitar el encaje de los bloques al presentarlos, puede a veces convenir el dejar un trozo de bulárcama, de mamparo transversal o de bao unidos al panel de forro. Esto ha de tenerse en cuenta en el despiece y en el listado materiales a pedir y gestionar, así como de elementos y previas, que deben ser entregados y fabricados para una fecha determinada.

5.7 Normalización

Antes de proseguir con el despiece, conviene hacer alguna consideración sobre la *Normalización* en un astillero o grupo de astilleros. Son conocidas la ventaja y la importancia de la normalización. Este problema es mucho más agudo en la construcción naval ya que la cantidad de elementos es tan variada que, si además los pedidos se hacen de forma arbitraria, los almacenes se complican increíblemente, nunca se encontrará lo que se necesita y se acabará con multitud de trastos para la chatarra.

Los astilleros, o grupos de astilleros, suelen tener una sección responsable de la normalización que contribuirá de forma muy positiva a que ésta se cree y se imponga. Normalmente, cada astillero o grupo, establece como normas a utilizar un conjunto reconocido de normas en que vienen definidos gran cantidad de elementos, como son las normas ISO, DIN, ASA, UNE, API, etc. Además, con la ayuda de delineación en los casos en que convenga, se irán creando y redactando normas para soluciones constructivas de elementos como *bitas, guías, manguerotes de ventilación, etc.* que deben ser consensuadas después de oír las opiniones de los departamentos implicados. En casos, la normalización es obligada y está definida en la especificación o el contrato, en que se indica el propio deseo del cliente para usar sus propias normas u otras internacionales.

Debe empezarse por normalizar los tamaños de impresos y papeles e incluso deben normalizarse los libros de normas ya que no sería el primer caso de haber visto libros de normas cuyas hojas no estaban igualmente taladradas de acuerdo con alguna norma. Deben normalizarse todos los elementos y materiales que se utilizan en el astillero y debe hacerse de la forma más útil y conveniente, porque si tras largo estudio se llega a un formato apropiado de impreso de pedido o de orden de trabajo, sería absurdo que no se beneficien de él todas las secciones del astillero o grupo de astilleros.

5.8 Normalización de las planchas. Ventajas e inconvenientes

Ventajas:

1. *Posibilidad de cursar los pedidos de planchas en un tiempo mínimo* sin tener desarrollados todos los planos de acero. Se puede llegar a pedir el acero con el plano de formas y la cuaderna maestra. Los inconvenientes de este procedimiento, que disminuyen con la práctica, disminuyen en importancia, pues las chapas que puedan sobrar serán de fácil aplicación por estar normalizadas y las que puedan faltar se suplen pidiendo con cierto margen.
2. *Simplificación de los pedidos, logrando mayor elasticidad en los acopios*. La repetición de planchas iguales supondrá también una ventaja para su corte a medida al salir del tren de laminación, pudiéndose reducir la tolerancia de dimensiones. De esta y otras *ventajas que obtiene la acería* se pueden lograr mejoras de precios y plazos.
3. *Los errores numéricos, los retrasos de suministro o las modificaciones que impliquen variación de dimensiones de planchas, que siempre afectan a la planificación, serán más fácilmente subsanables al disponer en el parque de un stock más completo.*
4. *La reducción del número total de planchas diferentes que se utilizan permitirá tener stocks más completos en el parque con menor inmovilización*, lo que resulta a su vez de gran utilidad para mejorar las posibilidades de atender cualquier reparación.
5. *Gran simplificación de las operaciones de clasificación y colocación de planchas en el* parque, ya que permite el almacenamiento en pilas de estiba horizontal, lo que facilita a su vez la utilización de electroimanes y la manipulación, prácticamente sin mano de obra, si se cuenta con los medios adecuados. Cuando no están normalizadas se requiere muchas veces el almacenamiento en posición vertical para poder extraer en cada momento la plancha que se necesita. Al ser iguales no existe este problema y para evitar que las planchas inferiores de la pila tengan menos salidas y envejezcan, lo que se suele hacer es disponer dos pilas de planchas iguales, en una de las cuales se le van colocando todas las planchas que van llegando, mientras que de la otra se toman las que se van empleando, hasta que queda agotada la pila de consumo y entonces se invierten las funciones de las dos pilas.
6. *Simplifica la selección del material a trabajar*, pues habiendo muchas planchas iguales, cuando se va a iniciar el trabajo no hay que seleccionar una plancha determinada, siendo indiferente la que se tome con tal de que tenga las dimensiones señaladas. Esta ventaja se repite después durante la construcción al aumentar el número de planchas iguales en el casco del buque, especialmente en construcción soldada. Posteriormente será también una gran ventaja para que el buque repare en el mismo astillero.

Inconvenientes:

a) *El mayor de ellos es la dificultad de hacer un despiece ateniéndose a unas dimensiones fijas de las planchas*. Este inconveniente ha de ser superado en las Sala de Delineación que debe adquirir rápidamente la experiencia necesaria para utilizar óptimamente las dimensiones normalizadas con soluciones adecuadas. Esto se facilita con los actuales sistemas CAD/CAM.

b) *El verdadero peligro está en el aumento de la importancia de los recortes.*

Aunque hay varios sistemas para su aprovechamiento, es más práctico evitar que se produzcan en cantidad excesiva.

Las técnicas modernas de corte facilitan notablemente la reducción del porcentaje de recortes con los equipos de oxicorte dirigidos por control numérico. Las plantillas con que antes se marcaba el material han sido sustituidas por control numérico con el que se desarrollan y definen no sólo los elementos principales de la estructura sino también los de menor importancia, de forma que, automáticamente por procedimientos informáticos o ayudándose de la pantalla del ordenador se aprovecha mejor el material sin grandes dificultades anidando o agrupando las diferentes piezas sobre una chapa de dimensiones determinadas o trozo de chapa (recorte). Con esta operación de *"anidar" (o "nesting")* pueden lograrse cifras de recorte del orden del *5 por ciento*, que es satisfactorio, utilizando planchas normalizadas. Este sistema puede ser utilizado para los elementos estructurales principales y secundarios de menor superficie, como consolas y pletinas así como para las piezas de chapa de los elementos auxiliares de suspensión y montaje que, a su vez, deben estar también normalizados.

Aprovechamiento de los recortes:

Aunque utilizando el método expuesto se consigue que el volumen de recortes no sea de importancia, deben adoptarse medidas para la recuperación y utilización racional y sucesiva de los que puedan surgir, principalmente de los recortes grandes que puedan producirse en planchas que se hayan utilizado sin una programación adecuada, como puede ser el caso de una reparación de carácter urgente. Con este fin habrá un parque de recortes, con las existencias debidamente inventariadas y clasificadas por dimensiones, calidades de material, etc.

5.9 Criterio para la selección de dimensiones

El éxito en la normalización dependerá en gran parte del acierto con que se hayan seleccionado las dimensiones normalizadas. Esta selección está condicionada por los siguientes aspectos:

1. *Tamaño de las planchas*: Cuanto mayor sea la superficie de las planchas a utilizar, especialmente la anchura, se reduce la longitud total de costuras y la correspondiente soldadura, lo que abarata el coste siempre que la complicación de las formas no encarezca el trabajo.
2. *Programas de laminación de las fábricas siderúrgica*s: evidentemente hay que atenerse a las posibilidades de suministro.
3. *Capacidad de las grúas del parque y talleres del astillero*: aunque ya es corriente en muchos astilleros encontrarse con elementos para mover planchas de 5, 6, 8 t y más.
4. *Características de las máquinas herramientas y otros elementos de producción*: Además de las otras limitaciones señaladas, la mayor parte de las máquinas herramientas de los talleres imponen también ciertas limitaciones. Las más importantes son:

   — anchura útil de las aplanadoras, aunque, hoy en día ya es raro que se utilicen en los astilleros, ya que las planchas llegan de la acería con un grado de planitud aceptable.

   — dimensiones de las mesas de corte con plasma y oxicorte y brazo de las máquinas automáticas.

   — longitud del cilindro para curvado de chapas

   — ancho/longitud de las prensas de plegar.

   — escote de las prensas de conformado de planchas.

   — hoy en día, prácticamente ha dejado de ser una limitación la longitud de corte de las cizallas-guillotina, como sucedía antiguamente.

   También hay que tener en cuenta la anchura de las naves, así como la disposición y dimensiones del almacenamiento intermedio.

   Si los procesos se han estudiado, y la maquinaria de que se dispone está coordinada, bastará conocer los valores de los parámetros limitativos. Generalmente, el más importante es la anchura de la aplanadora, que no debe ser menor de 3 metros. En cuanto a la longitud, interesa poder utilizar planchas de al menos 12 metros, que es la dimensión mínima que deben tener las grandes prensas de plegar y los cilindros de volteo, o más, dependiendo del tamaño de buque que normalmente se construye en el astillero.
5. *Dimensiones de los bloques prefabricados*: aunque éstas se definen por otras consideraciones, como vimos antes, la adopción de longitudes normalizadas para que los paneles bidimensionales estén constituidos por planchas enteras o múltiplos enteros, obedece a un criterio tan simple, que no requiere comentario.
6. *Manejabilidad de las planchas*: aparte de otras limitaciones de peso ya vistas, la

manejabilidad de las planchas impone otra limitación con el fin de que no se produzcan flechas excesivas en las planchas suspendidas por medio de *gafas*, limitaciones que no sólo dificultan su movimiento, sino que pueden ser causa de accidentes graves. Por otra parte, cargas excesivas en los puntos de soportado pueden producir deformaciones permanentes que no son admisibles.

Actualmente esta limitación pierde importancia con la utilización de somieres magnéticos de suspensión debidamente repartidos, que, generalmente, penden de vigas robustas ampliamente dimensionadas para evitar flexiones excesivas. En cuanto el material entre en el astillero, debe garantizarse que su movimiento pueda efectuarse en las debidas condiciones, bien por medio de electroimanes, o sobre trenes de rodillos. No obstante, no debe olvidarse que, antes de llegar al astillero, las planchas suelen ser manipuladas en los puertos de carga y descarga, por lo que conviene extender el control a los medios que se utilizan en el trayecto, especialmente en lo relativo a que las vigas de suspensión sean de longitud y tipo adecuado.

5.10 Propuestas de normalización

Aunque sería deseable lograr una normalización general aplicable a todos los astilleros, hay que tener en cuenta que cada uno tiene sus limitaciones.

ESPESOR (mm) (1)	**ANCHURA DE LAS PLANCHAS (mm)**				
	1.400	**1.800**	**2.200**	**2.600**	**3.000**
	LONGITUD DE LAS PLANCHAS (m)				
1 - 1,5 - 2	2.000				
2,5 - 3	4.000				
3,5 – 4 – 4,5	4.000	6.000			
5 – 5,5	8.000	8.000			
10 a 14		10.000	10.000	10.000	
15 a 20			10.000	12.000	12.000
21 a 24				12.000	10.000
25 a 28				10.000	8.000
29 a 30				8.000	8.000
(1) **Los espesores varían de 0,5 en 0,5 mm hasta 14 mm**					

Tabla 5.1 Cuadro de normalización: ejemplo.

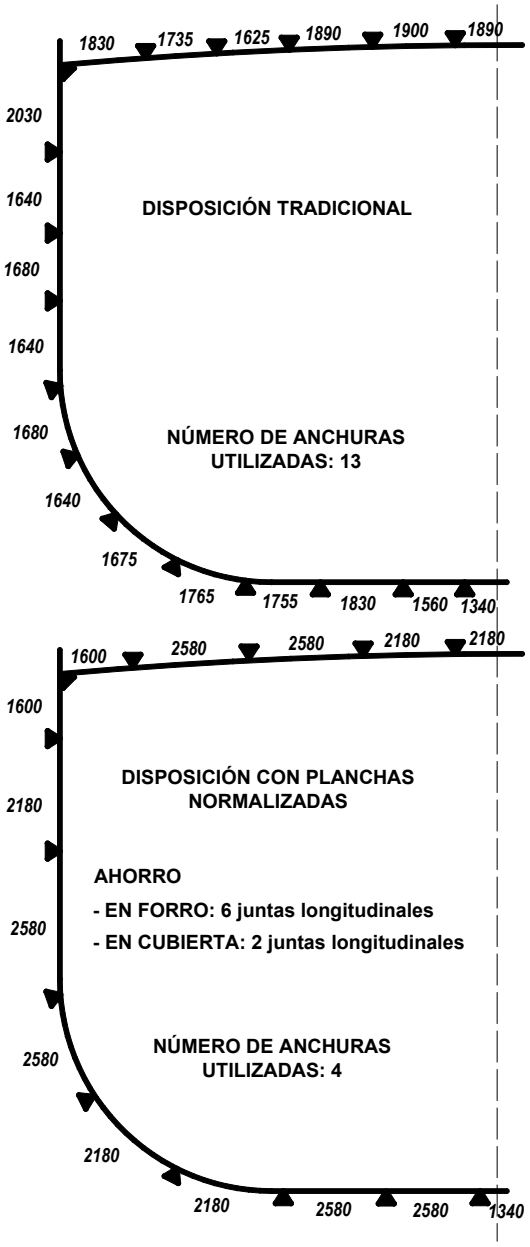


Fig. 5.3 Disposición de planchas en el forro y en la cubierta.

Otros astilleros utilizan sólo dos formatos de planchas, por ejemplo: *8.500 x 2.100 mm* y *11.000 x 2.400 mm*.

Astilleros pequeños utilizan longitudes únicas de 6.000 mm con anchuras de 1.000, 1.500, 2.000, 2.500 mm.

En estos datos se ve el esfuerzo que han realizado para normalizar, utilizando un número muy reducido de tamaños.

Espesores: Se considera conveniente cubrir la gama de espesores de medio en medio milímetro hasta los 14 mm y a partir de este con variaciones de 1 mm.

Anchuras: La máxima compatible con las limitaciones que se han enunciado.

En **Tabla 5.1** y **Fig. 5.3** puede verse, sólo como ejemplo, una propuesta de normalización hecha hace años en España, aunque, como se vio, cada astillero podría tener sus propias limitaciones. También se ve la diferencia que se tendría en una cuaderna maestra en la que forro y cubierta se han despiezado por el método clásico y con planchas normalizadas (en el ejemplo del dibujo, aparece un despiece para planchas remachadas, pero el concepto es el mismo para el caso soldado como es siempre actualmente).

5.11 Libro de normas

Si la normalización de planchas tiene grandes ventajas para el constructor naval, el beneficio que se consigue con la normalización de los demás elementos es incalculable, dada la enorme variedad de ellos a instalar en el buque, independientemente de las herramientas y servicios de la factoría que ya constituyen de por sí una parte importante.

Hay que considerar que, cuando se desarrollan los planos en delineación, se encuentran con muchísima frecuencia una serie de elementos que se repiten y no se puede esperar que el personal técnico de que se dispone proyecte, para cada caso, cada uno de dichos elementos. Es el caso, por ejemplo, de los accesorios de amarre como *bitas, alabantes*, *guías, rolines, "fair-leads", etc*. Por ello, las oficinas técnicas han de estar preparadas con *juegos de normas*, informatizadas en su base de datos, con planos en los que están previstos cuadros con el dimensionamiento, especificación y demás detalles de todos estos elementos que corresponden a los datos que los definen, como pueden ser la carga del cabo que ha de trabajar en ellos, diámetro del mismo, etc. Estas hojas están debidamente codificadas de forma que, cuando se está desarrollando el proyecto, al llegar a uno de estos elementos, basta con indicar en la lista de materiales la clave del código que define el elemento que se desea instalar.

Es costumbre que cada astillero tenga normas según sus disponibilidades y en ellas deben agruparse prácticamente todos los elementos que se repiten. Estas normas deben revisarse periódicamente para contar con los elementos más modernos, pero restringiendo siempre el número de tipos, evitando así una multiplicidad excesiva.

Cuando los elementos se han de adquirir en el exterior, estas hojas reflejan una selección muy estudiada para reducir el número de tipos a unos mínimos adecuados al precio, peso, calidad, seguridad de suministro, etc. según lo que hay en el mercado.

A veces, los fabricantes de elementos auxiliares para la construcción naval se asocian para unificar los tipos de los elementos que ofrecen, resumidos en catálogos adecuados que vienen a ser como juegos de normas. Así, por ejemplo, se especifican los tipos de ventanas y portillos que deben reducirse a uno o dos modelos con dos o tres dimensiones diferentes.

En el desarrollo del proyecto de tuberías deben tenerse normalizados los diámetros y materiales de los tubos que han de emplearse en los servicios de vapor saturado y vapor recalentado en función de la presión. Los de exhaustación, los de aire a presión, también en función de la presión, los de agua salada de los circuitos de refrigeración de motores, enfriadores y condensadores, los del servicio de contraincendios, los de achique de sentinas, los de lastre y los de limpieza de tanques en petroleros.

Como las presiones en estos últimos servicios suelen estar muy definidas bastará con dar los dos o tres tipos de presión que puede presentarse. Lo mismo se tiene con los servicios sanitarios, los de agua dulce, agua de alimentación, etc.

Para cada tipo de servicio hay que definir también los de los accesorios que se deben utilizar, procurando igualmente reducir la variedad de estos al mínimo compatible con un buen servicio.

En algunos casos estos accesorios están ya reglamentados. Sirvan como ejemplo las bocas del servicio de contraincendios que están definidos por el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en la Mar, que han de tener precisamente conexión *tipo Barcelona* y han de amoldarse a determinados materiales y dimensiones.

Otros elementos que convienen tener normalizados son aquellos, que, aunque pueden variar bastante, van a repetirse, como pueden ser por ejemplo los puntales de carga. En este caso se acostumbra a tener cuadros en función de las cargas y longitud de puntal y en ellos, con algún otro dato variable, se obtiene directamente el diámetro del bulón, el del pinzote, espesor y diámetro de las plumas, etc., con lo que aunque pueden variar las cargas y longitudes, vale la pena tomar la cifra inmediatamente superior del cuadro por la cantidad de trabajo que se elimina.

Muchas de estas normas están ya publicadas como las DIN, las UNE, las ASA, las ISO, las API, las UNI, las TÜV, las British, Norwegian, Swedidh, etc. Standards, las AFNOR, etc.

5.12 El Despiece

A partir del escantillonado de la maestra, el despiece de la parte cilíndrica es el más sencillo. A medida que nos acercamos a los finos de proa y popa el problema se complica en las superficies con forma. El despiece de superficies planas no tiene mayor dificultad y puede realizarse sobre plano, siempre considerando lo que se dijo de la normalización.

En las partes con forma tenemos que distinguir:

— elementos moldeados como codaste, etc.

— las que están construidas de chapas curvadas.

En las zonas de popa y proa, estas son prácticamente casi todas del forro exterior. El proyectista deberá procurar por todos los medios que sean desarrollables para facilitar su curvado en frío en cilindros o prensas. Las planchas de doble curvatura tendrán que forjarse en caliente y su coste es muy elevado.

Aunque se tomarán los márgenes necesarios para el pedido de planchas, el despiece completo a partir de los planos de formas es muy difícil. A pesar de ello se gana tanto tiempo que aunque haya que aumentar el porcentaje de recortes, hay astilleros que obtienen la lista de chapas para el pedido de materiales a partir del plano de formas. Con cierta experiencia el error no es muy grande.

5.13 Planos de construcción

Terminados los despieces pueden completarse los planos sobre los que ya figurarán todas las costuras. El paso siguiente es la redacción de las listas de materiales.

Todo plano debe expresar con claridad absoluta, sin ningún lugar a duda, lo que se ha de construir. Para ello deberán darse todos los detalles, vistas y secciones que sean necesarias con el fin de que el operario que ha de realizar la obra no tenga que inventar nada. Habrá un plano general de la estructura con un número asignado y en la casilla correspondiente del recuadro debe figurar una referencia a todos los planos necesarios para aquel trabajo, que serán varios si no puede definirse todo en uno solo.

Con el mismo número de referencia de plano se redacta *la lista de materiales* necesarios para construir el conjunto representado en el plano. Luego veremos que, antes de que llegue el plano constructivo al taller, pasará por una oficina tecnológica de trabajos u oficinas (oficina de Métodos, oficina de Producción) donde se redactarán todas las instrucciones necesarias para fijar todos los procesos de fabricación, medios auxiliares, etc., con el fin de que el trabajo se realice según está programado.

5.14 Listas de Materiales

Las listas de materiales deben comprender los siguientes aspectos:

1. Número de referencia.
2. Descripción de las piezas y dimensiones.
3. Número de piezas.
4. Material, calidad del mismo y certificados necesarios dado el caso.
5. Pruebas de recepción.

Es costumbre marcar sobre el plano cada pieza de la estructura con un número de referencia que es el que figura en la lista de materiales para facilitar la identificación. Si se trata de chapas se suele asignar una letra a las tracas, empezando por Q en la quilla horizontal si es del forro, continuando por la A, B y así sucesivamente a partir de la traza de aparadura, seguida de un número que indica su orden desde la popa hacia la proa. En cubiertas puede seguirse un criterio parecido y así en las demás estructuras. Lo importante es utilizar una nomenclatura sistemática codificada con varios grupos de cifras, que faciliten la identificación y contabilización posterior de materiales y trabajos.

La descripción de la pieza es breve, indicando, en el caso de planos estructurales, que se trata v.g.: chapa, redondo, perfil, casquillo, etc.

Las dimensiones se obtienen, según se indicó, de los despieces y con los márgenes necesarios. Se darán en mm. Cuando se trata de chapas regulares se darán las tres dimensiones principales. Si su forma es irregular y hay que pedirla así, habrá que acompañar un pequeño croquis que la describa con claridad. En tubos hay que dar material, diámetros, espesor (presión nominal, PN), presión de prueba y longitudes. Es fundamental indicar si los materiales tienen que ser clasificados, así como los certificados que se deben entregar con el material. Al dar las dimensiones deben fijarse las tolerancias.

En la construcción soldada la tolerancia de fabricación de chapas no debe ser superior al milímetro. No obstante, para los pedidos de materiales hay que tener en cuenta los

posibles errores y los recortes que se producirán al recantear las chapas. Por ello ha de estimarse un margen que no debería ser superior al 8%. Por supuesto que en zonas en que las chapas pueden tener un desarrollo rectangular, este margen debe ser menor, del orden del 5%.

5.15 Calidad del acero

Es fundamental definir con toda precisión la calidad del material que se requiere para cada pieza. Actualmente en aceros laminados esta calidad puede variar con el espesor y el destino del material, estando definido en las reglas de las Sociedades de Clasificación, que en aceros ordinarios admite 5 tipos: A, B, C, D y E; para aceros de alta resistencia las AH, BH, etc. Para otros aceros especiales y otros materiales hay también diferentes calidades que deben definirse para cada pieza. Generalmente se utilizan nomenclaturas codificadas y normalizadas. Si la norma es internacional o nacional bastará con hacer la referencia exacta. Si se trata de una norma particular habrá que especificarla al pasar la consulta o demanda de materiales a Compras.

5.16 Pruebas de Recepción

Las pruebas están definidas en muchos casos por las reglas de la Sociedad de Clasificación, por lo que en ese caso bastará con hacer referencia a que el material será clasificado por la Sociedad que se determine, y vendrá provisto del correspondiente certificado.

Las pruebas incluyen:

- Tolerancia.
- Reconocimiento de las superficies de terminación.
- Análisis químico de colada.
- Pruebas físicas destructivas, tales como ensayos de tracción, plegado y resistencias a determinadas temperaturas.
- Pruebas hidráulicas, como en tubos de calderas que han de estar sometidos a presión, abocardado, aplastamiento, etc., y muchas otras según el tipo de material de que se trate. Macrografías y micrografías.
- Pruebas de caída y percusión en piezas moldeadas, etc.

Cuando se trata de piezas especiales que van a tener un trabajo de mucha responsabilidad pueden exigirse otras pruebas no destructivas como son inspección por métodos magnéticos, ultrasonido o radiográficos.

Las Sociedades de Clasificación tienen establecidas ciertas tolerancias para los defectos de laminado, pero en realidad el armador y por consiguiente el astillero no tienen por qué aceptar defectos en materiales que adquieren como nuevos a menos que haya razones especiales.

Es prácticamente imposible resumir todas las pruebas y las especificaciones de los materiales que componen el buque. En cada caso habrá que citar la norma correspondiente, lo cual simplificará notablemente el trabajo, ya que en la casilla correcta de la lista de materiales bastará con hacer referencia a la clave de la norma.

Cuando se trate de pedir al exterior piezas, elementos terminados, equipos o máquinas habrá que redactar cuidadosamente las especificaciones con el detalle que sea necesario y establecer todas las pruebas de recepción no sólo de cada uno de los materiales y elementos, sino también las que debe sufrir la estructura, máquina o equipo en los procesos intermedios de fabricación, y los del equipo terminado. En estas especificaciones hay que tener un especial cuidado en definir exactamente lo que se requiere, especialmente en los pedidos de partes de una instalación a diferentes fabricantes que, después de montados conjuntamente, han de dar como resultado global ciertas características comprometidas.

Así, por ejemplo, si hemos de instalar una bodega o una gambuza refrigerada y pedimos el equipo frigorífico a un suministrador, mientras que contratamos el aislamiento de la cámara con otra casa, habrá que delimitar con precisión la responsabilidad de cada parte, pues al final la característica más importante de la instalación es que se logre mantener en la cámara cierta temperatura en determinadas condiciones del ambiente exterior, conservando en su interior determinados productos. Si no se logra, se debe evitar que puedan surgir discusiones entre las dos casas que han intervenido, cada una de las cuales tratará por supuesto de achacar a la otra los fallos de la instalación. En este caso será necesario que al especificar los pedidos se establezca la conductividad del aislamiento de forma que pueda medirse en el momento final antes de la prueba del conjunto.

Como no hay una forma práctica de comprobar todas las pruebas que se requieren, el procedimiento habitual de llevar la verificación es el de confiar muchas de estas pruebas a los inspectores locales de la Inspección de buques y de las Sociedades de Clasificación, los cuales extienden los correspondientes certificados que deberán acompañar a los materiales y que proporcionarán a los encargados de recepción el control necesario de que se han efectuado las pruebas especificadas. Generalmente las mismas inspecciones locales envían otra copia del certificado a los inspectores del astillero donde se construye el buque para que estos controlen a su vez el cumplimiento de todas sus reglas. Como no todos los elementos del buque están sometidos a esta

reglamentación, el astillero a su vez tendrá que servirse de los medios oportunos para verificar y controlar las pruebas que haya establecido.

Para la ejecución de los servicios de tubería, electricidad, etc. debe empezarse por elaborar los esquemas servirán de base para desarrollar los planos y para definir las listas de materiales a pedir.

5.17 Pedidos de materiales y equipos. Aprovisionamientos

Ya se vio como se obtienen las *Lista*s de *Materiales*, trabajo totalmente técnico, que habrán de pasar a la *Sección de Compras* en las fechas previstas por la planificación. Para realizar los pedidos, la Oficina de Compras ha de pedir ofertas a los suministradores con los alcances de suministro adecuados, negociar los precios y condiciones de pago, los plazos de entrega, las garantías y responsabilidades, estableciendo asimismo las penalizaciones que deben imponerse para evitar los retrasos en la fecha de entrega.

Con este mismo fin, la oficina de compras, que deben tener adelantados ya todas las gestiones, tiene que dar salida a los pedidos también en las fechas programadas según las demoras necesarias para cada artículo, lo cual debe estar definido, no sólo por las ofertas, sino comprobado estadísticamente con experiencias anteriores. Cuando se trata de productos con los que hay poca experiencia en el astillero, es conveniente aumentar los márgenes para evitar retrasos inoportunos.

Antiguamente toda la producción la hacía el astillero, pero hoy en día parte de la construcción, o casi toda, no es realizada por el astillero, sino que éste la encarga al exterior: a esto se le conoce como externalización de la producción.

Los aprovisionamientos son todos aquellos suministros que le llegan al astillero desde el exterior.

En la construcción naval la aportación de material exterior es del 70% del coste total del buque. *El departamento de aprovisionamientos es el que se encarga de gestionar los inputs que se deben recibir de los diversos suministradores.*

Capítulo 6

Definición y alisado de formas

6.1 Introducción

El plano de formas con que se trabaja en la fase inicial del proyecto de un buque con objeto de establecer las características básicas del mismo, ha sido generado a escala reducida (1/100 ó 1/50), en casos incluso de forma manual. A no ser que dicho plano hubiera sido realizado con un programa que genere formas alisadas para la totalidad de la superficie del casco, de los que hablaremos a continuación, se encontraría uno con resultados desoladores si dicho plano, en principio no alisado, se desarrollara a escala natural, debido a imprecisiones de las medidas tomadas a escala, a falta de continuidad de las superficies no perceptible en el dibujo a escala reducida y posiblemente a fallos de correspondencia entre las tres proyecciones. Las líneas aparentemente tan armonizadas aparecerían llenas de jorobas al llevarlas a escala natural y harían impresentable la forma del casco construido con tal plano.

Por ello, en cuanto el proyectista ha comprobado que el plano de formas satisface las características que se exigen a la carena como son un desplazamiento y una posición de centro de empuje determinados y las formas hayan sido modificadas de acuerdo con las recomendaciones del canal de experiencias, para adaptarlas a las exigencias propulsivas, hay que proceder al alisado y armonizado de formas por uno de los procedimientos que a continuación se exponen, siempre que, las formas no se hubieran generado ya totalmente alisadas, como antes se indicó.

Debido al diferente tratamiento a seguir para el alisado, que dependerá del método antes seguido para la definición de las formas, a continuación se hace una breve referencia a los diferentes procedimientos que para esto se usan.

6.2 Definición de formas

Los diferentes procedimientos utilizados pueden clasificarse de la siguiente manera:

— *Por asignación de una forma geométrica determinada*, como por ejemplo una forma paralelepipédica para una barcaza o gabarra o las formas de una plataforma semisumergible sobre columnas estabilizadoras cilíndricas sobre pontonas o cascos bajos paralelepipédicos, si no se requirieran exigencias propulsivas particulares.

— *Por derivación de las formas de un buque modelo* considerado bueno hidrodinámicamente, mediante diferentes métodos como son: *transformación afín, modificación del coeficiente prismático, modificación de la posición longitudinal del centro de carena, modificación de las curvas de áreas de las secciones o de las flotaciones, etc.*

— *Mediante el uso de series de formas sistemáticas*, realizadas por canales de experiencias y también por astilleros, estos últimos, en principio, para su propio uso.

— *Generación directa de formas mediante métodos que, a partir de los parámetros principales del buque que se quiere diseñar, generan diversas alternativas de formas al variar otras características.*

SERIE	Fn	Cb	Cp	L/B	B/T	Xb/L%	$L/V^{1/3}$
MarAd	0.13 0.18	0.875 0.800		4.5 6.5	4.5 3.0	2.5	
BSRA		0.850 0.550			4.0 2.0	-3.0 4.0	7.0 4.0
60	0.16 0.29	0.800 0.600	0.805 0.614	5.5 8.5	3.5 2.5	-2.48 3.51	7.50 4.55
Taylor	0.16 0.64	0.796 0.444	0.860 0.480		3.75 2.25	0.0	11.26 4.85
HSVA	0.15 0.80		0.645		3.75		9.0 6.0
De Groot	0.8* 2.7*	0.560 0.293	0.791 0.463	3.53 10.09	6.55 2.72	-11.5 3.09	9.0 4.5
63	0.9* 2.2*	0.636 0.383	0.764 0.577	2.5 6.0	9.5 2.89	-5.80 0.30	6.5 4.5
Nordström	1.6* 0.9*	0.410 0.373	0.599 0.576	4.83 6.94	3.57 3.16	-2.28 -1.79	7.75 5.5
64	0.8* 3.0*	0.550 0.350	0.630	8.45 18.26	4.0 2.0	-6.56	12.5 8.0
NSBM	0.0 1.4	0.500 0.350	0.690 0.560	4.0 12.0	5.5 2.5	-5.2	13.1 4.2
SSPA	1.0* 2.0*	0.400	0.680	4.62 8.21	4.0 3.0	-4.15	14.1 8.2
NPL	0.5* 2.8*	0.397	0.693	3.33 7.5	10.2 1.72	-6.4	

Tabla 6.1 Series de formas sistemáticas. Rango de aplicación.

El método de generación quizá más conocido internacionalmente ha sido desarrollado en España, constituyendo un módulo que forma parte del sistema FORAN. Tiene la particularidad de que *genera formas intrínsecamente alisadas*, permitiendo su utilización directa sin correcciones adicionales necesarias para los procesos de fabricación del casco. Dado el uso extendido del sistema, tanto en astilleros españoles como en otros países, a continuación se incluye un apartado dedicado exclusivamente a este sistema, en particular a los módulos de generación y de obtención de datos de formas.

En algunos casos el método utilizado es una combinación de varios de los procedimientos anteriores.

6.3 El sistema FORAN

El sistema FORAN fue desarrollado como un instrumento de trabajo de la División Naval de la empresa española SENER en concreto en el campo del proyecto de buques. En su evolución fue incorporando distinto módulos de producción para atender a necesidades del tipo de:

— Acopio de materiales.

— Datos constructivos para talleres de elaboración de acero.

— Dibujos a escala 1/10.

— Información para control numérico de máquinas automatizadas para corte y para conformado de chapas.

— Información para planificación y control de producción.

Este proceso evolutivo ha llevado en la actualidad a su casa matriz a disponer de un completo sistema integral de tratamiento de información, articulado en tres fases:

— Fase de PROYECTO.

— Fase de PRODUCCIÓN.

— Fase de GESTIÓN.

Cada una de ellas, a su vez, consta de distintos *módulos* y programaciones, abarcando el *proyecto de precontrato, el proyecto definitivo, el proyecto de construcción, la planificación, el control de producción y el control de costes.*

Características esenciales con las que se ha desarrollado el sistema FORAN son, entre otras:

1. *Generalidad* en su concepción, para garantizar que se pueda aplicar a todos los barcos que construya el astillero y que para cada barco en concreto el *porcentaje de piezas tratadas con el sistema sea el más elevado posible.*
2. *Agilización del flujo de información* entre producción y las oficinas de proyecto, delineación, trazado, preparación de trabajos y control de la producción, organizando una recirculación efectiva de información que rompa las fronteras entre departamentos.
3. *Integración de los criterios y condicionantes de la producción en la fase de proyecto*, de tal manera que desde las primeras etapas del mismo se puedan tener en cuenta consideraciones de producción.
4. *Interconexión de todos los programas de ordenador por medio de un banco de datos*, de forma que cualquier programa pueda recibir como entrada los resultados de otros programas procesados anteriormente.
5. *Organización racional y efectiva del almacenamiento de información en el banco de datos*, simplificando la búsqueda, anulación y puesta al día de la información.
6. *Modularidad de los programas para facilitar el trabajo de actualización e interconexión con nuevos programas*. Sería excesivo el tratar de describir aquí los diferentes módulos, ni siquiera alguno de ellos con todo el detalle necesario. Sin embargo, se presenta a continuación una breve referencia a algunos de dichos módulos, que afectan a definiciones y datos que se precisan para la construcción del buque.
7. *Facilidad de comunicación entre el proyectista y el ordenador* mediante la utilización de lenguajes orientados al problema y basados en las terminologías usadas en Construcción Naval.
8. *Sencillez en los resultados numéricos y gráficos* de forma que no proporcionen más que la información necesaria para tomar decisiones o para ser utilizada directamente en la oficina técnica o en los talleres.

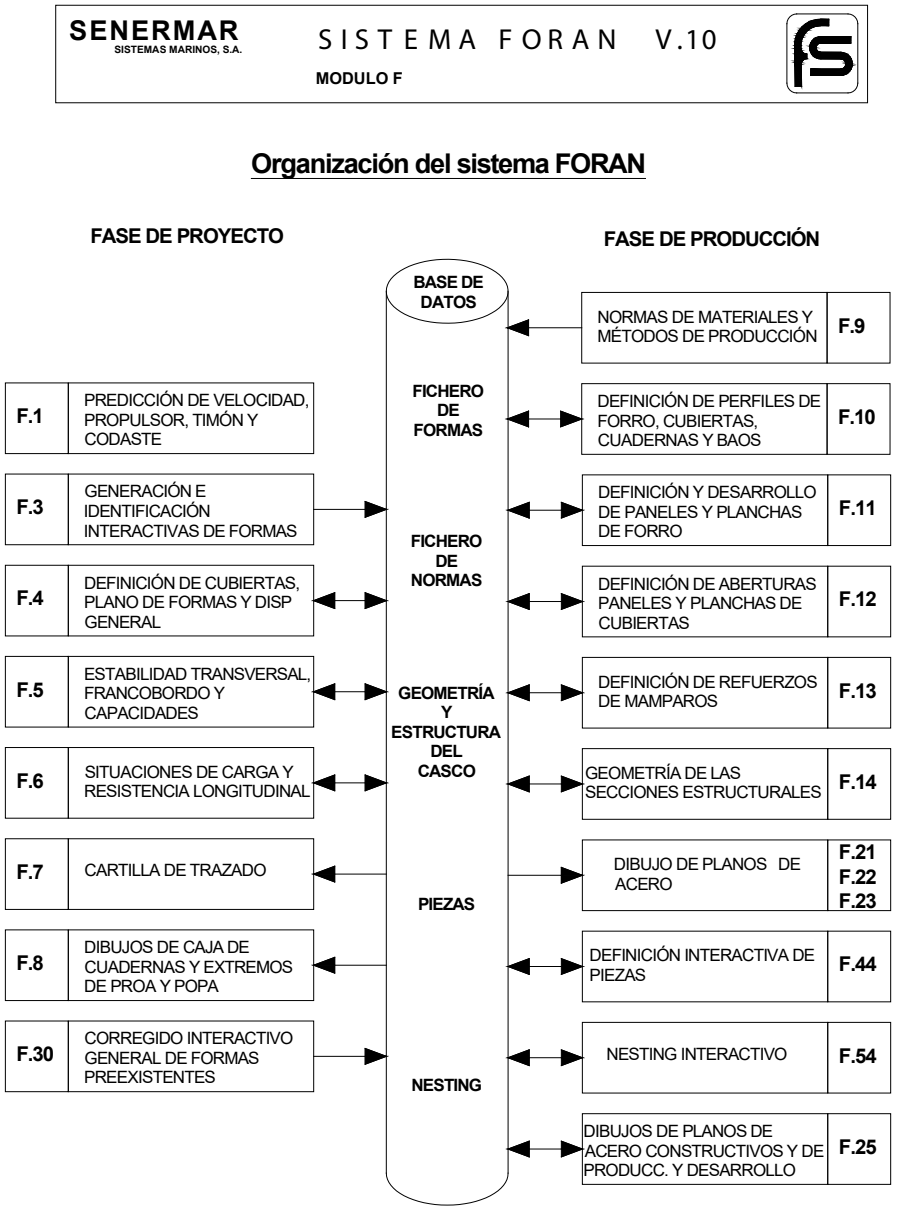


Fig. 6.1 Flujos de trabajo sistema FORAN.

Con funciones similares citaríamos el sistema TRIBON desarrollado por Kockuns Computer System (KCS) de Suecia, los sistemas DEFCAR, Marsurf y Arqnaval (España), el Compass (USA), el Ship Constructor (Canadá), etc.

6.4 Formulación matemática de las formas

El módulo de generación de formas del sistema FORAN divide el buque en dos zonas: desde popa hasta la sección máxima y desde la sección máxima hasta proa, no teniendo que estar la sección máxima necesariamente situada en la mitad de la eslora.

La superficie de cada una de las zonas citadas se define mediante una ecuación del tipo: **y = y(x,z)**, es decir, la semimanga **y** de un punto cualquiera del casco es función de la posición longitudinal **x**, o eslora de dicho punto, y de su altura o puntal **z** sobre la base.

Esta formulación se utiliza para la generación de nuevas formas partiendo de las dimensiones principales y de los datos geométricos y de formas que usan los proyectistas. Como es lógico, también puede usarse esta formulación matemática para el corregido de formas existentes.

El primer paso para llegar a esta formulación consistió en encontrar una expresión analítica capaz de representar líneas de agua existentes. Después de analizados cientos de formulaciones, se seleccionó una función exponencial continua así como sus derivadas. Gracias a esta función, verdadero "know-how" de SENER, es posible definir una línea de agua por medio de cuatro parámetros para el cuerpo de proa y otros cuatro para el de popa.

A continuación se encontró la correlación de estos parámetros de las líneas de agua, en función del puntal, a fin de dar continuidad en altura a la formulación plana de las líneas de agua. A partir de este momento, se pasó a identificar y corregir analíticamente las formas existentes. Con ello se disponía de una base sólida para generar directamente las formas del casco de un buque genérico.

Una vez analizadas las características básicas que definen con precisión la carena de un buque, como son la curva de áreas de cuadernas y las de las líneas de agua (ver series sistemáticas de Taylor), se prestó atención a la formulación sistemática de los perfiles de la roda y del codaste, grado de abanico de las cuadernas de proa y popa, terminación de líneas de agua, ángulos de entrada en la flotación, etc.

Para convertir los datos geométricos y coeficientes de forma dados por el proyectista en un conjunto de parámetros de la ecuación matemática que define las formas del casco, se preparó un programa de conversión.

La formulación FORAN genera formas intrínsecamente corregidas y tiene suficientes grados de libertad para obtener formas diferentes con el mismo desplazamiento y posición del centro de carena, variando los restantes coeficientes.

Los parámetros iniciales son **Lpp, B, T, H, δ, Cm, Cp, Xcc**. A continuación, se define la geometría de la máxima sección, grado de las formas (en U, en V de las cuadernas) y de los contornos de popa y de proa, utilizando para ello diversos parámetros que definen la astilla muerta, la inclinación de los costados, las características de los bulbos de proa y de popa, el lanzamiento de la roda, la inclinación del codaste, etc.

En **Fig. 6.2, Fig. 6.3, Fig. 6.4** se pueden observar ejemplos de salidas gráficas correspondientes a formas generadas.

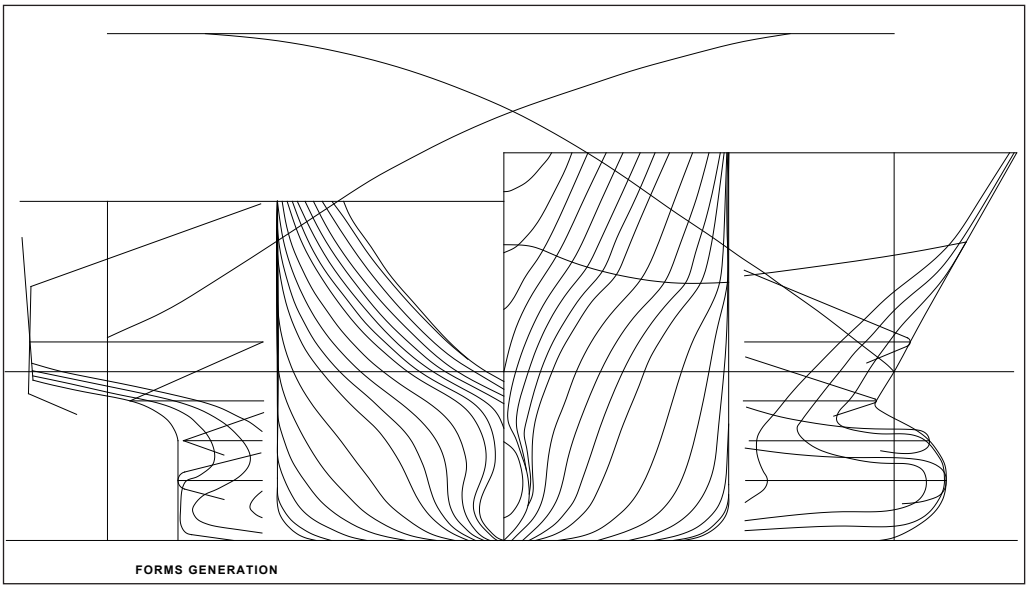


Fig. 6.2 Sistema FORAN. Cajas de cuadernas con detalles de los perfiles de proa y popa y línea de agua de la flotación (Cruzelaegui).

Para corregir formas se dispone de un programa de corregido basado en la formulación FORAN. Adicionalmente se incorporó un procedimiento general del tipo junquillo matemático, ampliamente utilizado en muchos casos, que procede de la BSRA inglesa, admitiendo formas obtenidas por generación directa o por otro procedimiento tal como la transformación de carenas o la adición de una nube de puntos.

Las ventajas de una formulación matemática son altamente destacables, ya que se posee una herramienta de investigación, de comprobación y cálculo exacto de puntos sobre la superficie del casco, y por ende el cálculo inmediato de las derivadas y sus condiciones de continuidad en cualquier punto de la carena proporcionan caminos para resolver los problemas de desarrollo del forro.

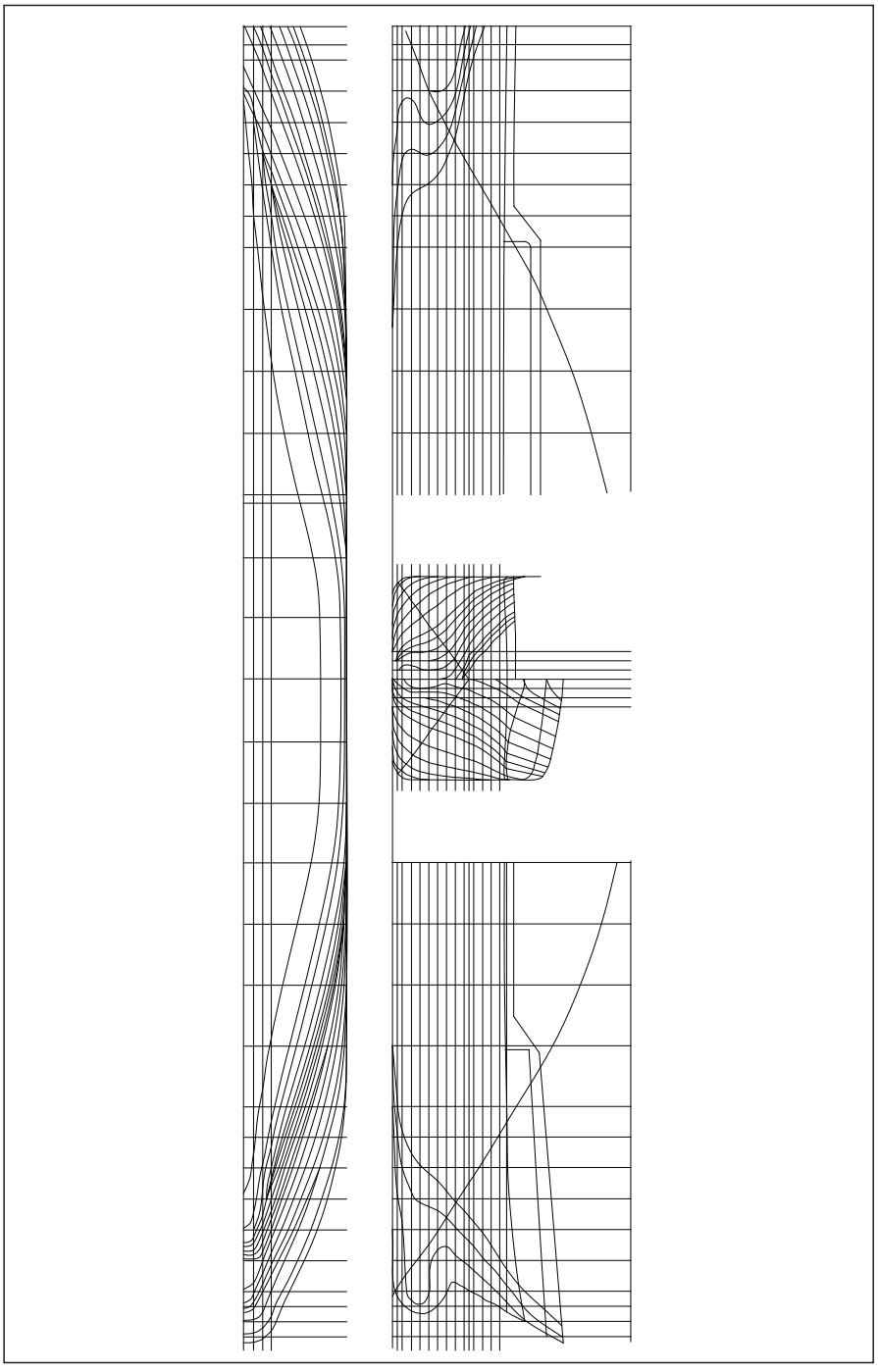


Fig. 6.3 Sistema FORAN. Plano de formas obtenido a partir de la formulación del módulo F3.G. (Cruzelaegui).

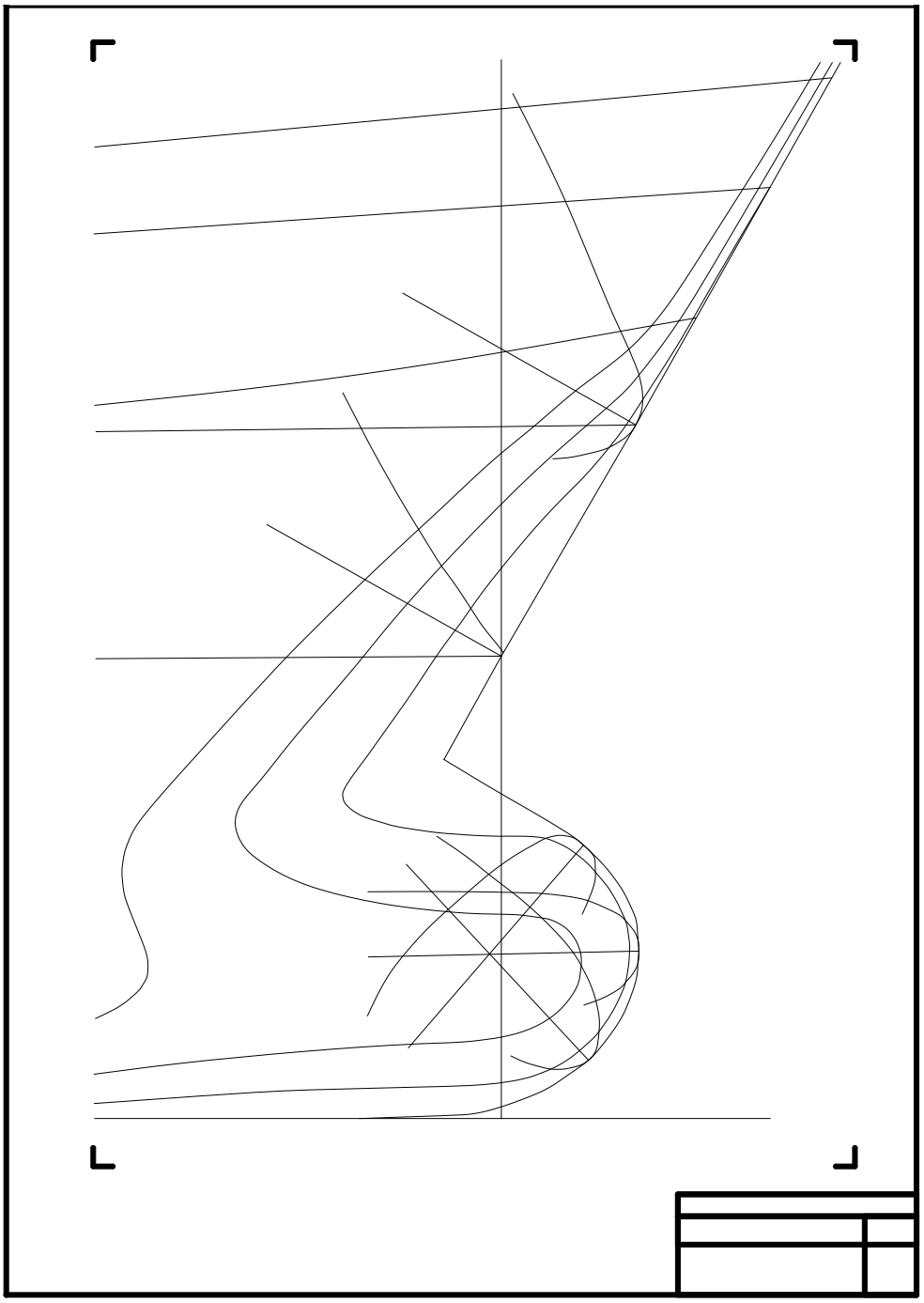


Fig. 6.4 Sistema FORAN. Gráfico del perfil de la roda, con detalles sobre las terminaciones, y aspecto de las secciones por distintos planos. (Cruzelaegui).

6.5 Módulo de generación de formas

Con este módulo, el FORAN genera formas corregidas a partir de los datos básicos principales y de los parámetros que usan los proyectistas, disponiendo además de las facilidades que los terminales gráficos aportan al proceso interactivo.

Los buques que pueden obtenerse con este módulo de generación comprenden:

— Aquellos con cuaderna maestra de costados rectos verticales o inclinados.

— Con o sin cuerpo cilíndrico central.

— Con o sin astilla muerta.

— Sin asiento de proyecto.

— Con o sin bulbo de proa unido sin codillo al casco.

— Con o sin proa cilíndrica.

— Con o sin bulbo de popa.

— Con codillos longitudinales en los cuerpos de proa y popa situados tanto por encima como por debajo del calado de proyecto.

— Con secciones transversales rectas opcionales por encima de los codillos longitudinales.

— Con formas de codaste para una o para varias hélices.

— Con formas de proa de rompehielos.

— Con líneas de agua de manga máxima a lo largo de la eslora (caso de buques especiales, pontonas, diques flotantes, plataformas, etc.)

Los datos de entrada que requiere este módulo son:

— Datos geométricos.

— Características hidrostáticas a obtener.

— Parámetros de formas del casco.

1) *Datos geométricos* como son: eslora entre perpendiculares Lpp, manga, puntal, calado, coeficiente de área del bulbo, anchura del fondo plano, astilla muerta, inclinación del costado, geometría de los perfiles de proa y popa, codillos en planta y perfil, generatrices de superficies por encima de los codillos longitudinales.
2) *Las características hidrostáticas* que se desean obtener, como el coeficiente de bloque, el de la cuaderna maestra, la abscisa del centro de carena para el calado de proyecto.

3) *Los parámetros de las formas del casco*, como el grado U-V de los cuerpos de proa y popa, el tipo de la curva de áreas seccionales para cada cuerpo de proa y popa, el ángulo y nivel del abanico de las cuadernas con el fondo y costados, la propagación vertical y longitudinal del bulbo y de los henchimientos a popa.

A partir de los datos anteriores se obtienen los coeficientes de la superficie que definen las formas del casco. Estos datos pueden modificarse operando en modo interactivo y obteniendo diferentes formas que pueden ser analizadas de una en una en pantalla.

Opcionalmente se dispone de un ajuste de formas posterior imponiendo una curva de áreas seccionales y de momentos de secciones verticales referidas al plano del calado de proyecto.

Tipos de resultados:

— Dibujos en pantalla y en "plotter" del plano de formas y de las secciones de proyecto, perfiles de proa y popa, diagonales, codillos, líneas de agua y curvas de áreas seccionales.

— Resultados numéricos.

— Curvas hidrostáticas.

— Curvas de áreas seccionales y semimangas.

— Curvas de Bonjean.

— Intercambio de información para procesar con el módulo de corrección de las formas.

6.6 Módulo para el corregido de formas

Con este módulo se ajustan o alisan (*fairing*, en terminología inglesa) las formas existentes, definidas por una cartilla de trazado o por un plano de formas, mediante las técnicas de bi-arcos y del junquillo matemático.

Puede ser utilizado localmente para retocar formas generadas con el propio módulo de generación a que se refiere el apartado anterior.

Al emplearlo para corregir formas obtenidas por otros métodos se requiere tanto el ajustado como el alisado, para que las formas puedan ser enviadas con garantías a producción.

Al igual que en el resto de los módulos, el trabajo se realiza en un terminal interactivo, pudiéndose visualizar simultáneamente una representación de las tres vistas (cuadernas, líneas de agua y secciones longitudinales).

Este método es de aplicación en buques:

— Con cuaderna maestra con fondo y costados curvos.

— Con asiento de proyecto.

— Con cualquier geometría del bulbo de proa.

— Con cualquier número de codillos.

— Con cualquier tipo de perfil de proa y popa.

Los datos de entrada son coordenadas de puntos en planos ortogonales entre sí, análogamente a como se utilizan normalmente en el trazado manual.

Los resultados de este módulo incluyen:

— Formas (con resultado gráfico sobre terminal y sobre plotter).

— Dibujos de las secciones de proyecto, diagonales, codillos y extremos de las líneas de agua.

— Curvas hidrostáticas para cualquier calado.

— Curvas de áreas seccionales y de semimangas.

— Curvas de Bonjean para cualquier calado.

6.7 Módulo de definición de cubiertas y mamparos

Este módulo define el espaciado de las cuadernas y la geometría de las cubiertas y mamparos entendiendo el buque como vasija o recipiente compartimentado y obtiene en el terminal un perfil y una planta de las cubiertas con:

— El perfil de las intersecciones de las cubiertas con el plano central y con el costado.

— El conjunto exterior de la cubierta y todos los codillos debidos a brusca y arrufo en planta.

— Una sección transversal cualquiera.

Las opciones de la programación permiten que tanto el arrufo como la brusca sean parabólicas o poligonales y la definición de cualquier tipo de mamparo, así como la identificación de cada elemento definido.

Gracias a este módulo, se combina la generación de formas analítica con los límites reales del buque impuestos en la definición de la geometría de las cubiertas y de los mamparos, y los resultados incluyen el plano de formas y la disposición general esquemática.

6.8 Módulo de la cartilla de trazado

Con este módulo se proporciona automáticamente la definición numérica de la superficie del casco mediante una cartilla de trazado por cuadernas de construcción o secciones de trazado.

La cartilla de trazado incluye información completa de todas las cuadernas de construcción, cubiertas, codillos, límites de costado y de fondo, perfiles de proa y popa, amuradas, tolvas altas, etc.

6.9 La definición parabólica

Partiendo de los datos de la cartilla de trazado, el programa proporciona una definición parabólica que será la base de todos los cálculos posteriores en los que intervenga la forma del buque.

El programa intentará definir el intervalo entre cada tres puntos con un solo tramo de parábola. Cuando esto no es posible, es necesario adoptar dos tramos de parábolas distintas.

Estas parábolas vienen definidas por los coeficientes A, B, C y responden a la expresión:

$$Y = AZ^2 + BZ + C \qquad N = 0$$

$$Z = AY^2 + BY + C \qquad N = 1$$

Se distingue si se ha adoptado una parábola de uno u otro tipo según el valor del índice N.

Solución y proceso de cálculo

La lectura de los datos del *perfil longitudinal* y *cuadernas* que definirán la forma del buque requieren ciertas consideraciones.

Perfil longitudinal

Este perfil responde a la silueta que el buque proyecta sobre su plano de simetría o de crujía. Esta curva debe cumplir con las condiciones siguientes:

1. Ser cerrada y definir un espacio simplemente conexo.
2. Que las proyecciones de todos los puntos de las distintas cuadernas incidan dentro del dominio por él definido.
3. Que el primer punto de esta curva sea el punto de menor ordenada X, es decir, el más a popa.
4. Que los puntos que definan estas curvas estén tomados de tal forma que siempre sea posible con tramos de parábolas conseguir una definición suficientemente aproximada.

La Fig 6.5. da idea de los puntos que se han adoptado para definir el citado perfil.

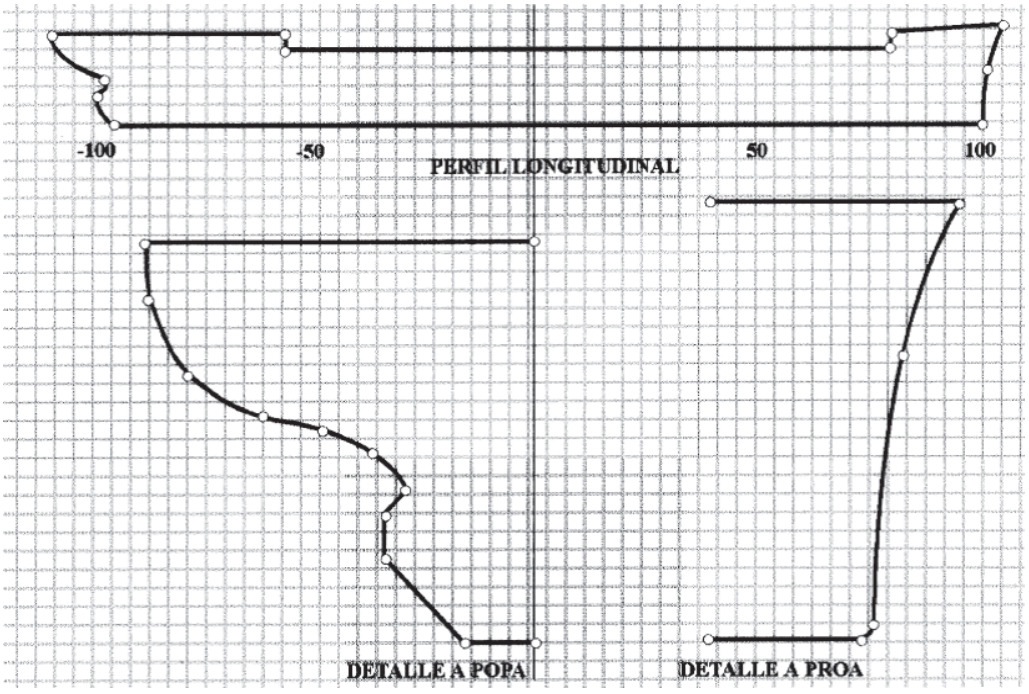


Fig. 6.5 Puntos para definición del perfil longitudinal.

Secciones transversales

La elección de la situación y número de estas secciones es completamente arbitraria. Sin embargo, es interesante hacer notar que una mayor densidad de estás en las zonas

de formas más complicadas o en los extremos ayudará a la obtención de resultados más precisos.

Serán necesarias cuadernas dobles en todas las discontinuidades de las formas para que así las integrales longitudinales de las curvas de áreas y momentos sean correctas.

Cualquier tipo de curva puede definir a una cuaderna con la única condición de que encierre un espacio conexo.

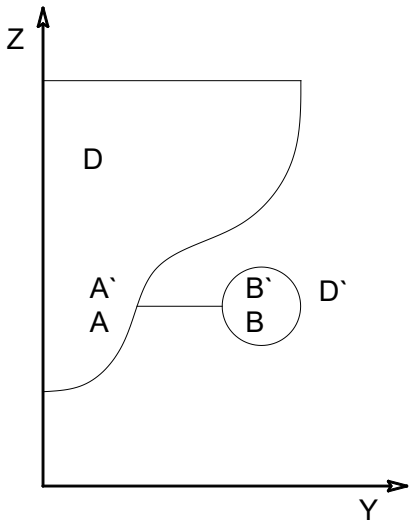


Fig. 6.6 Sección transversal.

La solución para poder integrar, dada dicha limitación, tipos de secciones como la representada en la **Fig. 6.6** es unir la superficie D con D´ por medio de la doble recta AB - B´A´.

Al igual que en la definición del perfil longitudinal se deberá cumplir con las condiciones:

1) Que el recinto encerrado por la cuaderna sea simplemente conexo.
2) El primer y el último punto tendrá su semimanga (y) nula.
3) Cada tres puntos (y, z) estarán leídos de manera que sea siempre posible definir, por medio de tramos de parábola, la totalidad de la cuaderna. *Cada uno de estos intervalos recibirá el nombre de "tramo parabólico".*

Por tanto será necesario, para respetar estas limitaciones, tener en cuenta las siguientes observaciones:

— La cuaderna tendrá que ser simétrica.

— Todo valor extremo tanto de la ordenada "z" como de la "y" tendrá que ser un punto de principio o fin de un tramo parabólico.

— También los puntos de inflexión y de unión de tramos rectos o curvos deberán cumplir la condición anterior.

— No podrá anularse la semimanga a lo largo de la cuaderna. La **Fig. 6.7** indica cómo puede salvarse, en todo caso, esta limitación.

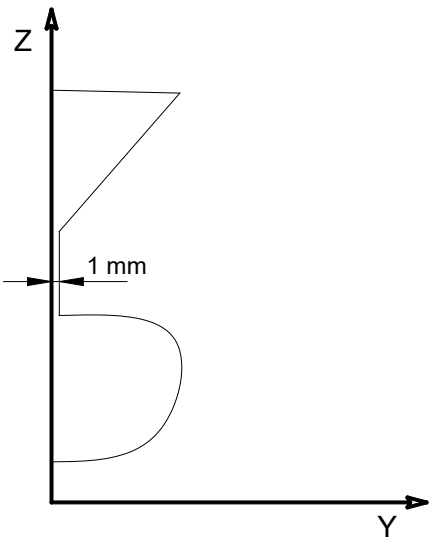


Fig. 6.7 Solución cuando la semimanga se anula.

6.10 Alisado de formas

Mientras que la definición de formas es un requisito fundamental del proyecto, el alisado de las mismas es un requisito para la construcción o fabricación del casco. No obstante, debido a la utilización de ciertos sistemas informáticos, en algunos casos se utiliza la misma herramienta para ambos propósitos.

Métodos empleados para el alisado de formas:

1. *Alisado en la Sala de Gálibos:* es un método ya casi histórico, pero no se debería dejar de recordarlo aunque sólo sea en pinceladas, ya que los métodos utilizados en dicha sala para resolver problemas geométricos y de trazado, constituyen uno de los acervos tradicionales más característicos de la arquitectura/construcción naval.

Tradicionalmente, la Sala de Proyectos preparaba una *cartilla de trazado* que se enviaba a la Sala de Gálibos para que el personal de ésta procediera al alisado a escala natural. Para ello, el plano de formas se dibujaba a dicha escala sobre una superficie plana de grandes dimensiones de piso de madera. A fin de reducir el espacio necesario, se dibujaba solamente el transversal y las mitades de popa y de proa del horizontal, y de las secciones verticales longitudinales, que se superponían a las otras mitades del casco, y también se reducía a 1/2 ó 1/4 la escala longitudinal, obteniendo así una figura deformada que no afecta a la continuidad de las líneas.

2. *Alisado a escala 1/10:* su fundamento es el mismo que el del realizado a escala natural pero trabajando a escala 1/10, con lo que la superficie, el trabajo y el tiempo necesario se reducen notablemente y se trabaja con mayor comodidad. Por ello se eliminan errores, trabajándose con mayor precisión. El trazado óptico y las máquinas de oxicorte dirigidas electrónicamente con dibujos a escala 1:10 contribuyeron a que éste método se impusiera en su día en todos los astilleros de cierta importancia. Dado que los errores se ampliarían en el corte a escala natural considerablemente, la precisión exigida en el trazado es muy grande.

   Este procedimiento ha pasado ya, prácticamente, a la historia, como el anterior.

3. *Alisado por métodos numéricos:* La disponibilidad y el perfeccionamiento de los ordenadores impusieron definitivamente este sistema. Consiste en realizar el alisado por métodos numéricos sobre unas formas que han sido previamente definidas matemáticamente por sus ecuaciones. Así se podrán obtener después todos los datos geométricos (numéricos) de los elementos estructurales (y otros) sobre soporte informático, a fin de dirigir las máquinas de corte y otras aplicaciones.

Los tres procedimientos citados se desarrollan con más detalle a continuación.

Las *desventajas de los procedimientos gráficos clásicos,* por lo que se han abandonado prácticamente, son:

- — Requieren grandes superficies, costoso equipo y mucha mano de obra.
- — El alisado de líneas depende del criterio del trazador y no de normas absolutas.
- — El proceso requiere varias transmisiones de datos que siempre conducen a errores.
- — Requieren mucho tiempo retrasando el pedido definitivo de materiales y/o produciendo mayor cantidad de recortes.
- — Es muy difícil convertir datos de trazado a información de máquina.

6.11 La Sala de Gálibos

Tenía unas dimensiones adecuadas para situar sobre el piso el transversal de formas en verdadera magnitud, pudiendo dibujar en longitudinal las líneas de agua normalmente a escala 1/2 ó 1/4. Además se necesitaba el espacio suficiente para los desarrollos y obtención de las plantillas. La superficie de esta sala podría estar entre los 5.000 y 15.000 m², bajo techo, con buena iluminación y sin columnas que interrumpieran el trazado. Debía estar ubicada próxima al taller de Herreros de Ribera. El piso era de tablones de madera, situados en diagonal (para evitar la confusión con las líneas de trazado), de bastante espesor (para soportar los frecuentes cepillados) y con una capa de pintura negra en su superficie para poder trazar sobre ella con tiza dura.

Las líneas rectas se trazaban con un cordón de algodón o lienza impregnada en tiza, que se tensaba, como la cuerda de una guitarra, entre los dos puntos extremos que definían la línea, aunque para segmentos cortos, hasta 5 m como máximo, se podían emplear reglas contrastadas. Para grandes longitudes se empleaba alambre de acero tensado entre dos puntos situados a cierto nivel sobre el suelo y se refería a éste con niveles verticales o escuadras, comprobándose la rectitud por medio de un rayo luminoso o aparato óptico.

Para el trazado de curvas se utilizaban barrotes o junquillos de madera deformable. Su colocación sobre el piso de trazado se realizaba por medio de parejas de clavos y el junquillo debía adaptarse a los puntos del trazado de forma natural. En caso contrario quedaba a criterio del trazador.

Para pasar las curvas trazadas a plantillas se usaban varios sistemas:

— La más rudimentaria era por medio de clavos tumbados sobre la curva. Se colocaba la plantilla sobre ellos y, al presionar, quedaba grabada la forma.

— Se acoplaba un junquillo a la curva, sujetándolo con grapas terminadas en punta que se clavaban en el piso, por lo que no hacía falta más que levantar el junquillo ligeramente, introducir a plantilla por debajo y marcar la curva sobre ella.

Todo esto tenía que realizarse con la mayor precisión posible para evitar costosos errores en la construcción del casco del buque.

El trabajo tradicional en la Sala de Gálibos, tal como se ha descrito, desapareció prácticamente en los astilleros en el siglo pasado, si bien aún resulta útil recordarlo para a veces recurrir a estos métodos, cuando han de hacerse plantillas a escala natural, por ejemplo para fabricar el molde para el troquelado de una pieza del bulbo o de alguna

pieza de fundición del casco, o para la preparación de plantillas de chapas con cierta complicación que se hayan de reponer en la reparación de un buque, en una zona de la que no se disponga de plano. Otra aplicación es la fabricación de plantillas a escala natural para fabricar modelos y moldes de buques o embarcaciones de fibra de vidrio.

6.12 Trazado del plano de formas y alisado en la Sala de Gálibos

En la cartilla de trazado se dan las semimangas de las cuadernas en cada línea de agua, así como las secciones longitudinales de roda y codaste, alturas del D.F. e intersección de la cubierta con el forro.

Las secciones del trazado son 20 (ó 10), además de las intermedias en Pp. y Pr. Se dan también las dimensiones principales, así como la clara de cuadernas de construcción en cada zona.

Se traza la línea base (L.B.) y, perpendicularmente a ella, las perpendiculares de Pp. y Pr. y la sección maestra, y luego, con separaciones idénticas, el resto de las secciones.

Lo más conveniente es separar los dibujos de la caja de cuadernas (transversal de formas) del de las líneas de agua y de las secciones longitudinales de alzado del buque. En estas tres vistas, lo normal es trazar:

— Las cuadernas de trazado.

— Las líneas de agua.

— Las secciones longitudinales por planos verticales (plano de crujía y otros dos paralelos al mismo).

— Vagra (s) diagonal (es) o secciones del corte del forro por planos perpendiculares al transversal, que forman un ángulo con el de crujía.

El transversal de formas se comienza trazando la maestra, con las líneas de fondo (con o sin astilla muerta según sea el buque), el costado (generalmente vertical) y el arco que forma el pantoque (cuyo radio debe estar correctamente definido) tangente a la línea de fondo y a la de costado.

Un dato importante en el trazado de las líneas de agua es el ángulo de entrada a proa.

El trazado del perfil suele ser lo último en dibujarse.

El alisado manual de las líneas de formas se efectuaría con el junquillo, haciéndolo pasar por tres puntos consecutivos y fijándolo por medio de clavos o pesos. *La curva*

se juzgaba alisada si, al soltar la fijación correspondiente al punto intermedio, el junquillo permanecía en su posición, es decir, si adoptando de manera natural su deformada elástica, seguía pasando por el punto intermedio. Se promedia en los puntos en que existan dificultades intentando compensar las desviaciones.

Hay que *hacer notar que cada rectificación de puntos en una vista trae consigo modificaciones en las otras dos proyecciones*. Los cortes por planos longitudinales y vagras proporcionan líneas con variaciones de curvatura que acusan fácilmente las irregularidades.

Las zonas más conflictivas de alisar son las correspondientes a los finos de Pp. y Pr. Se puede decir que, alisadas estas zonas, queda resuelto el alisado del buque.

6.13 Trazado de trancanil y baos

En el trazado hay que completar las cuadernas con las líneas de cubierta respectivas. La línea de *trancanil* debe alisarse perfectamente en sus tres proyecciones. Para ello, como muchas cuadernas de la parte central están proyectadas en la misma línea de trazado, habrá que señalar con marcas las alturas de la intersección del *trancanil o línea de arrufo* en el costado.

La línea de *brusca* o línea de cubierta de los baos suele hacerse hoy en día *de forma trapezoidal pero en algunos buques es parabólica, o de forma ligeramente circular*, y entonces se puede trazar por uno de los procedimientos que a continuación se describen, que no son más que métodos gráficos aproximados para trazar líneas de formas circulares de gran radio de curvatura.

Empezaremos por el trazado de la línea de cubierta en la maestra. En la cartilla de trazado vendrá determinada la *brusca o flecha del bao* que, generalmente, *es de 1/50 de la manga*, y se procede con uno de los siguientes métodos:

a) La línea AB, que une los puntos de arrufo en los costados, se divide en ocho partes iguales. Sobre el punto 0, en el diametral, se describe un cuarto de círculo de radio igual a la brusca. El arco del cuadrante se divide en cuatro partes iguales definiendo los puntos a, b y c. El radio del círculo se divide también en 4 partes iguales señalando así los puntos 1, 2 y 3. Uniendo los puntos respectivos 1a, 2b y 3c obtendremos las alturas que hemos de tomar sobre las ordenadas levantadas en las divisiones de la manga, que nos darán los puntos por donde ha de pasar el bao que se traza con un junquillo o barrote de madera .

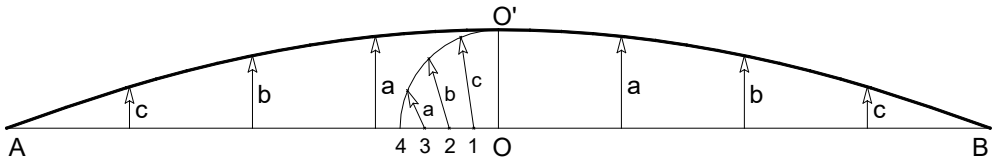


Fig. 6.8 Generación de línea de brusca. Procedimiento a).

b) Otro procedimiento sencillo y rápido es dividir la manga en ocho partes iguales. La flecha del bao se divide en 16 partes y sobre las tres ordenadas levantadas en las divisiones de la manga a partir de la central en la que se marcará la brusca, se toman respectivamente 15, 12 y 7 de las partes de la flecha, determinando así los puntos por donde pasará el bao.

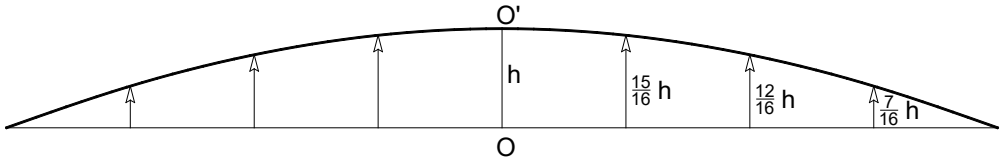


Fig. 6.9 Generación de línea de brusca. Procedimiento b).

c) Hay quien aplica el método a) describiendo arcos, tomando como centro los puntos B, C y D en que se divide la manga, con radios iguales a los segmentos 1, 2 y 3 formados uniendo los puntos en que se divide el cuadrante, y el radio igual a la brusca. El bao se traza tangente a dichos arcos.

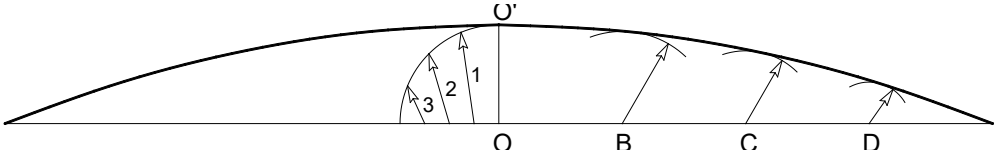


Fig. 6.10 Generación de línea de brusca. Procedimiento c).

d) Se divide la semimanga AE en cierto número de partes iguales, las mismas en que se divide la recta EC, prolongación del costado paralela al diametral, de longitud igual a la brusca. En A se levanta la brusca también y el punto B se une con el E, por donde se levanta la perpendicular ED a la cuerda BE. DB se divide también en el mismo número de partes iguales, y los puntos resultantes se unen con los homólogos de la semimanga. Uniendo B con los de división del segmento CE nos dará los puntos de corte con las anteriores que determinan, por orden, los puntos por donde ha de pasar el bao.

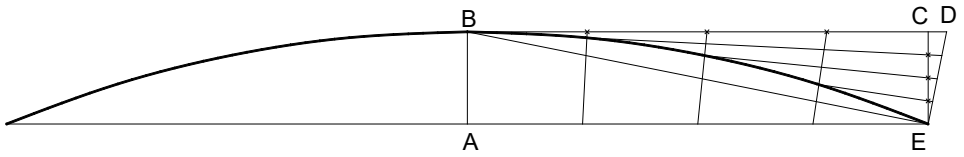


Fig. 6.11 Generación de línea de brusca. Procedimiento d).

Determinada esta línea de cubierta se obtiene una plantilla de la misma que es el bao maestro, con la que se pueden trazar todos los demás, por tener éstos la misma curvatura, faltando solamente determinar su flecha en el centro.

Conocida la semimanga de una cuaderna en el trancanil, se toma esta distancia perpendicularmente a partir de la línea CA, cortando al bao maestro en E, por donde se traza una paralela a la cuerda. El segmento DE es la flecha que corresponde al bao de esa cuerda en el centro.

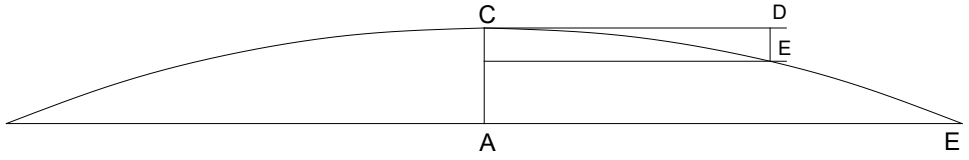


Fig. 6.12 Flecha de baos.

6.14 Otras líneas importantes: pies de cuaderna, tangencias del pantoque al fondo y costados. Zonas de Popa y de Proa

Debe verificarse la continuidad de los pies de cuaderna, sobre todo en los finos de Pp. y Pr., y de las tangencias en los pantoques en el costado y en el fondo o en la astilla muerta si la hubiera. Estas líneas deben quedar alisadas, y corresponderse en las tres proyecciones.

Para terminar las partes de proa y de popa hay que trazar los contornos en todos los planos auxiliares que sean necesarios, con líneas continuas y armonizadas.

6.15. Henchimientos

Se debe prestar atención a la zona de popa donde van situados (caso de 1, de 2, o de más hélices), pues deben reflejarse en las tres vistas usuales.

Debe modificarse la forma de las cuadernas afectadas por estos henchimientos, evitando dobles curvaturas, procurando desarrollos cónicos o cilíndricos y buscando la continuidad con la zona intacta de la cuaderna primitiva.

6.16 Cartilla de trazado definitiva

Una vez armonizados todos los puntos de forma que haya exacta correspondencia en las tres proyecciones, se modifica la cartilla de trazado inicial, si es que procede.

En la cartilla de trazado, las cotas (semimangas), se dan normalmente en milímetros.

6.17 Alisado a escala 1:10

La escala longitudinal sería 1/20, y la transversal 1/10. En la caja de cuadernas se suele dibujar la parte de proa a la derecha y la de popa a la izquierda.

El trazado se realiza sobre una mesa de grandes dimensiones: 2 a 3 m de anchura y longitud hasta 7 m. Se usan elementos de dibujo que garantizan un trazo uniforme de 0,1 mm y reglas, escuadras otros utensilios, de gran precisión. El trazado de las curvas se hace con junquillos de rigidez adecuada a las curvas que se están trazando. El personal es generalmente muy cualificado, pero en mucho menor número que en la Sala de Gálibos.

El método para obtener la cartilla definitiva de trazado es el mismo que en la Sala de Gálibos.

6.18 Alisado por métodos numéricos

De lo visto en este capítulo se puede, en definitiva, resumir que los datos de las formas de un buque pueden ser introducidos en el ordenador por dos caminos diferentes a fin de ser utilizados tanto para cálculos de Arquitectura Naval como para trabajos de Ingeniería de Producción, necesarios para diversos procesos constructivos:

a) *Partiendo de un plano de formas a escala*, o de una cartilla de trazado obtenida midiendo sobre dicho plano, obtenida de una de las series sistemáticas, u obtenida directamente o transformada de un buque o modelo existente

   Para la realización de los cálculos de arquitectura naval con el ordenador, será conveniente hacer la definición parabólica de la carena mediante uno de los programas que para ello existen, tal como se indicó antes.

Además es lo más lógico hacer al mismo tiempo el alisado de las formas por procedimientos informáticos dadas las ventajas que ello representa, para lo cual se han ido desarrollado diversos programas de acuerdo con unos o varios de los criterios que más abajo se indican. En esto consiste, en líneas generales, el alisado por métodos numéricos.

b) *Generando directamente las formas* a partir de una serie de parámetros fundamentales de la carena, obteniendo superficies ya lisas definidas mediante ecuaciones que determinan las coordenadas numéricas de cualquier punto de la superficie.

   Si las superficies generadas ya están alisadas, el procedimiento de generación de formas incluye, de manera intrínseca, el alisado numérico.

Para obtener la suavidad de las líneas por medio de algoritmos matemáticos, hay que introducir en ellos criterios objetivos. *Por otra parte, al realizar el alisado, inevitablemente estamos modificando de alguna forma la carena inicial y por ello hay que establecer unos criterios en cuanto a los límites permisibles de alejamiento desde los valores del plano de formas original de la carena, que tiene unas características determinadas que se han de respetar.*

Siendo **y** la semimanga de un punto de la superficie de la carena, **x** la coordenada longitudinal y **z** la vertical, se ha intentado representar dicha superficie por una ecuación polinómica de la forma:

$$y = \sum_{i=0,j=0}^{i=n,j=n} a_{ij}\, x^i\, z^j$$

Esto no se ha conseguido para toda la carena porque hay zonas en que los resultados que se obtienen se alejan demasiado de la carena primitiva que se trata de reproducir numéricamente.

Salvo excepciones, todos los sistemas dividen al buque en tres zonas: la central o cilíndrica, el cuerpo de popa y el cuerpo de proa. Estos últimos están separados del primero por lo que se denomina límite del cuerpo cilíndrico (que es el lugar geométrico de los puntos de la carena que están en la tangencia de las líneas de agua con las rectas horizontales correspondientes, paralelas a crujía).

La zona central o cuerpo cilíndrico es fácilmente alisable ya que los costados son líneas rectas, el fondo es también recto (o con alguna pendiente), el pantoque es un arco de circunferencia y el bao es, como mucho, una poligonal.

Las dificultades están en el alisado de las zonas de popa y de proa.

En primer lugar deben alisarse las líneas de codaste y popa y los límites del cuerpo cilíndrico. Estos últimos no se definen muy bien gráficamente, debiéndose determinar por cálculo, aunque es necesario que las medidas se ajusten a los planos de formas. *Existen además en todo plano de formas algunas cuadernas características hacia los extremos, que determinan en gran manera las formas del buque, como es el caso en que existan codillos. Además encontraremos en la práctica algunos errores apreciables en la tabla de semimangas que han de depurarse en el proceso de alisado.*

La definición de la superficie del casco del buque por medio de líneas alisadas matemáticamente tiene por objetivo principal el poder obtener con rapidez datos precisos que se puedan utilizar en el proyecto y, lo que es más importante, en su construcción.

En este último aspecto, se trata de obtener datos de aplicación al control numérico de las máquinas, fundamentalmente de corte, y para los procesos de construcción a fin de evitar la necesidad de elaborar plantillas, dibujos y para otras funciones que requieren una transferencia manual de datos. Para ello es preciso especificar las semimangas, las pendientes y la curvatura en cualquier línea de la superficie en los planos **y-x** e **y-z**. Estos requisitos se pueden lograr satisfactoriamente con una ecuación matemática o con una pequeña familia de ecuaciones que sean de aplicación en grandes extensiones de la superficie de trazado, satisfaciendo las condiciones de continuidad en los límites entre las distintas áreas que cubren.

Como resumen se puede decir que *los requisitos para definir las formas del buque matemáticamente con el auxilio del ordenador son*:

1. No debe introducir ninguna modificación en los parámetros esenciales del proyecto, como son las dimensiones principales, coeficiente de bloque, etc., ni en el comportamiento de la carena.
2. La superficie resultante debe satisfacer los criterios de suavidad y alisado.
3. Debe lograrse la exactitud y precisión exigida.
4. La superficie del casco debe estar representada por una pequeña familia de ecuaciones matemáticas.
5. Su aplicación exigirá el mínimo esfuerzo personal posible.

Con relación al punto 1, del análisis estadístico de los ensayos de resistencia de las carenas se desprende que los parámetros de forma que tienen mayor influencia son:

— Relación eslora/manga.

— Relación manga/calado.

— Coeficiente prismático.

— Coeficiente de la maestra.

— Posición longitudinal del centro de carena.

— Ángulo de entrada de las líneas de agua.

— Las formas de caída seleccionadas en las cuadernas del cuerpo de popa.

6.19 Procedimientos empleados para el alisado matemático y criterios utilizados en cada caso

6.19.1 Criterio basado en el junquillo elástico

En el alisado gráfico, el trazador situaría el junquillo tratando de compensar las desviaciones entre una serie de puntos y que el cambio de curvatura fuera lo más uniforme posible. Por ello, al pasar a realizar el trazado numérico, una de las alternativas lógicas es tratar de expresar matemáticamente las condiciones de comportamiento del junquillo.

Desde el punto de vista matemático, la forma de una curva se define por la distribución de su curvatura C de acuerdo con la clásica ecuación:

$$C = \frac{1}{R} = \frac{y''}{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Expresión en la que dadas, en general, las suaves inclinaciones de las líneas, puede prescindirse en primera aproximación del valor de **y'**.

En todo punto de un junquillo elástico sometido a flexión, en el que **M** sea el momento flector, **E** el módulo elástico e **I** el momento de inercia de su sección, se tiene que el ángulo **dϕ** girado por una sección del junquillo con respecto a otra separadas una distancia elemental **dx** es:

$$\frac{d\varphi}{dx} \cong \frac{1}{R} = \frac{M}{EI}$$

El tomar como línea alisada la de la forma que adopta libremente el junquillo al sacar la sujeción del punto intermedio al hacer el alisado gráfico, tal como se describió antes, es equivalente en teoría a utilizar el criterio de que la línea alisada es la que corresponde a la mínima energía elástica acumulada en el junquillo, lo cual puede plantearse matemáticamente haciendo mínima la expresión:

$$\int_0^L M d\varphi = \int_0^L \frac{EI}{R} \cdot \frac{dx}{R} = \int_0^L EI \left(\frac{1}{R}\right)^2 dx \cong \int_0^L EI \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)^2 dx$$

$$\text{ó} \quad min \int_0^L \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)^2 dx \Rightarrow \frac{\partial}{\partial \lambda_i} \int_0^L [f''_x(x, \lambda_1, \lambda_2, \ldots)]^2 dx = 0$$

Por flexión de vigas se llega a la conclusión de que la ecuación de la línea es un polinomio de tercer grado que corresponde a la elástica en cada intervalo **i**:

$$y = \lambda_1 + \lambda_2 x + \lambda_3 x^2 + \lambda_4 x^3$$

Combinando ambos algoritmos y estableciendo las condiciones en los límites se determinarían los coeficientes de la expresión anterior que nos daría la forma de la curva alisada en cada uno de los puntos de la superficie de la carena.

6.19.2 Método usado en AUTOKON. Factores de ponderación

Este método, desarrollado en su día en Noruega, es una aplicación del ordenador al método gráfico seguido convencionalmente, para alisar líneas en un plano, líneas de agua, y cuadernas. Como punto de partida se utiliza una cartilla de trazado y el alisado se efectúa de forma iterativa alternando líneas de agua y cuadernas, hasta que se logra un nivel aceptable.

Para simular el juicio humano que se aplica en el alisado tradicional, se utilizan una serie de factores de ponderación ***F.P.*** *que se asignan previamente a cada semimanga*. Supongamos por ejemplo que se quiere alisar una línea de agua entre x =10 m y x = 50m a proa de la cuaderna maestra. Para la entrada al ordenador se dan los siguientes datos:

x	y	F.P.
5	20	10
10	19,95	10
15	18,70	7
20	17,20	6
25	15,90	3
30	14,00	3
35	12,10	3
40	10,01	4
45	8,00	7
50	4,00	10

Tabla. 6.2 Factores de ponderación.

Los factores de ponderación constituyen una clave: *el factor 10 significa que el valor de la semimanga es inamovible, o sea que la curva ha de pasar necesariamente por ese valor de* ***y****. El factor 3 permite efectuar una rectificación aunque conlleve grandes desviaciones y los demás señalan el grado de libertad en función inversa del valor del coeficiente. La selección de los* ***F.P.*** *es de gran importancia y resulta más sencillo alisar con coeficientes bajos que dan mayor flexibilidad, sin embargo existe el peligro de alejarse demasiado de los parámetros del proyecto, tales como el coeficiente de bloque o la posición del centro de carena.* Si para conseguir mayor ajuste se dan **F.P.** más altos, lo más probable es que aumente considerablemente el número de iteraciones necesarias para conseguir unos resultados aceptables.

El sistema requiere una gran cantidad de trabajo combinado hombre-ordenador, no siendo de lo más eficaz, desde el punto de vista de utilización del ordenador.

A partir de los datos alisados, las curvas se fraccionan por elementos simples: rectas y arcos de círculo o de parábolas de ejes paralelos a los de coordenadas.

6.19.3 Alisado de curvas por ajuste de polinomios

El método más utilizado para representar una serie de puntos por medio de ecuaciones es el de ajuste por mínimos cuadráticos empleando funciones polinómicas del tipo:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \cdots + a_n x^n$$

La base del método consiste en hacer mínima la expresión:

$$y = \sum_{i=1}^{i=n} (y_i - Y_i)^2$$

que representa la suma de los cuadrados de las diferencias entre los datos dados y los obtenidos por la función polinómica. Por ello, para obtener los coeficientes se anulan las derivadas de la expresión anterior con respecto a los mismos, obteniendo un sistema de ecuaciones que, junto con la imposición de otras condiciones en los límites, nos permiten hallar el valor de dichos coeficientes.

Estos coeficientes se pueden tomar de partida como parámetros fijos: $a_0, a_1, a_2, \ldots a_n$; o como funciones que dependan, por ejemplo, linealmente de **z**, es decir, $a_i = c_{io} + c_{il} \cdot z$, según sea el método.

6.19.4 Métodos gráficos interactivos

Los métodos numéricos citados de corrección de líneas fueron utilizados y sirvieron como primer escalón en el alisado, habiendo sido sustituidos por la utilización de

métodos gráficos interactivos, para lo que existen en la actualidad dos modelos básicos: *modelos de alambres y modelos de superficies.*

1) *Modelos de alambres:* representan las formas exteriores del buque como un entramado de líneas. Se basan en la definición matemática de dichas líneas por medio de distintos tipos de ecuaciones. Los más usados son:

   — *Simulación del junquillo*: utilizan la ecuación de la deformada elástica y las líneas obtenidas pasan por todos los puntos definidos. Requieren la definición adicional de dos puntos exteriores.

   — *Bi-arcos:* utilizan las ecuaciones de dos círculos tangentes entre sí, que también pasan por todos los puntos definidos. Adicionalmente a dichos puntos han de definirse dos tangentes en los extremos.

   — *Splines*: utilizan la ecuación de un polinomio de un grado definido y también pasan por todos los puntos definidos.

   — *Curvas de BEZIER*: utilizan la ecuación de Bezier, que obtiene líneas tangentes a poligonales de control, cuyos vértices son los puntos definidos y sólo pasan por los puntos inicial y final.

   — *B-Splines:* utilizan la ecuación de "B-Splines", que obtiene líneas tangentes a poligonales de control cuyos vértices son los puntos de control. Estas curvas se definen por su grado o su orden y por el número de vértices. Con el grado se controla la proximidad de la tangente a la poligonal. Las curvas tampoco pasan por ninguno de los puntos de control, excepto el inicial y el final. Las curvas de Bezier son un caso particular de este tipo de curvas.

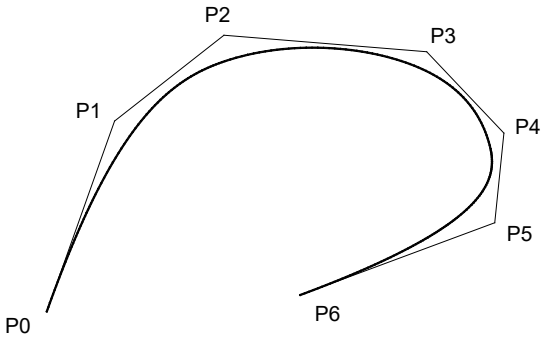


Fig. 6.13 Curva de Bezier.

En la **Tabla. 6.2** se resumen las ventajas e inconvenientes de cada tipo de línea. El grado de alisado expresa que se garantiza la continuidad de las líneas y de sus derivadas hasta el orden que se indica.

	Junquillo	**Bi-arco**	**Spline**	**Bezier**	**B-Spline**
Dificultad cálculo	Baja	Baja	Alta	Media	Media
Información almacenada	Todos los puntos más dos	Todos los puntos y dos tangentes	Todos los puntos	Puntos polígono (K)	Puntos polígono y orden (M)
Grado de alisado	2	2	2	K-2	M-2
Calidad del control	Buena	Buena	Pobre	Pobre	Excelente
Tipo de control	Puntos datos	Puntos datos y tangentes	Puntos datos y tangentes	Núm. y vértices polígono	Núm. y vértices polígono
Dificultad codillos	Pseudo-curva	Distintas tangentes	Partir curva	Partir curva	Nuevo polígono

Tabla. 6.3 Comparación entre los distintos tipos de líneas

El problema principal del modelo de alambres es la necesidad de obtener la superficie del casco interpolando entre líneas, lo cual requiere algoritmos muy precisos.

2) *Modelos de superficies: ajustan una superficie, o un "parche", a una nube de puntos.* Las superficies utilizadas son:
   - — superficies de COONS
   - — superficies "B-Splines"
   - — superficies en coordenadas paramétricas: x = x(u,v); y = y(u,v);z = z(u,v), las llamadas:
     - o superficies de NURBS (Non Uniform Rational B-Splines).
     - o superficies de BEZIER, que son un grupo de las de NURBS.

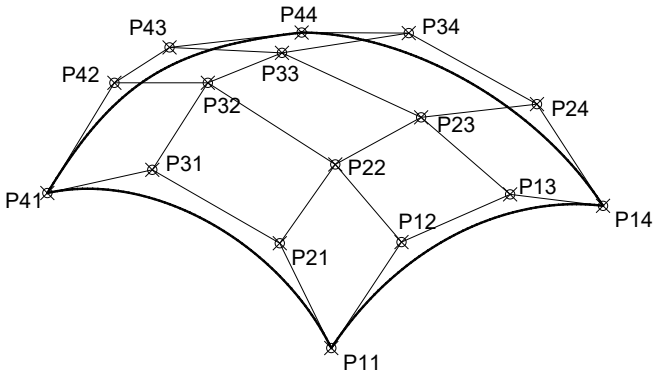


Fig. 6.14 Nube de puntos y su correspondiente superficie de Bezier.

Las principales dificultades para los usuarios son:

— el manejo de las superficies es complicado

— los parches se ajustan muy bien a la nube de puntos, pero el alisado entre parches puede ser muy complejo.

Por estas razones se están utilizando modelos mixtos, en los que se manejan líneas para introducir la información y para realizar las modificaciones, y posteriormente se crea la superficie que "cubre" las líneas.

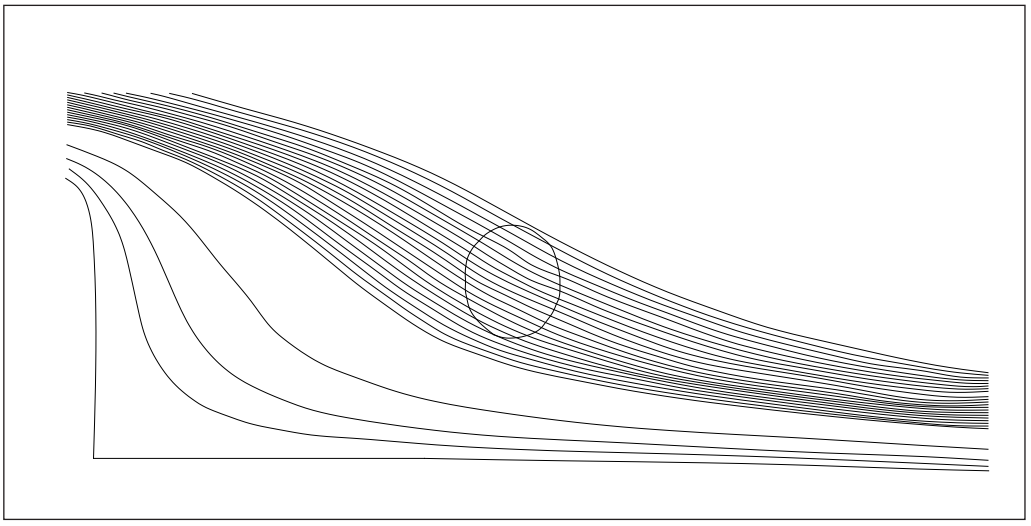


Fig. 6.15 Detección de falta de alisado.

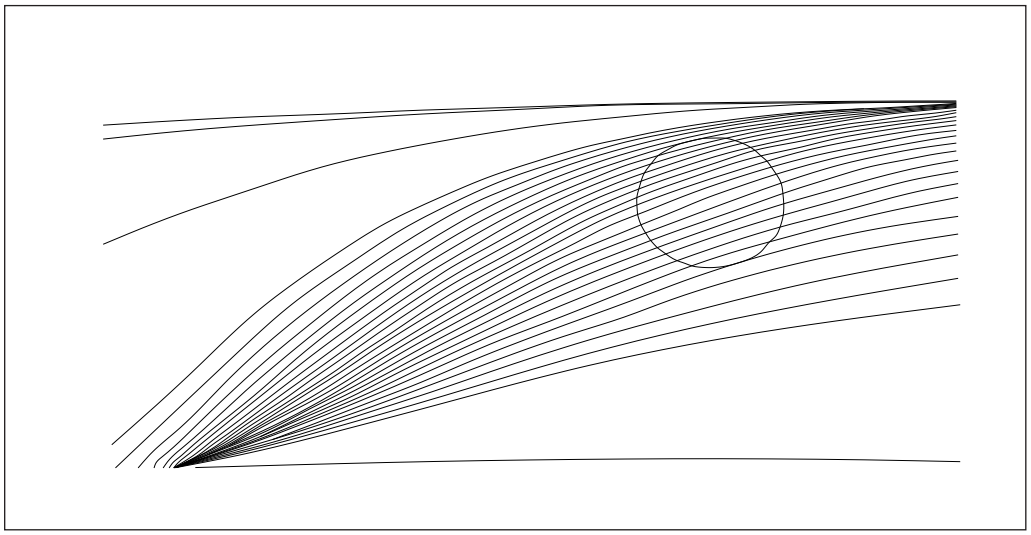


Fig. 6.16 Detección de falta de alisado.

Capítulo 7

Métodos tradicionales de desarrollo

7.1 Trazado tradicional en Gálibos

Después del alisado y armonización del plano de formas se obtiene la cartilla definitiva de trazado que ha de servir para la construcción del buque.

Como resultado se dispone además de una base firme sobre la que efectuar el trazado para que las diversas partes del casco del buque, así como otras que han de referirse al mismo, puedan construirse con un grado de precisión aceptable, sin encontrarse al montarlas con diferencias cuyas costosas rectificaciones encarecerían notablemente el trabajo.

Antiguamente se obtenían plantillas de las cuadernas del plano de formas, y con ellas se figuraban las cuadernas reales. El proceso seguía con el arbolado de cuadernas y el enmaestrado. Acoplando finas tablas de madera por el exterior de las cuadernas se obtenían las plantillas de las tracas del forro, con las que se marcaba el material para ser labrado.

Cuando los buques se construían remachados, después de montar las tracas interiores se obtenían plantillas para labrar las planchas exteriores, pasando a ellas los orificios de las planchas interiores que previamente se habían taladrado con las separaciones debidas para colocar los remaches. Este proceso es excesivamente largo, por lo que se empezaron a aplicar métodos de trazado que permitían obtener las plantillas de las planchas directamente del transversal de formas que estaba dibujado en el piso de la llamada Sala de Gálibos, e incluso se llegaba a disponer de un trazado de la caja de cuadernas sobre madera, en las proximidades de la placa de volteo.

7.2 Plantillas y marcado del material

Para marcar las planchas se utilizaban plantillas de madera de la figura, desarrollada en verdadera magnitud, sobre las que se definían las líneas del contorno, los aligeramientos

y los orificios del remachado. Estas plantillas se colocaban sobre la plancha de acero a fin de marcarla con puntas de rayar y punzones de marcar los orificios de remachado. Mejor era señalar las líneas marcando una serie de puntos con granete, así como los centros de los orificios de los remaches.

Cuando se quieren obtener plantillas directamente a bordo, el procedimiento es muy sencillo y consiste en aplicar directamente las tablas sobre las tracas ya montadas, y sujetarlas a ellas con gafas y gatos.

En el marcado de angulares se seguían procedimientos similares.

7.3 Superficies de trazado. Caras de marcado

El plano de formas define la superficie del forro como una superficie teórica sin espesor o superficie de trazado (S.T.). Para construir el buque hay que operar con elementos materiales que tienen sus espesores, los cuales hay que tener en cuenta para lograr la exactitud y coincidencia en el montaje. A tal fin, *se ha de adoptar un criterio para situar exactamente los elementos reales con relación a las líneas de referencia del plano de formas, determinando cuales son las superficies de trazado (S.T.) o caras de marcado (C.M.)* Aunque puede haber diferencias en este criterio entre diferentes oficinas técnicas o astilleros, lo cual tiene que ser ineludiblemente comprobado antes de usar los planos, generalmente se adoptan las siguientes pautas:

a) *Forro exterior.*

   En buques soldados en que las planchas del forro están todas en la misma superficie, la *superficie de trazado* que, por definición, es *fuera de miembros* o *canto exterior de las cuadernas,* coincide con la *superficie interior de las chapas del forro*.

   En la construcción remachada a doble tingladillo, la superficie de trazado coincidía con la cara interior de las tracas interiores o de primer plano. Las de segundo plano estaban separadas un espesor de plancha de la S.T. El hueco que quedaba entre las chapas exteriores y las cuadernas había que rellenarlo con suplementos. Cuando se aboquillan las planchas quedan todas en el mismo plano, y la S.T. venía a ser la cara interior del forro.

b) *Dobles fondos.*

   Se toma del mismo modo que el descrito para el forro. En construcciones soldadas la *S.T.* coincide con la *cara inferior de las chapas del D.F.* En construcciones remachadas se tomaba la S.T. como la cara inferior de las tracas inferiores.

c) *Cubiertas.*

En cubiertas soldadas la *S.T.* coincide con la *cara inferior de las planchas*, que es la misma que la del *canto superior de los baos.* Si son remachadas la S.T. sería la cara inferior de las tracas inferiores.

d) *Mamparos y refuerzos.*

En los *mamparos y refuerzos transversales* se toma como S.T. la *cara más próxima a la cuaderna maestra*; y en los *mamparos y refuerzos longitudinales*, la *cara más próxima al plano de crujía.*

e) *Cara de calafateo.*

En los buques soldados este concepto no tiene prácticamente significado, sin embargo en los buques remachados, a fin de asegurar la estanqueidad de las uniones que lo precisaban, era fundamental definir la cara que había de calafatearse, que era aquella por la que se avellanaban los orificios de los remaches, y por la que los bordes de las planchas se recanteaban cuidadosamente para ser calafateados. En superficies con forro y cubiertas exteriores, no hay duda de que la cara de calafateo era la exterior.

7.4 Desarrollo de los elementos del casco

En el plano de formas dibujado en el piso en la sala de Gálibos se trazaban todas las cuadernas de construcción y se terminaba con la proyección de los contornos de las planchas del forro (incluidos los solapes de las mismas cuando la construcción era remachada) *y con el trazado de las líneas que definen los mamparos, las vagras y la línea de doble fondo, la sección en la maestra de las quillas de balance y la línea de su intersección con el forro.*

Los solapes, cuando la construcción era remachada venían definidos en el plano que enviaba la oficina técnica, después de tomarlos de un modelo hecho a escala.

Si hubiera que alisar algunas de las líneas citadas, esto se haría del mismo modo que se hizo con las curvas de la superficie de la carena, utilizando los mismos principios que se han expuesto con anterioridad.

7.5 Desarrollo de los cantos de las chapas y de otras líneas sobre el forro

En el caso de las chapas siempre, cuándo estas eran remachadas, tenía más importancia el canto visto que el oculto del solape. *La línea vista de cada solape debía alisarse con junquillos o listones, bien por sus proyecciones o mejor aún, por el desarrollo de esta línea, que se obtiene trazando una serie de paralelas cuya separación es la clara entre cuadernas y situando sobre ellas los puntos cuya diferencia de ordenadas entre dos consecutivos*

es igual a la longitud del segmento de costura visto sobre el transversal, comprendido entre dichas cuadernas. La verdadera magnitud de estas líneas puede deducirse por los triángulos rectángulos que se forman.

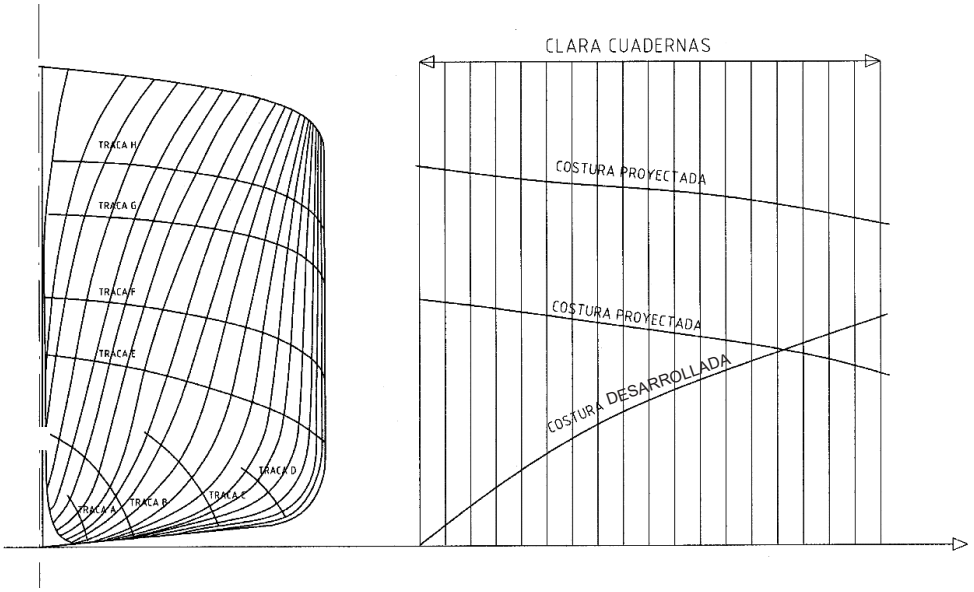


Fig. 7.1 Desarrollo de los cantos longitudinales o costuras de las chapas de forro.

Un problema semejante tendremos con la línea de intersección de la quilla de balance con el forro. En la parte cilíndrica del buque no hay problema si la mantenemos en un plano lo más perpendicular posible al pantoque. Al salir de la parte cilíndrica y entrar en los finos, la línea de intersección se alisa utilizando el mismo método que para los cantos de las chapas.

7.6 Línea del doble fondo

Otra línea que hay que definir y alisar es la intersección del doble fondo (D.F.) con el forro, que a modo de ejercicio se estudia a continuación.

Si el D.F. es totalmente plano no hay problema; pero si se terminara en la sentina por medio de la plancha de margen, generalmente perpendicular al pantoque en el punto de intersección con el forro, se tendría solamente definida la inclinación de dicha chapa en la maestra, y por tanto en la parte cilíndrica del buque. Al entrar en los finos, la intersección de la chapa de margen con el D.F. ha de ir acercándose a crujía según se va cerrando la línea de agua correspondiente a dicho D.F. pero no conviene que la intersección citada con el plano del D.F. de la chapa de margen sea una curva, ya que esta plancha suele construirse con un pliegue de forma que parte de la misma

(o faldilla cuando la construcción era remachada) esté situada en el plano del D.F. y el resto forme el margen, y al no estar en línea recta el codillo formado con el D.F. sería muy difícil de plegar. Por ello se define esta línea de acuerdo con los siguientes criterios:

1. Tratar de conservar la plancha de margen lo más perpendicular posible al forro para facilitar la soldadura (o antiguamente el remachado) con el mismo.
2. Que la intersección con el D.F. sea recta a tramos.
3. Que la plancha resulte desarrollable.

Lograr todo esto es prácticamente imposible para la totalidad de la plancha de margen, pero puede lograrse por trozos de longitudes iguales a las de una chapa, en cuyo tramo la arista o línea de intersección con el D.F. debe ser recta, permitiendo el plegado.

Una forma práctica es partir de los puntos B y C definidos en **Fig. 7.2.**:

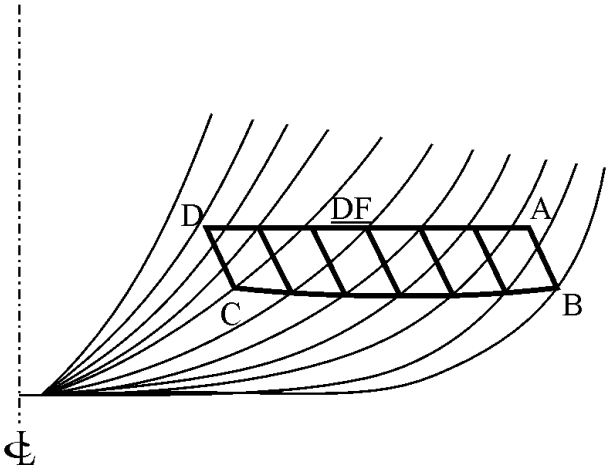


Fig. 7.2 Obtención de la línea de intersección de la plancha de margen con el forro.

Se traza, hasta el plan de D.F., la línea BA sensiblemente perpendicular a la cuaderna en **B**. Por **C**, también hasta el plan del D.F., se traza una paralela a AB, la cual normalmente no se separará mucho de la perpendicular a la cuaderna en C, obteniendo el punto **D** en el plan del D.F.

Se unen los puntos A y D con una recta y el segmento se divide en tantas partes iguales, como número de espacios de cuadernas intermedias abarcados. Desde los puntos de división se trazan paralelas a la línea ab, y sus intersecciones con las cuadernas señalan la línea de intersección de la plancha de margen con el forro, la cual debe ser alisada.

Otra forma es que ya vengan definidas las líneas de intersección con los planos de las cuadernas, y entonces, como se indicó antes, hay que proceder al alisado de la intersección de la plancha de margen con el forro. También hay que proceder al desarrollo de la plancha de margen por el método que se verá posteriormente.

Otro problema semejante es el alisado de la intersección de palmejares con el forro y de los longitudinales que generalmente se utilizan en los petroleros y cuantos buques se construyen por el sistema longitudinal.

7.7 Trazado de superficies planas

Constituye la parte más elemental del trazado. Se pueden distinguir dos casos: Superficies planas que aparecen en verdadera magnitud en el transversal de formas y las que no aparecen así. Estas últimas pueden estar en planos paralelos al diametral o en cualquier otro. En el primer caso se tienen las vagras o carlingas laterales y los mamparos longitudinales.

1. *Superficies planas transversales*.
   Los contornos aparecen en verdadera magnitud sobre la caja de cuadernas y por ello el trazado es muy sencillo. Cuando la construcción era remachada, había que situar los solapes de planchas y los refuerzos de acuerdo con los planos de construcción, y marcar los orificios de los remaches.
2. *Superficies planas longitudinales.*
   Su trazado es muy sencillo también. En el transversal aparecerán como una línea cortando a distinta altura a las cuadernas. Se toma un plano horizontal como referencia y se trazan una serie de verticales separadas la clara de cuadernas sobre las que habrá que llevar las alturas, medidas en el transversal, de los puntos de corte de las distintas cuadernas o baos hasta el plano de referencia que puede ser el plano base, el D.F. o cualquier otro auxiliar, con tal que sea horizontal y aparezca en el transversal como una línea horizontal.
3. *Superficies planas en cualquier plano.*
   Supone una ligera complicación sobre el caso anterior, porque no estarán en su verdadera magnitud sobre un plano longitudinal. En la **Fig. 7.3.** se tiene una vagra con un parte entre

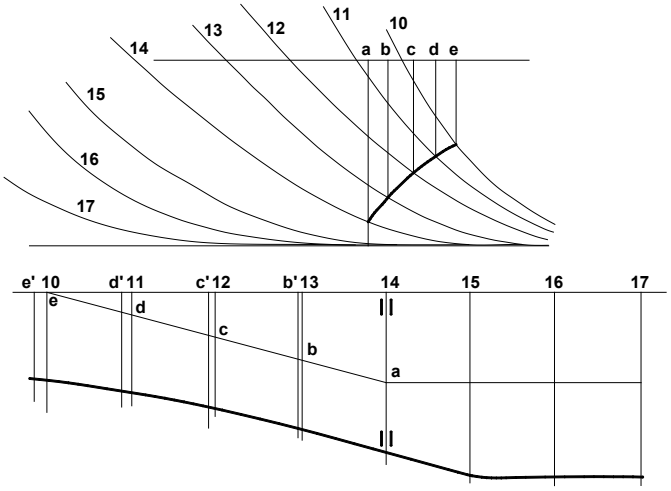


Fig. 7.3 Procedimiento para determinar el contorno de la vagra.

las cuadernas 14 a 10 que no es paralela al diametral. Con el auxilio de la proyección horizontal se tiene la verdadera magnitud del canto superior de la vagra que por estar en un plano perpendicular a las trazas de la vagra sobre los planos de cuadernas nos permite efectuar el desarrollo sobre esta línea recta. Se toman en ésta las verdaderas magnitudes de la proyección horizontal y se levantan perpendiculares en las que se toman las alturas de las trazas. Uniendo estos puntos se obtiene el contorno de la vagra en verdadera magnitud sobre un plano.

Cuando se trata de construcciones soldadas el problema se simplifica notablemente, pues al ser superficies planas sólo es necesario conocer el contorno y la situación de los refuerzos. Para el despiece interior de las planchas, cuando pueda ser rectangular, bastará conocer sus dos dimensiones para poderlas cortar.

7.8 Superficies curvas

Estas no aparecen en verdadera magnitud en ninguno de los planos de trazado y como hay que determinar la forma de las planchas sobre un plano para poderlas cortar y someterlas después a las operaciones de curvado, se necesita aplicar métodos de desarrollo que permitan obtener dicha forma. Sin embargo, hay que tener también en cuenta que la superficie de trazado es puramente teórica y sin espesor, mientras que las planchas tienen un espesor real, por lo que al curvarlas van a sufrir una contracción por la cara interior y un alargamiento por la exterior, por lo que, si el desarrollo se hace sobre la superficie teórica, al curvar la plancha sufrirá una deformación, y al realizar el montaje no tendrá las dimensiones previstas. Para evitar este inconveniente, habría que desarrollar, no la superficie de trazado, sino la formada por la fibra neutra

de la plancha que será la que teóricamente sufra menos alteración en el proceso de curvarla.

Cuando las construcciones eran remachadas, la posición de la fibra neutra respecto a la superficie de trazado que definen las cuadernas del transversal depende del sistema de construcción, pero en construcciones remachadas a doble tingladillo se acostumbraba a tomar la superficie de trazado coincidiendo con la cara interior de las tracas interiores, por lo que la superficie neutra de estas quedará separada un semiespesor de plancha de la de trazado. Las de segundo plano o tracas exteriores tendrán la superficie neutra separada un espesor y medio de la de trazado. Para efectuar el trazado correcto se tendría, en rigor, que desarrollar estas superficies neutras pero, en la práctica, como en los anchos de traca no se tienen curvas muy violentas, resulta más cómodo, y con la suficiente exactitud, realizar los desarrollos sobre la superficie teórica, teniendo en cuenta lo que a continuación se explica.

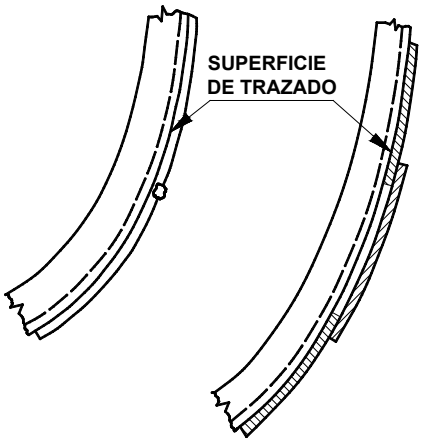


Fig. 7.4 Superficie de trazado con planchas de forro soldadas (izda.), o remachadas (dcha.).

La medida de la anchura de las tracas sobre cada línea de cuaderna se tomaba con un listón cuyo grosor era igual al espesor de la plancha cuando se trataba de tracas interiores. Este listón se acoplaba a la línea de la superficie de trazado de modo que al extenderlo se deformaba elásticamente por el proceso inverso al que habría de sufrir la plancha y, teniendo el mismo espesor que ésta, debía tener el desarrollo que correspondía con el de la fibra neutra de la plancha. Cuando se trata de tracas de segundo plano, se colocaban listones acoplados sobre la superficie de trazado que materializaban las planchas de primer plano y apoyando sobre ellos se colocaban los listones con los que se tomaban las medidas. Ambos debían de tener el espesor de las planchas respectivas. De este modo se tenían los desarrollos correctos de estas líneas para que al formar las planchas se adaptaran perfectamente a la superficie teórica de trazado prevista.

Hay que tener presente que los desarrollos de estos tramos de cuaderna entre solapes no tienen que ser necesariamente líneas rectas. Esto sucedería así si se tratara de secciones rectas de superficies cilíndricas, pero en los finos, muchas veces, serán superficies cónicas, y sabemos que el desarrollo de las secciones rectas de un cono son arcos de círculo de distinta curvatura a la que tienen realmente en las secciones. No obstante, se toma sobre el junquillo o listón de espesor igual al de la plancha las medidas en la sección real y en el desarrollo se aplica sobre los arcos resultantes del mismo, cuya forma definiremos.

En construcciones soldadas el problema es el mismo, pero teniendo en cuenta que todas las tracas serán de primer plano o interiores.

Estas mediciones hay que efectuarlas con toda precisión, que deberá acentuarse en las construcciones soldadas ya que no admiten la rectificación del escariado que se hacía en las remachadas. Ésta consistía en taladrar los orificios a diámetro menor del definitivo, y terminarlos una vez efectuado el montaje, mediante un escariado a medida, que absorbía las inevitables inexactitudes.

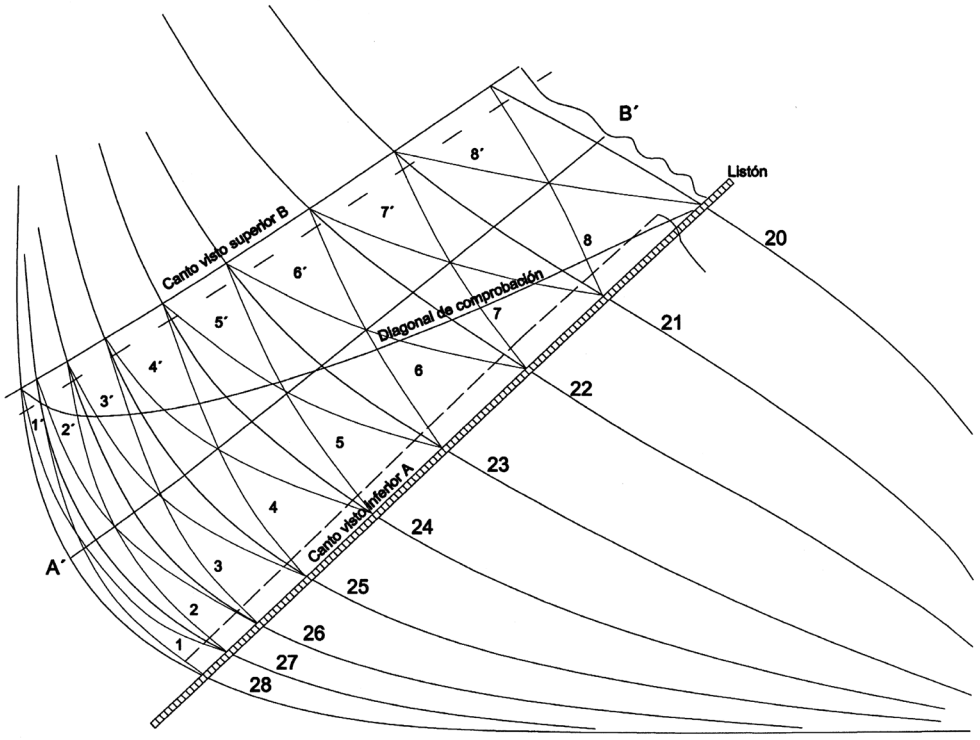


Fig. 7.5 Secciones transversales para obtener el desarrollo de los cantos o costuras longitudinales de las chapas, de las diagonales y de los cortes con las cuadernas.

En construcciones soldadas, para terminar el trazado final se tendrán que aplicar las correcciones necesarias para absorber las alteraciones que se van a sufrir en el proceso de fabricación como son las pérdidas de material en el oxicorte, y las contracciones por soldadura.

En los desarrollos de las líneas longitudinales, como son las costuras longitudinales de las planchas, no se puede proceder del mismo modo porque las curvas que se ven en las proyecciones son distintas a las reales. Para compensar las deformaciones que ocasiona la curvatura, se aplicará igualmente el listón de grosor igual al espesor de la plancha, pero sobre las curvas desarrolladas que responden mejor a la curvatura real y que se obtienen por medio de trazados auxiliares como el siguiente.

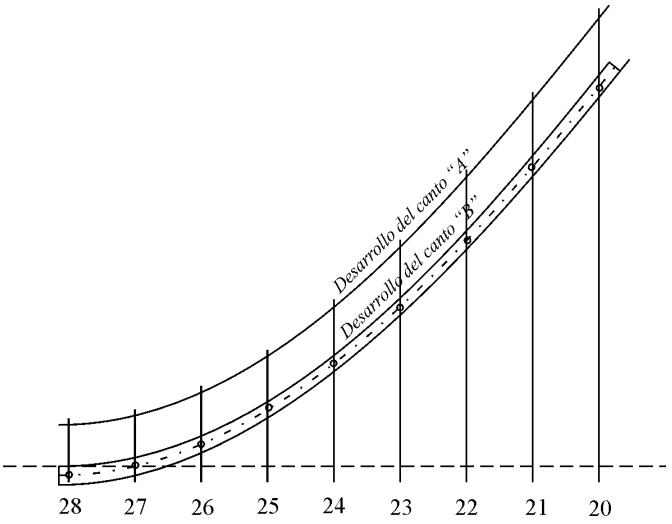


Fig. 7.6 Desarrollo de las costuras longitudinales de las planchas.

7.9 Desarrollo de las líneas de costura o contornos longitudinales de las planchas curvadas

Sean las costuras A y B de la **Fig. 7.5**: sobre la proyección de una costura, sea la A, en el transversal, se aplica un junquillo o listón en el que se marcan los puntos de intersección de las cuadernas de trazado. Este junquillo será tanto más fino cuanta mayor curvatura haya de darse, y no ha de tener el grueso de la plancha. Se numeran las marcas de los puntos de intersección correspondientes a las cuadernas. Pueden tomarse las costuras A y B en distintas caras del mismo junquillo. El trazado auxiliar es una recta base con perpendiculares separadas la clara normal de cuadernas que tendrá que ser la que exista en realidad entre las cuadernas de la zona en que estamos trabajando. Refiriendo las distancias a la recta base se tomará sobre cada

perpendicular la ordenada correspondiente a las marcas tomadas sobre el junquillo, de modo que cada dos puntos consecutivos estarán separados, en altura, la distancia en la proyección transversal entre dos intersecciones del contorno longitudinal de la plancha con las cuadernas consecutivas. Uniendo todos estos puntos tendremos una línea que representará la línea vista de dicho contorno en verdadera magnitud. La construcción es obvia y si esta línea estuviera en un plano el desarrollo obtenido sería la intersección de la superficie con dicho plano. Cuando no está en un plano, la línea desarrollada no representa una curva real de dicha superficie, sino el resultado de colocar en un solo plano la serie de intersecciones de la superficie de trazado con planos diagonales perpendiculares al transversal, uno entre cada dos cuadernas. El resultado es lo suficientemente aproximado y la curva resultante puede considerarse como el desarrollo o expansión en verdadera magnitud de la costura longitudinal. Sobre esta línea aplicaremos el listón de espesor igual al de la plancha si se trata de una traca interior. Habrá que tener en cuenta la posición de la superficie de trazado para situar correctamente el listón que debe quedar por el lado exterior (en la figura por el lado convexo). Los puntos de intersección habría que pasarlos a la fibra neutra del listón para tener su verdadera posición, según se indica con círculos en la **Fig. 7.6**, pero esta referencia es precisamente el trabajo que realizará el listón al extenderlo.

En general, la curvatura de estas líneas es tan suave que en la mayor parte de los casos puede prescindirse de tener que emplear listones de ese grueso y el trabajo puede efectuarse con listones más finos.

7.10 Desarrollo de líneas diagonales

Trazando la línea A'B' (**Fig. 7.5**) que une los puntos medios de los tramos de cuaderna en el ancho de la traca, se marcan los puntos medios entre cada dos cuadernas, señalándolos con un pequeño círculo.

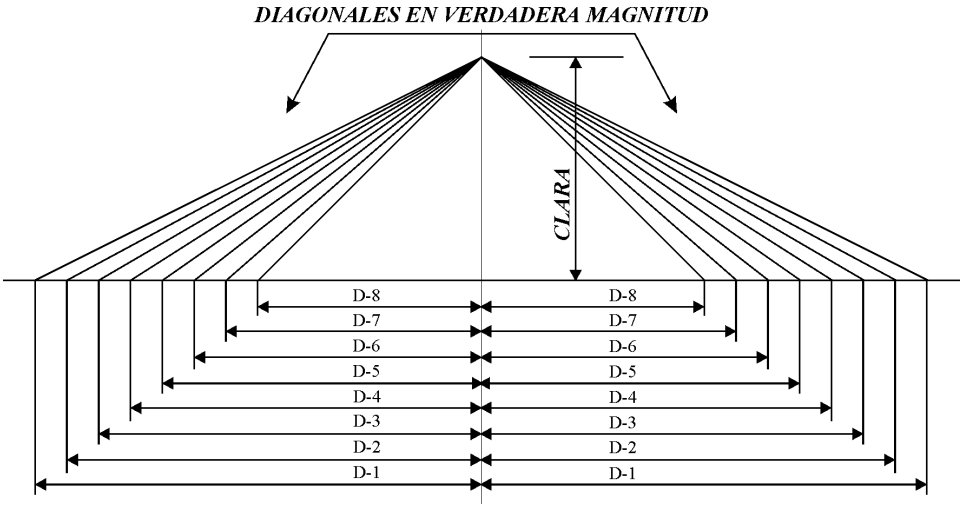


Fig. 7.7 Obtención de diagonales en verdadera magnitud.

Las diagonales de los cuadriláteros curvilíneos formados por cuadernas y contornos de planchas se pueden trazar haciéndolas pasar por estos puntos centrales. Para ello habrá que utilizar listones con los que se acomodará la curvatura que probablemente tendrán, procurando que la vuelta sea lo más similar posible a la que tienen las cuadernas. El objeto de estas diagonales es el de constituir otro elemento auxiliar del que podemos servirnos para el desarrollo, pero como para ello lo único que necesitamos es medirlas, generalmente un trazador experimentado no necesita dibujarlas y le basta con determinar los puntos centrales para colocar el listón que la define y tomar directamente las medidas sobre el listón. Para realizar esto prácticamente, se toma un listón en el que se hace una referencia que servirá para medir el origen de las diagonales desde el canto inferior al superior, y en otro listón se tomarán las cruzadas en dirección de superior a inferior, a partir de otra marca de referencia, que en este caso significaría el canto superior. Con estas magnitudes como catetos, y con la clara de cuaderna en el otro cateto, tendremos en las hipotenusas respectivas, las verdaderas magnitudes de estas diagonales, referidas a una marca fija, numerando la marca del otro extremo por el número de cuaderna respectivo.

7.11 Obtención de flechas

Por el plano de formas se pueden conocer las flechas que tienen las curvas de las secciones como, por ejemplo, las que tienen las curvas de las intersecciones de la superficie de trazado con los planos de las cuadernas, pero como al desarrollar las planchas, estas líneas de cuadernas se van a transformar en otras curvas, necesitamos conocer las flechas que estas curvas tendrán en el desarrollo.

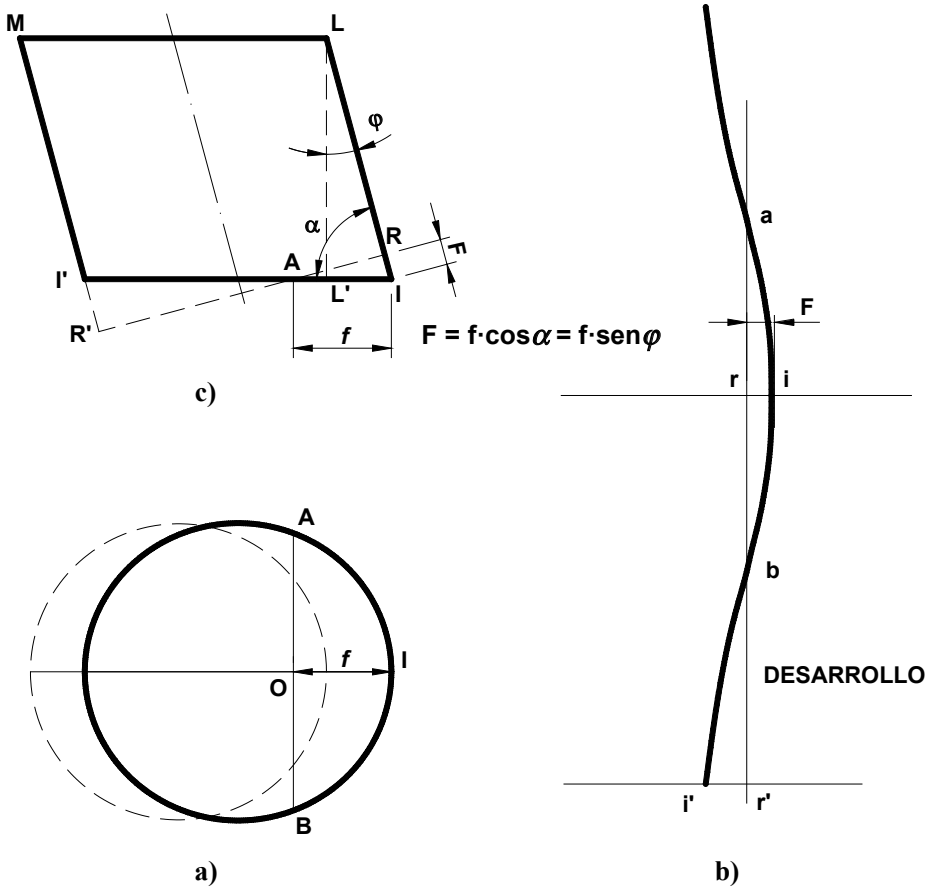


Fig. 7.8 Desarrollo de superficie cilíndrica.

Para comprender el método que se sigue, consideremos que en el desarrollo de un cilindro, cualquier sección recta (plano perpendicular al eje) aparecerá como una recta. En cambio la intersección con un plano oblicuo, cuya sección real será una elipse si la sección recta es circular, da una curva en el desarrollo cuya flecha está relacionada con la de la sección tal como se indica en la **Fig. 7.8**

La curva AIB de la sección oblicua tiene su cuerda AOB (**Fig. 7.8.a**). La sección recta que tiene la misma cuerda es ARB, que se desarrollará según la recta arb (**Fig. 7.8.b**)

El punto I pasa al i en la misma generatriz del desarrollo, por lo que la flecha de la curva desarrollada será "ir", igual en magnitud a IR. Como se ve, esta flecha está relacionada con la OI de la curva real de la sección oblicua puesto que el ángulo en R es recto, y el ángulo en I es el de oblicuidad de la sección que se puede conocer. En efecto, si se considera el cilindro cortado por secciones oblicuas paralelas tales como

las AIBI' y la LM sobre el plano de la AIBI', el punto L queda proyectado en L', y el triángulo LL'I tiene el mismo ángulo en I que el que nos interesa. Si los planos de las secciones fueran los de las cuadernas, LL' es la clara entre cuadernas y L'I es la distancia entre cuadernas en la proyección transversal. ⇒

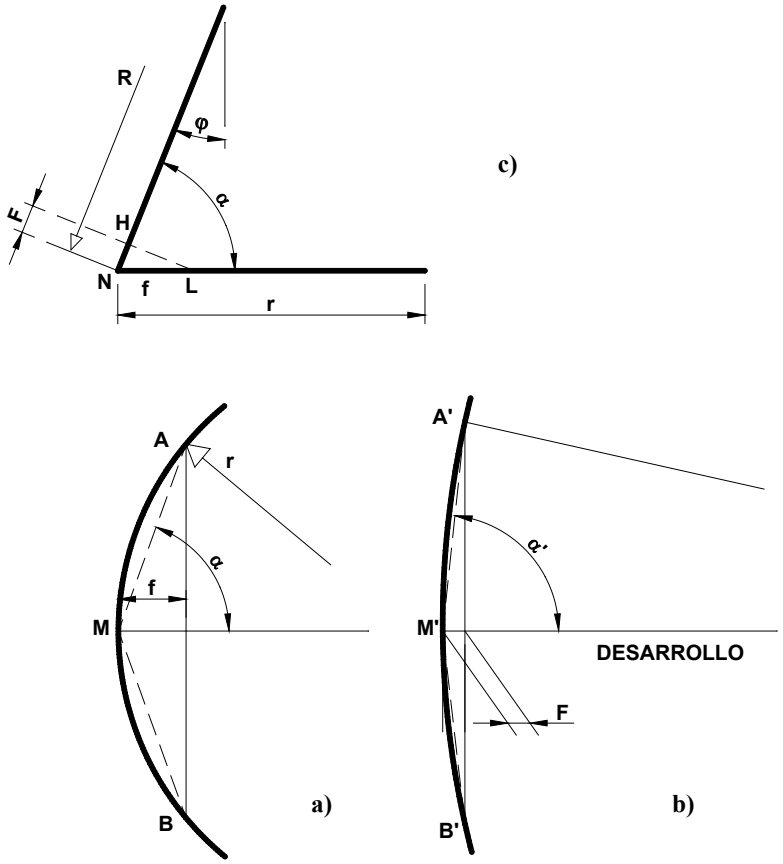


Fig. 7.9 Desarrollo de superficie cónica.

Si se tratase de una superficie cónica: que para mayor sencillez se va a suponer con una sección recta en forma circular tal como la AMB, cuya flecha es **f = NL**, se traza por L la perpendicular a la generatriz ON, a la que cortará en H. La sección real AMB se divide en dos partes iguales, cuyas cuerdas son MA y MB. La curva es un círculo de radio **r.** El desarrollo es un arco de círculo A'M'B' de radio **R**, cuya flecha es **F**. Se trata de curvas con radios de curvatura muy grandes, por lo que podemos suponer que las cuerdas de los semiarcos MA y M'A' de sección y desarrollo respectivamente, son iguales por su proximidad a los semiarcos cuyas longitudes son las realmente iguales.

Con esta hipótesis se tiene:

$$f = \overline{MA}\cos\alpha \quad \Rightarrow \quad \overline{MA} = \frac{f}{\cos\alpha}$$

$$F = \overline{M'A'}\cos\alpha' \quad \Rightarrow \quad \overline{M'A'} = \frac{F}{\cos\alpha'}$$

$$\overline{MA} \cong \overline{M'A'} \Rightarrow \frac{f}{\cos\alpha} = \frac{F}{\cos\alpha'} \Rightarrow F = f\frac{\cos\alpha}{co\,s\,\alpha'} = f\frac{\frac{\overline{M'A'}}{2R}}{\frac{\overline{MA}}{2r}} = f\frac{r}{R}$$

Pero $\quad \frac{r}{R} = \cos\alpha = sin\,\varphi$

Por lo tanto $\quad F = f\cos\alpha = \overline{NH}$

Siendo **"α"** el ángulo de inclinación de la generatriz del cono, lo que viene a resultar en un procedimiento análogo al descrito para una superficie cilíndrica inclinada.

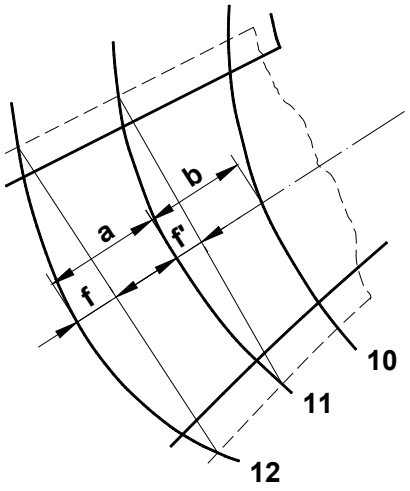


Fig. 7.10 Secciones por las cuadernas 10, 11 y 12 entre dos cantos longitudinales de la plancha.

En el diseño de las superficies debe procurarse que la mayoría sean cilíndricas o cónicas para que sean desarrollables, pero en todo caso se desconocen los radios de curvatura y además las curvas no tienen por qué ser circulares o tener un radio constante, por lo que interesa disponer de un método gráfico práctico lo suficientemente aproximado como el que sigue:

Las flechas **f** y **f'** de las cuadernas 10 y 11 se toman en la base de los triángulos rectángulos de la **Fig. 7.11**

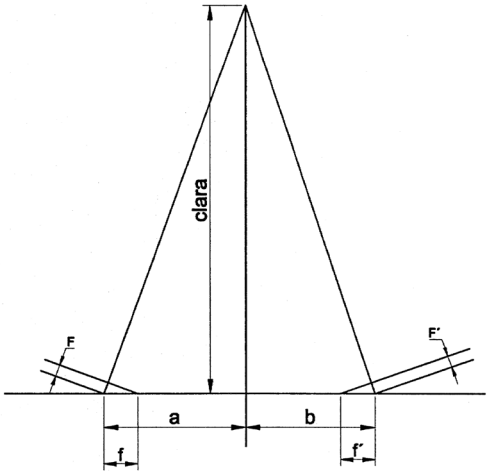


Fig. 7.11 Dibujo auxiliar para determinar las flechas en el desarrollo de las secciones de las planchas con las cuadernas.

que representan las secciones de los conos teóricos, tomando como cateto vertical la clara de cuadernas, y como cateto horizontal la separación entre proyecciones de cuadernas en el transversal, que son las distancias **a** y **b**. Colocando en la base las flechas reales a partir de los vértices respectivos, y trazando las perpendiculares a las generatrices, obtenemos los segmentos **F** y **F'** para la dimensión de las flechas del desarrollo.

Se dan casos en que las flechas máximas no se hallan en el centro de las curvas de cuadernas comprendidas en la traca. En estos casos se pueden obtener dos o tres dimensiones de la flecha como se ve en la **Fig. 7.12**, en la que se han trazado las líneas AB y CD para medir las flechas sobre ellas.

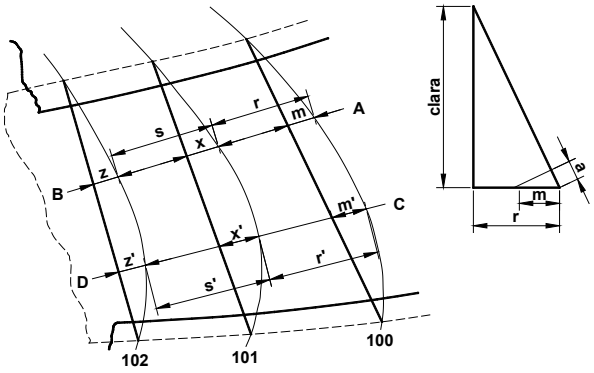


Fig. 7.12 Dibujo auxiliar para determinación de las flechas en los desarrollos de las intersecciones de las planchas con las cuadernas, cuando la flecha máxima no está situada en el centro de la intersección.

Con el mismo fundamento se puede emplear otro procedimiento:

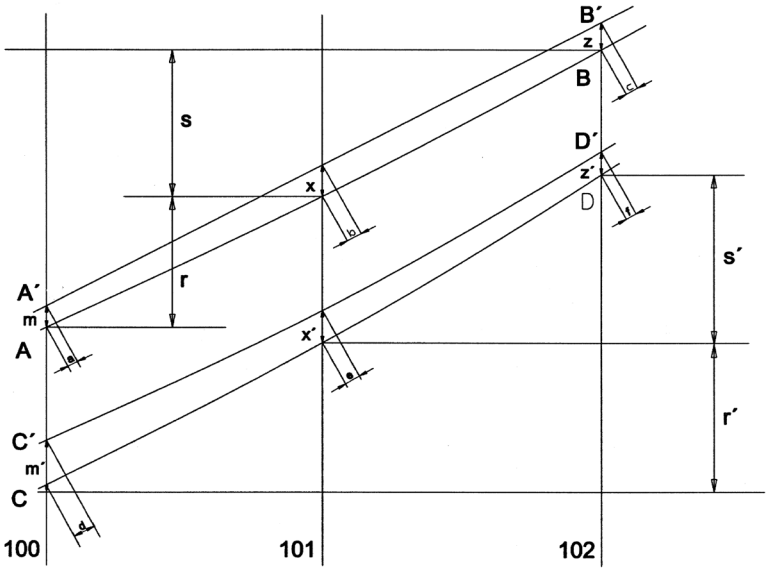


Fig. 7.13 Determinación de las flechas en los desarrollos de las intersecciones de las planchas con las cuadernas.

En la **Fig. 7.13** se han trazado paralelas separadas la clara de cuadernas y se trasladan a ellas las líneas AB y C D, tomando sobre cada recta numerada con la cuaderna correspondiente puntos separados en altura **r** y **s**, y **r ‘** y **s ‘**. Así se obtiene el desarrollo de las líneas AB y CD. Si sobre los puntos de intersección con las cuadernas en este desarrollo, se llevan las ordenadas **M**, **X** y **Z** que son los valores de las flechas reales en la cuaderna sobre el segmento AB, se obtienen los puntos 1 ‘, 2 ‘, 3 ‘, que unidos dan el segmento A’ B’. Del mismo modo se obtiene el segmento C’D’.

Si por los puntos 1’, 2’ y 3’ se trazan perpendiculares a la línea AB se tienen definidos los segmentos **a**, **b** y **c**, que son las flechas del desarrollo. Del mismo modo se obtienen los segmentos **d**, **e** y **f** a partir de los puntos 1’’, 2’’ y 3’’. La justificación es obvia si se acepta la teoría expuesta antes. En este procedimiento se puede deducir además el sentido en que se ha de situar la flecha sobre el desarrollo.

De todas formas, la determinación del sentido de la flecha, hacia proa o hacia popa, es relativamente sencilla en función de la concavidad o convexidad de la curva en el transversal pues el desarrollo de una línea más o menos central en la traca determina el ángulo de inclinación del cilindro o del cono teórico, que no es necesario determinar sino solamente apreciar si se inclina acercándose al diametral hacia proa o hacia

popa. *La flecha queda hacia el lado contrario del vértice del cono cuando son curvas convexas y al mismo lado cuando son cóncavas.*

7.12 Ángulos de los cantos longitudinales de las chapas con las cuadernas

Interesa también conocer el ángulo que forman, en la plancha desarrollada, los cantos longitudinales de las chapas con los arcos de cuaderna, o sea los ángulos **x** y **x'** de la **Fig. 7.14**, en el caso de las cuadernas extremas, en esta figura, la 20 y la 28

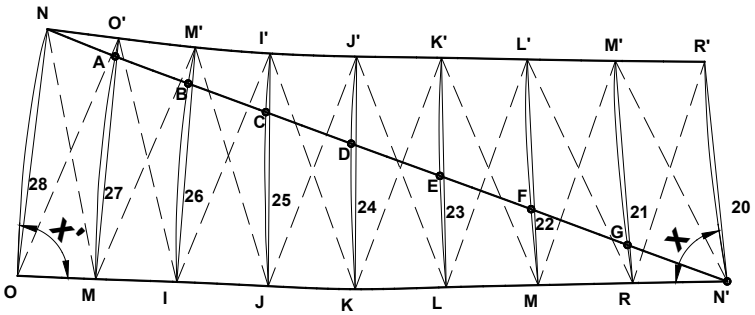


Fig. 7.14 Plancha desarrollada por el método de las diagonales. Se ven los ángulos x, x' que forma desarrollo del canto bajo longitudinal con los desarrollos de las cuadernas extremas: 20 y 28.

En la **Fig.7.15** se ve la forma de obtener dichos ángulos.

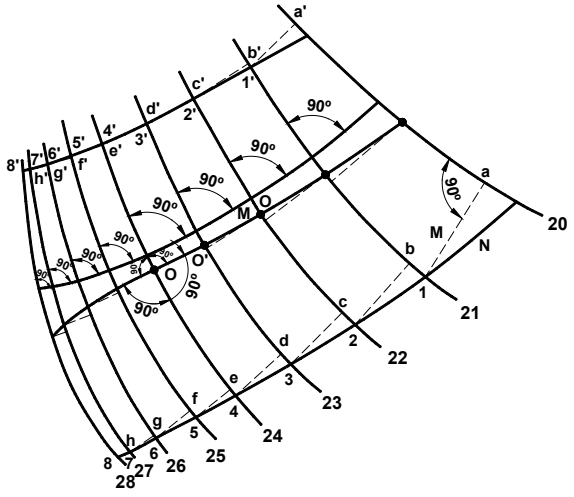


Fig. 7.15 Selección de un trozo de la caja de cuadernas a fin de obtener los ángulos de los cantos, en el desarrollo de las chapas, con las cuadernas desarrolladas. Las líneas proyectadas en el centro de la plancha son la línea base ortogonal, la de más arriba, y la línea base recta, que se utilizarán para en procedimientos de desarrollo que se describen más adelante.

Desde los puntos **1, 2, 3,...** de intersección del canto de la chapa con cada cuaderna, se trazan perpendiculares a la cuaderna inmediata que marcan las distancias **a, b, c,... h,** sobre las cuadernas inmediatas. Éstas a su vez determinan la distancia a que la intersección del canto con la cuaderna quedaría a un plano que pasando por la intersección con la cuaderna inmediata fuera perpendicular a la primera cuaderna. Si se imagina la figura real con la separación que corresponde entre planos de cuadernas, se verá que el plano que pasa por 1 y es perpendicular a la cuaderna 20 cortará a esta en un punto que, con el vértice de la plancha en la cuaderna 20 y el punto 1 de la cuaderna 21 forman un triángulo tal como el de la **Fig.7.16**, en que el ángulo recto es el formado por la cuaderna 20 y la recta determinada por el punto 1 (de la cuaderna 21) con la intersección de la cuaderna 20 con el plano perpendicular a la misma desde dicho punto 1; un cateto es el valor de **"a"** y el otro **(o')** es la verdadera magnitud de **M**. La hipotenusa **(o)** tendrá el verdadero valor de **N**. Estas verdaderas magnitudes se obtienen sobre triángulos rectángulos en los que un cateto es la clara y el otro es el valor en proyección **M** ó **N** respectivamente, como se ve en la **Fig.7.17**:

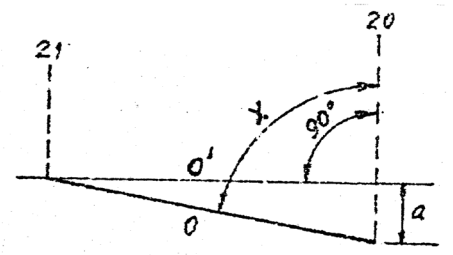


Fig. 7.16 Ángulo x que forma el segmento o del canto bajo, en verdadera magnitud, con la cuaderna 20.

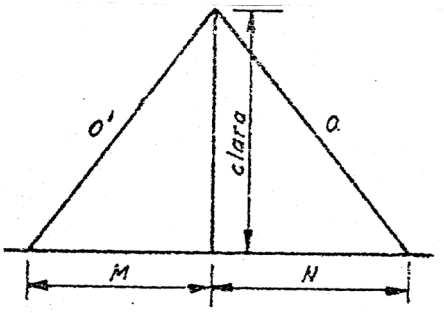


Fig. 7.17 Trazado auxiliar para obtener la verdadera magnitud de o y de o'.

Una ver determinados los valores verdaderos de o y de o' mediante el trazado auxiliar que se ve en la **Fig. 7.17**, mediante el trazado de la **Fig. 7.16** se obtiene el ángulo "x" que es el buscado en desarrollo, entre el canto bajo de la chapa y la cuaderna 20.Con esta construcción se obtiene el ángulo **"x"** que es el buscado en desarrollo, entre el canto bajo de la chapa y la cuaderna 20.

Los ángulos serán agudos u obtusos según lo sean en proyección, aunque el ángulo proyectado tenga distinto valor que el real.

Como se conoce la forma de obtener la flecha del arco de cuaderna en la figura desarrollada, como ya vimos antes, y se tiene también medida la anchura de la traca en cada cuaderna, se pueden obtener plantillas como en la **Fig.7.18**.

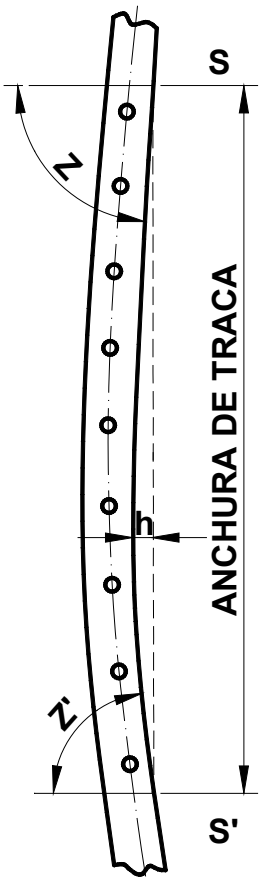


Fig. 7.18 Plantilla de una cuaderna desarrollada, en la que se indica la flecha h y los ángulos z, z' que formarán con ella los cantos bajos del desarrollo de la plancha. Se indica también la anchura de la traca en el desarrollo.

En que (además de marcar, si se quisiera, los anchos de ala de cuaderna, como se hacía para la construcción remachada) se marcará la anchura de la traca medida sobre el arco y no sobre la cuerda. Se obtienen así los puntos **S** y **S'** (extremos del ancho de la traca) desde los que marcaríamos sobre la plantilla las rectas que forman con el arco desarrollado de la cuaderna los ángulos respectivos **Z** y **Z'.**

7.13 Criterios de desarrollabilidad

Las superficies curvas del buque pueden ser desarrollables o no desarrollables. Las desarrollables son aquellas que en cualquiera de sus puntos admiten una generatriz recta que está contenida en el plano tangente a la superficie en dicho punto, siendo este plano además tangente a la superficie a lo largo de la citada generatriz.

Cuando las superficies son desarrollables, los métodos de desarrollo son teóricamente exactos. Cuando no lo son, no admiten desarrollo teóricamente, pero en la práctica se utilizan métodos aproximados que aplicados sobre porciones relativamente pequeñas de dichas superficies, proporcionan desarrollos suficientemente satisfactorios para dar las formas en que se han de cortar los trozos de chapa con los que se han de fabricar las planchas curvadas, y que al montarlas, encajen unas en otras con tolerancias admitidas.

En el trazado de formas y despiece en tracas se procura que sea desarrollable la totalidad de la superficie del casco. Aunque esto no puede lograrse de una forma absoluta, en la práctica son desarrollables la totalidad de las planchas del forro salvo las de zonas muy reducidas en que las curvaturas muy pronunciadas en dos direcciones no lo permiten, como ocurre algunas veces en el enlace de forro y henchimientos de buques de dos hélices. Para conseguir la desarrollabilidad se sacrifican muchas veces hasta las formas. Hay otros puntos difíciles como los pies de roda, cuando se construyen de planchas soldadas.

Cuando se trata de curvaturas muy pequeñas en dos direcciones como ocurre en cubiertas con brusca y arrufo no hay ningún problema en aceptar un desarrollo por triangulación ya que ni siquiera será necesario curvar las chapas que se adaptarán elásticamente al montarlas sobre los baos con figura.

Cuando se trata de curvaturas pronunciadas que exigen un trabajo de forja en caliente para dar la debida forma a las planchas cuando estas no son desarrollables habrá que construir un modelo formado con plantillas de las curvas de cuadernas, debidamente arriostradas con la que se labra aquélla.

En la práctica, por aplicación del criterio antes descrito, no es fácil apreciar a simple vista si el sector de superficie que hay que extender sobre un plano es teóricamente desarrollable o no. Puede hacerse una idea sobre la posibilidad de desarrollo con las figuras de las cuadernas y las separaciones entre ellas que se ven en el transversal o caja de cuadernas:

1. *Una porción de forro en que las cuadernas se ven rectas, igualmente espaciadas y paralelas, es una superficie plana. (**Fig. 7.19**)*

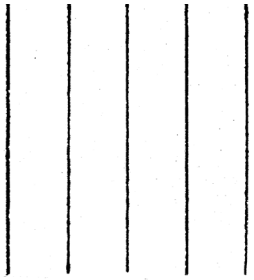


Fig. 7.19 Intersección del forro con planos paralelos al transversal (cuadernas) en el caso de que el forro sea plano y, en este caso, además, en posición vertical.

2. *Si las cuadernas se ven rectas y paralelas, pero desigualmente espaciadas, la superficie es cilíndrica, por lo cual es desarrollable (**Fig. 7.20**) y además tiene el eje en un plano transversal.*

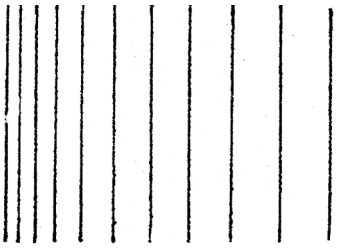


Fig. 7.20 Intersección del forro con planos paralelos al transversal (cuadernas) en el caso de que el forro sea una superficie cilíndrica, situada, además, en este caso, en posición vertical.

3. *Curvas paralelas igualmente espaciadas radialmente: se trata de superficies cónicas de eje longitudinal. (**Fig. 7.21**)*

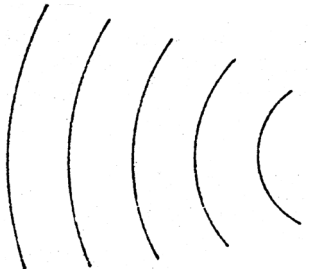


Fig. 7.21 Intersección de id. en el caso de que el trozo de forro sea una superficie cónica, en este caso, de eje paralelo al eje longitudinal del buque.

4. *Curvas iguales desplazadas paralelamente en una dirección y equidistantes: Denotan un cilindro de eje inclinado que también es desarrollable. (**Fig. 7.22**)*

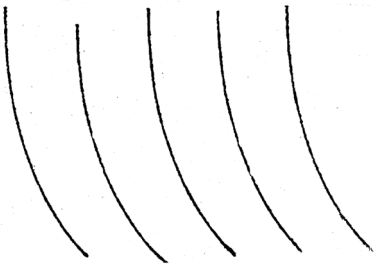


Fig. 7.22 Intersección de id. en el caso en que el trozo de forro sea un cilindro de eje inclinado.

5. *Si las cuadernas aparecen curvas y además no son paralelas se puede aplicar el siguiente método (**Fig. 7.23**):*

   Por un punto cualquiera A de la cuaderna 11 se traza una tangente a la misma. A la cuaderna opuesta, sea la 8, se le traza una tangente paralela a la anterior, y el punto de contacto B que se obtenga se une con el A. *Si el segmento queda dividido a partes iguales por las cuadernas intermedias se puede afirmar que es la proyección de una recta contenida en la superficie. Si además las tangentes, en los puntos de corte con las cuadernas, son paralelas a las dos primeras, se dan las intersecciones del plano tangente a lo largo de esa recta generatriz con los planos de las cuadernas, por lo que la superficie será desarrollable.*

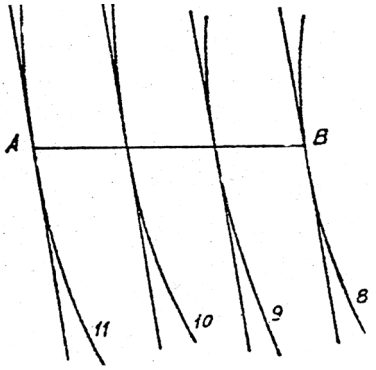


Fig. 7.23 Método a aplicar en el caso que las cuadernas aparezcan curvas y no sean paralelas.

Con todo lo anterior se dispone de los elementos necesarios para comprender y justificar los métodos de desarrollo de planchas que tradicionalmente se aplican en los astilleros.

7.14 Métodos de desarrollo de planchas

7.14.1 Método de las diagonales

Se basa en la extensión sobre un plano de la triangulación que se forma con las diagonales trazadas por el método antes descrito. Se aplica de la siguiente forma: Se toma una cuaderna base, que conviene que sea la más próxima a la maestra, con la que se iniciará el desarrollo, tomando el ancho de traca en esa cuaderna tal como se vio en la plantilla de la **Fig. 7.18**, que se repite a continuación para un más fácil seguimiento, en la **Fig. 7.24**.

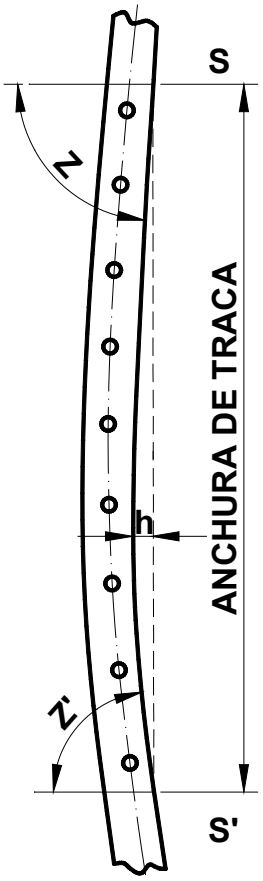


Fig. 7.24 Plantilla de una cuaderna desarrollada, en la que se indica la flecha h y los ángulos z, z' que formarán con ella los cantos bajos del desarrollo de la plancha. Se indica también la anchura de la traca en el desarrollo.

En el caso que sigue vamos a empezar el desarrollo por la cuaderna 28 de la **Fig. 7.25**.

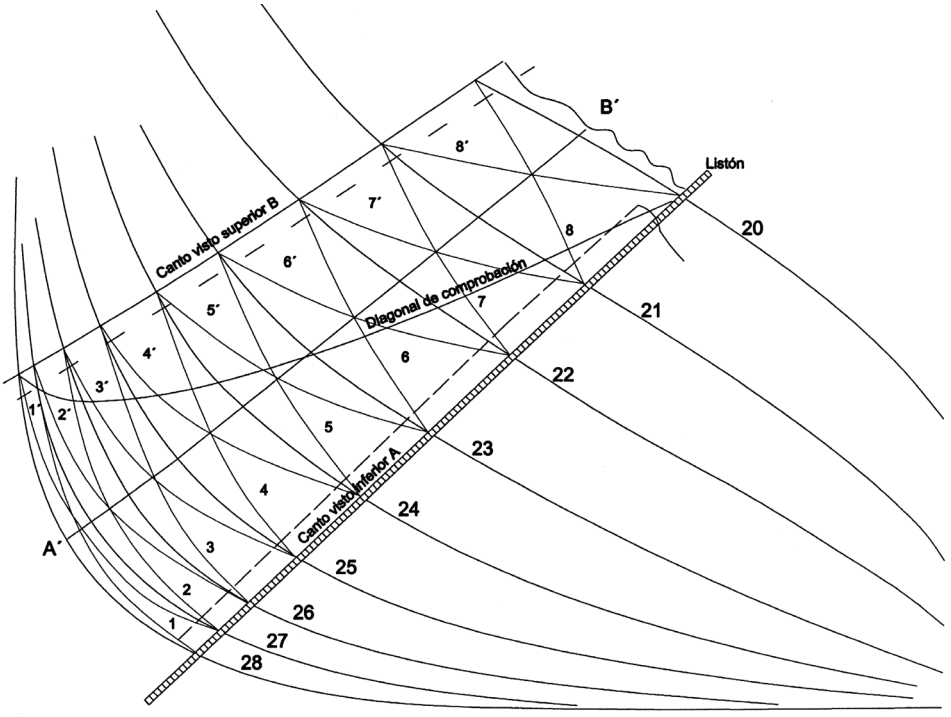


Fig. 7.25 Trozo de caja de cuadernas, con dibujo de las proyecciones de los contornos longitudinales de la plancha sobre el transversal, utilizado como base para desarrollar una plancha por el método de las diagonales.

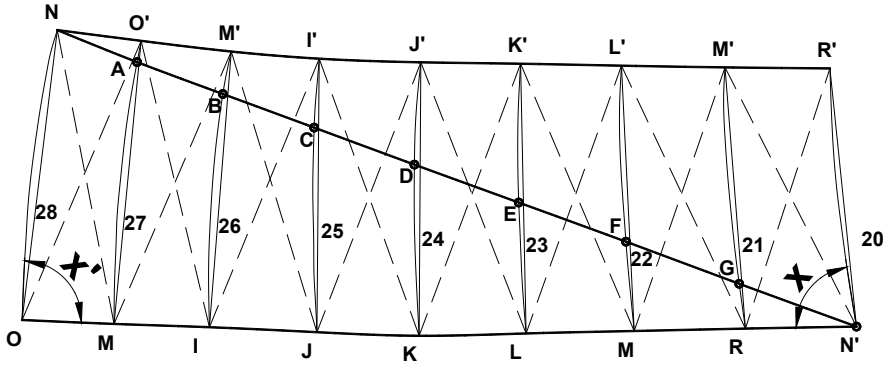


Fig. 7.26 Desarrollo de una plancha por el método de las diagonales, con la diagonal de comprobación.

En la parte alta de la anchura de traca o punto N (**Fig. 7.26**) de la cuaderna 28 se coloca el listón o junquillo que contiene el desarrollo en verdadera magnitud del canto alto de la traca, fijándolo para que pueda girar en el punto N en el que coincidirán las marcas de la intersección de ambas líneas: *cuaderna* y *canto alto de la traca*. Lo mismo se hace

en el punto O con el junquillo del canto inferior. Con las varetas de las diagonales en verdadera magnitud, refiriéndolas desde los puntos O y N, formamos con los junquillos correspondientes a los cantos, los triángulos que determinan los puntos O' y el inferior M de la cuaderna 27. En estos puntos se clavan los junquillos de los cantos y con las varetas de las diagonales siguientes se van obteniendo los vértices sucesivos de los triángulos que determinan los subsiguientes puntos del desarrollo real de los cantos superior e inferior. Con las plantillas de las sucesivas cuadernas, desarrolladas como en la **Fig. 7.24**, se comprueban las anchuras de traca que van resultando en cada cuaderna.

Una vez terminado el desarrollo, se hace la comprobación siguiente: se traza la diagonal desde el punto N al N' de la **Fig. 7.26**, que será una línea recta en el desarrollo, cortando a distintas cuadernas a los puntos A, B, C,... y G. Se toman sobre el arco de cuaderna las longitudes O'A, H'B, I'C, etc., que hay desde el canto alto a la diagonal de comprobación, y se trasladan a la **Fig. 7.25.**

Tomándolas también desde el canto alto, obteniendo así los puntos por donde ha de pasar la diagonal en la proyección. Con un junquillo se traza la diagonal en proyección, y se miden las distancias de corte entre cuadernas para efectuar su desarrollo con la misma construcción auxiliar con que se desarrollaron los cantos de las tracas. Así se obtienen las distancias en verdadera magnitud de las intersecciones de esta diagonal de comprobación con las cuadernas de trazado.

Llevando estas distancias sobre la plancha desarrollada por medio de un nuevo junquillo, deberán coincidir, si la plancha está bien trazada, con los puntos A, B, C, etc. de la **Fig. 7.26**. Si hay algún defecto no coincidirán las distancias de estas líneas, por lo que hay que buscar el error, ya que la coincidencia debe ser perfecta.

Otra comprobación que se debe hacer es la de los ángulos de los cantos de las planchas con los arcos de cuaderna, verificando el dibujo obtenido del desarrollo con los ángulos que se han trazado en las plantillas de desarrollo de las cuadernas (**Fig. 7.24**).

7.14.2 Método de la línea base ortogonal

Este método se basa en el desarrollo sobre una línea base que cortará en ángulo recto a cada una de las cuadernas sucesivas, tanto en la figura desarrollada como en la proyección transversal, puesto que por estar las líneas de cuaderna vistas en verdadera magnitud, una perpendicular en cualquiera de sus puntos tiene que estar contenida en el plano perpendicular en ese punto, y se proyectará necesariamente sobre la recta perpendicular a la cuaderna que está contenida en un plano paralelo al de proyección. La forma de la base en el desarrollo habrá de determinarse, no teniendo que ser recta, a menos que se trate de la generatriz de un cilindro o de un cono perfecto.

El procedimiento práctico tradicional para efectuar el desarrollo por este método puede deducirse de la **Fig. 7.27**.

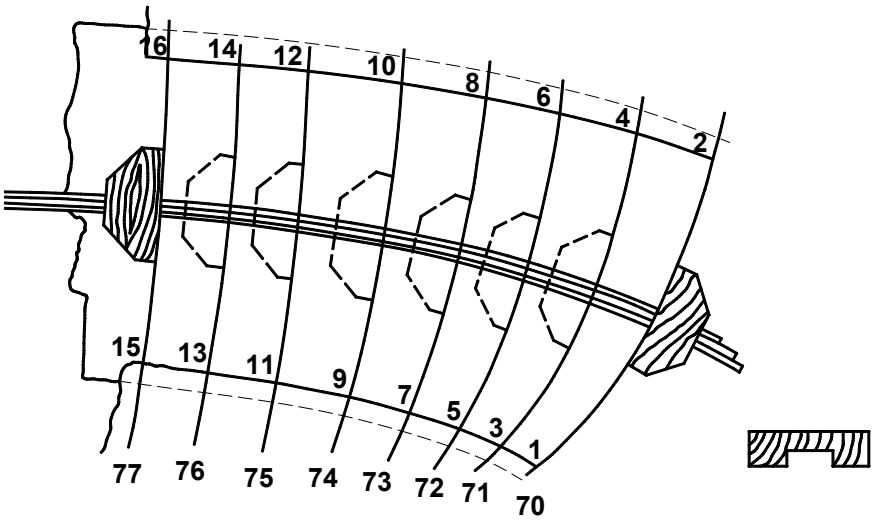


Fig. 7.27 Trozo de la caja de cuadernas para el desarrollo de una plancha por el método de la línea base ortogonal. Se incluyen las proyecciones de los cantos alto y bajo de la plancha.

Lo primero es determinar la línea base ortogonal que utilizaremos para el desarrollo, lo cual se realiza por medio de un juego de dos escuadras con una ranura cada una, en las que encajan de forma bastante justa tres junquillos elásticos como se ve en la figura citada. Una de las escuadras se fija al dibujo de la caja de cuadernas, de forma que quede tangente a la cuaderna elegida como origen del desarrollo, saliendo juntos los tres junquillo y perpendicularmente a la cuaderna en el punto de tangencia, pudiendo deslizarse la otra a lo largo de los junquillos, hasta colocarse tangente a la cuaderna siguiente. Se fija el junquillo (central) sobre el dibujo, quedando así perpendicular a la segunda cuaderna, y se sigue el procedimiento con la cuaderna siguiente, y así hasta la última. De este modo se determina cual es la línea ortogonal a las cuadernas que se va a utilizar como base del desarrollo, así como su posición. Esta línea se desarrolla en verdadera longitud por el procedimiento ya visto, marcándose sobre un junquillo los puntos inicial y final, así como los de intersección con las cuadernas. Se desarrollan aparte, con sus flechas respectivas, y por los métodos vistos, las plantillas de las cuadernas, las cuales tienen que quedar perpendiculares a línea base en el desarrollo de la plancha. Se han podido además tomar las distancias desde los puntos de intersección de esta línea base con las cuadernas hasta los cantos alto y bajo de la chapa. Además, también se tienen los desarrollos en verdadera longitud de dichos cantos, y sus intersecciones con las cuadernas, con lo cual se tienen datos suficientes para el desarrollo de la plancha, desarrollo que aún se puede comprobar por el método de las diagonales, debiendo ambos coincidir (Ver **Figs. 7.27, 7.28, 7.29, 7.30, 7.31, 7.32, 7.33, 7.34**)

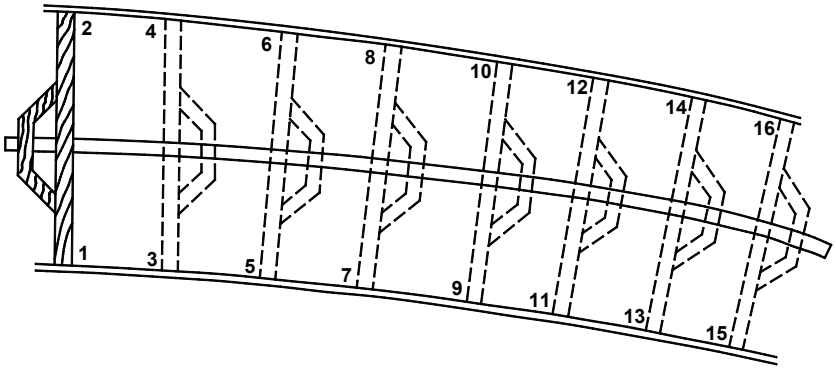


Fig. 7.28 Desarrollo de la plancha por el método de la línea base ortogonal.

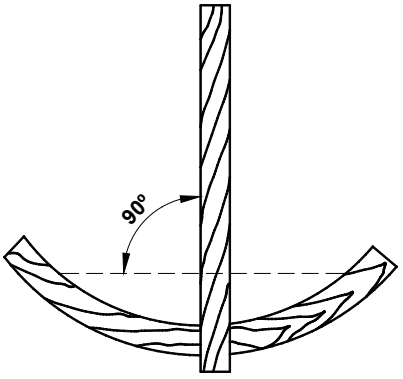


Fig. 7.29 Escuadra para obtener la línea base ortogonal.

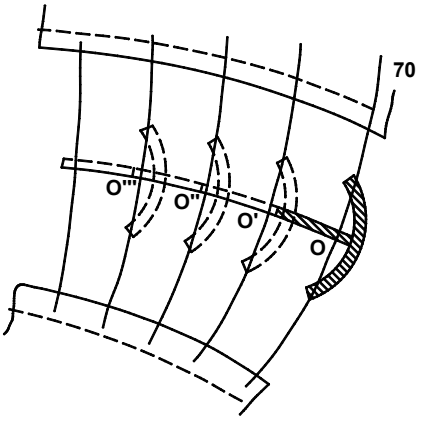


Fig. 7.30 Obtención de la línea base ortogonal en la proyección sobre la caja de cuadernas.

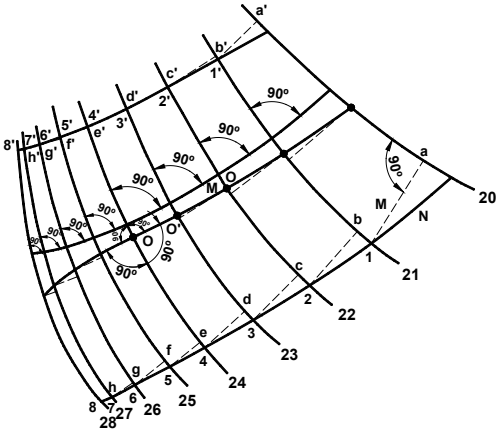


Fig. 7.31 Contornos de la plancha proyectada sobre la caja de cuadernas. En el centro: proyección de la línea base ortogonal y, debajo, proyección de la línea base recta, para el método que se describe más adelante.

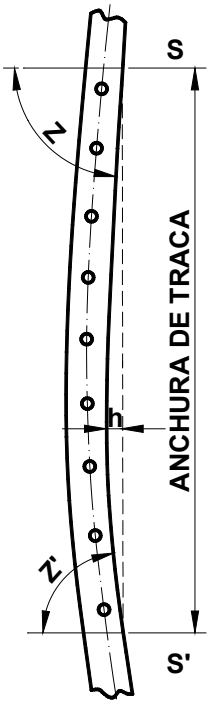


Fig. 7.32 Plantilla del desarrollo de una cuaderna. Igual que Figs. 7.18 y 7.24.

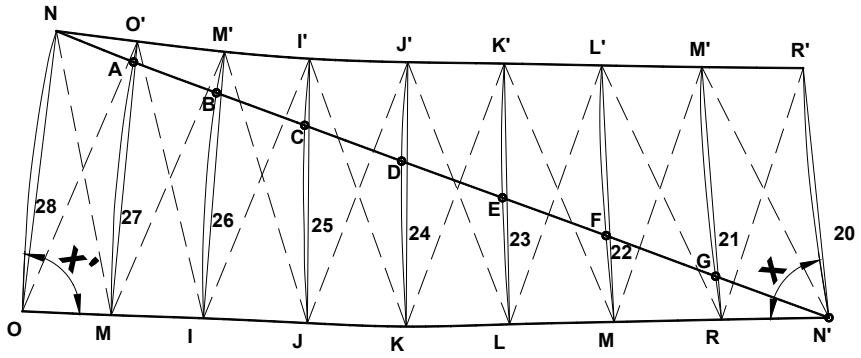


Fig. 7.33 Comprobación por el método de las diagonales.

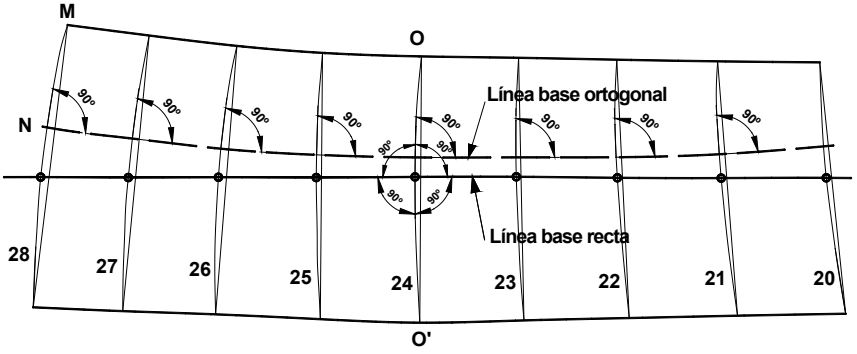


Fig. 7.34 Vista final del desarrollo por el método de la línea base ortogonal y también por el de la base recta, método descrito más adelante.

Hay que tener en cuenta que, aunque en la mayor parte de los casos en que no hay curvaturas acentuadas, las cuadernas se desarrollan casi rectas, la perpendicularidad de la línea base debe hacerse no a las cuerdas, sino a las curvas que forman las cuadernas, en los puntos de intersección correspondientes.

7.14.3 Método de la normal media

Se trata de una variante del método de la base ortogonal, también llamado método ruso de Chalnokov.

La línea que sirve de base para el desarrollo es la llamada normal media, cuyo trazado sobre el transversal se obtiene como sigue:

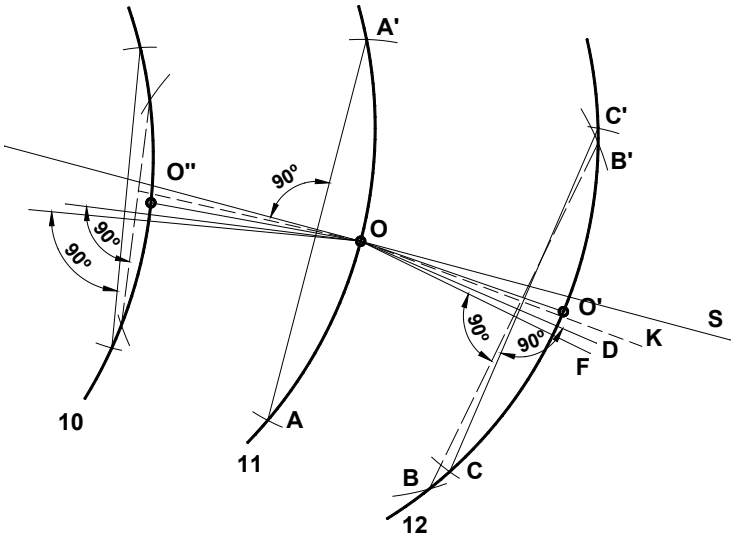


Fig. 7.35 Trazado sobre la proyección transversal (caja de cuadernas) de la normal media.

Sean tres cuadernas consecutivas: 10, 11, 12. Haciendo centro en O de la cuaderna central 11, se trazan dos arcos A y A' a cierta distancia de O, con el mismo radio; y se traza la cuerda AA', trazando por O la normal OS a ella. Nuevamente con centro en O trazamos los arcos B y B' que cortan a la cuaderna 12. Unimos estos puntos formando la cuerda BB', y trazamos desde O la perpendicular a BB', que es OF. Esta perpendicular forma un ángulo FOS con la normal a la primera cuaderna. Trazamos la bisectriz de FOS que corta en K a la cuaderna 12. En principio este punto será el de paso de la normal media, pero si la curvatura de la cuaderna fuera irregular y la tangente en K a la curva de la cuaderna 12 no fuese paralela a la cuaderna BB', el segmento OK no será la normal media. Tomando K como centro trazamos con igual radio arcos que cortan en C y C' a la cuaderna 12, trazando una nueva cuerda CC', y desde O la perpendicular a ella que corta en D a la cuaderna 12. Trazando la bisectriz del ángulo DOS obtenemos el punto O' por el que pasará la normal media. Por el mismo procedimiento obtendremos O'' sobre la cuaderna 10 y los puntos sucesivos sobre las demás cuadernas en ambas direcciones a partir de O. La curva que pase por todos estos puntos O', O, O'' constituirá la normal media, que es la línea base de este desarrollo en el que, al igual que ocurría con la base ortogonal, tampoco tiene porque ser recta.

En este desarrollo, se traza en el transversal una normal media empezando por la cuaderna central de la plancha, aproximadamente en el centro del arco de la cuaderna media, y se sigue en ambas direcciones. A continuación se trazan otras dos líneas auxiliares de trazado, una a 300 mm por arriba y otra a 300 mm por debajo de la normal media, midiendo estas distancias sobre el arco de cuaderna.

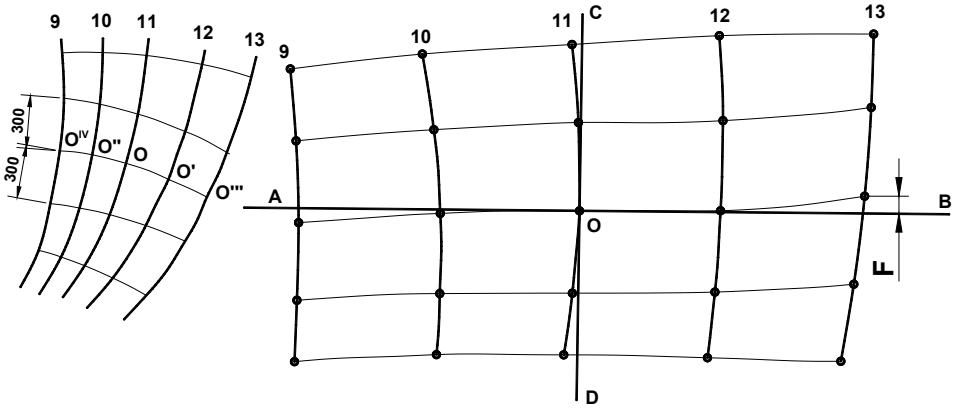


Fig. 7.36 Desarrollo de la plancha por el método de la normal media.

Por los métodos expuestos anteriormente, se desarrollan en verdadera magnitud las cinco líneas longitudinales, o sea: normal media, línea auxiliar superior, línea auxiliar inferior, y los cantos superior e inferior de la plancha, marcando en todos ellos las distancias desarrolladas a que se encuentran los cortes con las diferentes cuadernas.

Se tendrán además preparados los desarrollos de los arcos de cuaderna con las marcas de intersección de los cantos superior, inferior, normal media, y líneas auxiliares; y se sigue con el desarrollo de la plancha.

7.14.4 Método de la base recta

El método se basa en la determinación transversal de una línea que sea recta en la plancha desarrollada. Si la superficie donde aplicamos el método es desarrollable, éste será rigurosamente exacto y si no es desarrollable, es suficientemente aproximado.

Método: veamos primero la base del trazado y luego su desarrollo práctico. Elegimos una cuaderna por la que empezar el desarrollo (generalmente central) y por su punto medio la cortamos por un plano perpendicular a ella en ese punto, que contendrá a la base.

Esta recta está definida por este punto origen y por el punto donde corta ese plano a la cuaderna siguiente. Esta recta así definida puede cortar a las cuadernas restantes o no. Si esta recta cortase a las cuadernas siguientes lo sabríamos porque los segmentos de esa recta entre las cuadernas serían iguales y sería ya la base recta. Si esas distancias o segmentos entre cuadernas no son iguales, tendremos que girar la recta base hasta que corte a la cuaderna siguiente, por lo que la recta base en el desarrollo se va plegando sucesivamente por medio de giros hasta acoplarla a la superficie definida por las cuadernas.

Esto se hace partiendo de una cuaderna, generalmente la central de la plancha, y se pliega en ambas direcciones hasta los extremos. La proyección de la base en el transversal dejará con seguridad de ser una línea recta, pero al deshacer los giros y al extender la base en un plano, aparecerá como la línea recta base del desarrollo.

Aunque el método no es rigurosamente exacto, se ha aplicado con éxito en muchos sitios y resulta muy parecido al de la Línea Geodésica que se explica más adelante.

La aplicación práctica del método de la base recta es como sigue:

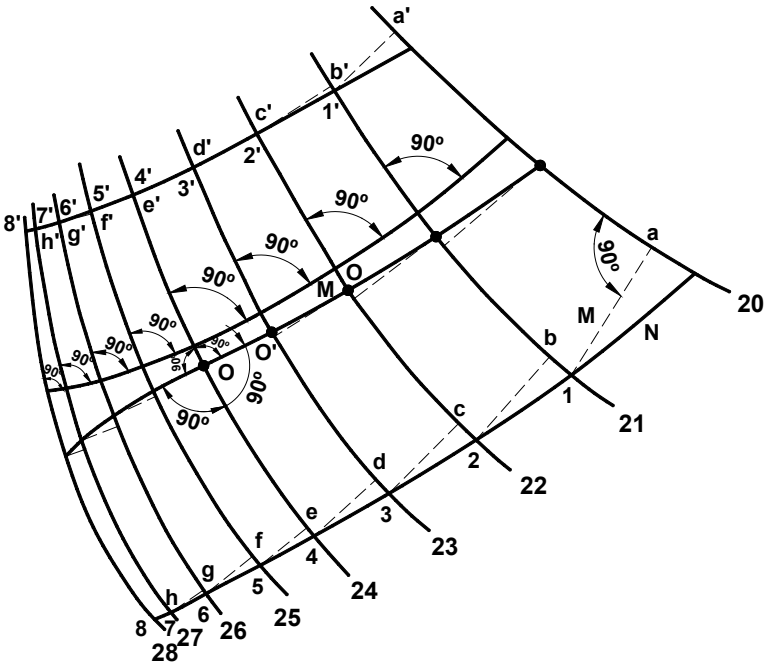


Fig. 7.37 Proyección en el transversal de formas (caja de cuadernas) de la plancha que vamos a desarrollar por el método de la base recta.

Se toma la cuaderna central 24, y su punto O al medio de la anchura de la traca, como inicio. Trazamos la perpendicular a la cuaderna por O, prolongándola hasta cortar a las cuadernas 22 y 26, marcando el punto O' de corte con la cuaderna 23 (y 25). Con centro en O' y radio O'O marcamos M (O'M = OO'). Si M no está sobre la cuaderna 22 procedemos a girar la recta, para lo cual desde M trazamos la perpendicular a la cuaderna 23 que corta a la 22 en O''. Uniendo este punto con el de la cuaderna anterior tenemos la proyección de la cuaderna 21, y se repite nuevamente el proceso. Análogamente se efectúa hacia las cuadernas 25, 26, etc.

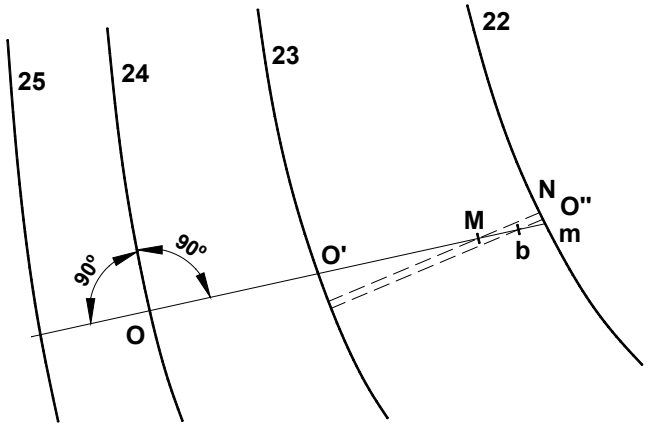


Fig. 7.38 Trazado auxiliar para obtener la línea base recta en el desarrollo.

Con esta construcción se comete un pequeño error que será inapreciable salvo cuando la base adopte curvaturas notables, en cuyo caso habrá que hacer correcciones:

Veamos cuál es el error:

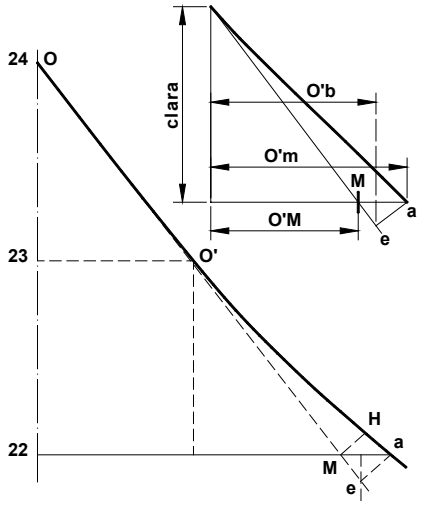


Fig. 7.39 Trazado auxiliar para determinar el error cometido con el desarrollo por el método de la base recta.

Tenemos una parte del transversal que cortamos por un plano perpendicular en la cuaderna 24. Sobre él, los planos de las cuadernas aparecerán como rectas separadas una clara de cuadernas. La recta OO' Mm se separa de la superficie (OO'=O'M y M no está sobre la cuaderna). Girando M éste se sale del plano de la cuaderna 22 al ir a parar a H. El punto que nos interesa determinar es el a que al deshacer el giro pasa al punto e, cuya situación en la fig. I sería el punto b desde el que realmente tendríamos

que trazar la perpendicular para obtener el punto O'' (ya que desde M obtenemos el punto N y no el O''). Como podemos apreciar el error es muy pequeño. Para el caso antes citado de grandes curvaturas en la base debemos situar correctamente el punto b para lo que hemos de calcular O'b con el auxilio del croquis situado sobre la fig. II (conocemos O'M y O'm por lo que calculamos O'b).

La materialización del desarrollo corresponde con la **Fig. 7.40**:

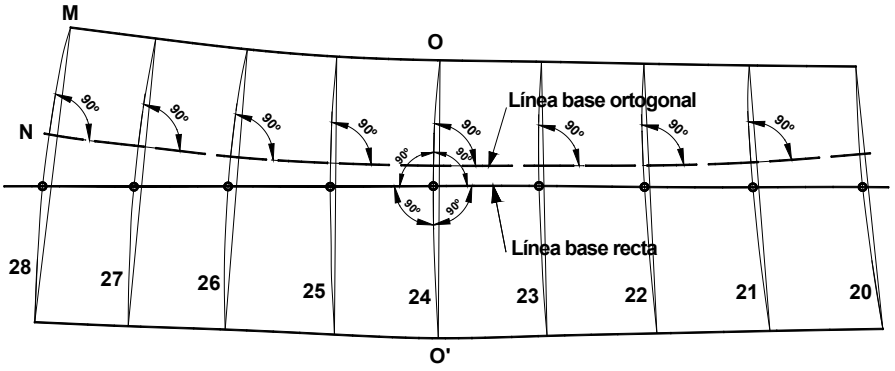


Fig. 7.40 Plancha desarrollada por el método de la base recta. En la parte de arriba aparece también el desarrollo de la línea base ortogonal.

Sobre una recta (base) levantamos una perpendicular (punto A), trazando la cuaderna 24, utilizando su desarrollo. A partir de A marcamos sobre la base los puntos de intersección con las cuadernas en verdadera magnitud y con centro en estos puntos de intersección trazamos arcos hacia arriba y abajo con las longitudes de los arcos de cuadernas comprendidos entre los puntos de intersección de éstas con la base y los cantos. En la cuaderna 24 se obtienen así los puntos O y O' en donde se fijan los junquillos de los desarrollos de los cantos, haciendo coincidir los puntos correspondientes del junquillo con los arcos antes trazados, obteniendo así los desarrollos reales de los cantos superior e inferior.

7.14.5 Método de la triangulación

Es un método sencillo basado en la triangulación que ya se ha esbozado en anteriores puntos.

En las figuras que siguen, ya vistas antes, cuando se determinaron los verdaderos ángulos de corte de las cuadernas con los cantos de las planchas, se estudió la forma de hallar la verdadera magnitud de los lados de los triángulos rectángulos que tienen por catetos 1 a, 2 b, 3 c....

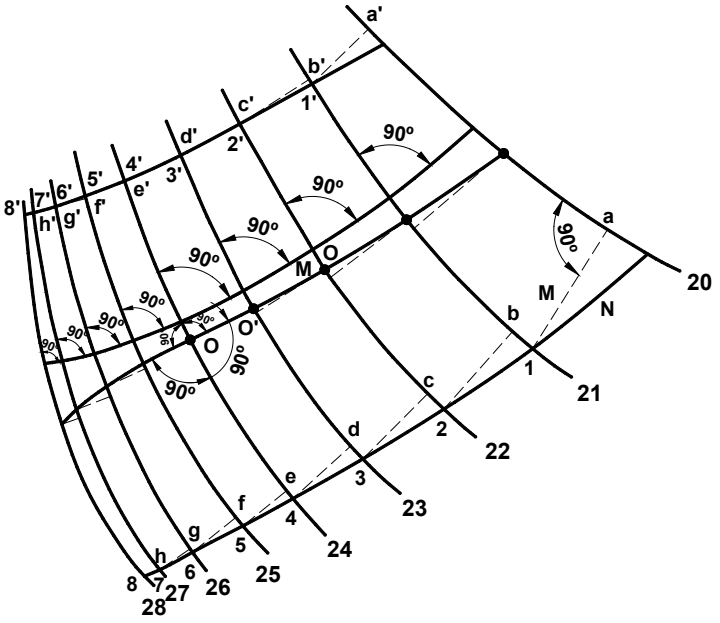


Fig. 7.41 Proyección sobre el transversal de formas de la plancha que vamos a desarrollar por el método de la triangulación (es la misma figura que la 7.31 y que la 7.37).

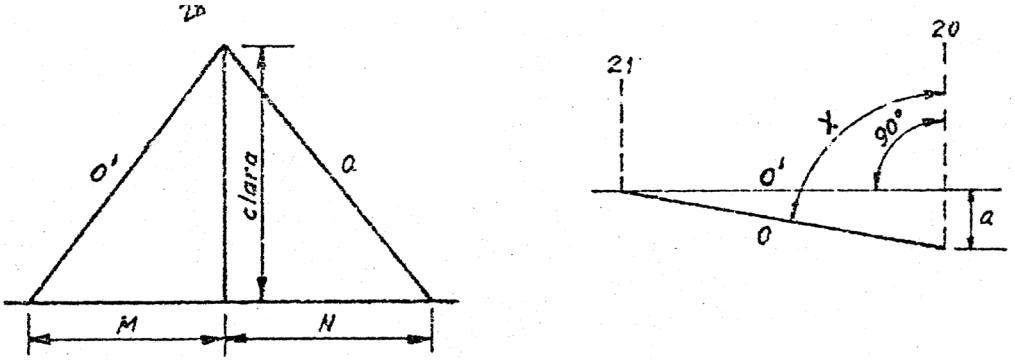


Fig. 7.42 Construcciones auxiliares para determinar los lados (catetos: o' y a, e hipotenusa: o) de los triángulos rectángulos a ser utilizados en el desarrollo por el método de la triangulación. El hecho de que deban ser rectángulos sirve asimismo de comprobación.

El desarrollo se hace como se ve a continuación, comenzando por la cuaderna 20.

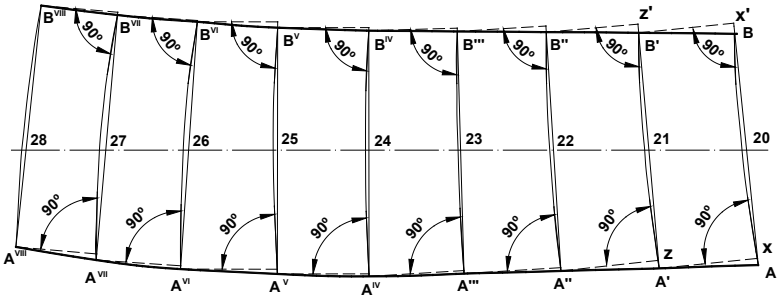


Fig. 7.43 Desarrollo de plancha por el método de la triangulación.

En las plantillas de las cuadernas se marcan X y X'. En estos puntos se levantan perpendiculares a esa cuaderna 20 y éstas serán los catetos 1a y 1'a' que antes veíamos, por lo que a partir de X y X' tomaremos las verdaderas magnitudes de estos catetos, obteniendo los puntos A' y B'. Estos puntos serán los correspondientes a los cantos A y B en la cuaderna 21. Sobre ellos colocamos la plantilla del desarrollo de la cuaderna 21 que puede trazarse y así marcar sobre ella los puntos Z y Z'. Repitiendo sucesivamente el trazado terminaremos el desarrollo.

Otro sistema es que, como conocemos la verdadera magnitud de la hipotenusa (cantos), bastará que al iniciar el desarrollo por la cuaderna 20, se marcan los puntos A, B, X y X'. En A y B fijamos los puntos correspondientes de los junquillos de los desarrollos y en X y X' levantamos las perpendiculares a las curvas. El punto A' del junquillo (del canto A) se lleva a situarlo sobre la perpendicular en X y el B' sobre la perpendicular en X', determinando así A' y B' en los que se fijan los junquillos respectivos del desarrollo de los cantos. Análogamente se van determinando los puntos siguientes y con las plantillas de desarrollo de las cuadernas se terminará el trazado del desarrollo de la plancha.

7.14.6 Método de la línea geodésica

Se fundamenta en que la distancia más corta entre dos puntos de una esfera es la distancia entre los mismos medida a lo largo de la línea geodésica, la cual es realmente un círculo máximo de la esfera, como ocurre en la superficie terrestre, en que los navegantes siguen estas líneas, o rumbos "ortodrómicos", cuando navegan entre puntos muy distantes, ya que los ahorros de tiempo y combustible son importantes.

La superficie esférica no es desarrollable, pero si sobre la misma se toma una superficie suficientemente pequeña, que permita considerarla en primera aproximación como desarrollable, la línea geodésica, al ser la distancia más corta entre dos puntos, vendrá representada por una recta en el desarrollo.

También se define la línea geodésica de una superficie como: Una línea contenida en esa superficie en la que el plano osculador en cada punto de la línea contiene a la normal a la superficie en el mismo punto.

La determinación de una línea geodésica se puede hacer como se muestra de la siguiente manera en la **Fig. 7.44**:

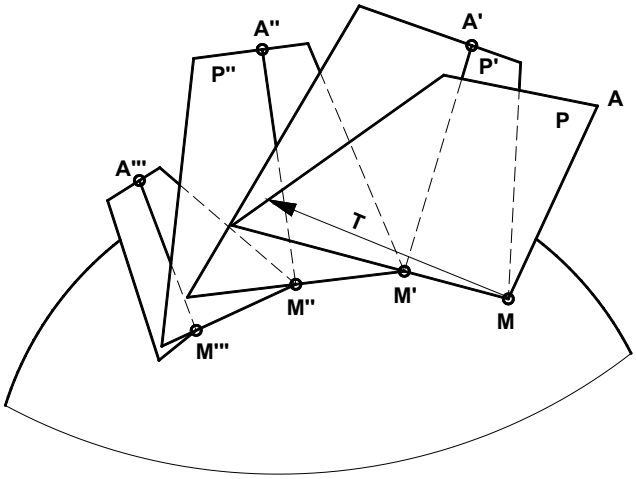


Fig. 7.44 Diagrama para obtención de línea geodésica.

Si sobre un punto M de la superficie definimos una dirección T contenida en el plano tangente a la superficie en M, la geodésica que pasará por M con la dirección T la podemos obtener del siguiente modo:

Si la normal en M es MA, el plano osculador de la curva vendrá definido por dicha normal y la recta MT. Este plano determinará en su intersección con la superficie una línea, sobre la que marcamos el punto M' a una distancia h del punto M. La normal por M' será M'A' que con el punto primitivo M determina el plano P' cuya intersección con la superficie será una línea diferente a MM'. A una distancia h de M' y sobre la intersección de P' con la superficie marcamos M''. La normal por M'' será M''A'' que con el punto M' forma el plano P'' que determina una nueva línea en su intersección con la superficie, etc.

Así determinamos los puntos M, M', M'', M''',...que definen una línea próxima a la geodésica. (Sería la geodésica si h fuera infinitesimal). Si se tratara de una esfera, al ser curvas de círculo máximo son curvas planas cuyo plano contiene al centro de la esfera y, por tanto, a la normal a la superficie en cualquiera de sus puntos. En el desarrollo esa curva será una recta.

El método que sigue, de Mitamura, da resultados bastante aproximados:

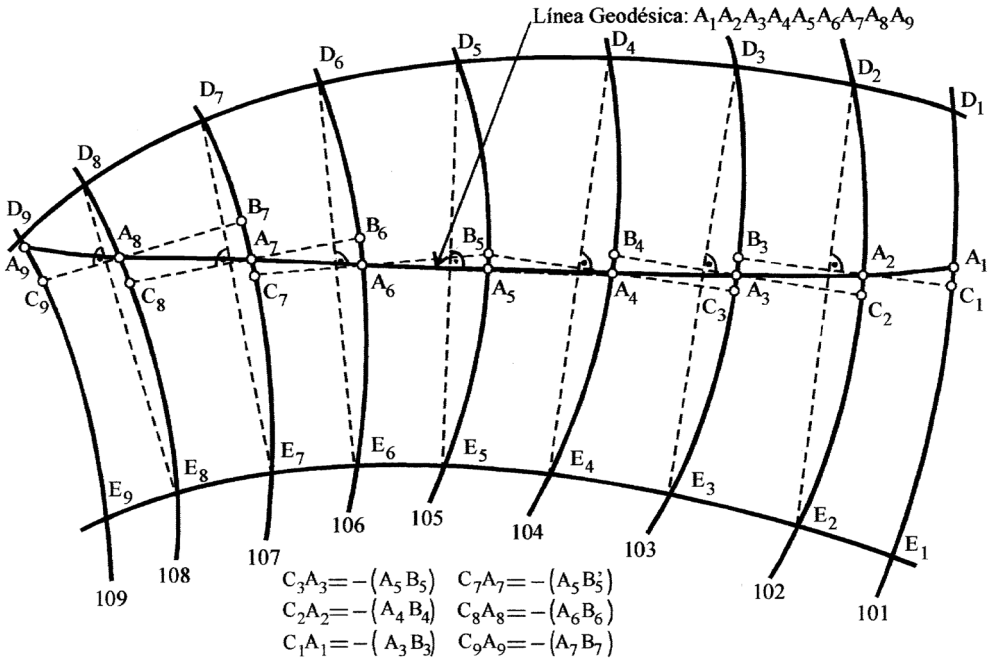


Fig. 7.45 Proyección de una plancha curva sobre el transversal de formas, para ser desarrollada por el método de la línea geodésica.

Método para el desarrollo.

— Se trazan las cuerdas de las cuadernas en el transversal de formas uniendo las intersecciones con los cantos alto y bajo de la chapa.

— Se toma un punto de origen A5 (centro de la cuaderna central de la plancha).

— Se traza una recta pasando por A5 que sea perpendicular a la cuerda de la cuaderna 105. Esta recta corta a las cuadernas adyacentes en A4 y A6. Por A4 trazamos una perpendicular a la cuerda de la cuaderna 104 que cortará a las cuadernas 103 y 105 en C3 y B5 respectivamente.

— Sobre la cuaderna 103, en el lado contrario a A5 con respecto a la recta B5A4C3, se marca el punto A3 de forma que B5A5=C3A3.

— Por A3 se traza una perpendicular a la cuerda de la cuaderna 103 que corta a las cuadernas adyacentes en B4 y C2. Repitiendo el proceso anterior se obtiene A2, tal que C2A2=B4A4.

— Del mismo modo se obtienen todos los puntos desde A1 hasta A9 que, al ser unidos, definen la línea geodésica aproximada (Que en el desarrollo constituirá la recta XY, perpendicular a la cuerda de la cuaderna 105).

— Se expande en verdadera magnitud la línea geodésica así obtenida, por los métodos ya explicados, marcando sobre el junquillo los puntos de intersección con las cuadernas.

— Se traza la línea recta XY y en su centro se toma un segmento A5A'5 igual a la flecha del desarrollo de la cuaderna 105. Con la plantilla del desarrollo de esta cuaderna 105 se traza ésta, perpendicular a la base recta, con el punto A5 coincidiendo con la marca hecha. Se tendrán preparadas las plantillas de las demás cuadernas desarrolladas, en las que habrán marcado los puntos de intersección con la línea geodésica.

— Al colocar la plantilla de la cuaderna 105 se definen los puntos D5 y E5, extremos de esta cuaderna central.

— Partiendo de A5, y sobre XY, se marcan los puntos A1 hasta A9 utilizando el junquillo de expansión en verdadera magnitud de la geodésica.

  Los puntos D4, E4 y D6, E6 se marcan con la ayuda de los junquillos de desarrollo de los cantos alto y bajo de la chapa en su intersección con los desarrollos de las respectivas cuadernas.

— Análogamente se hace con los restantes puntos Di, Ei de las cuadernas, definiéndose así los cantos superior e inferior de la chapa. Se trazan las cuadernas uniendo los tres puntos: Di, Ai y Ei.

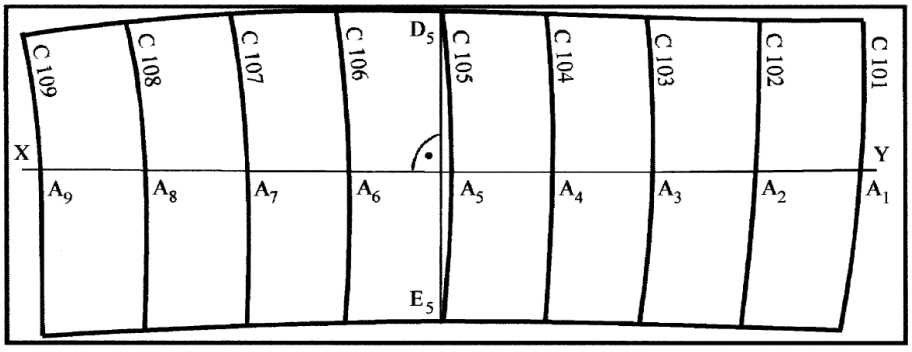


Fig. 7.46 Desarrollo de chapa por el método de la línea base geodésica.

Observaciones:

a) Cuando la separación de cuadernas no sea homogénea, por ejemplo: entre cuadernas 100 a 103: 700 mm y, entre cuadernas 103 a 110: 800 mm, el punto A2 debe situarse a una distancia proporcional al espacio de cuadernas:

(A4 B4 / C2 A2) = 800/700

b) Cuando la geodésica perpendicular a la cuaderna central no abarque toda la plancha, puede trazarse con un ángulo (para que abarque toda la chapa), cuidando de marcar en cada intersección con las cuadernas el ángulo correspondiente.

Este método, al igual que los descritos anteriormente de base recta y de base ortogonal, permite efectuar directamente el desarrollo sobre la plancha sin necesidad de obtener plantillas del desarrollo de las cuadernas. Basta con tener los listones de los desarrollos de los cantos vistos superior e inferior y el de la base geodésica. Las plantillas de cuadernas pueden sustituirse por barrotes con las marcas de las verdaderas magnitudes de cuaderna a partir de su intersección con la base, aunque es conveniente verificar las flechas de cuaderna en el desarrollo, por lo que no vale la pena prescindir de estos desarrollos de cuaderna que nos proporcionarán también otro medio de comprobación con las marcas de los ángulos de cuaderna con los cantos superior e inferior de las planchas.

7.15 Doble fondo. Desarrollo de la chapa de margen

En la **Fig. 7.47**, la línea AB representa la intersección de la chapa de margen con el forro. Los cortes de los planos de las cuadernas con la plancha de margen vienen indicados por las líneas *ag, bh, ci,...* Si desarrollamos el margen por el procedimiento de diagonales, empezaremos por trazarlas de *g* a *b,* de *h* a *c*, etc., y de inferior a superior de *a* a *h*, de *b* a *i*, etc. Estas diagonales no estarán en verdadera magnitud, por lo que pasamos a obtenerlas en su verdadera magnitud por el procedimiento conocido de triangulación con la verdadera magnitud de la clara entre cuadernas.

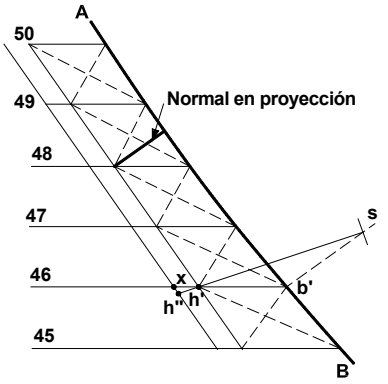


Fig. 7.47 Plancha de margen. Trazado auxiliar para su desarrollo.

Para efectuar el desarrollo daremos sobre una línea recta la longitud de la parte plana de la plancha de margen que es la distancia ag de la cuaderna 45. Con las verdaderas magnitudes del desarrollo del canto superior y del inferior así como con las de las diagonales, se describen arcos de circunferencia para formar los triángulos sucesivos. Terminado el desarrollo de la parte plana hay que añadirle la parte curva "*m*" y la parte "*n*" situada en el plan de doble fondo, según se ve en la **Fig. 7.48**:

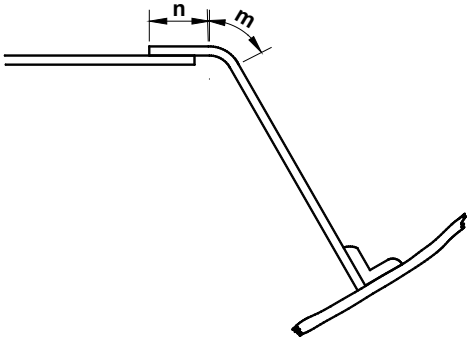


Fig. 7.48 Sección de la chapa de margen por una cuaderna con trozo curvado y solape (si fuera remachada al D.F.).

La distancia "*m*" hay que obtenerla por el desarrollo de la fibra neutra para compensar la variación de dimensiones al plegar la plancha. Este plegado se efectuará por la línea de *codillo*. Si deshacemos el giro de la parte plana tomando como eje el codillo y partiendo de la proyección horizontal del conjunto el punto *b'*, inferior de la traza de la cuaderna 46, se desplazará por la perpendicular a la línea *AB*, hasta su corte con el arco descrito con centro en *h'* y radio igual a la verdadera magnitud de la traza *b*-*h*, o sea hasta *S*. Uniendo *S* con *h'* y prolongándola hasta *h''* en que corta al canto del solape, tendremos el valor de O, en el segmento *xh'*, con los que puede completarse el desarrollo que sigue:

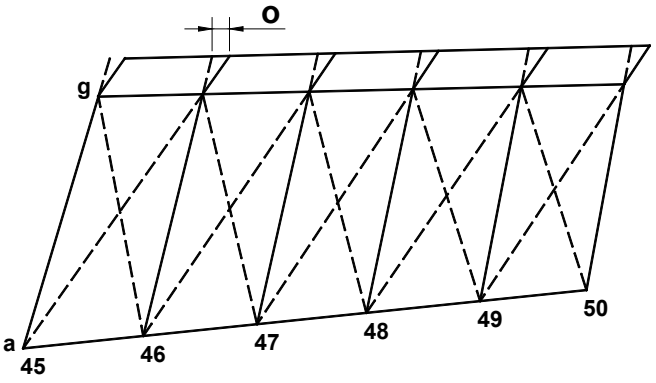


Fig. 7.49 Desarrollo de la chapa de margen. A modo de ejercicio, se incluye una tira para solape con el D.F.

El valor del ángulo con que hay que doblar el codillo en cada cuaderna

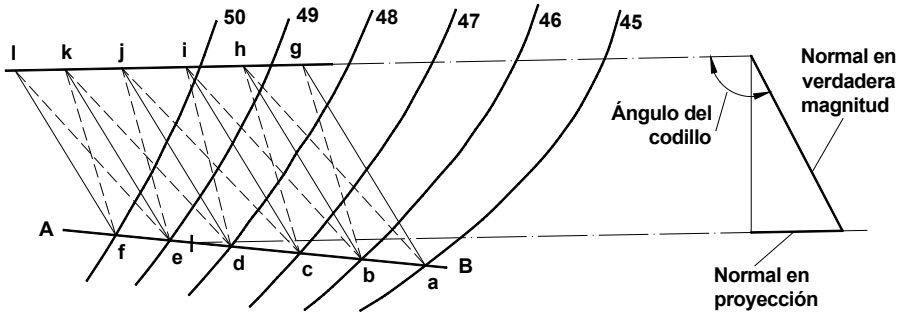


Fig. 7.50 Proyección de la plancha de margen sobre el transversal de formas y trazados auxiliares para su desarrollo.

queda determinado por la triangulación de la normal en verdadera magnitud como hipotenusa y en su proyección horizontal como cateto, debiendo quedar el segundo cateto como comprobación, con la dimensión de la diferencia de alturas de los extremos de la normal en los cantos superior e inferior.

Como no siempre es plana la parte lateral de la plancha de margen puede utilizarse igualmente el método de base recta o cualquier otro.

En la **Fig. 7.51** se da un ejemplo de desarrollo por línea de base ortogonal.

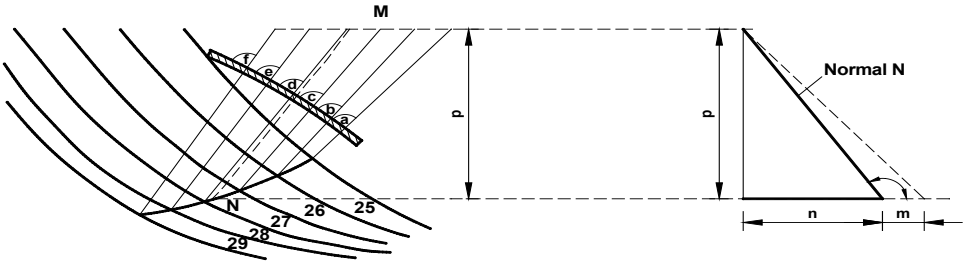


Fig. 7.51 Ejemplo de desarrollo de la chapa de margen por el método de la línea base ortogonal.

El procedimiento de trazado de ésta es elemental y conocido. Se procede entonces al desarrollo en verdadera magnitud de la base, de la línea de intersección con el forro y de la arista o codillo, y con estos elementos sobre junquillos y las alturas en verdadera magnitud, en que la base corta a las trazas de cuadernas, el desarrollo de esta parte es obvio. Con esta parte desarrollada se trazan arcos con radio *m* de la anchura de la parte horizontal, haciendo centro en los vértices *a*, *b*, *c*, etc., y la tangente dará el canto de la plancha. El ángulo del diedro en el codillo se determina del mismo modo que se explicó anteriormente.

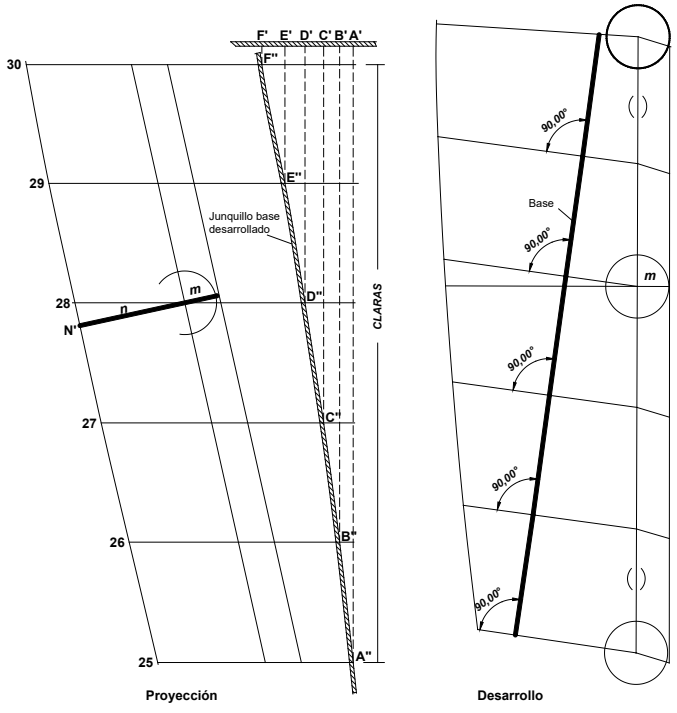


Fig. 7.52 Plancha de margen en proyección horizontal y desarrollada de la por el método de la línea base ortogonal.

7.16 Desarrollo de palmejares

El desarrollo de palmejares en partes no cilíndricas del casco se puede realizar de la siguiente forma:

Se toman dos rectas base sobre el transversal de formas en el que aparecerá la intersección del palmejar con la superficie de trazado. Una base horizontal y otra vertical.

Sobre paralelas separadas claras de cuaderna se efectúa el desarrollo del palmejar ficticio sobre la línea base horizontal. Con esto tenemos el perfil del palmejar proyectado en el diametral(*a*).

A continuación se efectúa un segundo desarrollo (*b*) respecto a la base vertical, tomando como distancia entre paralelas las verdaderas magnitudes del palmejar ficticio (*a*). La línea que se obtiene es el desarrollo de la intersección del palmejar con el forro, faltando llevar en cada cuaderna la anchura del palmejar a partir de la línea desarrollada.

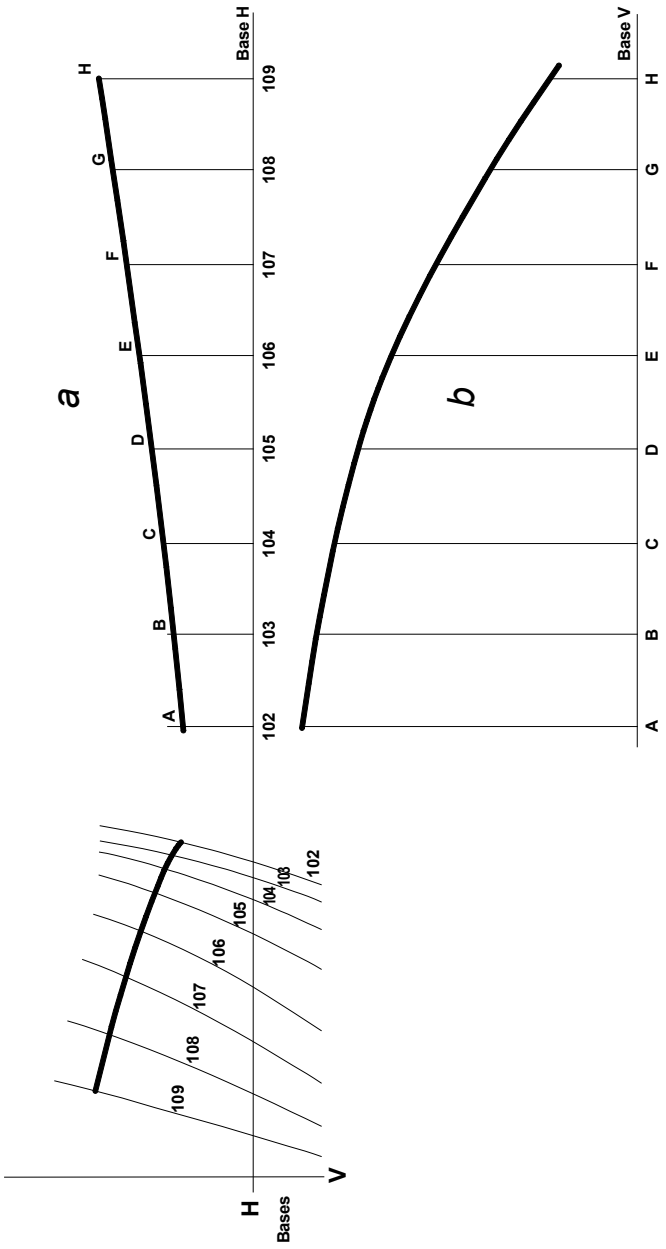


Fig. 7.53 Trazados para el desarrollo de un palmejar.

Tanto en palmejares como en vagras que tengan reviro puede utilizarse para su desarrollo el método de las diagonales.

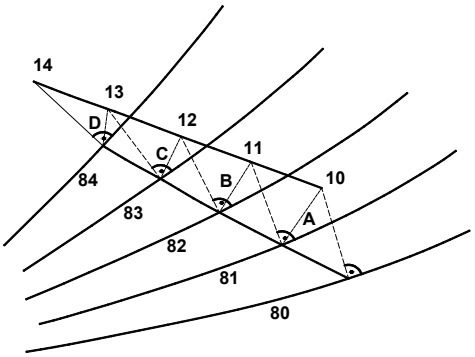


Fig. 7.54 Proyección sobre el transversal de formas de un palmejar con reviro. Trazado de diagonales.

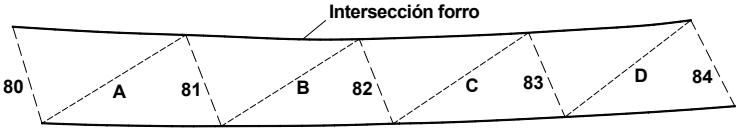


Fig. 7.55 Palmejar desarrollado por el método de las diagonales.

En la **Fig. 7.54** tenemos en el transversal el contorno de la vagra que corta a las cuadernas. Unimos con una recta los puntos extremos *10* y *14*, que definen la posición de la vagra en los extremos y se divide en partes iguales obteniendo los puntos *11*, *12*, *13* y *14*. Estos puntos serán la intersección del *canto interior* de la vagra con los planos de las cuadernas. Trazando las líneas de cuaderna sobre la vagra y las diagonales, el resto del desarrollo es obvio, si se completa la triangulación.

7.17 Trazados auxiliares: Escantillón de cuadernas

Se denomina así, en cada punto de la superficie del casco, al ángulo formado por un plano tangente a la superficie de trazado del casco, con el plano transversal. Excepto en la zona cilíndrica, este ángulo va variando a lo largo del puntal, en cada cuaderna.

Como ya se ha explicado, en el caso de construcción remachada, las cuadernas formadas de angular tenían una de sus alas en el plano transversal, y la otra tenía que acoplarse al forro, por lo que había que darle una abertura o escantillón que había que determinar para facilitarle la plantilla al forjador. Como esta abertura no es constante en toda la cuaderna había que dar una serie de escantillones de trecho en trecho.

Generalmente esta plantilla se daba por el valor del ángulo suplementario para que al colocar la cuaderna en el plano de la placa de volteo en que se le da forma, se pudiera colocar el escantillón por el lado exterior y proceder a abrir la cuaderna hasta que

estuviera acoplada al escantillón. Como hemos dicho también que la cuaderna deber estar situada de forma que quede abierta, el escantillón será siempre un ángulo agudo. Para medir el diedro, hay que situar el escantillón en un plano normal a la arista.

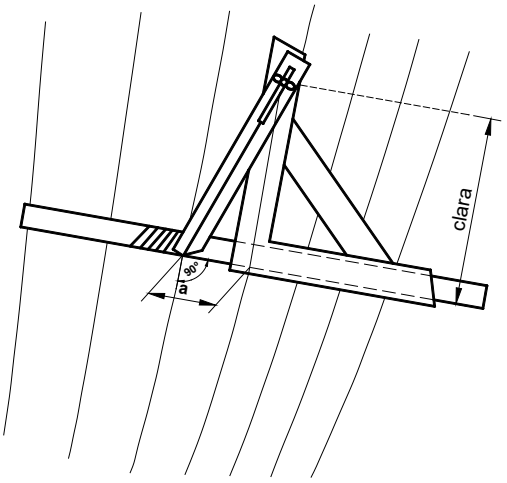


Fig. 7.56 Escantillón o escuadra para determinar los ángulos de la superficie de trazado (forro) con los planos transversales.

En la **Fig. 7.56**:

Representando un transversal de formas, situamos una escuadra en la cuaderna inmediata hacia la medianía, es decir, que si queremos medir el escantillón de la cuaderna, colocamos la escuadra en la 7, procurando que sea normal a la cuaderna 6, cuyo ángulo queremos tomar. El cateto vertical de la escuadra se regula para que la distancia de su punto de giro diste del cateto horizontal una longitud igual a la clara entre cuadernas. Una vez colocada con el cateto inferior normal a la cuaderna en cuestión, y el vertical cortando al otro en su intersección con la cuaderna siguiente hacia la medianía, se gira la hipotenusa hasta que pase por el punto *'O'* de intersección del cateto normal con la cuaderna en cuestión. Por dentro de este cateto puede deslizarse una tablilla sobre la que se apoya la hipotenusa y no hay más que trazar la línea que señala a esta última, para tener marcado el escantillón sobre la tablilla. Deslizando la tablilla van quedando una serie de marcas con los escantillones. La deducción del método es también elemental.

De forma similar pueden obtenerse los escantillones de angulares de doble fondo, trancanil, vagras, palmejares, etc., teniendo en cuenta siempre que los diedros hay que medirlos en planos normales a la arista.

Todos los desarrollos que se puedan presentar en la intersección de cubiertas que tengan brusca y arrufo con casetas, superestructuras, y especialmente con chimeneas y otras

construcciones de formas aerodinámicas, pueden llevarse a cabo con facilidad con la aplicación de los métodos estudiados en geometría descriptiva y los métodos aproximados de desarrollo aquí expuestos, pero siempre será más sencillo procurar que las formas se ajusten a figuras estrictamente desarrollables, no sólo por la sencillez del trazado, sino también por la facilidad de poder utilizar prensas y cilindros en la forja de las planchas en vez de tener que recurrir a costosos procedimientos de forja en caliente.

7.18 Trazado a escala 1:10

Con este método, las plantillas con el contorno de corte de las chapas desarrolladas sobre un plano, venían a ser en la práctica dibujos sobre papel especial, a determinada escala, generalmente de 1:10. Estos dibujos se realizaban con gran precisión. Para obtenerlos se utilizaban el transversal de formas, después de alisadas y rectificadas, a escala 1:10, según se vio en el capítulo anterior, y los planos de trabajo y documentos tecnológicos, del mismo modo que se hacía con el trazado a escala natural de gálibos.

Los dibujos de trazado a escala tienen que contener todos los detalles que permitan cortar la plancha igual que los que tenían las plantillas.

Estos dibujos podían después utilizarse bien directamente para controlar a distancia las máquinas automáticas de oxicorte dirigidas fotoeléctricamente, o bien para obtener fotografías a otra escala sobre placas que constituían las plantillas que se proyectaban cuando se aplicaba el trazado óptico.

Los dibujos para producir elementos de formas simples se preparaban sobre hojas transparentes. Cuando se trataba de formas de curvaturas más complejas, se efectuaba el trazado sobre el papel rígido utilizando cualquiera de los métodos expuestos. Una vez terminados estos dibujos se utilizaban para situar y encajar las figuras anidándolas sobre dibujos a escala de los tipos de planchas normalizadas de que se dispone (trabajo denominado *anidado* o *nesting*).

El trazado se realiza con tinta especial sobre papel de gran calidad, que debe aclimatarse en la oficina de trazado antes de su utilización. El espesor de las líneas es de 0,08 a 0,012 mm.

Utilizando la escala 1: 10, el error máximo admisible deberá ser de 0,1 mm. El primer paso es el dibujo de los contornos de los elementos que se van a sacar de la plancha.

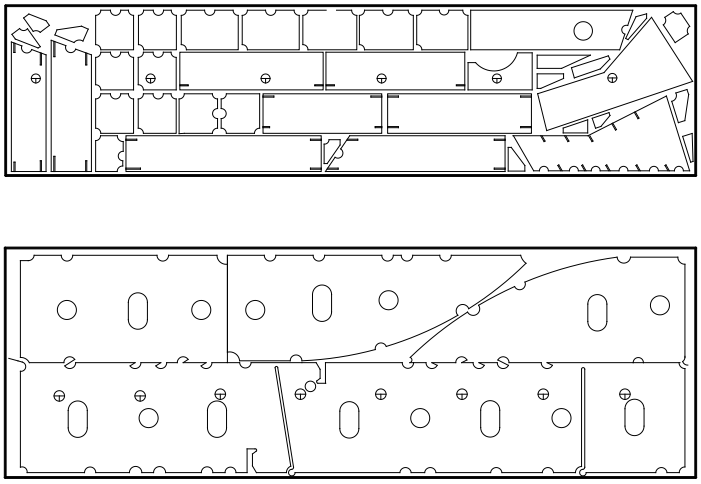


Fig. 7.57 Anidado o nesting de las piezas de chapa.

A lo largo de la plancha se sitúan marcas que a escala estarán separadas exactamente 1m de distancia. Estas marcas se encerraban en pequeños círculos de referencia que servían para comprobación cuando se efectuaba la proyección en el caso del trazado óptico. Se situaban primeramente los elementos de mayores dimensiones para rellenar después con los de menor tamaño.

Se completan los dibujos con líneas auxiliares y marcas de control, acotando las dimensiones necesarias, como las líneas y puntos en los que habrá que montar y soldar después los elementos de refuerzo. Todos los elementos habrán de marcarse para su identificación, incluyendo el orden, la sección o bloque, números de componente y de plano, indicación de costado a que pertenece, número de plancha y lote, etc.

De esta forma se consigue un mejor aprovechamiento del material al facilitar el acoplamiento de las distintas piezas sobre dibujos con la figura y dimensiones de las planchas a utilizar, como fruto de la operación citada de *anidado* o *nesting* de las piezas, reduciéndose notablemente el porcentaje de recorte.

Cuando se preparan dibujos con los que trabajará directamente la máquina de oxicorte se procurará reducir al mínimo las deformaciones del oxicorte, asegurando así la mayor precisión del elemento. Para ello hay que tener en cuenta que las deformaciones térmicas se reducirán si los cortes largos, rectos o curvos de piezas adyacentes se les hace coincidir, o si las piezas alargadas provistas de escotaduras, tales como los refuerzos, baos, etc., se sitúan con las escotaduras hacia el canto exterior de la plancha que esté más próximo. Se dejan también pequeñas porciones de plancha sin cortar a lo largo de los cortes largos, sirviendo así de puentes que reducen las deformaciones.

Con estos dibujos deben darse instrucciones precisas indicando los puntos en que debe empezarse el corte, las direcciones y secuencias de los mismos y los puntos en que hay que dejar los puentes. Todo el proceso de corte debe programarse de forma que se reduzcan las deformaciones y los movimientos inútiles de los cabezales de oxicorte.

Tanto los dibujos empleados para el trazado óptico como los de la plantilla de control de máquinas de oxicorte se han de comprobar. En las primeras, la comprobación se efectuaba por medio de las marcas calibradas, cuyas distancias se verificaban directamente sobre los dibujos de cada lote y se les hace controlar con la máquina de oxicorte en la que previamente se han sustituido los sopletes por punteros trazadores que solamente dibujan la pieza a la escala de corte. Sobre esta figura se verificarán las dimensiones.

Ha de tenerse en cuenta también la pérdida de material ocasionada por la sangría o surco del corte. Esta es una información que debe suministrar el fabricante de la máquina, y corroborarse con la experiencia. Puede ser de 2 a 4 mm de ancho, dependiendo del espesor de la plancha, e incluso más.

7.19 Métodos de marcado

El marcado puede considerarse como la continuación lógica del trazado.

El marcado es la operación por la que se señalan sobre las planchas y perfiles para refuerzos las marcas que han de servir para desarrollar sobre ellos los procesos de construcción, incluyendo no sólo las líneas por las que se han de cortar, taladrar, etc., sino también las referencias necesarias para el montaje y demás datos tecnológicos que se expresan mediante signos convencionales.

Primitivamente esta operación se efectuaba usando las plantillas o listones procedentes de gálibos, dibujando y graneteando sobre la plancha o el perfil las marcas necesarias y se realizaba en una zona del taller de Herreros de Ribera destinada a este fin.

Posteriormente se desarrolló el marcado óptico, aproximadamente por los años 50 del pasado siglo. Hoy en día se eliminó este trabajo con la utilización de las máquinas automáticas de corte.

El marcado óptico se efectuaba por la proyección de la imagen del negativo obtenido en el gabinete fotográfico, sobre el material a marcar. Para proyectar esta imagen era necesario disponer el proyector a cierta altura y el local donde se disponía el material tenía que estar oscurecido para facilitar la visión. Era también conveniente disponer la zona de marcado en un local separado junto a la entrada del taller de Herreros de Ribera.

Actualmente, los sistemas modernos de corte, dirigidos informáticamente, llevan incorporado un sistema de marcado en boquilla aparte, como proceso adicional automático en la máquina de corte con control numérico, que, mediante polvo de aluminio o de zinc, trazan otras marcas y líneas de referencia requeridas para el resto de los procesos del acero como pueden ser: Líneas de calor, situación de refuerzos, líneas de curvado, posición de cortes a realizar posteriormente, posición de plantillas de conformado, líneas para control dimensional, e incluso hay sistemas informáticos que permiten marcar la identificación alfanumérica de la pieza, tal como el número de buque y de bloque a que pertenece, orientación de las caras, si es una pieza de material clasificado, trazabilidad, etc.

7.20 La plantilla numérica

Se designa así porque para su preparación se utilizan los valores numéricos de las ordenadas que definen las posiciones de los puntos del contorno de la pieza que se ha de cortar.

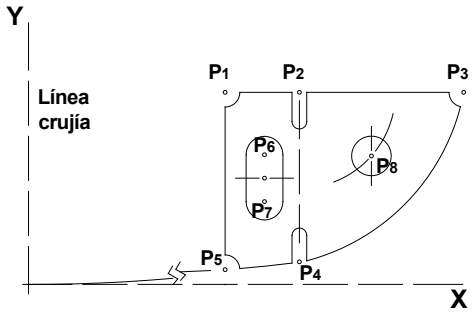
En realidad, cuando se empezaron a utilizar las máquinas de oxicorte recto y para cortar planchas rectangulares bastó con dar numéricamente sus dos dimensiones, ya se estaba utilizando una plantilla numérica. Actualmente son mucho más complejas y con ellas se puede cortar con todos sus detalles cualquier plancha por complicado que sea su contorno.

La plantilla en sí estaba constituida primero por cinta perforada, después por una cinta magnética y, últimamente, por CDs o se envía a las máquinas por cable o wi-fi, registrándose todos los datos y ordenes necesarios, para que al colocarla en una máquina automática de oxicorte, esta desarrolle todo el trabajo de perfilado del contorno de la plancha, incluyendo escotaduras y aligeramientos interiores, e incluso el marcado como se vio antes.

Los datos dimensionales están referidos a dos ejes coordenados constituidos por la línea central del buque y la línea base. Así cualquier punto queda definido con precisión por los datos de la cartilla de trazado. Las fuentes de información son pues: la cartilla de trazado cuya escala no tiene importancia, puesto que se utilizan los valores numéricos, los planos de hierros y los de construcción. Con estos datos se preparan dos hojas de información:

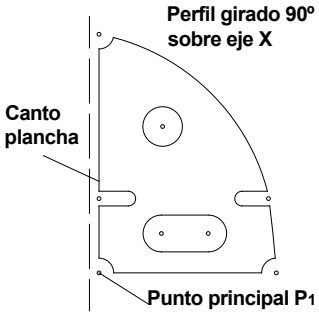
(1) La hoja de datos del perfil que describe la geometría de la pieza.

(2) La hoja de la secuencia de corte que describe el orden de las operaciones que ha de realizar la máquina.



	DEFINICIONES			COORDENADAS		RADIOS O DISTANCIAS	
	1	2	3	X mm	Y mm	mm	D
P1							
P2							
P3							
P4							
P5							
P6							
P7							
P8							

Fig. 7.58 Geometría de la pieza y hoja de datos del perfil.



Situación punto principal						
Coordenada punto principal						
Situación eje						
Sangría						
Velocidad corte						
Punto	Curva	Subrutina				
P1						
P2						
P3						
P4						
P5						
P6						
P7						
P8						

Fig. 7.59 Secuencia de corte y su correspondiente hoja de datos.

Para preparar estas hojas se utiliza una clave consistente normalmente en una serie de letras codificadas (cada una de las cuales tiene un significado) y los valores numéricos necesarios. Las letras codificadas establecen las distintas operaciones que ha de efectuar la máquina y el orden en que han de realizarse. Dicha información, convertida en lenguaje máquina, es la que se le pasa a las máquinas de corte vía c cable, CD o wi-fi como se indicó.

En la determinación del perfil del contorno de la chapa hay que definir la posición de todos los puntos en los que se efectúa un cambio de dirección. Determinados detalles con formas peculiares, tales como escotaduras, groeras, aligeramientos, etc., se definen por un punto, unas dimensiones y una clave. Estos elementos reciben el nombre de subrutinas de las que se tienen codificadas unas cuantas. Entre las subrutinas las hay abiertas, como las escotaduras y las groeras, y cerradas como los aligeramientos.

También se incluirá la información relativa a los ángulos adecuados a que deben situarse las boquillas de corte con objeto de que resulten los ángulos correctos de chaflán para

la preparación de los bordes para la soldadura de la chapas, teniendo además en cuenta las modificaciones que va a sufrir el ángulo del bisel de una chapa con respecto a la adyacente en caso de que después del corte de las chapa planas, aún tengan que sufrir éstas un proceso de curvado. El programa debe tener en cuenta también que después del corte deben quedar las separaciones de bordes que requieren las correspondientes preparaciones de soldadura, compensadas con las sangrías o perdidas de material que van a sufrir las chapas en el proceso del corte, y las contracciones de soldadura para que el conjunto formado al final (subprefabricado o bloque) queden con las dimensiones correctas con las tolerancias admisibles después de todo el proceso de fabricación.

Capítulo 8

Movimiento y elevación de pesos. Medios necesarios y maniobras

8.1 Importancia de la organización del transporte

Una de las partidas más importantes del coste de la construcción está constituida por el del transporte de materiales y elementos en fabricación, que comprende desde su recepción y almacenamiento inicial y los movimientos entre fases de producción, dejándolos en los almacenamientos intermedios hasta su montaje final a bordo. La técnica moderna de análisis de costes ha permitido descubrir la importancia de este concepto en cifras, que en muchos casos han sido verdaderamente sorprendentes y, puesto que esta manipulación no agrega ningún valor al producto y, sin embargo, es inevitable realizarla, será necesario imponer sistemas de movimiento perfectamente organizados que reduzcan su coste al mínimo posible.

Para estudiar la organización del movimiento en el proceso de construcción del buque, tendremos que considerar las cuatro grandes fases del mismo, todas ellas de gran importancia y cada una de las cuales tiene sus características particulares que la diferencian de las demás. Como el proceso de construcción ha de ser continuo, hay que considerar en cada fase los movimientos de conexión con las que le preceden y con las que le siguen.

Las cuatro fases a que se hace referencia son las siguientes:

a) Recepción y almacenamiento de materiales.
b) Talleres, prefabricado de bloques y secciones.
c) Grada.
d) Armamento.

En la primera fase, la parte más característica del constructor naval, por el extraordinario volumen que alcanza, es la recepción y almacenamiento del acero con que se

construirá el casco. La manipulación de estos materiales ha de comprender todos los elementos necesarios para recibir en el astillero miles de toneladas de planchas y perfiles, descargarlos, almacenarlos ordenadamente en los parques, selección y transporte del material desde su lugar de almacenamiento a la zona de preparación y la selección y distribución final antes de entregarlos al Taller de Herreros de Ribera.

Esta sola partida, en astilleros que no disponían de medios adecuados, ha llegado a constituir una carga realmente inverosímil, sobrepasando las 10 horas/tn. Esto se ha debido principalmente en muchos casos a dificultades en la recepción de los materiales, que llegan en pequeñas partidas y que han de descargarse en muelles alejados de la factoría, a la falta de equipo adecuado y, sobre todo, a la falta de organización y análisis.

La importancia del coste relativo de estas operaciones puede deducirse fácilmente, ya que la construcción total del casco puede lograrse con una cifra media del orden de las 30 horas/tonelada de acero para un buque de tamaño medio, frente a las cuales sería posible encontrarse con cargas de 10 horas/toneladas debidas sólo a las operaciones de manipulación del material, si éstas no están bien organizadas. Sin embargo, se ha llegado a demostrar que con una buena organización y planificación y con un apropiado equipo, la manipulación total

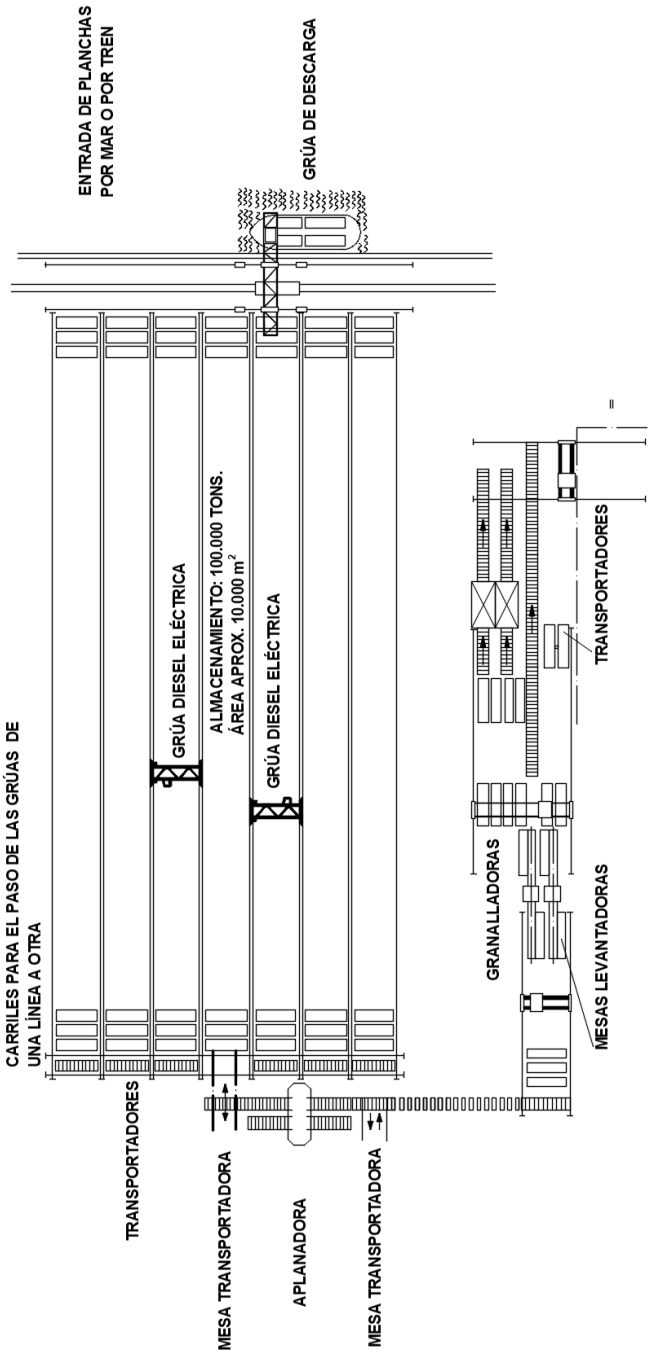


Fig. 8.1 Disposición de un parque de aceros de un astillero.

de las planchas hasta su entrega en el taller se puede lograr con cifras de 12 a 15 horas por cada 100 tn.

8.2 Equipo y disposición racional de un parque de planchas

La práctica actual de almacenamiento de planchas en instalaciones modernas es en posición horizontal, permitiendo su manipulación con somieres magnéticos y desterrando la costosa y peligrosa costumbre de hacerlo verticalmente.

La superficie que se requiere para el apilado horizontal de planchas no es mayor que el necesario para el apilado vertical y como el método horizontal simplifica la manipulación, necesitando menor altura de izada, los equipos modernos de manipulación de planchas en el parque del astillero se fabrican exclusivamente para esa modalidad.

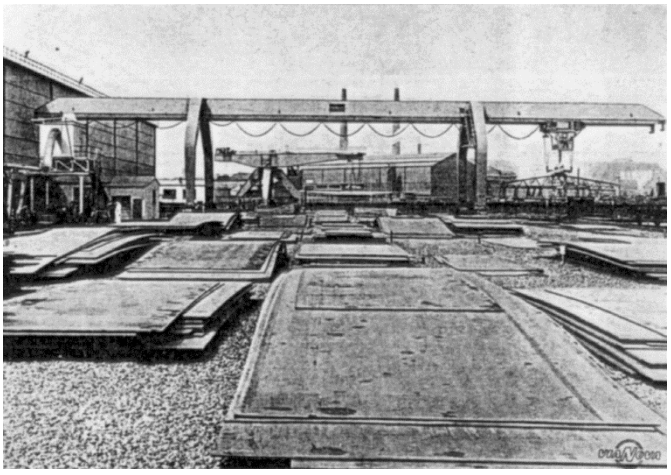


Fig. 8.2 Almacenamiento de planchas.

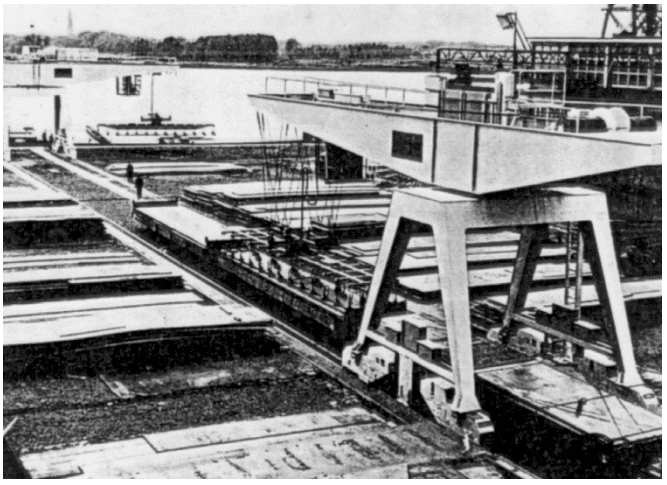


Fig. 8.3 Descarga de planchas.

Lo mismo se dirá de los equipos para manipular planchas en los talleres, en los que además la posición horizontal es la que normalmente han de conservar en los procesos de elaboración, salvo algunas excepciones para las que habrá que disponer de equipos especiales para levantar y tumbar de nuevo las planchas.

El elemento principal utilizado para suspender las planchas está constituido por un equipo de electroimanes o de ventosas de vacío, con predominio casi absoluto de los primeros, con el que se facilita el posicionado y transporte de planchas de cualquier tamaño, forma y espesor en condiciones desfavorables de oxidación, lluvia, etc.

La superficie que es necesario dedicar al parque, para almacenar ordenadamente el material sin dificultades para su elección y empleo posterior, depende del porcentaje de la producción anual de acero que hay que mantener en el mismo, como se vio en el capítulo II.

Así, un astillero en que hay de tener almacenado de un 25 a un 40% de su elaboración anual de aceros necesitará, para apilar ordenadamente las planchas, alrededor de los 180 m² de superficie por cada 1.000 toneladas de producción anual máxima, mientras que en otro en que solamente se haya de almacenar un 10% de la producción anual, esta superficie puede quedar reducida a unos 45 m² por cada 1.000 toneladas de producción anual máxima.

En cuanto al orden en que se ha de apilar el material pueden seguirse dos criterios: el mismo orden de elaboración del material de acuerdo con la planificación prevista o por espesores y dimensiones normalizados.

En el primer caso se apilan los grupos o lotes de planchas que han de formar los conjuntos o bloques, y éstos a su vez se ordenan por programas semanales de trabajo, mes u otro plazo, según se haya planificado. Para poder desarrollar racionalmente este sistema, se requiere que las recepciones de material se ajusten rigurosamente a la planificación, y que los pedidos lleguen a especificar incluso el orden de embarque. En el segundo caso se apilan las planchas de iguales dimensiones y espesor y entonces conviene dedicar dos pilas a cada tipo para evitar el envejecimiento. Lo más común es que se utilicen ambos sistemas simultáneamente, según convenga al caso.

Las pilas pueden alcanzar hasta unos 75 cm de altura y se disponen sobre cuadrículas marcadas en el terreno, que conviene tengan unas dimensiones mínimas, aunque se pierda algo de espacio, para permitir el acceso del somier magnético sin obstrucción en las pilas adyacentes.

Normalmente sólo se puede dedicar al almacenamiento un 80% de la superficie de que se dispone, debiendo quedar libre el resto del espacio para entrada y clasificación del

material, siendo también necesario disponer de espacio delante de la primera fase de producción para el almacenamiento de espera de entrada en el taller.

La manipulación y clasificación de las planchas en el parque se realiza generalmente por medio de grúas con somier magnético, proyectadas de acuerdo con la configuración del espacio disponible a tal fin, y conviene que sean de tipo pórtico, rodando sobre carriles anclados en el piso en lugar de sobre estructuras de rodadura elevadas, que son más costosas.

8.3 Somieres magnéticos

El empleo de somieres magnéticos para la manipulación de las planchas de acero se ha impuesto después de haber superado los siguientes problemas:

a) Para poder trabajar con electroimanes, con toda seguridad, su fuerza atractiva ha de ser muy superior al peso máximo de la pieza más pesada que ha de levantar. Graduar esta fuerza según el peso es correr un riesgo muy grande de que se desprenda durante la manipulación. En estas condiciones, al acercar el electroimán a una pila de planchas carecerá de selectividad para tomar la plancha que se desea y levantará tantas planchas como las que sumen un peso igual a la fuerza atractiva.

b) Las propias deformaciones de las planchas harán que se produzcan amplias zonas de entrehierro, con lo que se perderá adherencia y fuerza atractiva del electroimán.

c) Un corte del sistema de energía eléctrica puede producir el desprendimiento de la pieza suspendida, especialmente peligroso en talleres, y podría provocar accidentes, los cuales se han resuelto del siguiente modo:

Generalmente se trabaja con fuerzas atractivas muy superiores al peso máximo que se ha de levantar. La selectividad se logra mediante un dispositivo que desconecta la corriente por un instante para que con el magnetismo remanente se atraiga solamente la plancha superior de la pila. Una vez separada esta plancha del resto, la corriente se conecta de nuevo y la plancha queda atraída por una fuerza muy superior a su peso, pudiéndose transportar con gran seguridad.

Para evitar la deformación de la plancha y la formación de las zonas de entrehierro se utilizan somieres de imanes múltiples constituidos por rígidas vigas de suspensión de las que van colgados a intervalos iguales pequeños electroimanes, cuya elevación se regula para que sus superficies activas estén rigurosamente en un plano (Observar en **Fig. 8.4** la suspensión triple de cada electroimán).

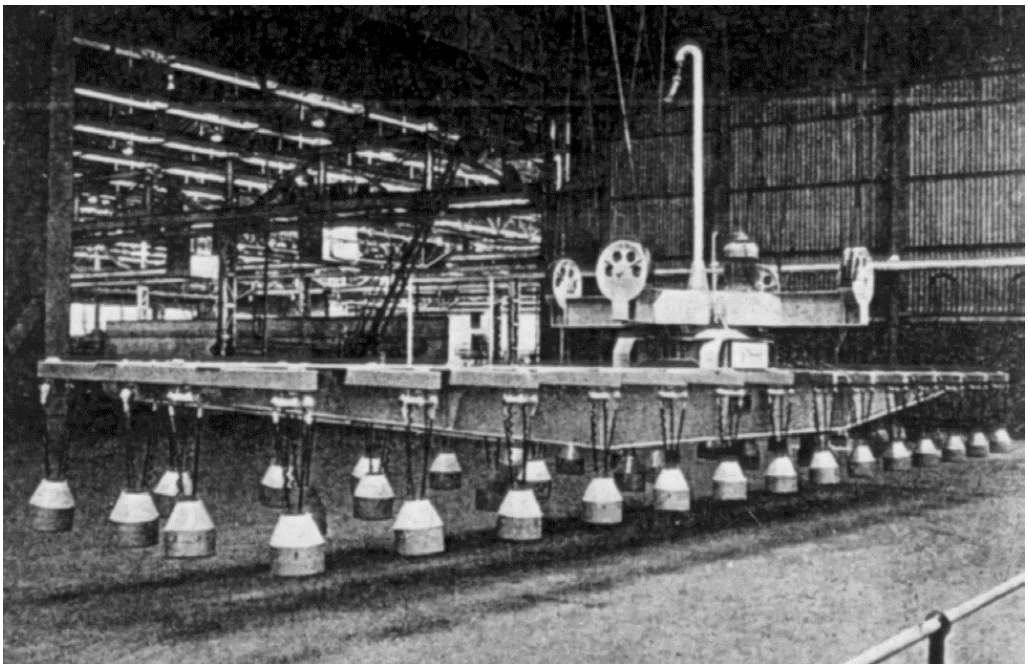


Fig. 8.4 Suspensión de los electroimanes.

La viga tiene que ir suspendida a su vez de una torre o de aparejos que aseguren su equilibrio y una distribución uniforme de la carga y los movimientos necesarios de traslación, giro e inclinación que sean necesarios para la manipulación que se ha de realizar. Con este sistema de imanes múltiples, se pueden manipular las planchas sin producir deformaciones prácticamente apreciables, por muy finas que éstas sean.

La eventualidad de que se corte la corriente cuando hay alguna plancha suspendida se afronta mediante un dispositivo de seguridad consistente en una batería con capacidad más que suficiente para asegurar la maniobra completa de la grúa durante el tiempo necesario para descargar la plancha suspendida, que entra automáticamente en servicio cuando falta la energía. Este dispositivo es totalmente indispensable en las grúas que trabajan en muelles y talleres. En el parque de materiales el trabajo con estos equipos ha reducido de tal forma el personal necesario que lo que se acostumbra hacer es cercar el recinto y prohibir totalmente la entrada. La totalidad del trabajo puede llevarla a cabo el operario de la grúa que está normalmente en la cabina, con mucho menor peligro y, si está en el piso, debe ser consciente del mismo y encontrarse siempre lo suficientemente separado de la plancha que se está manipulando.

La fuerza de los equipos de transporte señala el valor del peso máximo de la plancha que se puede manipular, debiendo mantenerse en vigor los certificados correspondien-

tes, de acuerdo con revisiones y pruebas periódicas obligatorias según la legislación en vigor.

8.4 Transportadores

Se entiende por transportadores los trenes de ruedas, discos o rodillos paralelos que accionados por un motor imprimen a la plancha que se deposita sobre ellos un movimiento de traslación, haciéndola recorrer, total o parcialmente, el trayecto que comprende dicho transportador. Estos pueden instalarse como transportadores generales en una línea de producción, en la entrada y salida de máquinas, para asegurar su trabajo continuo y como complemento de otros medios de transporte.

Bajo este último concepto pueden aplicarse con ventaja en el parque de materiales con el fin de simplificar el trabajo de la grúa, evitándole movimientos y largos desplazamientos.

La enorme ventaja del transportador estriba en que no sólo traslada la plancha de lugar, sino que, debidamente regulado, constituye ya de por sí un almacenamiento de espera que puede ser de gran utilidad.

Los elementos móviles, que imprimen a la plancha el movimiento, pueden estar constituidos por rodillos, discos o ruedas dispuestas sobre ejes paralelos igualmente espaciados, que, por medio de una transmisión, giran a la misma velocidad accionados por un motor. El apoyo de estos elementos móviles queda anclado sobre un bastidor que, teóricamente, puede tener la longitud que se desee, pero lo más práctico es que se subdivida en unidades o mesas, cuya longitud conviene que sea la mayor de la de las planchas normalizadas que se van a utilizar. Cada una de estas mesas puede poner en movimiento sus elementos transportadores con independencia de las demás y el conjunto de ellas puede formar cadenas o líneas por las que las planchas siguen su recorrido hasta el punto deseado.

De este modo, en cuanto la grúa deposita la plancha sobre una de las mesas de la línea, queda libre para seguir su trabajo, tal como el de seleccionar nuevas planchas, clasificar, llevar a la línea o descargar de las vagonetas el nuevo material que está llegando al parque.

Por medio de un dispositivo regulado automáticamente, al cabo de unos segundos, se pone en marcha el mecanismo de traslación de la mesa sobre la que se ha depositado la plancha, y los de las sucesivas, de forma que la plancha sigue su camino hasta que encuentra la primera mesa ocupada, momento en que se para y no vuelve a ponerse en movimiento hasta que se ha desocupado la mesa siguiente. De esta forma se logra, si la

cadena es suficientemente larga, un almacenamiento de espera de gran utilidad para la alimentación del taller, ya que por estar regulado el movimiento de forma automática, asegura una alimentación continua e inmediata sin ningún auxilio de personal.

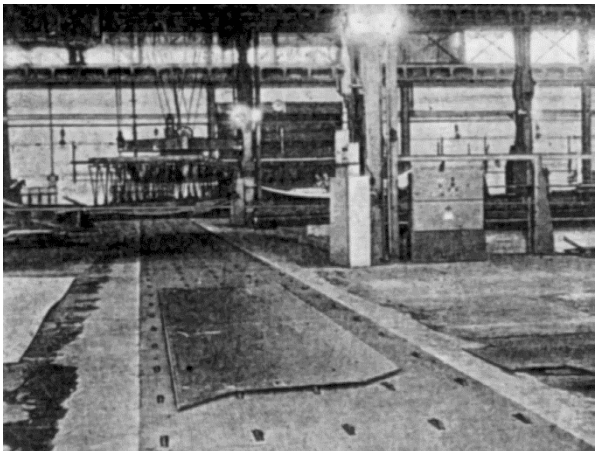


Fig. 8.5 Transportador horizontal con acción longitudinal.

8.5 Mesas transportadoras

Son bastidores metálicos, generalmente de la longitud de la mayor plancha normalizada, provistos del mismo sistema de traslación, es decir, de rodillos o discos análogos a los descritos en el punto anterior. Estos bastidores pueden ser fijos o móviles. En el primer caso constituyen las mesas fijas o unidades de los transportadores de que hemos hablado. En el segundo, el bastidor va montado sobre un carro con ruedas, que le pueden proporcionar un movimiento longitudinal, transversal o en otra dirección, e incluso de giro.

Las mesas de movimiento transversal pueden ser muy útiles para la distribución de materiales a distintas líneas. En ellas la mesa se traslada en dirección transversal al movimiento de los rodillos o discos de traslación de la plancha. Los motores que accionan uno y otro movimiento están regulados a distancia para realizar automáticamente su trabajo. Pueden disponerse con el plano de recepción de la plancha al nivel del alimentador de entrada que han de abastecer.

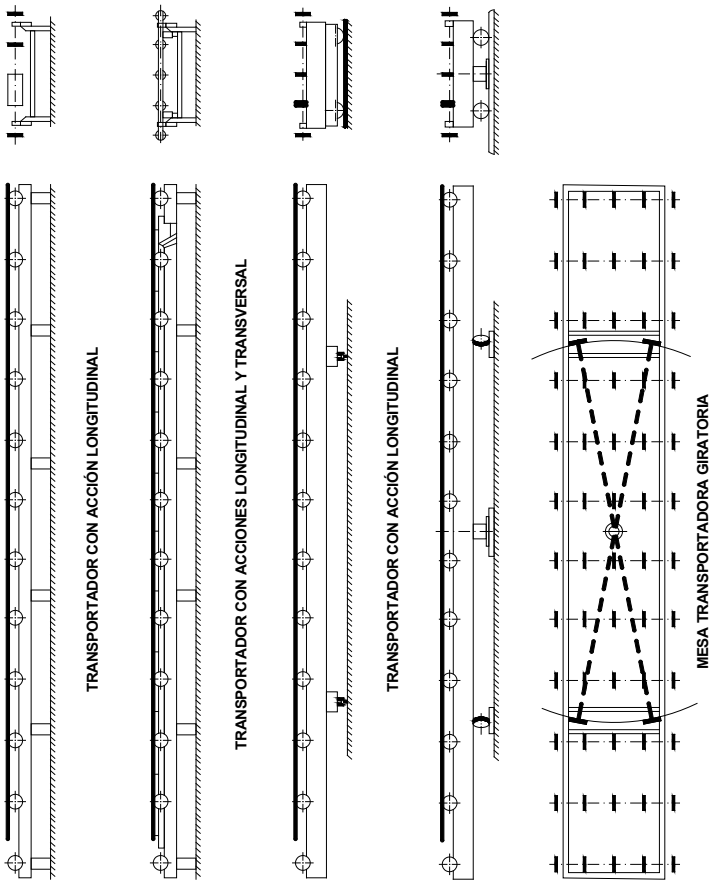


Fig. 8.6 Mesas transportadoras.

8.6 Medios de movimiento en el parque de perfiles

Debido a sus formas, la organización del parque de perfiles presenta mayores dificultades y requiere una mayor superficie de almacenamiento por tonelada. Así, en un astillero en que hay que almacenar el 50% de su producción anual, se necesitarán de 500 a 1.000 m² por cada 1.000 tn del peso anual de la producción. Los astilleros que almacenan porcentajes menores de su producción anual, pueden ordenar sus perfiles con superficies más reducidas.

La manipulación de perfiles requiere también más personal que la de planchas. Modernamente se han desarrollado equipos especiales para transporte de perfiles con grandes velocidades y prensores magnéticos especialmente proyectados que permiten la manipulación con un solo hombre de casi todos los perfiles corrientes en secciones desde 150 a 450 mm y largos de 9 a 18 m.

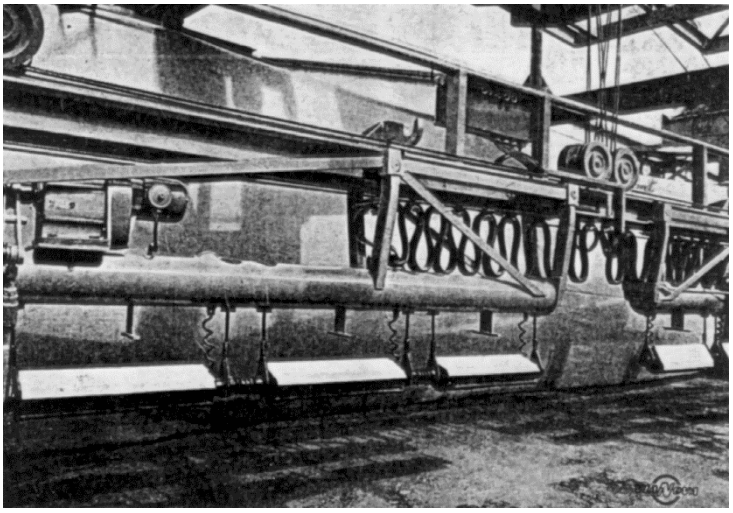


Fig. 8.7 Grúa de perfiles con prensor magnético.

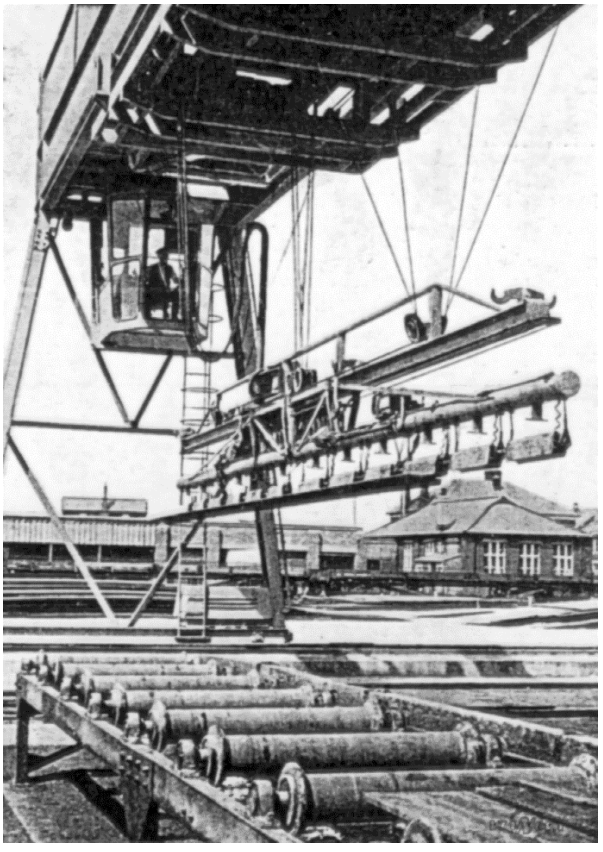


Fig. 8.8 Grúa de perfiles y transportador.

En las grúas destinadas al movimiento de perfiles, la cabina debe disponerse a muy poca altura sobre el suelo, de forma que la vista del operador esté casi al nivel del perfil suspendido, lo que facilita notablemente la operación de tomarlo con el prensor, transportarlo a su destino, que puede ser por ejemplo un transportador de rodillos, análogo a los de planchas pero más estrecho (en este caso no sirven los discos), que lo conducirá a la entrada de una línea de preparación o de elaboración.

8.7 El transporte en los talleres

El transporte de materiales en los talleres puede considerarse bajo los dos aspectos siguientes:

1. El movimiento de los materiales y elementos en fabricación de un puesto de trabajo a otro, y su salida del taller.
2. La manipulación de dichos materiales o elementos, tomándolos de los respectivos puestos de espera para situarlos en la posición en que se ha de efectuar el trabajo, así como su retirada a la terminación del mismo, para dejar la máquina libre.

Dentro del primer aspecto se tiene que considerar el movimiento de simple transporte y los necesarios para ordenar y clasificar el material.

En todos los casos será obligado completar el estudio con la consideración de los enlaces necesarios de los medios de transporte de una sección con las que siguen o con las que preceden.

8.8 Medios de movimiento en el taller de herreros de ribera

Como se verá en el Capítulo 9, el Taller de Herreros de Ribera se divide en una serie de líneas paralelas, en cada una de las cuales se desarrolla un determinado tipo de proceso de elaboración. Los materiales se desplazan en una sola dirección y las máquinas se disponen a lo largo de cada línea de acuerdo con la secuencia del proceso. Es por tanto necesario efectuar una distribución del material a la entrada en el taller, situándolo al alcance de los medios de transporte de la línea en que se ha de procesar, y para ello la línea de entrada ha de cruzarse con las líneas de proceso.

La entrada puede hacerse por transportadores, vagonetas, colocadores o cualquier tipo de grúa que pase por debajo de los carriles de los puentes grúa del taller. Uno de los métodos más práctico lo constituye el colocador de entrada que, siguiendo una programación automática, puede depositar las pilas en las líneas respectivas.

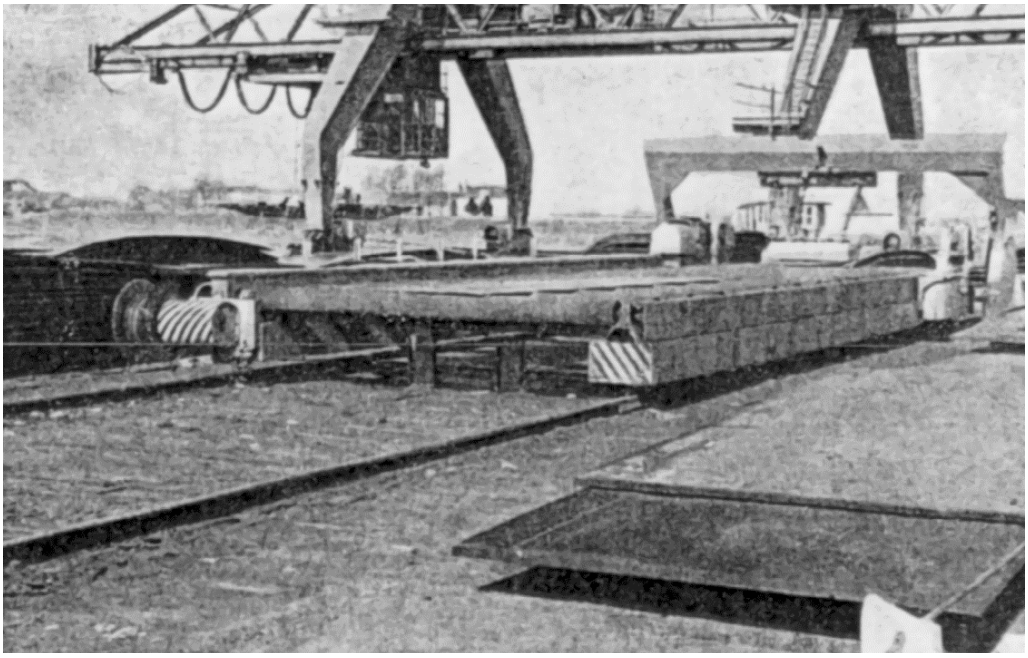


Fig. 8.9 Mesa transportadora de chapas.

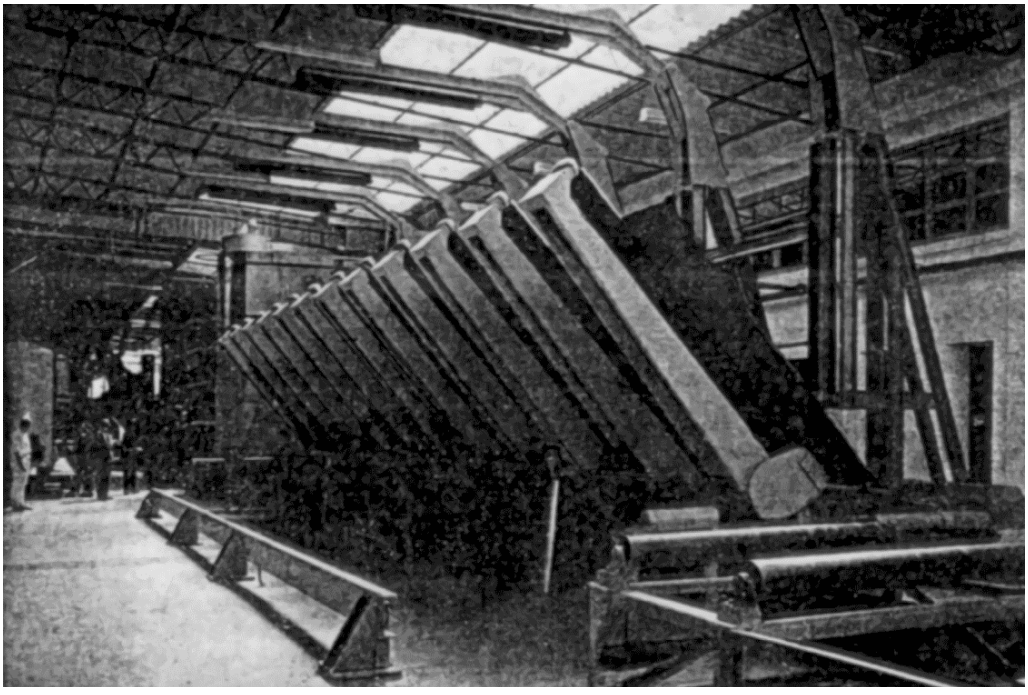


Fig. 8.10 Mesa transportadora con prensor posicionador de planchas.

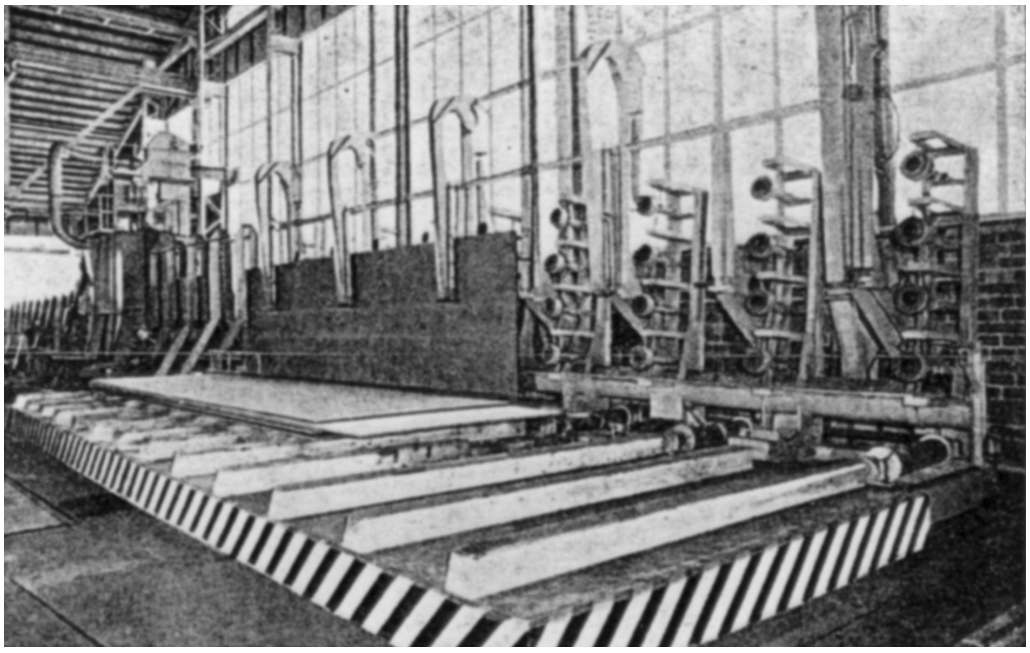


Fig. 8.11 Mesa con posicionador de planchas con prensor y electroimanes.

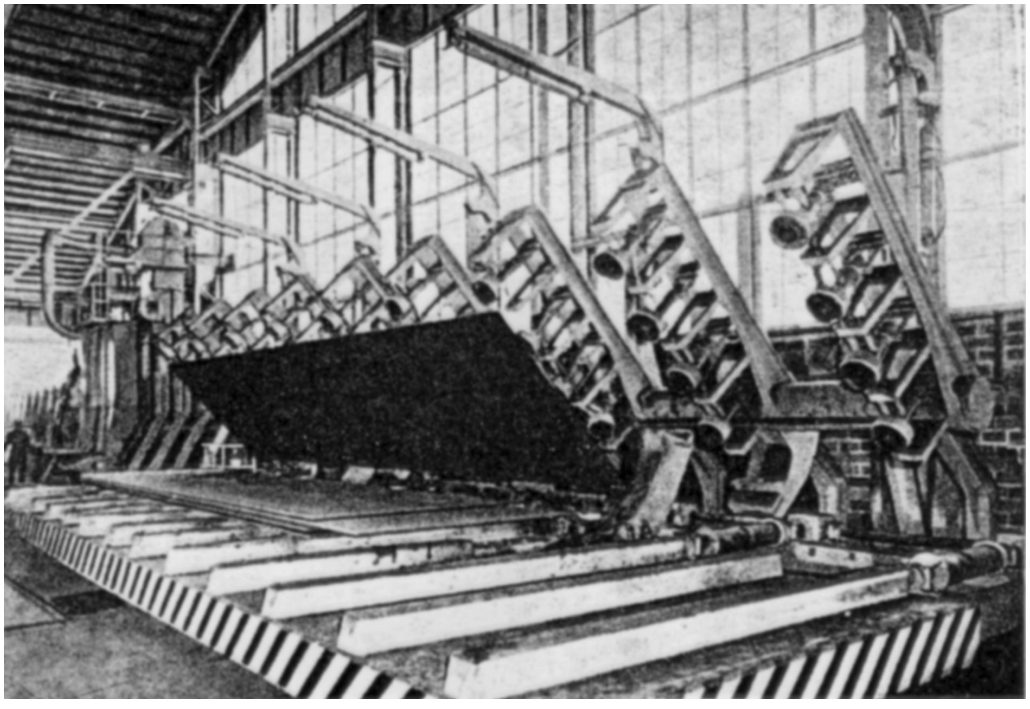


Fig. 8.12 Mesa con posicionador de planchas por electroimanes.

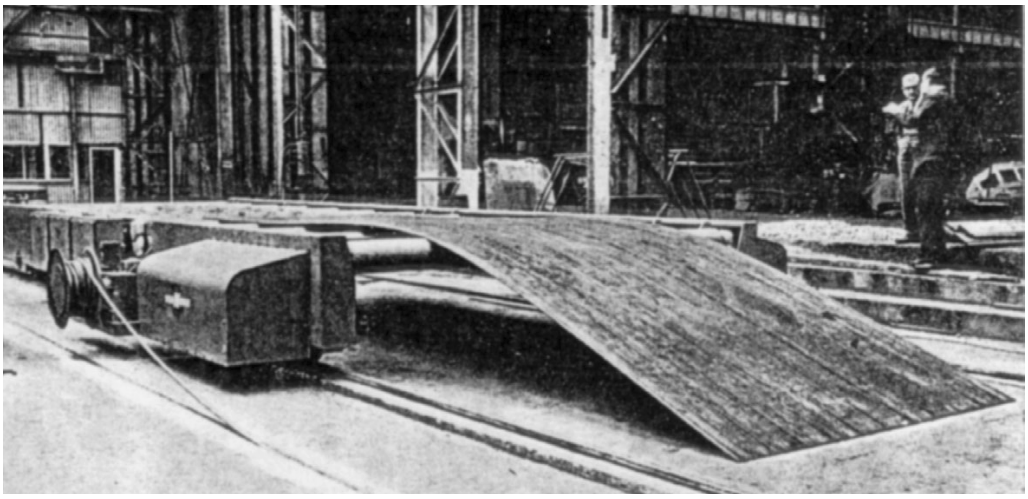


Fig. 8.13 Mesa transportadora descargadora de planchas.

8.9 Medios de movimiento en los talleres de soldadura y de prefabricado

En los talleres de soldadura y de prefabricado se utilizan también los puentes grúa como elemento fundamental del transporte, pero aquí son siempre instalaciones más caras debido, principalmente, a que requieren luces y fuerzas mayores para manipular conjuntos prefabricados.

Se logra una mayor movilidad sobre la mesa de soldadura con la disposición de las grúas en dos plataformas de rodadura situadas a distinta altura. Las capacidades de dichas grúas son muy variables, dependiendo de los tamaños de los buques y la forma de construcción que se emplee en el astillero. Como cifra orientativa, se podría apuntar que para la construcción de buques de carga de tamaño medio, algunas grúas del taller de prefabricación deberán tener como mínimo una fuerza de izada de 60 a 100 tn, si ese es el peso de los conjuntos que se han de prefabricar.

Otro punto importante a considerar es la altura del gancho de la grúa sobre la mesa de soldar, con el fin de que se puedan voltear los bloques prefabricados. En una instalación típica esta altura es de alrededor de los 20 m.

Para la fabricación de conjuntos como los de los grandes petroleros, se necesitarán alturas todavía mayores, llegándose en las grandes naves de prefabricación de algunos astilleros modernos a los 30 m de altura.

A menor nivel, y dejando pasar las grúas mayores, citadas antes, por encima, se disponen generalmente grúas de menor capacidad, entre 10 y 20 tn, más ligeras y desarro-

llando mayores velocidades, con las que se manipulan elementos de menor peso, facilitando el montaje de los mismos para formar el bloque y para añadir polines, equipos y otros componentes como tuberías, etc. que constituyen el armamento anticipado.

Para sacar del taller los bloques prefabricados, tiene que haber un medio de enlace entre dicho taller y la zona de almacenamiento de los conjuntos prefabricados. Dicho medio puede consistir en plataformas transportadoras, o "trailers", elevables hidráulicamente, arrastradas por un tractor, sobre las que se sitúa los bloques directamente en el caso de ser planos, o sobre un elemento soporte intermedio, denominado *góndola* en algunos astilleros. En la zona de almacenamiento, los bloques de acero, directamente, o por medio de las góndolas, se apoyan sobre bloques de hormigón o sobre soportes construidos en acero, denominados *dados*. El transporte de los bloques de acero desde la zona de almacenamiento hasta las cabinas de chorreado y pintado, en caso de tenerlas el astillero, a la zona de formación de grandes secciones con otros bloques, o a la zona de alcance de las grúas para el montaje en grada o dique, se hace también por medio de las citadas plataformas transformadoras, cuya capacidad es muy variable, siendo una cifra indicativa la de 250 tn, aunque puede ser mucho mayor, citándose como ejemplo las que son capaces de transportar los grandes módulos o "top-sides" para las plataformas petrolíferas, con pesos de hasta 5.000 tn por módulo.

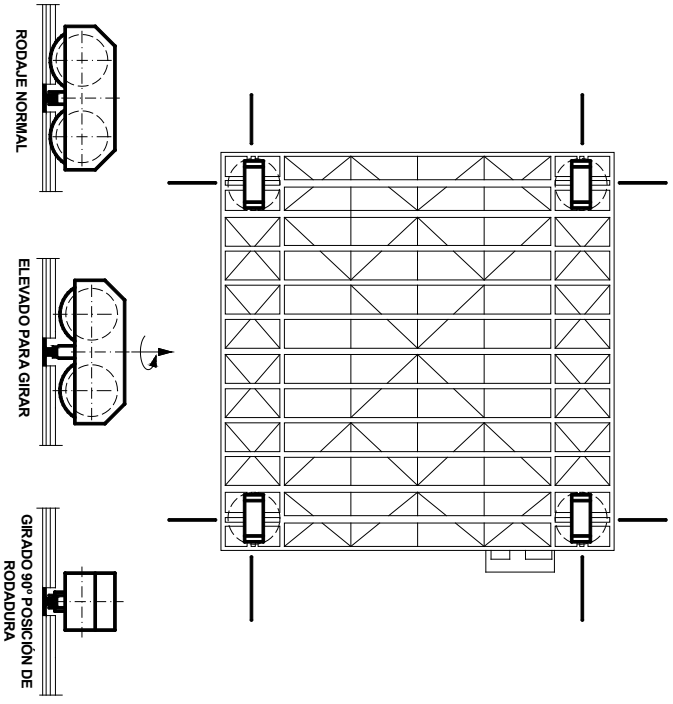


Fig. 8.14 Plataforma transportadora de bloques.

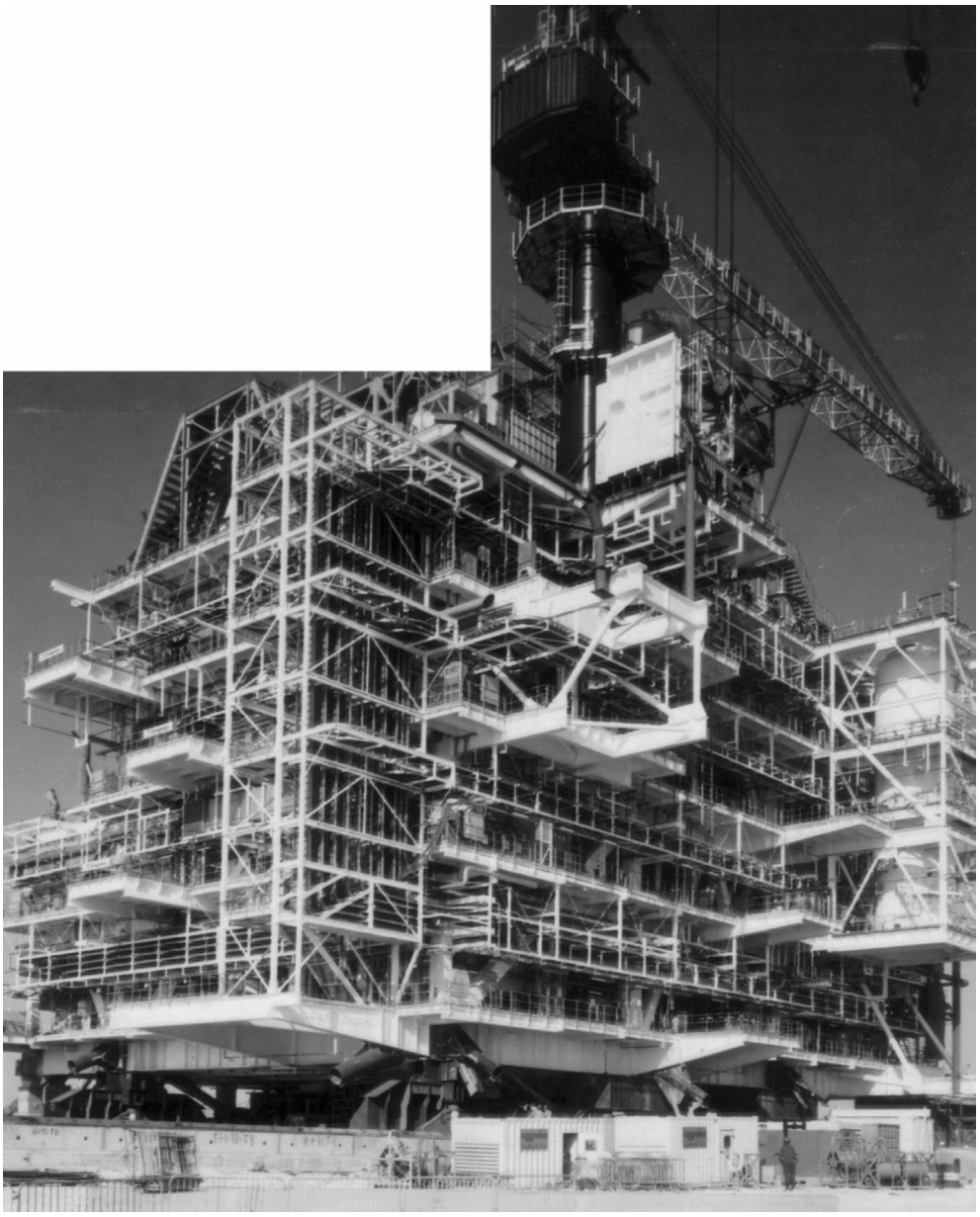


Fig. 8.15 Módulo para plataforma petrolífera sobre vigas horizontales, para su *load out* en barcaza. [Imagen parcialmente dañada: no se pudo disponer de una íntegra del módulo].

Otro sistema consiste en la prolongación de las vías de las grúas del taller por fuera de éste, montadas sobre vigas que pueden estar apoyadas sobre columnas o en voladizo, con el fin de que puedan dejar los conjuntos al alcance de las grúas de las gradas.

Para el traslado y carga de grandes estructuras en barcazas ("load out") se disponen grandes vigas horizontales a modo de raíles, sobre los que se desliza la estructura, muy lentamente, arrastrándola en sentido longitudinal por medio de gatos, y controlando la horizontalidad de las vigas, particularmente de la viga de conexión entre el muelle de carga y la barcaza, por medio de teodolitos y bajo un estricto control y operación del lastrado de la barcaza.

8.10 Manipulación local en los talleres

En el taller de herreros de ribera hay máquinas que para desarrollar su trabajo necesitan que la plancha, mientras se manipula con ella, esté suspendida de una grúa. En estos casos, si se utilizasen los puentes grúa, se les retendría un tiempo excesivo, bloqueando al mismo tiempo el paso. Para evitar este inconveniente se utilizan otras grúas de tipo radial montadas en plumas giratorias que, muchas veces, van apoyadas en la misma máquina, formando parte de su equipo.

Su maniobra se controla desde el suelo del taller y, generalmente, no necesitan una fuerza de izado superior a las 5 ó 10 tn, dependiendo del tamaño máximo de las chapas que se empleen, con un alcance radial de unos 10 m.

Otras veces el montaje de la pluma se apoya en las columnas de la estructura del taller, bien directamente para alcanzar un giro de 180º o excéntricamente para aumentar su ángulo de giro hasta 270º.

Para la alimentación y salida de máquinas, como pueden ser las de oxicorte, pueden utilizarse mesas transportadoras con trenes de discos o rodillos para el movimiento longitudinal, que pueden alimentar varias máquinas sí disponen de movimiento de traslación transversal, al permitir la entrada de otra plancha en cuanto han quedado libres. Los discos, en cuanto han situado la plancha en su lugar de trabajo, pueden hacerse descender para que la plancha quede correctamente apoyada. Una vez terminado el trabajo los discos se levantarán de nuevo para darle salida y recibir una nueva plancha para repetir el proceso.

8.11 Elevación de pesos en gradas y diques de construcción: capacidad de izado, alcance y altura. Medios normalmente utilizados

Existe un abanico muy grande de posibilidades en las capacidades de izado de pesos y en distancias de alcance de los medios de elevación utilizados para construcción en los astilleros, cuyas características óptimas tienen que determinarse en función del tamaño de los buques a construir, de las dimensiones y disposición del astillero, de las características de otros medios ya existentes, y del método de construcción elegido,

que determinan los tamaños de los bloques estructurales y de otros conjuntos de peso que se han de elevar para su montaje en las gradas o en los diques de construcción.

La trascendencia de los medios de izado, ya no sólo por la posibilidad de construir con seguridad un buque o unidad off-shore de un tamaño y unas características determinadas, sino además su incidencia en el plazo, calidad de la obra, y coste resultantes, obligan a un concienzudo estudio previo de cómo utilizar los medios disponibles o antes de elegir otros nuevos a instalar, ya sean todos nuevos o hayan de tener que considerarse las limitaciones impuestas en parte por alguno de los medios e infraestructura ya existentes. El criterio común, y dando la máxima importancia a la seguridad de las maniobras, será tratar de conseguir la solución de la que, a la postre, se obtengan resultados competitivos, de acuerdo con los dictados del mercado. No siempre será posible lo ideal, pero se debe intentar lo más cercano posible.

Lo primero a considerar es el peso a elevar, y la distancia a la que se ha de colocar desde la base de la grúa o desde uno de los apoyos del pórtico, y tener en cuenta que ambas magnitudes son una función inversa de la otra. Por ello, lo primero que hay que estudiar son las curvas características de la grúa o medio de izada, que, con diferentes configuraciones alternativas y diferentes accesorios, relacionan dichas magnitudes.

Otra magnitud crucial es la altura a/desde la que se ha de elevar el peso, para lo que hay que conocer la altura libre que queda bajo el gancho de la grúa, después de descontar la altura ocupada por los elementos accesorios de la maniobra (descontando por supuesto el peso de éstos de la capacidad bruta de elevación de la grúa para obtener la neta), y tener además en cuenta la propia altura del peso. Ocurre en casos que, aparentemente, se consigue la altura requerida, pero la grúa no podría trabajar porque la pluma, por citar un ejemplo, tropezaría con algo, como puede ser el borde de la cubierta del barco en el caso de una grúa con pluma que se quisiera utilizar desde el muelle para depositar algo en la banda hacia el mar de la cubierta. Se solventaría alargando la pluma de la grúa, y colocando ésta más vertical, pero la longitud de la pluma o la altura de los elementos de apoyo de las grúas tienen sus limitaciones por razones estructurales (pandeo, etc.) y cargas medioambientales (viento), entre otras.

Los sistemas que más se utilizan en la actualidad podemos clasificarlos en los siguientes grupos:

1. *Puentes grúa sobre carriles elevados.*

   Cuando se utilizan gradas cubiertas, este sistema es probablemente el más útil, aprovechando para apoyar los carriles las mismas columnas, si tienen la resistencia suficiente, que sostienen la cubierta de las gradas. No es tan práctico utilizar este sistema en gradas sin cubrir ya que esto supondría la construcción de grandes

estructuras de acero para apoyar los carriles, tanto más pesadas y por tanto más costosas cuanto mayor es la potencia de los puentes grúa.

2. *Grúas provistas de pluma sobre carriles de rodadura elevados.*

   Usadas para evitar la falta de acceso lateral de los puentes grúa.

   Con el aumento de la fuerza de izada que se necesita para el montaje de grandes bloques, este sistema tiene el inconveniente mencionado del elevado coste de la estructura de apoyo de los carriles, sin disfrutar de las ventajas de los puentes grúa, por lo que no se ha vuelto a utilizar en instalaciones recientes.

3. *Grúa torre de martillo.*

   Este tipo de grúa ha sido muy utilizado por la precisión de sus movimientos, aunque siempre cimbree más que un puente grúa.

   Ésta es de construcción relativamente sencilla, y más económica. El desplazamiento horizontal de los pesos suspendidos es excelente, pero en cambio tienen el inconveniente de que como la altura de las plumas horizontales es fija, deberá preverse con margen suficiente para cualquier contingencia en el montaje.

4. *Grúas tipo cigüeña.*

   La estructura de la torre y pivote central queda a menor altura y la cabina del operador puede instalarse más baja, quedando así más próxima a la posición en que hay que situar los pesos, lo que permite un mejor dominio de movimientos. El peso de la grúa también es menor.

   Su peor inconveniente en gradas fue la dificultad de lograr la precisión en los desplazamientos horizontales, tan necesario para el montaje, pero este defecto se ha superado por medio de mecanismos automáticos de control de los distintos movimientos de gancho y pluma.

   Este tipo de grúa ha llegado a ser el tipo más utilizado en gradas, con fuerzas de izada que llegan y superan las 100 tn, disminuyendo éstas con el alcance.

   En la selección de las grúas de gradas, las características más importantes son: precisión para maniobrar y mantener el peso, fuerza de izada y alcance máximos. La velocidad de izada y velocidad de desplazamiento son de menos importancia, ya que rara vez se empleará más de un 20% del tiempo total de utilización en estos movimientos.

   Para el montaje de los grandes bloques es frecuente tener que recurrir a la utilización conjunta de dos grúas combinando su acción para levantar un peso de valor superior a la fuerza máxima de izada de cada una de ellas. Para este fin, se emplean robustas *vigas de equilibrio* que reparten la carga. El punto de suspensión de la carga y los puntos de aplicación de los ganchos de las grúas han de estar

perfectamente definidos tras un cálculo cuidadoso, y la operación ha de vigilarse estrechamente para evitar en todo momento la sobrecarga de alguna de las grúas.

Es de gran importancia controlar la nivelación de carriles, cuya cimentación ha de ser de gran solidez y, si es necesario, lo que se ha de comprobar previamente mediante catas en el terreno, apuntalada mediante pilotes de la sección, resistencia y longitud necesarias, ya que, de otro modo, el asiento de los apoyos puede sobrecargar localmente alguna rueda, produciendo esfuerzos adicionales que pueden resultar excesivos para las rígidas estructuras de las grúas. Hay que tener en cuenta, para éste y para otros fines similares, que existen habitualmente áreas en los astilleros y, muy frecuentemente en los muelles, donde se van a instalar y van a operar grúas, que han sido en su día formadas y construidas con y sobre material de relleno, cuyo grado de compactación y consistencia pueden ser desconocidos o dudosos.

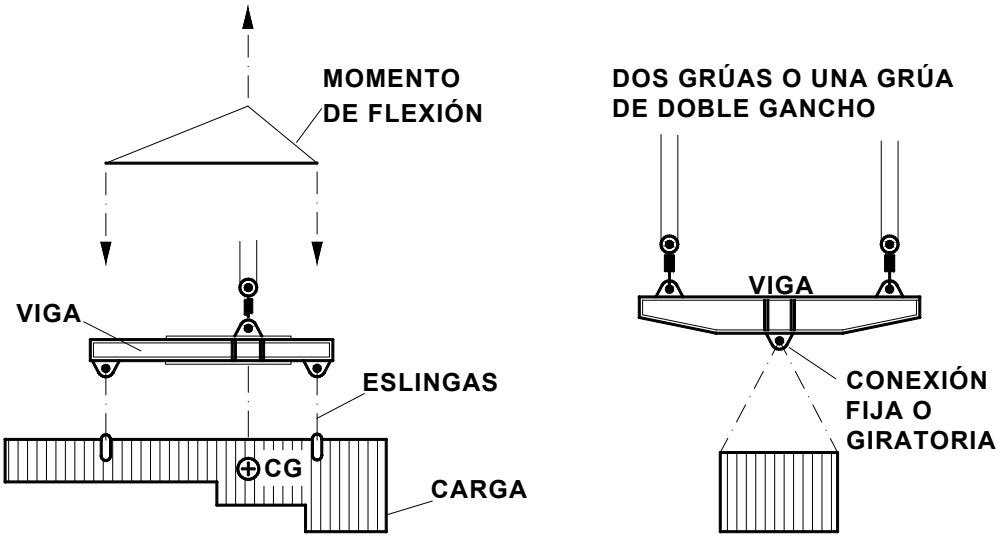


Fig. 8.16 Vigas de equilibrio para repartir la carga.

5. *Grúas pórtico*

Con el mismo inconveniente de los puentes grúa en cuanto a su imposibilidad de maniobra por fuera de los carriles, pero superando la necesidad de la enorme estructura de apoyo de la rodadura de aquellos, se pasó al empleo sobre las gradas (ASTANO) y sobre diques de construcción (PUERTO REAL, HDW) de grúas pórtico de grandes capacidades de izada (800, 2x600, 900 tn, etc., teniendo que descontar de éstas los pesos de lo que se llama la maniobra, citada más adelante*, para obtener la capacidad neta de izado*) y cuya rodadura se efectúa sobre carriles sólidamente anclados en el suelo. Son sus principales características descriptivas:

a) *Número, disposición y capacidad de izada de cada uno de los ganchos*, ya que toda la capacidad de izado de un puente grúa suele distribuirse entre varios carros que se desplazan a lo largo de la viga puente, cada uno dotado de su correspondiente gancho, los cuales se combinan para dar la capacidad total por medio de vigas de equilibrio y otros utensilios que constituyen en conjunto la maniobra citada antes, la cual debe ser cuidadosamente estudiada previamente en cada caso.

b) La *altura libre* que, una vez puesta la maniobra (aparejos, vigas de equilibrio, etc.), queda *bajo el gancho*, o ganchos más bajos (del orden de 68 mts. en el caso de ASTANO), la cual, como es lógico, limita la máxima altura del bloque o estructura que se quiera montar, y para lo que la altura de la cabeza de la grada es un inconveniente adicional.

c) La *longitud de trabajo de la viga, o vano, de la grúa pórtico,* la cual es la que define su campo de cobertura, y viene limitada por la resistencia estructural de dicha viga para la máxima carga que se quiera elevar y llevar a un sitio (en ASTANO es de unos 120 mts., cubriendo transversalmente las dos gradas paralelas de que dispone el astillero, en PUERTO REAL es de unos 100 mts., igual que la manga del dique)

Sin menosprecio de otros sistemas, las grúas pórtico resultan estructuras más racionales para levantar grandes pesos, y se consigue una mayor precisión de movimientos, que se aplica con ventaja al montaje de grandes bloques prefabricados.

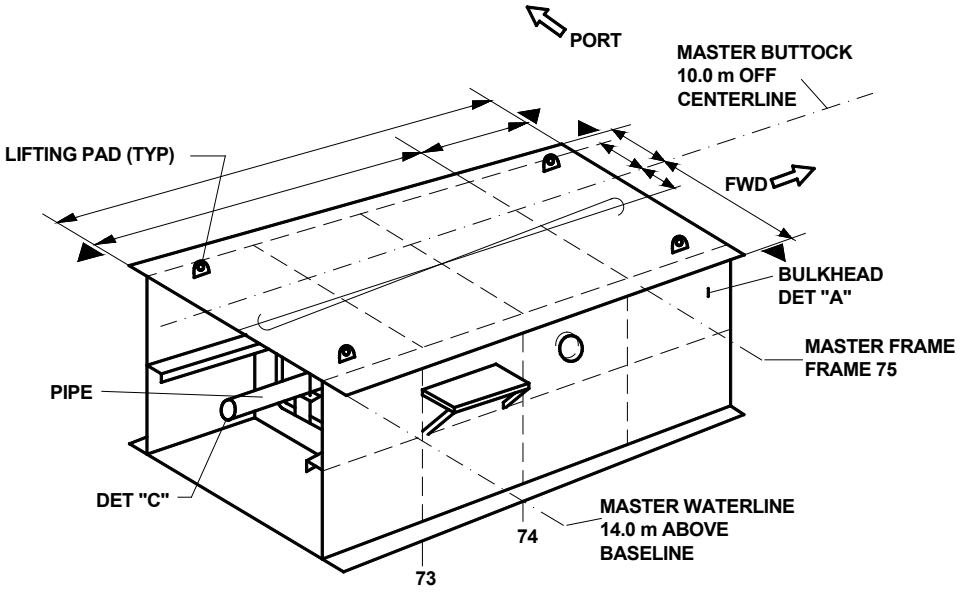


Fig. 8.17 Distribución y posicionado de los cáncamos (lifting pads) para elevación de un bloque.

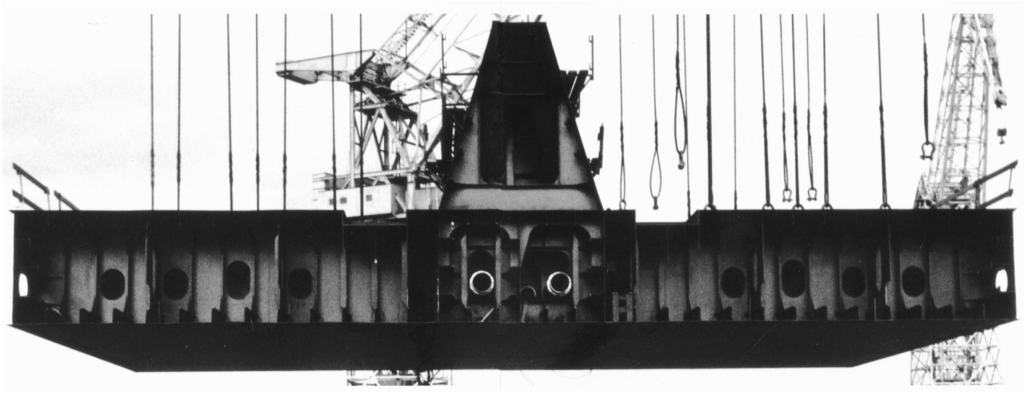


Fig. 8.18 Maniobra de elevación de un bloque suspendido en varios puntos por viga de equilibrio (puesta de quilla de buque de producción y prueba de pozo, P.T.S., ASTANO).

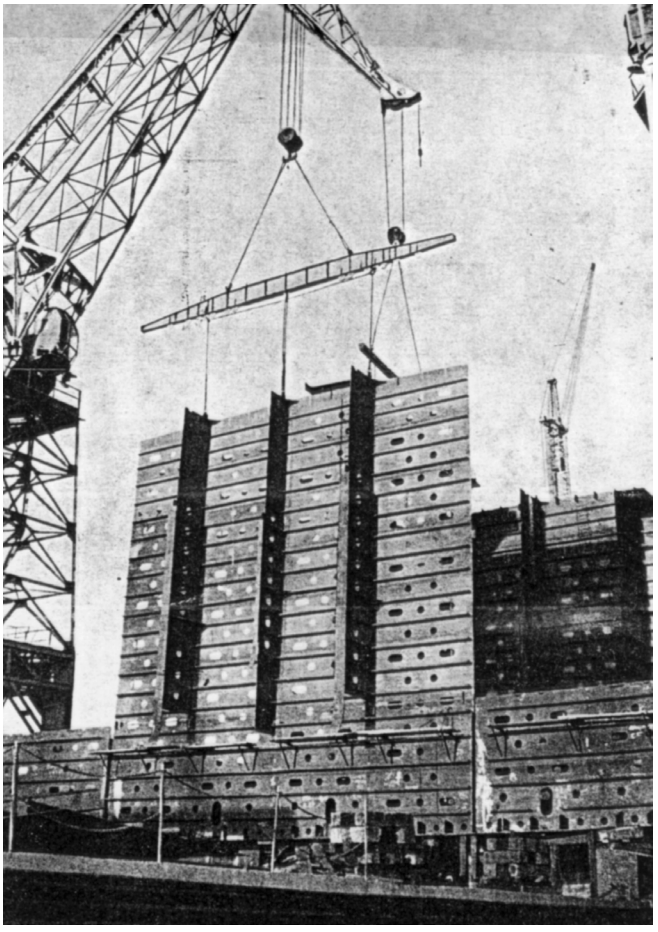


Fig. 8.19 Montaje de un mamparo transversal izado con viga de equilibrio (ASTANO).

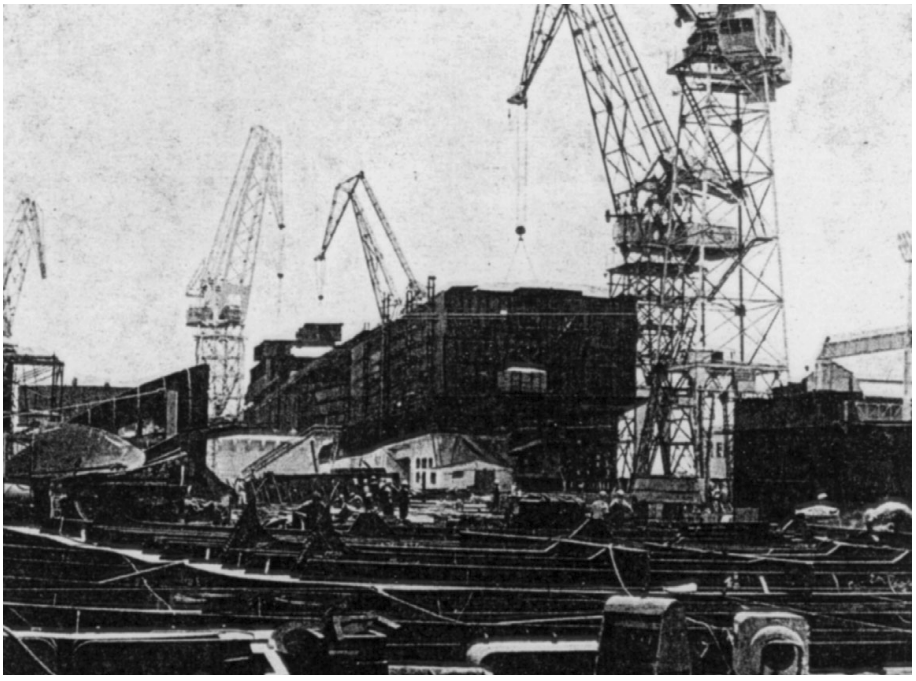


Fig. 8.20 Equipamiento de grúas en una grada.

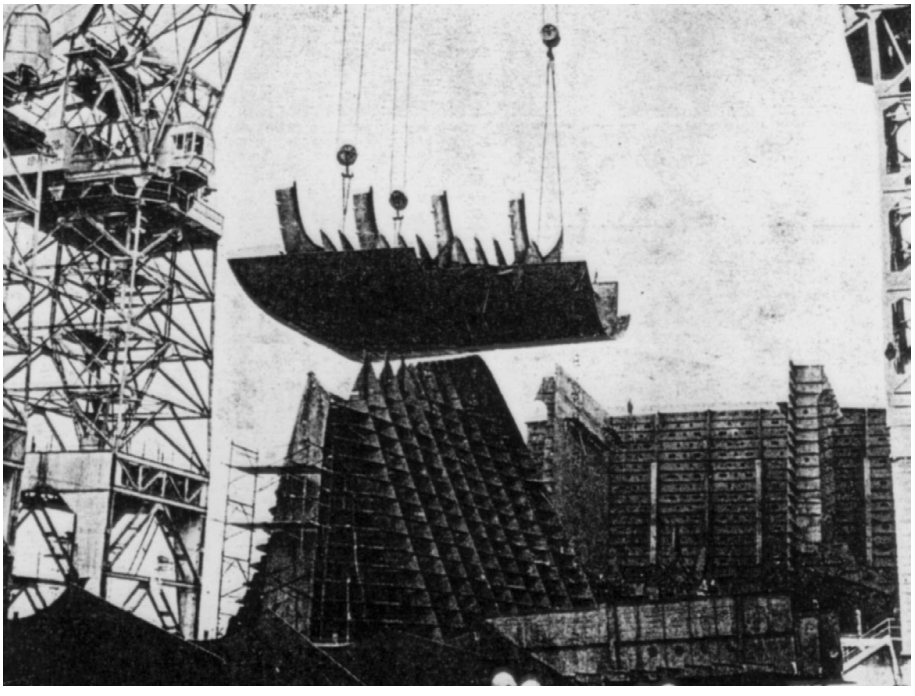


Fig. 8.21 Montaje de bloque de fondo con dos grúas.

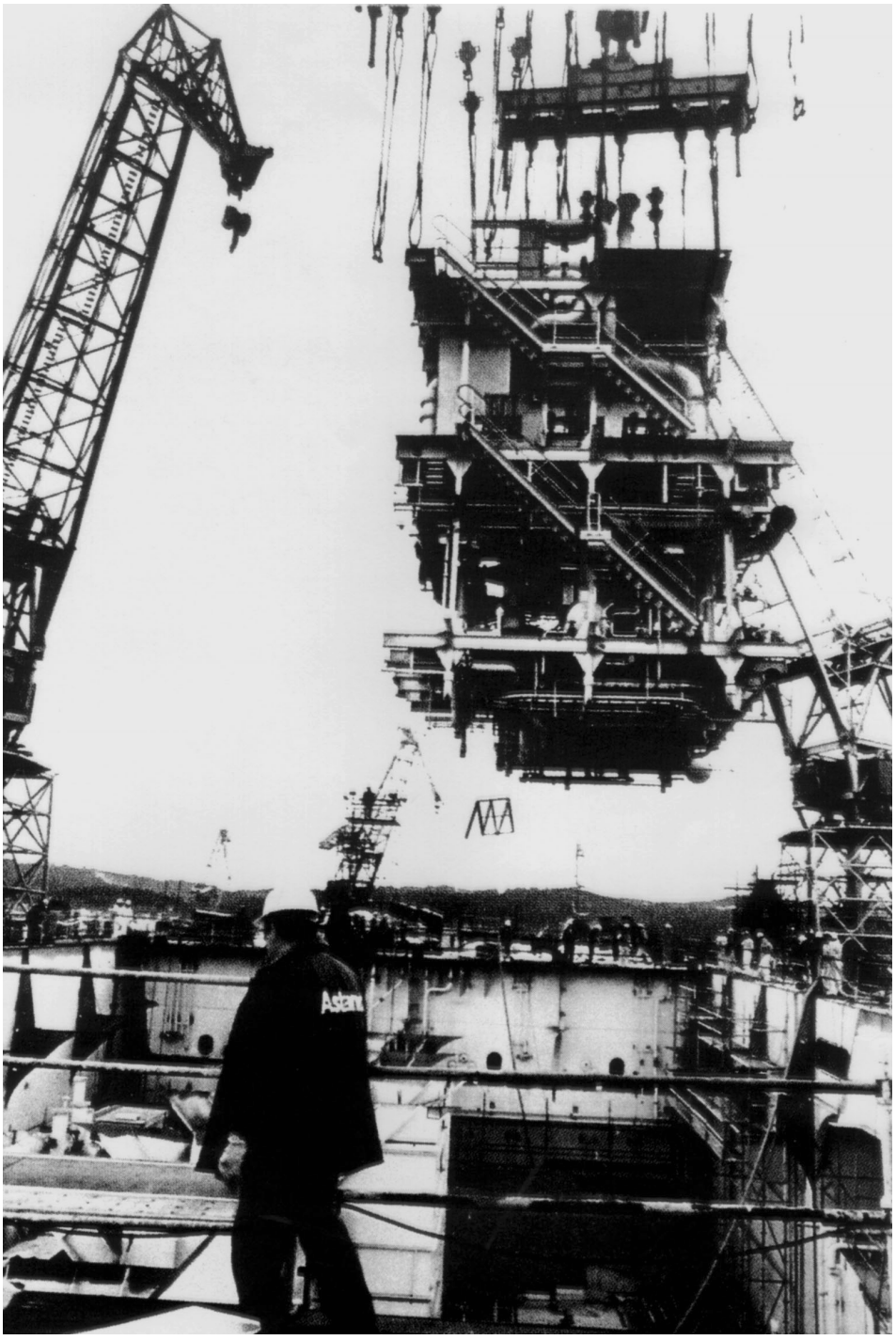


Fig. 8.22 Módulo torre de cámara de máquinas buque producción off-shore (ASTANO).

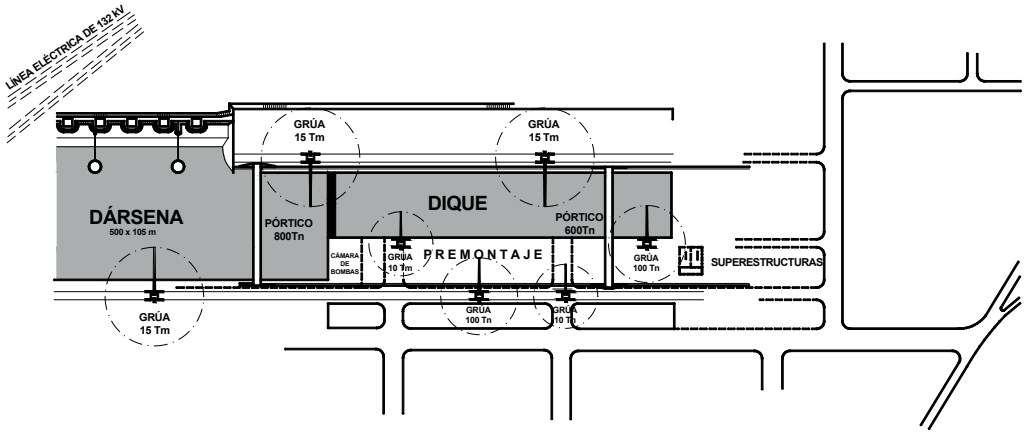


Fig. 8.23 Factoría de Matagorda (Cádiz).

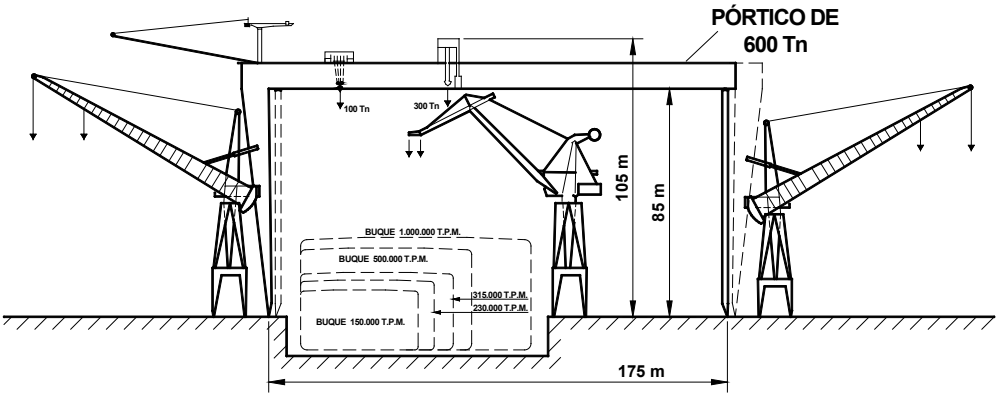


Fig. 8.24 Gruas pórtico dique construcción factoría Matagorda.

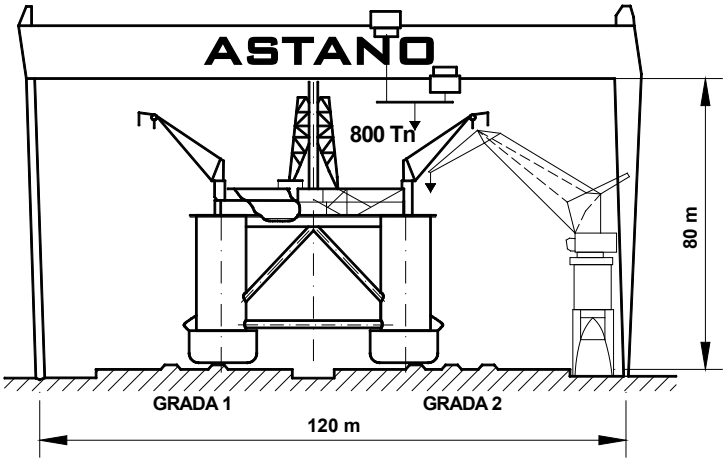


Fig. 8.25 Grúa pórtico ASTANO (Ferrol).

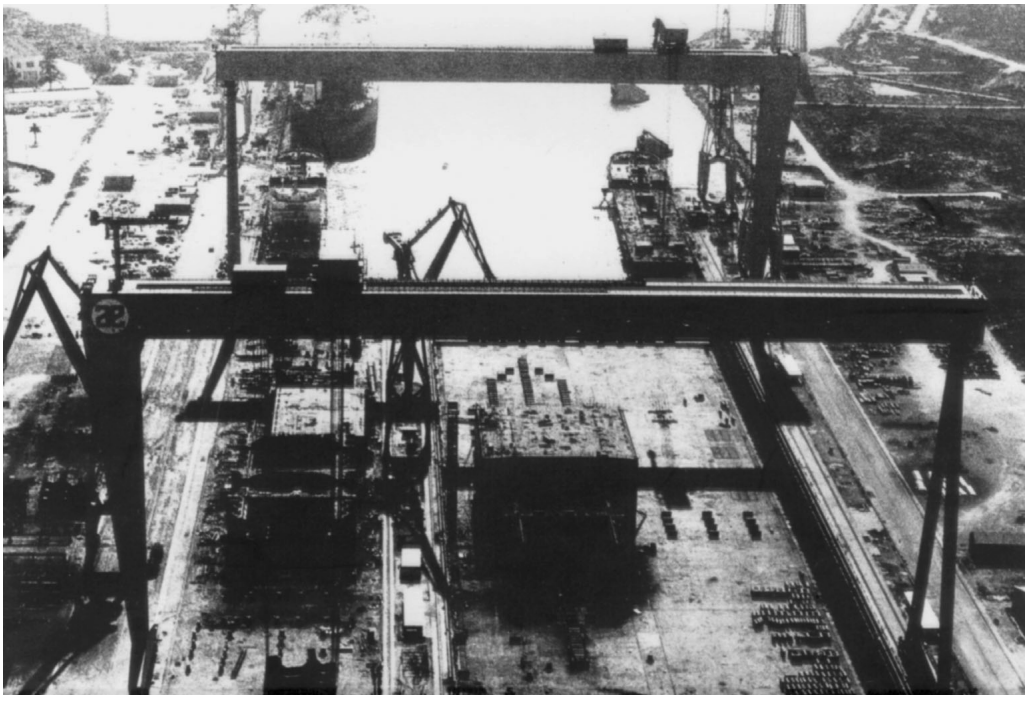


Fig. 8.26 Dique de construcción factoría Matagorda (Cádiz).



Fig. 8.27 Botadura de plataforma semisumergible en ASTANO (Ferrol).



Fig. 8.28 Gradas de ASTANO (dos gradas, 4(5) imadas, longitud 450 m, anchura total 120 m) (comprobar datos).

8.12 Medios de elevación en talleres y muelles de armamento

En los talleres de armamento, los elementos de transporte dependerán del peso y de las características de los materiales y equipos que se han de manipular. Lo más utilizado es, generalmente, el puente grúa que puede ser, desde los más ligeros, que pueden sustituirse con ventaja por monocarriles operados desde el suelo del taller por medio de una caja de pulsadores, hasta llegar a necesitar grandes fuerzas de izada, del orden de las 50 tn y más, en los almacenes en que se completa el montaje de grandes máquinas y equipos pesados, así como en los talleres donde se ensamblan y arman grandes módulos con equipos, tubería, etc. sobre un polín o soportado común.

Al igual que en el de Herreros de Ribera, se tiene que disponer en estos talleres de plumas y elementos de suspensión para posicionar las piezas en los puestos de trabajo y el complemento de los transportadores en los puntos necesarios.

Un sistema muy utilizado en armamento para el transporte de piezas y materiales, no solo en el interior del taller sino para hacerlos llegar al costado del buque en que se han de montar es de *palletización*, con *plataformas* o *pallets* de medidas normaliza-

das, sobre las que se colocan las piezas, que son tomadas con toda rapidez y facilidad por vehículos adecuados provistos de una horquilla y otros utillajes especiales para determinados trabajos, accionados por un mecanismo, generalmente hidráulico, de elevación y arriado. Una vez el pallet al costado del buque, se iza con la grúa para depositarlo en la proximidad del puesto de trabajo. Este sistema es de gran utilidad para material menudo.

En los muelles de armamento puede utilizarse cualquier tipo de grúa, siendo lo más común las grúas de cigüeña de fuerzas variadas, siendo necesario contar con alguna de gran fuerza para el montaje de maquinaria pesada, de hasta 70 tn o más, de capacidad de izado, y de otras más ligeras con velocidades de maniobra mucho más elevadas para facilitar el copioso trasiego de materiales y elementos de trabajo que emplean para terminar el buque.

Para la descarga y recepción de planchas y perfiles en el muelle pueden utilizarse grúas de martillo. Para las planchas están provistas de somieres magnéticos que las depositan sobre los carros que seguirán luego al parque. En algunos casos, con una planificación adecuada, podrá utilizarse para este fin la misma grúa del parque siempre que el muelle de descarga esté en la proximidad del parque y el camino de rodadura de aquella pueda llegar fácilmente al punto de descarga.

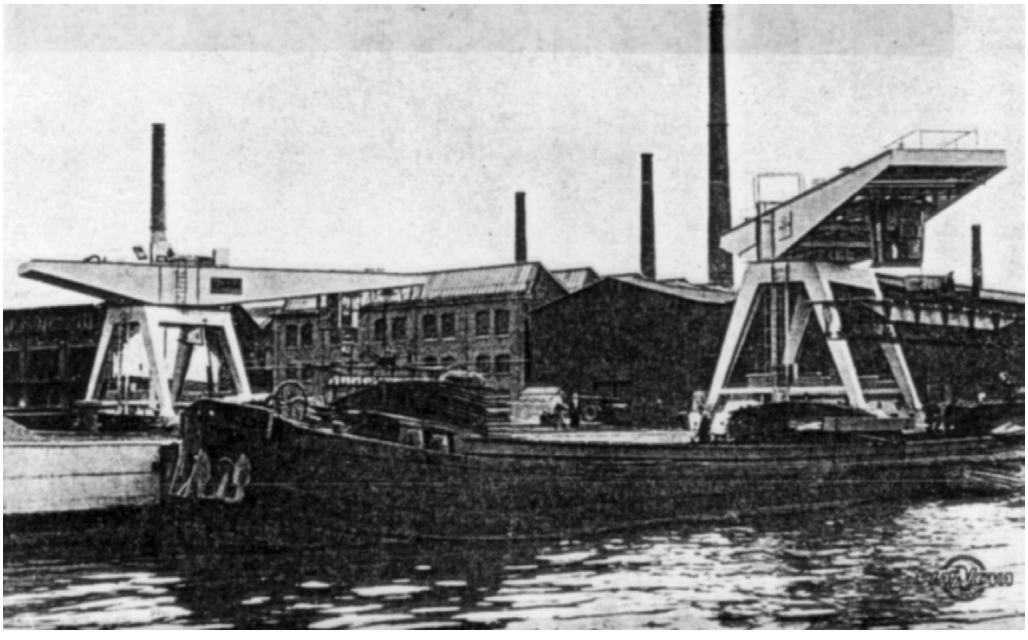


Fig. 8.29 Grúas para descarga de chapas en el muelle.

8.13 Medios de elevación en muelles y diques de reparaciones

La grúa de cigüeña es el tipo de grúa más popular en los diques de reparaciones de pequeño y mediano tamaño, así como en los muelles dedicados a reparaciones. La capacidad de izado es relativamente pequeña, en muchos casos de sólo 10 a 20 tn, si se compara con la de las grúas de las instalaciones dedicadas a nuevas construcciones. Para los diques de reparaciones de gran tamaño, dada su manga, y que, por lo tanto, la capacidad de las grúas de cigüeña resulta muy mermada a crujía y a distancias mayores, resultará conveniente disponer de grúas pórtico que les permitan maniobrar con grandes pesos, hasta pasar la línea de crujía, con objeto de poder abordar conversiones de cierta envergadura de buques y otras unidades, como pueden ser: alargamientos, cambios de toda la instalación propulsora, montaje de módulos de superestructuras diversas y de habilitación terminados, etc. Será normal que además dispongan de alguna grúa de cigüeña para otras maniobras, por lo que es conveniente que la grúa pórtico abarque en ancho y en alto el espacio recorrido por las grúas de cigüeña.

8.14 Grúas locomóviles sobre oruga, o sobre ruedas. Grúas de construcción. Grúas flotantes

Siempre ha resultado útil el recurrir a grúas móviles, muy versátiles, para diversos trabajos, entre ellos los de armamento anticipado en bloques. Puede resultar también muy útil el disponer una grúa de las habitualmente utilizadas para construcción civil, sobre la cubierta de los buques, para mover pequeños pesos (válvulas, tubos, máquinas de soldar, etc.) a alturas y distancias considerables, lo cual facilita el trabajo, sin tener que esperar a la posibilidad de utilización de las grúas grandes del muelle o dique que estarán ocupadas en trabajos de mayor envergadura.

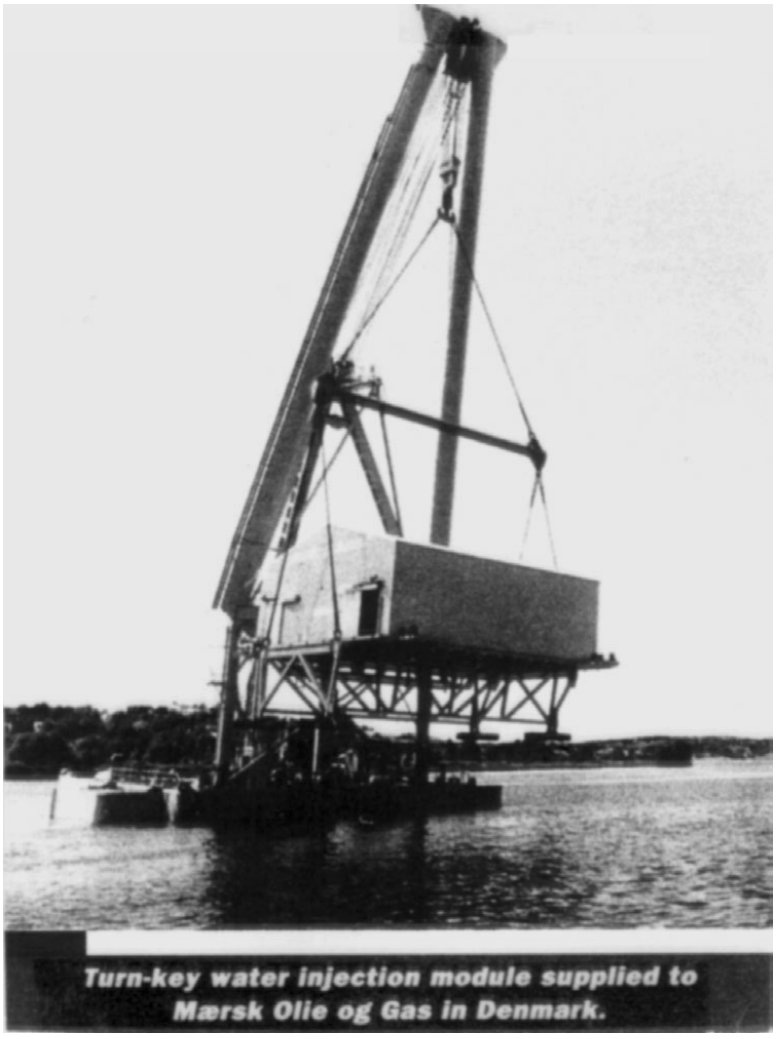


Fig. 8.30 Módulo de inyección de agua, construido y entregado llave en mano (*turn key)* para plataforma de producción off-shore.

Por otra parte, la construcción off-shore de estructuras y artefactos marinos no convencionales, en épocas en que no estaban adaptados los astilleros a tal fin, o en lugares en que ni siquiera existían astilleros, obligó al empleo y desarrollo de otros medios para la elevación y movimiento de grandes estructuras, distintos de los tradicionalmente utilizados en los astilleros.

Se hizo así habitual el empleo de grúas móviles, sobre orugas o sobre ruedas neumáticas, de gran capacidad de elevación (500, 1000 y más toneladas a radio corto) con posibilidad de elevar las estructuras a gran altura (hasta 100 m y más), por medio

de brazos telescópicos que se pueden alargar a gran longitud. Estas grúas, que eran empleadas habitualmente en la industria de tierra para la construcción de grandes complejos industriales, refinerías y plantas petroquímicas, fundamentalmente en el montaje e izado de reactores verticales y otros recipientes para procesos químicos, en lugares sin una infraestructura previa, vinieron a hacerse populares en la construcción off-shore, pasando también a ser utilizadas en los astilleros que se adaptaron a este tipo de construcciones. Existían sólo algunas marcas o diseños de este tipo de grúas. Algunas de ellas son: Manitowoc sobre orugas, Sky- Horse sobre ruedas, y American Hoist en EEUU, Liëhber en Alemania, Demag en Francia, GUSTO en Holanda, etc.

Estas grúas, con diferentes capacidades, aparte de otras grúas más convencionales, pasaron a ser situadas también sobre barcazas, sobre buques y sobre plataformas semisumergibles (con capacidad de hasta 2x7.500 tn), constituyendo un utilísimo medio de elevación para la construcción off-shore u oceánica, pudiendo ser utilizadas, y ser lo más adecuado en ciertos casos para la elevación de estructuras en construcción naval.

Las grúas de este tipo, salvo excepciones, no suelen ser propiedad de los astilleros, sino de firmas especializadas que los alquilan para maniobras puntuales o durante períodos de trabajo en que estos medios son requeridos. Estas firmas suelen también actuar como consultoras o diseñadoras de la forma más adecuada para realizar las maniobras.

Por supuesto, para utilizar tales grúas, hay que asegurarse antes de la resistencia del terreno donde éstas van a evolucionar. Si no es suficiente, habría de aumentarse por medio de pilotes, como se ha mencionado anteriormente, u otros sistemas de cimentación.

8.15 Otros medios no convencionales para movimiento de grandes pesos: sistemas de transferencia horizontal sobre plataformas rodantes (o trailers) y sobre vigas horizontales. Sistemas de elevación por medio de gatos. Eejemplos de construcción no convencional de grandes cilindros verticales y de grandes esferas

Es habitual que la construcción de *módulos para unidades off-shore* (o *top-sides*) se realice en una superficie horizontal, mejor en la proximidad de un muelle, a fin de que el transporte, hasta su carga en una barcaza *(transport barge)* o buque *heavy-lift* sea lo más corto posible, pero a veces también se hace en talleres situados a cierta distancia de la costa. Previamente ha de pilotarse suficientemente el terreno para tener la necesaria consistencia ya que el peso de estos módulos puede ser muy alto (1.000, 2.000, llegando incluso hasta 5.000 tn) Se pueden citar aquí también otras estructuras como *bottle legs, templates* y *jackets*, pudiendo pesar las últimas más de 10.000 tn, aunque

la construcción de estas estructuras y su embarque en barcazas para el transporte a su lugar de emplazamiento off-shore se deja para el Capítulo 18.

Una vez construidos los módulos citados arriba, han de transferirse a un sistema de transporte horizontal que normalmente es por medio de plataformas rodantes. La transferencia se realiza elevando las unidades por medio de gatos hidráulicos muy potentes, en número suficiente, y operados bajo el control de un ordenador, y bajándolas después sobre las citadas plataformas. Éstas, a continuación, empujadas por tractores, se desplazan sobre las barcazas, repitiéndose el proceso para bajar y depositar los pesos sobre estructuras soporte adaptadas o construidas de acero, ex profeso, sobre dichas barcazas, formando parte integral con las mismas, a las que llegan a soldarse las patas de los módulos para realizar el transporte por mar. Las compañías de seguros, a fin de asegurar dicho transporte, suelen exigir que el diseño y los cálculos de las maniobras necesarias y de la fijación (*sea fastening*) de los módulos a las barcazas sean aprobados y certificados por un consultor aceptado (*Savage Association* por ejemplo).

Otro sistema es el de transferir el peso de los módulos a unas vigas colocadas longitudinalmente (en el sentido del avance que se desee), y que después son arrastradas deslizándose horizontalmente sobre otras colocadas sobre el suelo, por medio de gatos hidráulicos que trabajan horizontalmente, y que tienen que recolocarse sucesivamente cada vez que se estiran una longitud equivalente a su carrera. Esto exige doble juego de vigas que están en la parte inferior, ya que al hacer avanzar el módulo una longitud igual a la de dichas vigas, han de colocarse por delante el juego de vigas inferiores que quedó por detrás, y así sucesivamente hasta llevar el peso al lugar deseado sobre la barcaza o *heavy lift*.

Sistemas similares se han empleado para montaje de grandes pesos en buques, en nuevas construcciones o en transformaciones de buques existentes, como puede ser para el montaje de grandes calderas.

Las barcazas, a fin de recibir la carga, se apoyan, normalmente por un extremo, en un alojamiento hecho a tal fin en el muelle, controlándose su lastrado durante la maniobra, con objeto de poder contrarrestar los efectos de las mareas, y del aumento paulatino de peso al ir embarcando la carga, así como de las posibles variaciones de asiento por efecto del desplazamiento horizontal del peso.

En el caso de buques heavy-lift, el embarque de pesos, normalmente en el rango inferior de los arriba indicados, o menores, puede hacerse transversalmente, o bien por medio de grúas de gran capacidad instaladas en dichos barcos, o desde tierra, también por medio de grúas móviles también de gran capacidad, de los tipos indicados en los apartados dedicados a medios de elevación.

En combinación con los medios de elevación instalados sobre unidades flotantes, sean barcazas, buques o unidades semisumergibles sobre pontonas, es interesante considerar la utilización de lo que se llama *lastrado (deslastrado) dinámico*, que consiste en poder, muy rápidamente y bajo estricto control, deslastrar o cambiar la posición del lastre, con objeto de aumentar la capacidad de izado y corregir las escoras y asientos que el flotador pueda adoptar, por efecto de tomar en suspensión grandes pesos.

Sistemas de elevación de estructuras por medio de gatos: Pueden elevarse estructuras muy pesadas, a alturas muy considerables, por medio de gatos que se van reposicionando sobre estructuras auxiliares desmontables, en la que se va soportando paulatinamente, cada vez a mayor altura, la estructura que se va elevando. Ejemplo de este sistema de elevación es el de la viga de una grúa pórtico como la de Astano, que, después de construirse completa en horizontal en tierra, con un peso cercano a las 2000 tn, se fue elevando sobre unos castilletes formados por elementos tubulares desmontables. A la par se van construyendo hacia arriba, por medio del montaje y soldadura sucesivos de bloques construidos en tierra, las patas soporte laterales, a las que finalmente se transfiere la viga horizontal del pórtico. El mismo sistema se puede utilizar para bajar dichas vigas, a fin de poder realizar trabajos de mantenimiento y modificaciones.

Interesante procedimiento de fabricación y elevación es el utilizado para construir los grandes tanques cilíndricos verticales que se utilizan para almacenamiento de hidrocarburos y otros productos, y que tiene, como se verá en el ejemplo que sigue, aplicación en la construcción naval o de unidades off-shore: Sobre una cimentación o base en el suelo, se colocan, alrededor de una circunferencia de mayor diámetro que el tanque, los apoyos del número necesario de gatos de gran carrera (normalmente hidráulicos, pero que también pueden ser de husillo). Ahora se empieza la construcción por la parte más alta del tanque, colocando en su posición vertical las chapas curvadas que forman el aro (virola) más alto (con el ancho o menor dimensión de las chapas en vertical), y se sueldan sus topes verticalmente. A continuación, se eleva la virola formada, por medio de los gatos, situados por afuera de ésta, a una altura suficiente que permita el armado y soldadura, por debajo, de una nueva virola, que, a su vez, se suelda en cornisa (horizontal) a la construida previamente. Ahora se eleva el conjunto de las dos virolas lo suficiente para construir, del mismo modo, una nueva virola por debajo, y así sucesivamente hasta el final.

Como ejemplo se podría mencionar, en líneas generales, el procedimiento llevado a cabo para construir en 1995 en Astano, con un sistema utilizado por primera vez en el mundo, la mayor antorcha cilíndrica (*flare stack*) diseñada hasta aquella fecha para la combustión de los gases de la planta de producción de crudo de una plataforma flotante (del tipo de embarcación con torreta de fondeo o *turret moored vessel*). Dicha antorcha cilíndrica, de chapa de acero con refractario interior, tenía un diámetro de 12 metros y una altura total de 30. Se construyó en el borde del muelle, cerca de la popa

de la unidad sobre la que iba a quedar instalada, en tres secciones horizontales con el fin de aumentar el frente de trabajo, dado el corto plazo de tiempo disponible, aunque se podría haber hecho en una sola sección. Como no había mucha seguridad en la resistencia que podría ofrecer el terreno, ya que éste se había formado con material de relleno hasta el borde del muelle, previa la toma de catas de dicho terreno, que, como se indicó antes, es lo preceptivo en casos similares, se excavó hasta la profundidad necesaria para preparar los encofrados de tres cimentaciones de hormigón armado, como vigas de forma circular, sobre pilotes clavados debajo, de 30 m de diámetro y alrededor de 1,5 m de profundidad cada una. La que tendría que soportar el mayor peso era de aproximadamente unos 40 cm de espesor. Para la elevación se dispusieron, durante unos 3 meses que duró la fabricación completa, sobre cada una de dos de dichas cimentaciones, 6 gatos con una carrera efectiva de 180 cm. La tercera cimentación quedó para la estructura soporte o polín de todo el conjunto. Al lado se dispuso un cilindro de volteo horizontal para curvar las planchas y máquinas de oxicorte para preparar los bordes, aparte de contenedores haciendo de pañoles y oficinas, como es normal en construcciones en las que casi todo lo necesario se fabrica a pie de obra. Las grandes vigas y puntales para soporte del conjunto, hechas de doble T y de chapa, se construyeron en taller. Una vez fabricadas las dos secciones cilíndricas, se montaron sobre la base o polín, para terminar en tierra la fabricación completa de la estructura, y el montaje (y pruebas), a modo de armamento anticipado, de, prácticamente, toda la tubería, aislamientos, refractario y accesorios diversos, de forma que cuando se izara el conjunto a bordo estuviera totalmente finalizado. El izado y colocación en su emplazamiento definitivo se realizó finalmente en unas pocas horas por medio de una grúa flotante (del tipo *shear leg*), quedando la base a una altura sobre el nivel del mar de unos 30 m, y por lo tanto la parte alta a unos 60 m, y pesando todo el conjunto unas 180 tn aproximadamente.

Otro interesante procedimiento es el de la, en su día, firma Kvaerner, para la construcción de tanques esféricos para gas natural licuado y para otros posibles usos, procedimiento que puede ser empleado tanto para buques como para instalaciones en tierra. Dadas las bajas temperaturas a las que se transporta el gas natural licuado, alrededor de 160º bajo 0º, el material necesario en este caso es chapa de acero inoxidable con un alto porcentaje de níquel, como se expone en el Capítulo 17 o chapa de aluminio de gran espesor.

El procedimiento consiste, en líneas generales, en construir la superficie esférica por rebanadas, anillos o, propiamente, zonas esféricas, situadas entre dos planos paralelos horizontales, comenzando por el casquete que cierra la esfera por la parte más alta.

Hecho el desarrollo (aproximado) de los trozos de chapa que van formando las correspondientes partes de la superficie esférica: casquetes o zonas (como se vio en el Capítulo 7) y conformados dichos trozos de doble curvatura, como partes que son de

la superficie esférica, se colocan sobre el plano horizontal más bajo del buque (techo de los espacios de la parte inferior) los trozos correspondientes al casquete más alto. Se sueldan y, una vez formado el casquete, se eleva éste por medio de cables desde una estructura situada en la parte alta, sujetándolo por cáncamos incorporados al casquete, hasta una posición tal que permita extender debajo los trozos conformados correspondientes a la rebanada que le sigue por debajo.

Se sueldan los trozos de esta rebanada y una vez formada, se sube hasta que haga tope con el casquete construido antes y se suelda al mismo. Ahora, por medio de cables como los citados antes, se eleva el conjunto hasta que quepan, por debajo, los trozos de una nueva rebanada. Se sueldan éstos y, una vez formada la rebanada, se eleva como antes para hacer tope de nuevo y ser soldada con el conjunto anteriormente formado.

Así se prosigue hasta que la última rebanada a formar e incorporar al conjunto que se está elevando es, justamente, el casquete inferior que cierra la esfera.

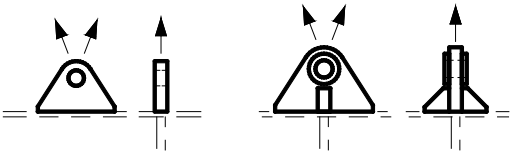
El proceso de sujeción y elevación de los conjuntos de superficie esférica, que se van formando, se simplifica en cierta forma una vez que se ha rebasado el ecuador de la esfera, cuando ya se pueda colocar, aunque sea lateralmente, gran parte del soportado de la esfera sobre la propia estructura del buque.

8.16 Estudio de las maniobras de elevación y transporte. Vigas de equilibrio y elementos auxiliares: cables, estrobos. Cáncamos y reforzado de los bloques para el izado y maniobra. Mantenimiento. Programación de los medios de elevación y de las maniobras. Pesado de estructuras y módulos mediante dinamómetros y mediante celdas de carga, extensometría

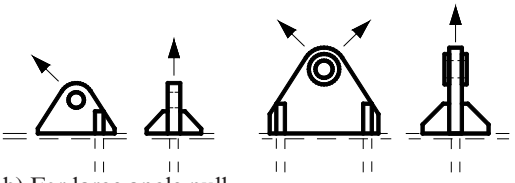
Como fácilmente puede entenderse, la elevación de las grandes y pesadas estructuras que se manejan en la construcción naval y oceánica, es quizá la maniobra de más responsabilidad y riesgo, tanto desde el punto de vista de seguridad del personal como del valor del material y del trabajo empleado.

Por ello, como se indicó más arriba, antes de realizar estas maniobras deben ser estudiadas, diseñadas y calculadas cuidadosamente en la oficina técnica, o en la de métodos de trabajo, dependiendo de quien tenga asignada dicha responsabilidad en el astillero, circulando al taller la adecuada información técnica plasmada en una cartilla de maniobra, en la que, previo cálculo con la precisión debida del peso y situación del centro de gravedad (para lo que se deben utilizar en todo lo posible procedimientos informátizados que toman los datos directamente del sistema CAD), deben figurar los

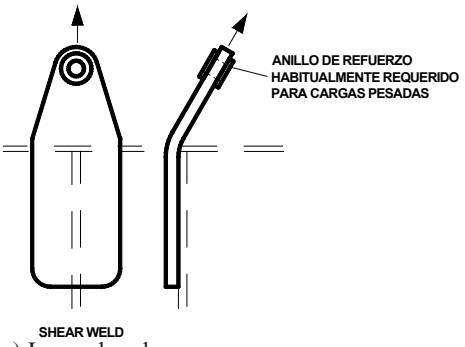
croquis e instrucciones necesarios, listados de cables de las menas correctas, dibujos con escantillones de los cáncamos y orejetas, e instrucciones para soldarlos, vigas de equilibrio a utilizar y situaciones de los cables de suspensión en las mismas, etc. Uno de los cálculos y diseños a realizar es el de los cáncamos y orejetas necesarios para la sujeción de los medios de elevación y de su soldadura a los bloques, y teniendo en cuenta, además, la reglamentación que existe sobre el particular, que entre otras normas establece coeficientes de seguridad obligatorios. Convendría tener normalizados, para cada factoría, la forma y dimensiones de los cáncamos, así como de la soldadura de éstos y su inspección y pruebas y otros detalles, a fin de poder escoger rápidamente el tipo adecuado, una vez calculados los esfuerzos que han de soportar.



a) For small angle pull



b) For large angle pull



c) Lapped pad

Fig. 8.31 Orejetas para elevaciones simples.

Comprobación que se ha de realizar es si hay que añadir algún reforzado adicional a la estructura, o si es suficiente con el propio reforzado intrínseco de la misma. Esta es otra de las consideraciones que conviene realizar al principio del diseño, *cuando se establece la estrategia constructiva y la división en bloques*, con el fin de tratar que la

propia estructura sirva, si ello es posible sin menoscabo del proyecto del buque en su conjunto, para evitar el coste de estructuras auxiliares adicionales.

El mantenimiento de los medios de elevación y herramental auxiliar de cierta responsabilidad, como cables y otro, ha de llevarse a cabo escrupulosamente, así como realizar las pruebas periódicas y disponer de los certificados actualizados que exija la legislación.

Conviene recordar que las grúas más importantes de un astillero constituyen a diario, o muy frecuentemente, una herramienta muy codiciada y solicitada por varios grupos de trabajo a la vez. A fin de evitar que se lleguen a convertir en verdaderos cuellos de botella y argumentos de conflicto, hay que realizar una programación esmerada de su utilización, mejor con varios días, e incluso semanas de antelación, programa que además, diariamente a primera hora, o a última hora para el día siguiente, tendrá que ser corroborado de común acuerdo o, en caso contrario, establecido bajo el criterio del jefe.

Verificación del peso de estructuras y módulos: Cuando se requiere llevar el *control de pesos* a lo largo de la construcción con gran precisión, como puede ser en algunos buques de guerra y otros especiales, así como para unidades off-shore, en las que frecuentemente la facturación puede haberse acordado en base a €/Kg (ó $/Kg) o por determinadas razones técnicas o por requerimientos del armador o cliente estipulados en el contrato, los pesos y situación del centro de gravedad, calculados en la oficina, en base a datos de plano y de otras fuentes, pueden tener que irse comprobando en la realidad a medida que se monta o embarca un nuevo peso, o se carga un módulo o estructura para su transporte off-shore. Esto resulta farragoso y costoso, y se debe estudiar detenidamente lo que puede implicar en la realidad y valorar correctamente su coste antes de comprometerse contractualmente a realizarlo.

Se puede utilizar el procedimiento de pesado, al mismo tiempo que se elevan las estructuras para su montaje a bordo, por medio de dinamómetros calibrados situados colgados de los elementos de izado, lo cual permite también determinar, por cálculo, la situación en el plano horizontal del centro de gravedad si se conoce la situación y el valor de cada carga. La determinación en altura del centro de gravedad exige arriar la misma, cogerla por otros puntos, lo cual llevaría a un ángulo con la vertical diferente del de la izada anterior, con lo que, trazando ambas verticales, y con el auxilio de cálculos se pueden determinar las ordenadas del centro de gravedad de cada peso, y, por integración de todos, el peso total, y situación del centro de gravedad del conjunto montado.

Sin embargo, para grandes pesos y requiriéndose gran precisión, como ocurre en la construcción off-shore, el procedimiento de los dinamómetros no es el utilizado, re-

curriéndose entonces al pesado por medio de *celdas de carga*, para lo cual, desde el principio o desde una fecha temprana de la construcción, hay que prever unos pocos puntos en que se apoyará la estructura (módulo, bloque o sección) en los momentos en que, a lo largo de dicha construcción, se hayan de realizar pesadas y por supuesto al final, antes de la carga para su transporte. Las celdas de carga tienen forma de cilindros de muy poca altura y funcionan en base a principios de extensometría óhmica, pudiendo obtenerse resultados muy precisos. Los puntos de apoyo de las mismas tienen que soportar firmemente grandes pesos y por lo tanto estar muy bien cimentados, denominándose *puntos duros (o hard points)*. Para realizar estas pesadas se recurre normalmente a firmas reconocidas especializadas, que realizan o comprueban el diseño de la maniobra y disponen de todo el herramental y programas de cálculo necesarios.

Capítulo 9

Preparación, corte y elaborado de acero

9.1 Preparación del acero

Es el conjunto de operaciones por las que se aplana, endereza, desoxida e imprima el acero antes de su entrada en el taller.

Es indispensable asegurar la fluidez y continuidad de paso de las chapas de acero, tanto por las máquinas aplanadoras como por las de preparación de su superficie mediante desoxidación e imprimación, por lo que estas máquinas suelen estar trabajando siempre a plena utilización. Estas máquinas se instalan en el exterior del taller de *herreros de ribera* protegidas por cobertizos.

9.2 Aplanado de planchas

Se utiliza para eliminar los defectos de las planchas debidos a deformaciones producidas en la acería (enfriamientos desiguales) o en la manipulación y transporte del material. Las planchas que entran en el taller han de estar totalmente planas y los perfiles deben estar derechos y con sus alas planas.

Consiste en pasarlas por dos series de rodillos que las comprimen fuertemente, efectuando la operación en frío por medio de máquinas muy robustas denominadas *aplanadoras*. El aplanado es tanto más difícil cuanto más fina es la plancha.

Una de las características más importantes para la adquisición de estas máquinas es la anchura máxima de plancha que puede aplanarse, que puede llegar a ser, muy normalmente de hasta 2,5 m, llegando incluso hasta 4 m.

Debe ser capaz de aplanar la chapa en una sola pasada en toda su anchura y espesor. Conviene que los cilindros superiores e inferiores estén accionados independientemente. La precisión en el aplanado se logra evitando toda flexión en los cilindros para lo que,

además de su gran rigidez, van apoyados en otros rodillos dorsales que impiden toda deformación por efecto de la alta compresión a que están sometidos.

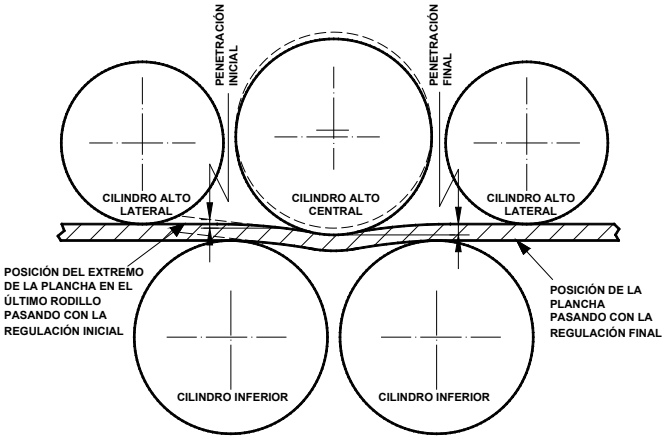


Fig. 9.1 Rodillos de aplanado de planchas.

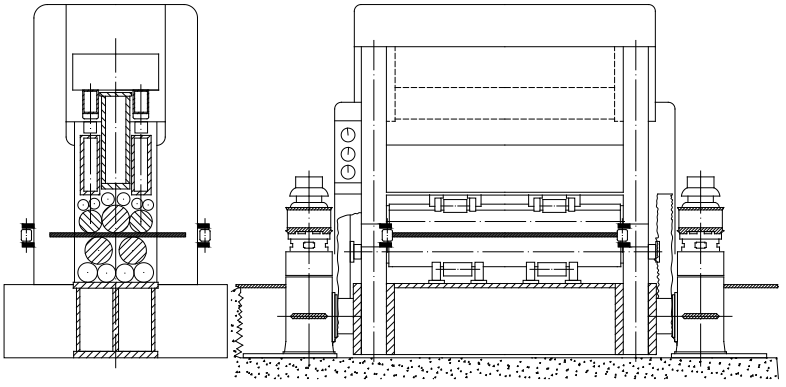


Fig. 9.2 Aplanadora de planchas.

La potencia de aplanado debe estar en consonancia con los mayores espesores que en circunstancias normales se van a utilizar en el astillero (40 mm en astilleros para buques grandes), y la velocidad debe ser la máxima posible para aplanar la chapa en una sola pasada (9 m/min, aproximadamente).

Al ser un procedimiento en frío, las planchas que se aplanan, que tenían deformaciones previas muy acusadas, pueden quedar con alteraciones en sus propiedades mecánicas, por lo que es recomendable que no se usen en estructuras de responsabilidad o sometidas a esfuerzos límite.

Análogamente, los perfiles con deformaciones se enderezan en prensas provistas del utillaje adecuado.

9.3 Tratamiento para la protección del acero

Las chapas pueden haber acumulado en su superficie cascarilla de laminación, grasa, suciedad e incluso puntos de oxidación.

Antes, el tiempo de construcción del buque era tan dilatado que daba tiempo a que progresara lo suficiente el proceso de oxidación para que la cascarilla de laminación se pudiera desprender con un simple cepillado de la superficie, antes de recibir ésta la *imprimación* previa a la entrada en taller.

Hoy en día, la duración de la estancia del acero en el astillero, antes de sufrir el proceso de elaboración y fabricación de las estructuras, es considerablemente menor, por lo que el óxido, que aún no lleva mucho tiempo formándose, está fuertemente adherido a la superficie, y, por tanto, para ser eliminado, dicha superficie ha de recibir un fuerte tratamiento de limpieza y preparación por medios mecánicos, y en ciertos casos, químicos, tal como se describe a continuación.

Estos tratamientos son muy variados y pueden aplicarse en distintos grados (La norma sueca SA: 2½, o chorreado con granalla hasta *casi metal blanco* es el más usual). El coste de la aplicación dependerá del tipo y grado del tratamiento, por lo que es necesario indicarlo con claridad en la especificación, para evitar problemas posteriores con el armador.

Los tratamientos de limpieza de las superficies de acero pueden ser aplicados sobre el material antes de su entrada en el taller.

Los procedimientos de limpieza y preparación más utilizados para el acero son:

a) *Mecánicos por rascado y cepillado*: son los primeros que fueron utilizados, y los más elementales. Entre ellos contamos con: la piqueta, el cepillo, el cepillo de cerdas de alambre, los "brushes" de cerdas, y derivados de ellos. También, aunque más modernas, las piquetas neumáticas (proyectan sobre la planchas agujas terminadas en puntas no muy agudas), y los cepillos metálicos rotativos de tipo eléctrico o neumático.

b) *Llameado*: se aplica utilizando quemadores especiales con varias boquillas. Se funda en la diferencia entre los coeficientes de dilatación de la cascarilla y del acero que, al enfriarse, da lugar a que la primera se desprenda. En su aplicación deben evitarse los procesos de cambio térmico de la estructura del metal.

c) *Chorreado*: consiste en proyectar a gran velocidad partículas abrasivas sobre la superficie del acero. Es actualmente el más usado. El material abrasivo puede estar constituido por arena de cuarzo, granallas metálicas de distinta naturaleza, normalmente de acero, o mezcla de diversos productos.

Antes de nada, hay que indicar que el aire comprimido suele arrastrar humedad que facilita la oxidación, por lo que el aire utilizado para el chorreado debe sufrir un tratamiento de eliminación de humedad.

En el chorreado por arena, el operario dirige la boquilla de la manguera a corta distancia de la superficie a tratar. Esto da lugar a que se levante gran cantidad de polvo, dañino en su respiración.

El chorreado por granalla se aplica del mismo modo que el anterior, con una presión de aire comprimido de 5 a 6 kg/cm^2. También levanta nubes de polvo que, además de nocivas, son erosivas para la maquinaria circundante.

Debido a esto se emplean las granalladoras automáticas, que se suelen instalar en el recorrido del acero, entre el Parque de Materiales y el Taller de Herreros de Ribera, dentro de una cámara prácticamente estanca, en la que, mediante extractores, se evita que el polvo salga al exterior. La granalla se lanza por medio de turbinas a 150-170 m/sg. y la entrada y salida de la plancha en la cámara están tapadas con cierres de cortina de goma. La granalla se recircula para, una vez separado el óxido, ser usada nuevamente. El rendimiento de estas máquinas puede ser hasta de 100 a 200 m^2/h y pueden ser horizontales o verticales. En la salida de las horizontales hay generalmente sopladores de aire para eliminar restos de polvo. Además, las granalladoras deben poder ajustarse al ancho de chapa que pasa en cada momento

Toda esta tarea de preparación de la superficie del material se perdería por oxidación si no se recubriera inmediatamente por una capa protectora de imprimación o *shop primer*, para proteger al material durante el tiempo que dura su elaboración y la fabricación de las estructuras o bloques de acero. Dicha capa puede aplicarse manual o automáticamente, en ambos casos con pistolas de pulverizar, sin aire.

En las máquinas automáticas las pistolas se montan sobre un carro que recorre transversalmente la plancha, regulándose automáticamente la altura de las toberas en función de los espesores de chapa. Estas unidades de pintado se instalan en cámaras cerradas y con extractores. Una vez pintadas por ambas caras suelen pasar por una zona de secado mediante aire caliente. Este sistema de pintado protege el material hasta el momento del pintado final. *En las pinturas hay que cuidar su composición para que las operaciones posteriores (corte y soldadura) con altas temperaturas no desprendan humos tóxicos o nocivos.*

d) *Desoxidación por procesos químicos*: en construcción naval, este sistema se suele restringir al galvanizado. Es particularmente efectivo en chapa fina. El proceso consta de las siguientes fases:

   1. Decapado en baño ácido.
   2. Baño de lavado con agua.

3. Neutralización de residuos ácidos con álcali.
4. Otro baño de lavado con agua.
5. Pasivado.

El material se limpia antes de la fase 1, la cual consiste en la inmersión en una cuba con solución acuosa de ácido (sulfúrico o clorhídrico al 5-20%) a unos 80º C, manteniendo el material desde 20 minutos a 2 horas. El lavado se efectúa por medio de lanzas con agua. La neutralización es por sosa al 5%, proyectada también por medio de lanzas. El pasivado consiste en la aplicación de una capa muy fina de una solución pasivadora, normalmente compuesta por ácido fosfórico más un aceite de secado. Hay que mencionar que antes de soldar es necesario (en las chapas tratadas de esta manera) eliminar la capa fosfatada que produciría efectos perjudiciales sobre la calidad del metal fundido.

9.4 Tratamiento superficial del acero inoxidable

Se recuerda que un tratamiento similar de decapado por baño ácido y pasivado debe hacerse sobre las superficies de acero inoxidable de los elementos con los que se han realizado operaciones de corte con aplicación de calor, y soldadura. Este tratamiento se especifica para los conjuntos que hayan de fabricarse de chapa y perfil de acero inoxidable mediante corte y soldadura, como tratamiento superficial después de realizar dichos trabajos de fabricación.

Ha de tenerse *precaución especial en que los materiales que existan de acero inoxidable (chapas y perfiles) estén almacenados en lugar aparte y no entren en contacto con las chapas y perfiles de acero al carbono*, so pena de iniciarse la corrosión del acero inoxidable en las zonas que hayan rozado con el acero al carbono. *Por otra parte, las herramientas utilizadas para figurar chapas de acero inoxidable, como son los cilindros y las herramientas de las prensas, tienen que estar construidas o forradas con acero inoxidable.*

9.5 El taller de herreros de ribera o de elaborado. Procesos del taller de elaborado

Se denomina taller de herreros de ribera, o de elaborado de acero, al conjunto de los talleres en donde se elaboran o labran las planchas y perfiles con los que se construyen los buques. Es importante disponer los talleres racionalmente, reduciendo al mínimo los movimientos de materiales. Una primera subdivisión consistirá en diferenciar los procesos de chapas de los de perfiles.

Para los procesos con chapas, podemos clasificarlas en:

— Planchas rectangulares planas.

— Planchas rectangulares curvadas.

— Planchas perfiladas planas, o con bordes cortados siguiendo un perfil de forma generalmente curva (para varengas, bulárcamas, mamparos, etc.)

— Planchas perfiladas curvas o con superficie con forma (generalmente del forro).

Para el procesado de perfiles podemos clasificarlos en:

— Perfiles pesados y medios que han de enderezarse o de tomar una ligera curvatura (brusca) y posiblemente llevar escotaduras.

— Perfiles pesados y medios que han de curvarse de forma notable, y pueden también tener escotaduras.

— Perfiles ligeros cortos y pletinas que sólo han de cortarse a la longitud deseada.

— Llantas de ala que se han de curvar.

La práctica aconseja que las planchas rectangulares para y cortar recantear justifican por sí solas una línea del taller.

A las planchas rectangulares que se han de curvar se les suele asignar otra línea paralela a la anterior (con cilindros y prensas).

Las planchas de las que se han de obtener diferentes piezas por oxicorte o por corte con plasma suelen ocupar una tercera línea, donde se colocan las máquinas de perfilar por oxicorte y corte con plasma.

Los perfiles que vienen fabricados del exterior, como son las llantas o seccione con bulbo, suelen labrarse todos en una sola línea de producción, en la que se dispone toda la maquinaria, empezando por aquella que abastece a procesos comunes.

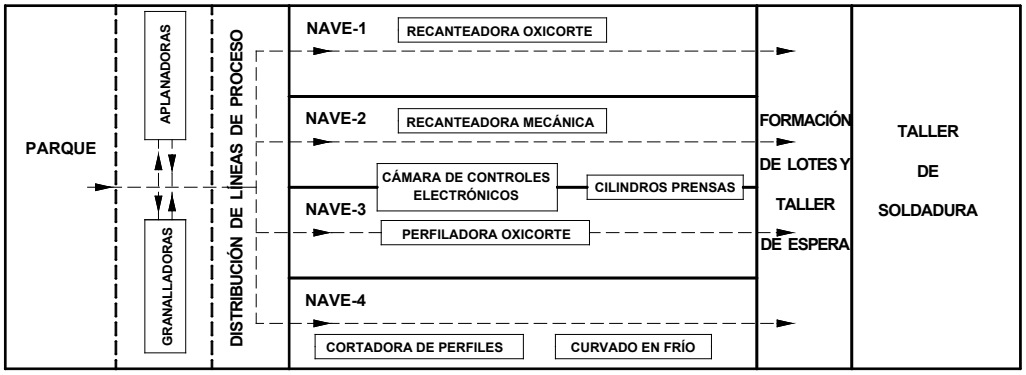


Fig. 9.3 Disposición esquemática del taller de elaborado de acero (de herreros de ribera).

Para las operaciones citadas, se ha de considerar la disponibilidad de espacio, talleres ya existentes, posibles nuevos talleres necesarios para nuevos contratos y tipos de buques a construir, etc. Es conveniente disponer también de algún margen de espacio para que, en circunstancias anormales como puede ser la de reparación imprevista de una de las máquinas principales, o una punta desacostumbrada de carga de trabajo, pudiera montarse un *trabajadero auxiliar temporal*, con máquinas de corte supletorias, que, sin grandes trastornos en el flujo, permita suplir las eventuales deficiencias.

En las cabeceras de cada línea se suele colocar el material que se va a trabajar y, en cuanto a la disposición de las máquinas, hay que considerar los espacios necesarios para los almacenamientos intermedios de espera entre operaciones sucesivas. Al final de las líneas de producción, tendremos una *zona transversal de reagrupamiento de lotes para la prefabricación de los distintos bloques*.

9.6 Máquinas de corte

Con las máquinas de corte se hace, normalmente a la par, o en secuencia inmediata, *el corte y el recanteo, entendiendo por esto último un buen acabado, de los cantos de las planchas y de los perfiles, así como la preparación de los bordes para la soldadura*, en muy diferentes formas, según requiera esta última, como se ve en la figura que sigue.

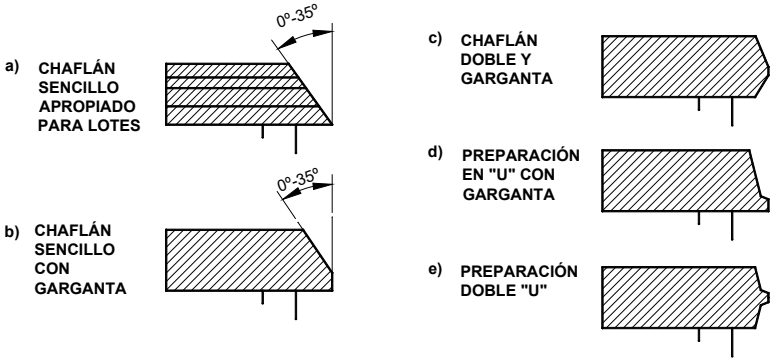


Fig. 9.4 Preparaciones típicas de bordes para soldadura.

Para realizar el proceso de corte se utilizan máquinas muy variadas, como las que se mencionan a continuación.

9.7 Máquinas de corte y recanteo mecánico

Una alternativa para el corte de chapas es hacerlo con cizallas mecánicas, alternativas o rotativas, habitual hace años. Después del corte había que efectuar normalmente el recanteo o reparación de bordes de las chapas. En el caso de ser rotativas, el carro y el disco de la máquina han de ser de gran robustez y desplazarse con gran ajuste para conseguir un corte preciso.

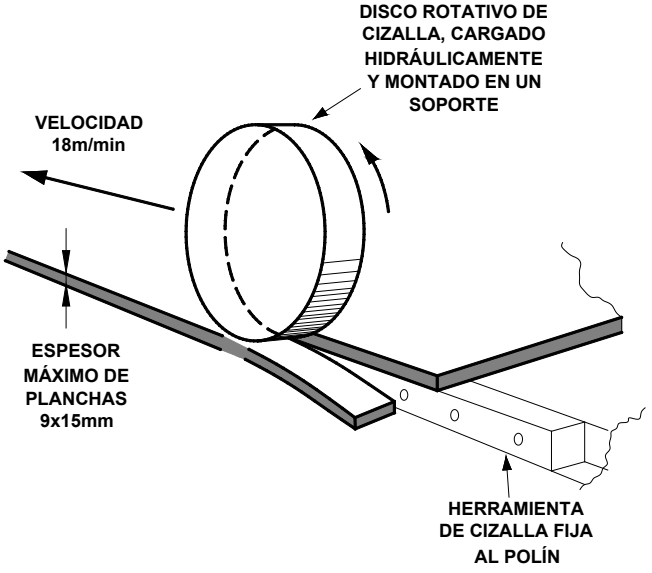


Fig. 9.5 Corte de chapas con cizalla rotativa.

Las máquinas de corte mecánico actuales, cuyo uso ha quedado muy reducido, cuentan con medios neumáticos o hidráulicos para fijar y liberar la plancha. Generalmente se usan para *chapa fina* o de *poco espesor* y la longitud de la chapa a cortar depende de la longitud de la máquina.

9.7.1 Guillotinas y cizallas

Efectúan el corte de la plancha por cizalladura. Se denomina guillotinas a las máquinas con hojas largas (entre 1,5 y 5 m) y cizallas, a las que la hoja es menor (entre 0,2 y 0,6 m). Su sistema de trabajo se aprecia en la figura que sigue:

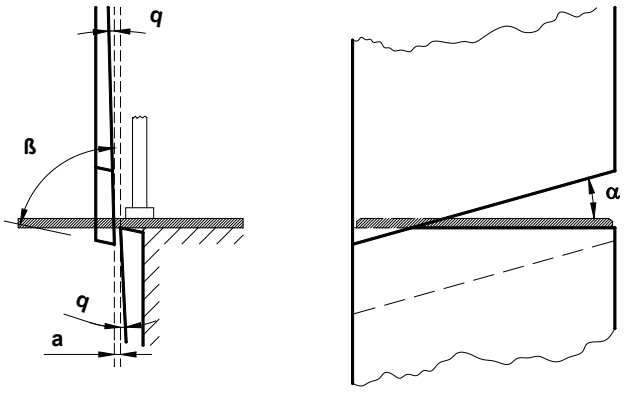


Fig. 9.6 Modo de trabajo de guillotinas y cizallas.

El un ángulo α está comprendido entre 12º y 14º. El huelgo "a", entre hojas, no excede de 0,4 mm. Pues, si no, se producen grandes rebarbas.

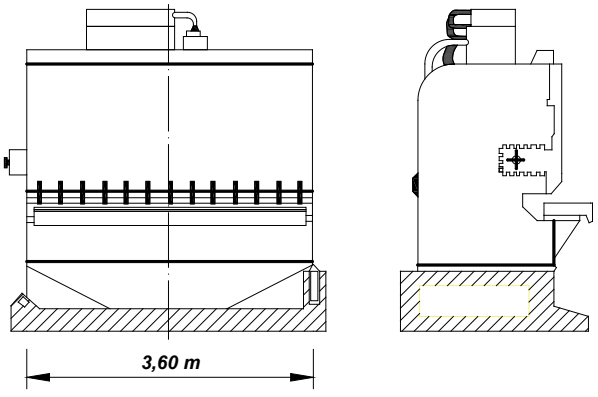


Fig. 9.7 Guillotina.

9.7.2 Prensas de escotar

Es frecuente que haya que realizar escotaduras rectangulares o circulares como en la figura que sigue:

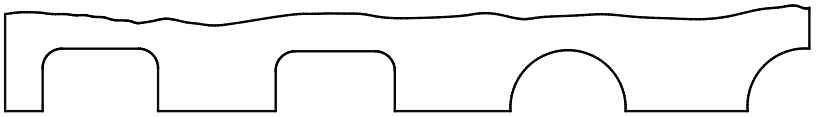


Fig. 9.8 Ejemplo de escotes realizados sobre una plancha.

fundamentalmente en almas de perfiles. En las chapas, los escotes sueles realizarse en la máquina de oxicorte, aunque en perfiles pueden utilizarse prensas como las que sigue que son más rápidas que la máquina de oxicorte.

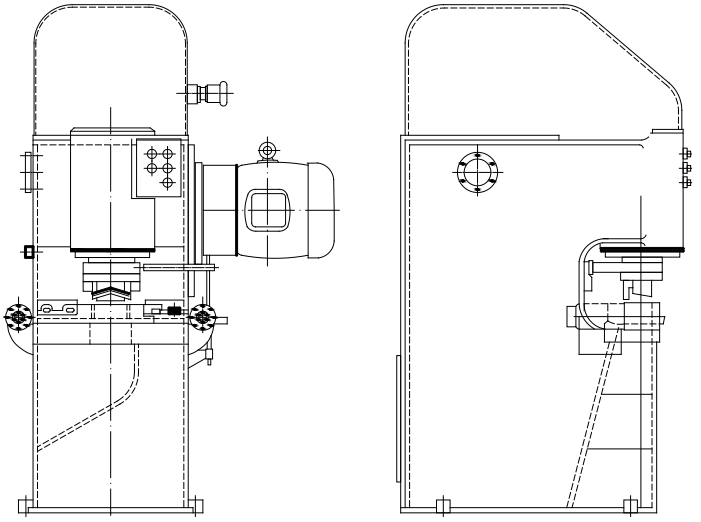


Fig. 9.9 Prensa hidráulica de escotar.

9.7.3 Otras máquinas de corte mecánico

Una es aquella que utiliza como elemento de corte, en lugar de uno, dos discos que giran en sentido contrario, mientras se hace avanzar la chapa entre ellos.

Otra, para el corte de chapa fina, es del tipo vibratorio. La chapa avanza sobre una cuchilla inferior fija, mientras que sobre ella desciende una cuchilla móvil, con movimiento alternativo de frecuencia entre 1.000 y 2.000 golpes por minuto.

9.8 Corte con gas: oxicorte

Básicamente es el resultado de una reacción termoquímica que tiene lugar en el caso del hierro y las aleaciones de hierro. Éstos se calientan a una temperatura a la cual el hierro se combina rápidamente con el oxígeno, si éste se encuentra en una atmósfera muy pura.

El proceso aplicado para cortar chapas y perfiles de acero es el siguiente: Una pequeña superficie del metal se calienta hasta una determinada temperatura, y a continuación se lanza sobre ella un chorro de oxígeno de pequeño diámetro. El hierro se oxida así a lo largo de un estrecho surco, y el calor desprendido en la combustión favorece la fusión del óxido formado, así como del metal, que son expulsados por la energía cinética del chorro de oxígeno. Va quedando un estrecho surco de bordes paralelos a lo largo del corte. Según se sigue con el proceso es necesario mantener la llama de precalentamiento puesto que el calor producido por la combustión del hierro en el frente del corte no se desprende instantáneamente, y tiende a ser liberado en la parte baja del surco. Los elementos de aleación se disuelven en pequeña proporción en la escoria y son eliminados al progresar el corte. No obstante, si están presentes en gran proporción, especialmente el cromo, retardarán y aún llegarán a impedir el corte, debido a que, o bien disminuyen la fluidez de la escoria, o bien producen una lámina tenaz de óxido sobre su superficie que impide la posterior oxidación del hierro. Esto puede ser solucionado introduciendo un polvo rico en hierro en el área de corte, proceso que frecuentemente se denomina *oxicorte con polvo.* Este proceso puede también emplearse para cortar aceros inoxidables con un alto contenido en cromo.

En cuanto al combustible, se puede usar acetileno junto con oxígeno para proporcionar la llama de precalentamiento (corte oxiacetilénico), aunque se usan también otros gases como el propano o el hidrógeno. Este último es muy apropiado para trabajos submarinos de corte.

El equipo usado para el oxicorte, aparte del soplete y de la boquilla de corte, es similar al utilizado en la soldadura con gas. El soplete tiene válvulas para controlar la proporción de acetileno y oxígeno suministrados para la llama de precalentamiento, y tiene una válvula aparte para controlar el chorro de oxígeno de corte.

Para su uso en los astilleros, el corte oxiacetilénico ha sido automatizado en alto grado. Pero además, el corte manual con soplete oxiacetilénico se usa masivamente para un sinfín de trabajos en el elaborado y repasado de piezas de chapa, perfiles, tuberías de acero, etc. así como durante la prefabricación y el montaje de los bloques.

9.8.1 Sopletes manuales

Es la aplicación tradicional de este método. El corte es imperfecto y de bajo rendimiento, pero con la ventaja de su gran versatilidad, agilidad y movilidad. Para evitar el problema del "pulso" del operario, se han ideado diversos sistemas como el uso de ruedecillas para la conducción del soplete.

En muchos trabajos es insustituible como ocurre en posiciones en las que no es factible el uso de otro método, en el corte de puentes soldados sobre las chapas, etc.

9.8.2 Máquinas de oxicorte

Deben conseguir que no exista operación posterior de recanteo. Para ello es necesario:

— Precisión en el movimiento del soplete y regularidad en su avance.

— Mantenimiento de la distancia correcta de la boquilla a la plancha.

— Regulación precisa de presión y pureza de los gases.

— Evitar grasa, suciedad, etc., de la superficie a cortar.

Dentro de las máquinas de oxicorte podemos mencionar:

a) *Tractor de oxicorte*: consiste en un carrito o tractor provisto de ruedas guiadas sobre unos carriles y accionadas por un motor eléctrico que le proporciona un movimiento de avance a velocidad constante. Sobre el tractor se dispone un soporte de fijación del soplete o sopletes que a su vez es regulable en posición (altura a la chapa, ángulo de inclinación, etc.).

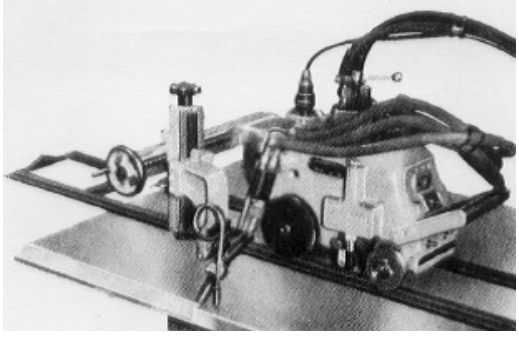


Fig. 9.10 Oxicorte con boquilla adicional de precalentamiento.

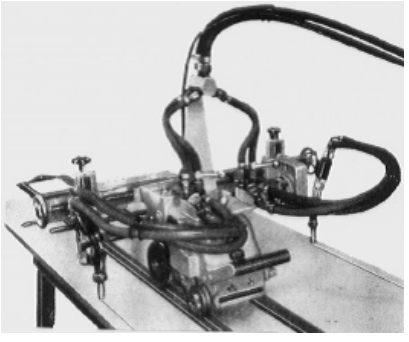


Fig. 9.11 Realización simultánea de dos cortes mediante dos montajes de soplete.

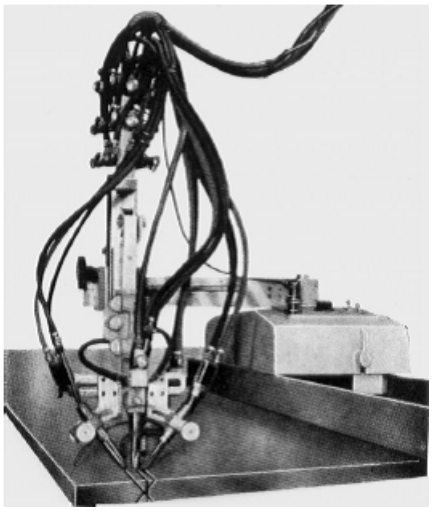


Fig. 9.12 Preparación de cantos en doble bisel y garganta mediante el montaje de tres sopletes en el mismo tractor.

En las figuras pueden apreciarse varios tractores con los sopletes, permitiendo la preparación de cantos (incluso en doble bisel) con dos o tres sopletes para cada canto. Dependiendo de la forma de las guías (rectas, curvas), así podrán ser los perfiles de los cortes que se pueden realizar.

b) *Máquinas de oxicorte para recanteo rectangular*: consisten en una mesa (hecha normalmente con sobrantes de chapa y de perfiles del taller, formando un plano horizontal lo más perfecto posible, sobre la que se coloca la plancha. Por ambos lados y paralelos entre sí a la mayor dimensión de la plancha, dispone de dos carriles sólidamente anclados, alineados y en un plano, sobre los que se desliza el puente sobre el que van instalados los cabezales de corte, que tienen movimiento de desplazamiento lateral. *Cada cabezal de corte suele llevar tres sopletes, para realizar a la vez la preparación de bordes.*

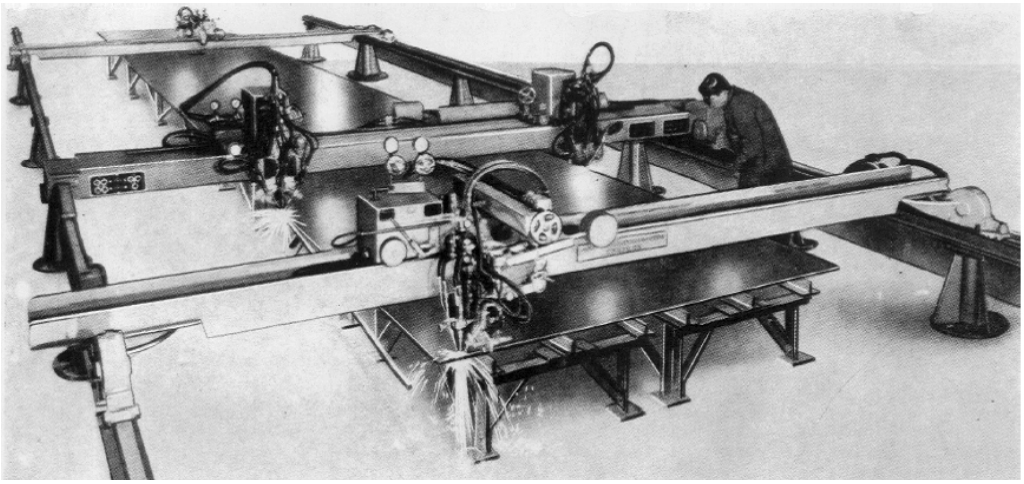


Fig. 9.13 Máquina de oxicorte para recanteo rectangular.

Si estas máquinas sólo se empleasen para el recanteo de chapas rectangulares tendrían dos puentes más: uno para el recanteo de cabeza y otro para el opuesto. Así se disminuiría el tiempo de esta operación. Pueden cortarse chapas de 100 mm de espesor, con una precisión del orden de 0,2 mm en 9 m. Los cabezales de corte en estas máquinas son flotantes y utilizan "palpadores" para mantener constante su distancia a la chapa. Estos palpadores pueden ser de testigo o de sonda capacitiva.

c) *Máquinas de oxicorte para perfilar*: Se usan para el corte de los bordes con figura de las chapas que así lo requieren. Van provistas de uno o más cabezales de corte con varios sopletes cada uno (para una completa preparación del canto) así como de una unidad lectora desde la que se controlan los movimientos de los cabezales.

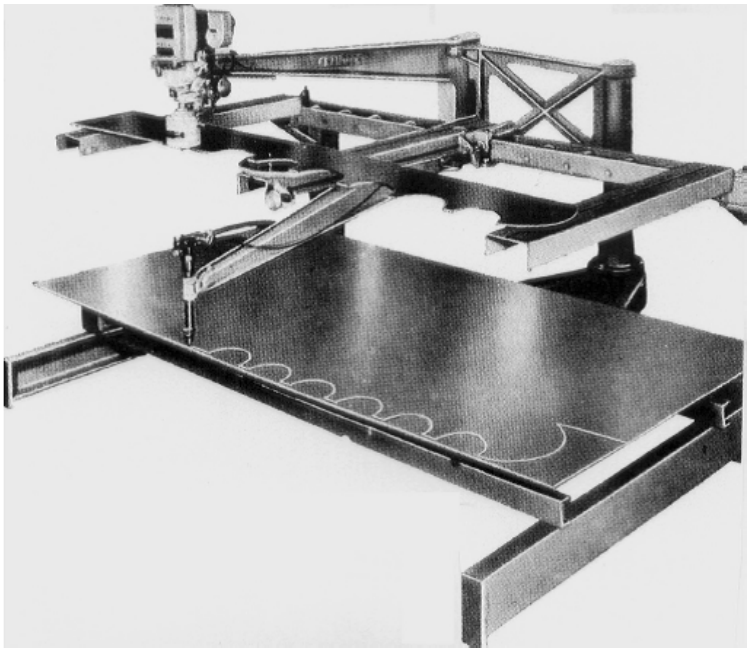


Fig. 9.14 Máquina de oxicorte para perfilar.

Inicialmente estaban constituidas por una ruedecilla que se guiaba manualmente, según el dibujo y, a su vez, este movimiento arrastraba los cabezales de corte. Otro sistema utilizaba un palpador magnético que seguía el perfil de una plantilla metálica.

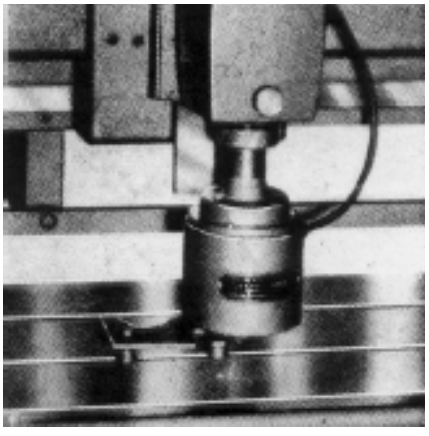


Fig. 9.15 Guiado manual.

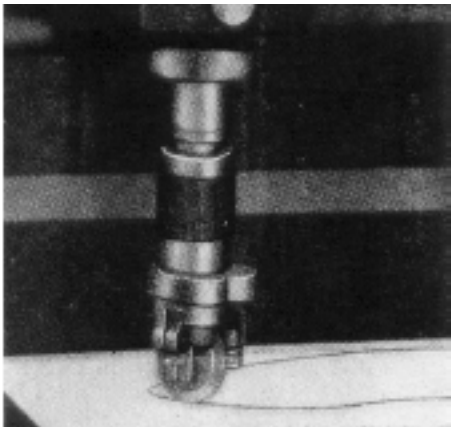


Fig. 9.16 Guiado por plantilla.

Puede verse, en la figura que sigue, un puente en el que van montados varios cabezales de corte que pueden labrar simultáneamente varias piezas iguales.

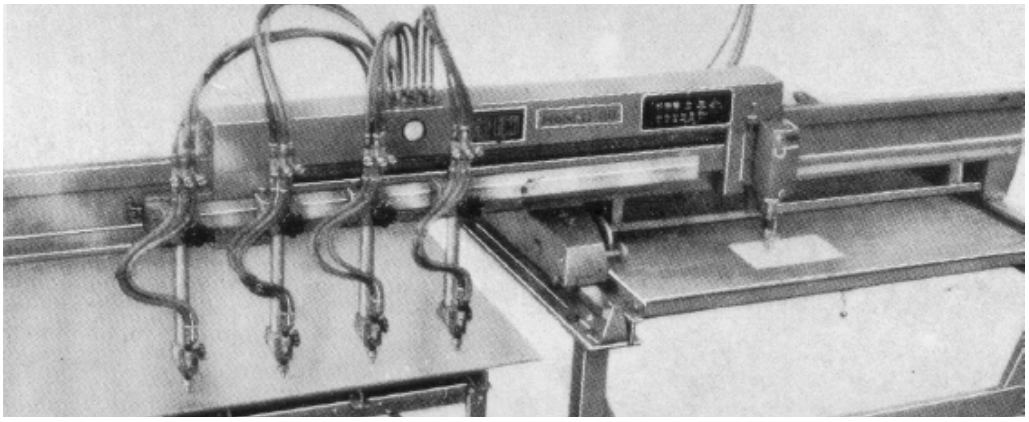


Fig. 9.17 Máquina con varios cabezales.

El siguiente paso fueron las máquinas equipadas con *lectura óptica*, análogas a las anteriores, en las que un equipo electrónico combina las señales que controlan la velocidad de los movimientos longitudinal y transversal para que la velocidad resultante de avance sea constante. Las unidades lectoras proyectan un rayo de luz sobre el dibujo, recibiendo la luz reflejada una célula fotoeléctrica (o dos), que activa las señales eléctricas que controlan los movimientos de los servomotores, así como la variación de escalas del dibujo a la chapa. El papel del plano del dibujo ha de ser indeformable y muy plano, y la cabina de lectura estar libre de polvo, vibraciones, etc.

El último paso fueron las máquinas por *control numérico*, en las que todo el trabajo está automatizado y dirigido por programas que al principio estaban grabados sobre cintas perforadas, y después sobre soporte magnético. Últimamente, la información ya puede reclamarse y recibirse por cable desde la unidad de proceso del ordenador. La velocidad de corte es del orden de 1,5 m/min. Y en vacío de 6 m/min.

Algunas de estas máquinas incorporaban también un dispositivo para marcar las piezas con granete o pintura especial.

En las máquinas de corte utilizadas actualmente, como en las de plasma que se estudian a continuación, el marcado puede hacerse automáticamente con la máquina, con mayor precisión, mediante la fusión de polvo de cinc, que deja un surco fino sobre la propia plancha con el que se marcan no sólo contornos, sino también cotas numéricas, marcas e identificaciones alfanuméricas, etc.

9.9 Corte con plasma

9.9.1 Fundamento del corte con plasma

El corte con plasma es diferente al oxicorte. Este se produce como consecuencia de la combustión del acero previamente calentado en una atmósfera de oxígeno puro mientras que el corte con plasma se realiza a las altísimas temperaturas que se generan dentro del plasma, de hasta 50.000º C, que funden casi instantáneamente y llegan a volatilizar el material. El plasma se produce cuando un chorro de gas inicialmente frío se calienta con un arco eléctrico y se le hace pasar por un orificio estrecho para reducir su sección. Se forma de esta manera un conductor eléctrico gaseoso de alta densidad de energía, formado por una mezcla de electrones libres, iones positivos, átomos disociados y moléculas del gas, denominado plasma.

Este chorro de gas-plasma es conducido eléctricamente desde el cátodo de tungsteno o boquilla del electrodo hasta la pieza a cortar, conectada eléctricamente para que haga de ánodo. Como la pieza está fría, parte del gas ionizado se desioniza y transfiere su energía en forma de calor al material a cortar. El corte se produce como consecuencia de la alta aportación energética confinada en una reducida sección a través de un chorro de gas-plasma a alta velocidad, aproximadamente la del sonido, que al chocar con la pieza a cortar expulsa rápidamente el material fundido y volatilizado produciendo un corte limpio.

Podemos describir la configuración del gas-plasma diferenciando dos zonas: la envolvente y la central.

La zona envolvente es una capa anular fría, sin ionizar y en contacto con las paredes de la boquilla, con las misiones de aislarla eléctricamente de la zona interior del chorro, confinar el arco a la región de la columna-plasma y contribuir a la refrigeración de la boquilla.

La zona central tiene dos capas, una periférica constituida por un anillo de gas caliente no suficientemente conductor y la columna de plasma que es donde el gas presenta la más alta conductividad térmica, la mayor densidad de partículas ionizadas y las más altas temperaturas, entre 10.000 y 30.000º C. Ello es debido a que el campo magnético producido por la corriente eléctrica del plasma comprime la columna del arco, aumentando su resistencia eléctrica y, por consiguiente, el número de choques entre sus partículas.

Las variables del proceso son:

1) El gas o gases empleados.
2) El caudal y la presión de los mismos.
3) Distancia boquilla-pieza.
4) Velocidad de corte.
5) Energía empleada o intensidad del arco.

Respecto a los gases utilizados, el nitrógeno es el que mejor se comporta respecto a la calidad del corte. La intensidad y la velocidad son las variables que hay que ajustar para cada material y espesor. En los equipos modernos, la presión de los gases y la distancia de la boquilla a la pieza pueden mantenerse constantes.

Se puede controlar la temperatura en el plasma, pues ésta crece con el producto V x I (Tensión x Intensidad). Como la tensión del arco crece con el mayor o menor estrangulamiento de la columna, y con el aumento de la presión y del caudal de los gases aportados, podremos conseguir temperaturas elevadas, modificando los factores antes descritos. Otra característica de este arco-plasma es la estabilidad direccional de la columna, que se mantiene sin cambiar de dirección frente a corrientes de aire, campos magnéticos, etc. debido a que el haz de gases sale de la boquilla a velocidades sónicas que tienden a mantener la columna de plasma sin apenas divergencia, hasta que se llega a la pieza a cortar.

Existen dos tipos de arco-plasma, el no transferido y el transferido.

El *arco-plasma no transferido* se produce cuando el arco salta entre el electrodo y la boquilla, conectada ésta al polo positivo de la fuente de corriente a través de una resistencia eléctrica. Para conseguir hacer saltar el arco-plasma es necesario disminuir la distancia entre la boquilla y la pieza.

Este tipo de arco, esquematizado en la Fig. 9.18, es el que se suele emplear en soldadura, como en su momento tendremos ocasión de ver.

El *arco-plasma transferido* se origina estableciendo previamente un arco piloto de cebado entre el electrodo y la boquilla. En el momento que el arco se forma entre la boquilla y la pieza, el piloto se apaga automáticamente por medio de un relé y al mismo tiempo se conecta la pieza al polo positivo, quedando estabilizado el arco-plasma. Esta modalidad, esquematizada en la Fig. 9.19, es la utilizada en corte y en operaciones de recargue.

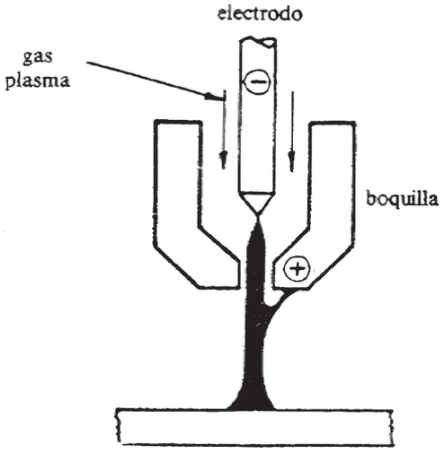


Fig. 9.18 Esquema arco-plasma no transferido.

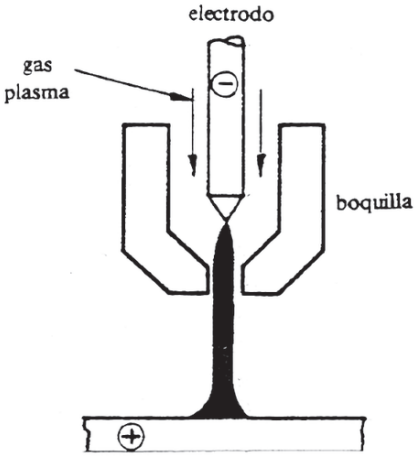


Fig. 9.19 Esquema arco-plasma transferido.

9.9.2 Modalidades de corte con plasma

Toda la tecnología se basa fundamentalmente en el diseño de las boquillas o porta electrodos. Los avances introducidos han permitido ir mejorando la calidad de corte, aumentando su velocidad, simplificando los gases utilizados y reduciendo los costes de los elementos consumibles de la boquilla hasta llegar a conseguir que el corte con plasma sea, en ciertos casos, en los aceros al carbono, más rentable que el oxicorte.

Según el tipo de boquilla, podemos distinguir los siguientes tipos de corte con plasma:

9.9.2.1 Corte con plasma convencional

Las boquillas primitivas tenían un diseño similar a las utilizadas en soldadura TIG. Sin embargo, la tobera refrigerada por agua reduce transversalmente la sección del arco por lo que aumenta el voltaje y, por tanto, la temperatura en la columna de plasma, que se dirige linealmente a la pieza en lugar de oscilar en arco abierto como ocurre en el proceso TIG. La boquilla soporta las elevadas temperaturas gracias al gran caudal de gas, que forma un anillo separador relativamente frío que, al mismo tiempo que refrigera la boquilla aumenta el grado de constricción (**Fig. 9.20**).

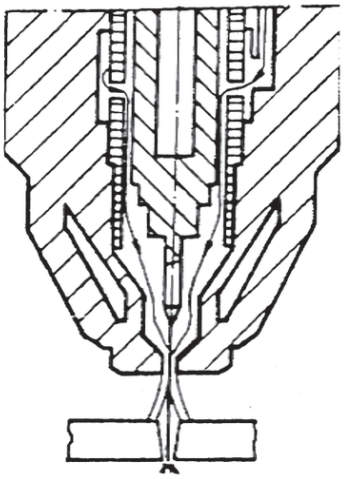


Fig. 9.20 Detalle de la refrigeración.

Una mejora dentro del corte convencional fue dar al gas de corte un movimiento circular alrededor del electrodo (*vortex*), lo que permite que la capa separadora sea más gruesa y la constricción mayor, como se ve en la **Fig. 9.21**.

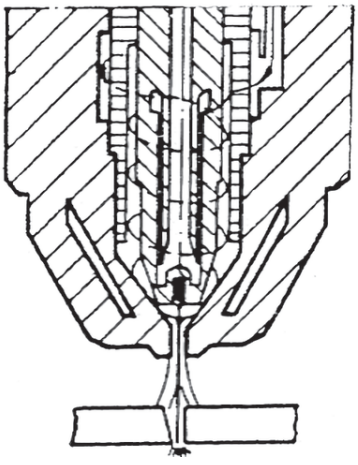


Fig. 9.21 Vortex.

Con boquilla convencional la calidad de corte no resulta buena debido a la falta de equilibrio en la distribución del calor entre las caras superior e inferior de la pieza. Aumentando la constricción mejora la calidad pero limitada por el riesgo de que se produzca un "arco doble", es decir dos arcos en serie: electrodo a boquilla y boquilla a la pieza a cortar, que dañaría tanto a la boquilla como al electrodo. Además, para cada material a cortar es necesario emplear gases diferentes.

9.9.2.2 Corte con plasma "doble flujo"

La única diferencia con el anterior es que añade un segundo gas de protección alrededor de la boquilla y utiliza una cápsula protectora de cerámica que la protege del "arco doble", como se observa en la figura.

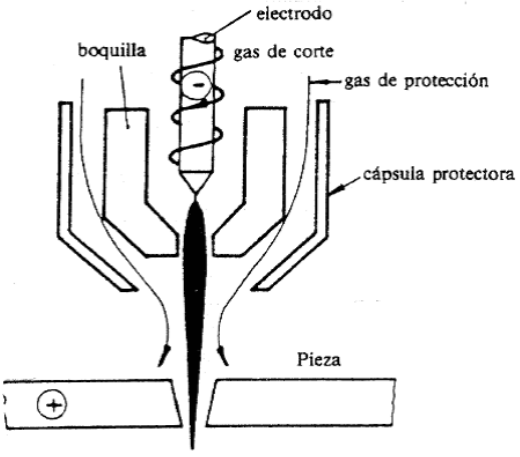


Fig. 9.22 Esquema de corte con plasma "doble flujo".

Como gas de corte se usa el nitrógeno y como gas de protección: CO_2, aire, argón-hidrógeno, etc. en función del metal a cortar.

Con este sistema mejora la velocidad de corte pero la calidad continúa sin ser excelente y el gasto de consumibles alto.

9.9.2.3 Corte con plasma de aire

El gas empleado es aire. Los electrodos deben ser de circonio y hafnio. Mejora la velocidad un 25% y se suele aplicar sólo para acero inoxidable y aluminio, porque para otros materiales tiene el inconveniente que las superficies de corte resultan muy oxidadas. El desgaste de los electrodos es alto.

9.9.2.4 Corte con inyección de oxígeno

Se utiliza como gas de corte el nitrógeno en el cebado e introduce el oxígeno en el momento en que se produce el chorro-plasma, como se representa en la figura siguiente. Se aplica para acero al carbono y se usa, como gas, una mezcla formada por 80% N_2 + 20% O_2, lo cual incrementa la velocidad de corte y aumenta considerablemente la vida de los electrodos.

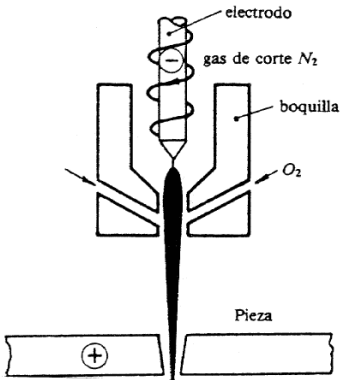


Fig. 9.23 Esquema de corte inyección d
e oxígeno.

Sin embargo, presenta los inconvenientes que el corte no es recto y una escasa duración de la boquilla.

9.9.2.5 Corte con "protección de agua"

Este procedimiento, esquematizado en la figura que sigue, es muy parecido al "Doble Flujo" con la diferencia de que la protección que ofrece el gas secundario, en este caso la proporciona el agua. La ventaja es un mejor aspecto del corte, una reducción de costes de gas y menor cantidad de humos. No mejora la velocidad ni elimina la formación de escorias en los bordes.

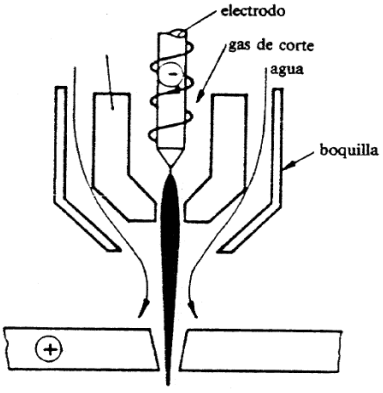


Fig. 9.24 Esquema de corte con "protección de agua".

9.9.2.6 Corte con "inyección de agua"

En este procedimiento se inyecta agua de forma radial y laminar. El efecto radial produce una mejor constricción del plasma con lo que se consigue más perpendicularidad en

el corte y mayor velocidad. Utiliza nitrógeno para todo tipo de materiales. Entre el plasma y el agua inyectada se produce una capa de vapor que tiene el mismo principio que hace que una gota de agua baile en una sartén caliente, en vez de evaporarse. Esta capa incrementa la duración de la boquilla, debido a que hace de aislante y permite además, como se observa en la figura siguiente, que la parte inferior de la misma sea de material cerámico para evitar el "doble arco". Este procedimiento es el más utilizado en la industria. Otra variante, que logra también una constricción del arco con agua, es el procedimiento *Vortex agua* descrito en la figura anexa, que consiste en dar un movimiento centrífugo al agua alrededor del arco.

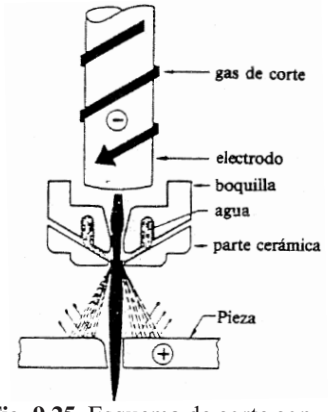


Fig. 9.25 Esquema de corte con "inyección de agua".

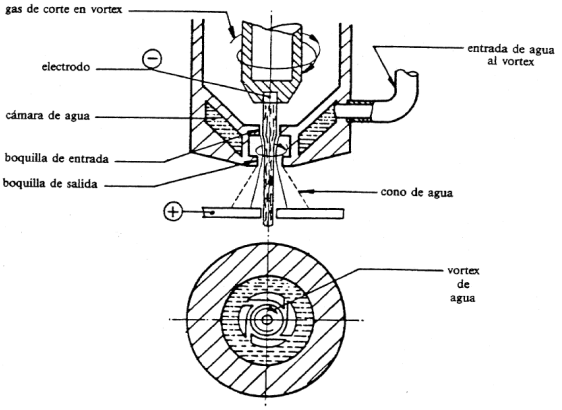


Fig. 9.26 Esquema procedimiento Vortex Agua.

El grado de constricción está limitado a la velocidad necesaria para producir un "vortex" estable.

9.10 Aplicaciones del corte con plasma

Al principio, el uso del corte con plasma se centró fundamentalmente en los aceros inoxidables y en las aleaciones de aluminio.

Como el proceso no depende de una reacción química entre el gas y la pieza, como sucede en el oxicorte, y las temperaturas, extraordinariamente altas, el corte por plasma puede aplicarse a cualquier metal eléctricamente conductor, prácticamente sin limitaciones, incluso a aquellos que resisten el oxicorte, tales como Mg, Ti, Cu, Ni y aleaciones de Cu y Ni.

La rápida velocidad del corte provoca en el material una incidencia térmica mínima. Los aceros al carbono muestran cambios estructurales hasta una profundidad de 0,2 mm. Los inoxidables austeníticos, en buena lógica, no presentan cambios de estructura.

En el aluminio aparece una fusión incipiente en los límites de grano hasta 0,2 mm de la superficie cortada con plasma.

Para ofrecer una idea de la potencia de este proceso, puede cortarse sin ningún problema acero inoxidable hasta 100 mm y aleaciones de Al hasta 150 mm de espesor. El consumo de corriente eléctrica es reducido.

Como medio plasmágeno puede emplearse cualquier gas o mezcla de gases con tal de que no perjudiquen ni al electrodo de tungsteno ni a la pieza a cortar. A modo de orientación:

a) Para aceros al carbono, aceros aleados, y fundiciones de hierro se emplean mezclas de nitrógeno-hidrógeno o aire comprimido.

b) Para aceros inoxidables, aluminio y sus aleaciones, y metales no férreos, se emplean mezclas de argón-hidrógeno o de nitrógeno-hidrógeno.

Este procedimiento es el más empleado en grandes talleres que utilizan pórticos de corte automático, como el mostrado en la figura que sigue.

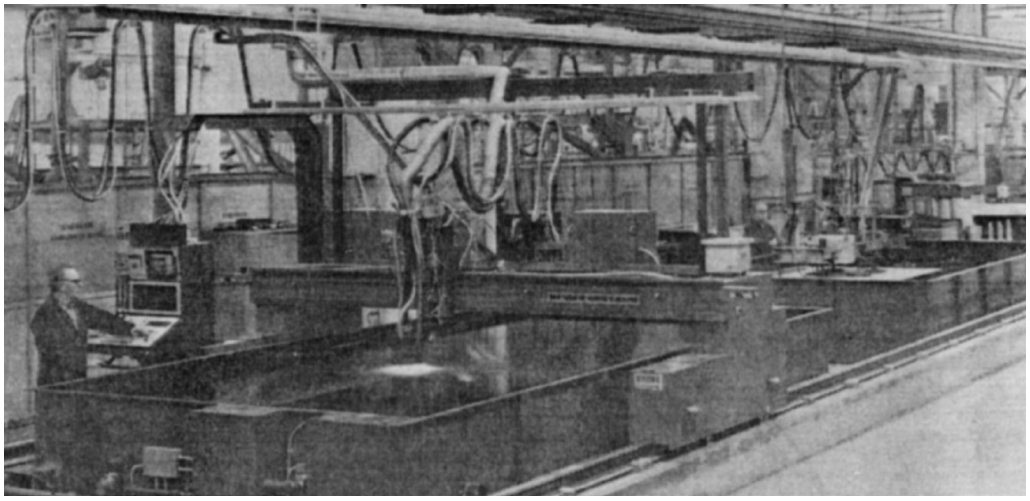


Fig. 9.27 Corte con plasma mediante pórtico automatizado.

En donde debido a las altas intensidades de arco empleados, del orden de 600 A se procede a cortar la pieza sumergida en agua como se observa a continuación:

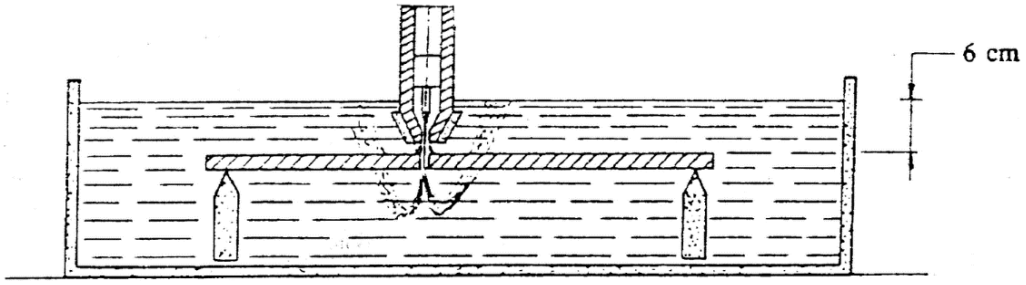


Fig. 9.28 Corte con plasma sumergido en agua.

Con objeto de evitar contaminación de humos tóxicos, partículas metálicas en suspensión, altos niveles de luminosidad y de ruido. Se consiguen velocidades cuatro veces mayores que las equivalentes con oxicorte y menores deformaciones por el calor, sobre todo en chapa fina. En acero al carbono, y a pesar del mayor precio de sus consumibles, el corte con plasma es más rentable que el oxicorte hasta espesores de 20 a 25 mm, según sea necesario perforar la chapa un mayor o menor número de veces.

Con menores intensidades también se utiliza mucho en la industria el corte con plasma "Doble Flujo" con inyección del gas de corte girando alrededor del electrodo.

9.11 Defectología del corte con plasma

Un corte teóricamente perfecto es aquel que no tiene ninguno de los defectos que a continuación se describen:

	Aspecto del corte
a) Borde superior redondeado	
b) Escorias en al borde superior	
c) Rugosidades en 1/3 de la cara superior	
d) Chaflán en la cara superior	
e) Falta de perpendicularidad	
f) Rugosidad en los 2/3 inferiores del corte	
g) Chaflán en la cara inferior	
h) Borde redondeado en el canto inferior	
i) Escorias o gotas en el canto inferior	

Fig. 9.29 Defectos típicos del corte con plasma.

Un defecto habitual de este procedimiento de corte es que deja un borde perpendicular en un lado y achaflanado en el otro, debido al giro del gas-plasma. El canto sin defecto es aquel en el que el plasma limpio, no contaminado, incide fluyendo desde la región abierta del corte. Después que el gas-plasma ha estado ya en contacto con las superficies fundidas es cuando se produce el corte achaflanado del otro lado. Influye también el que las temperaturas del chorro plasma son lógicamente superiores a la entrada de la pieza que a la salida. La velocidad de corte tiene el mismo sentido que el gas-plasma en un lado del corte y opuesto en el otro. Este chaflán es más o menos grande en función del ajuste de las variables del proceso. Para obviar este problema hay que prever que el canto achaflanado quede siempre en el lado de la chatarra y no en el de pieza de producción, como se indica en la figura.

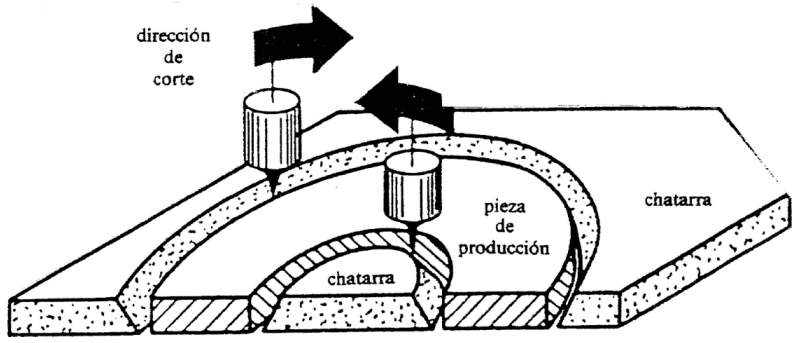


Fig. 9.30 Orientación del canto achaflanado hacia el lado de la chatarra.

9.12 Otros procedimientos de corte: corte con láser, corte con agua

1) *Corte con láser (Light Amplification buy Stimulated Emission of Radiation)*: fue la primera y aún sigue siendo la más importante aplicación del láser de CO_2.

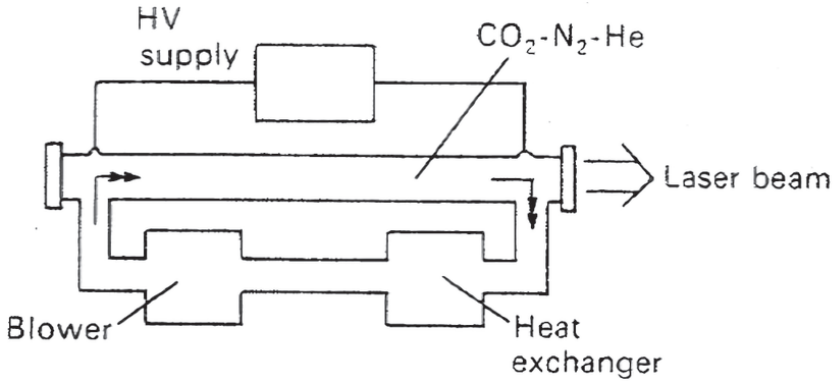


Fig. 9.31 Esquema de un láser de CO2.

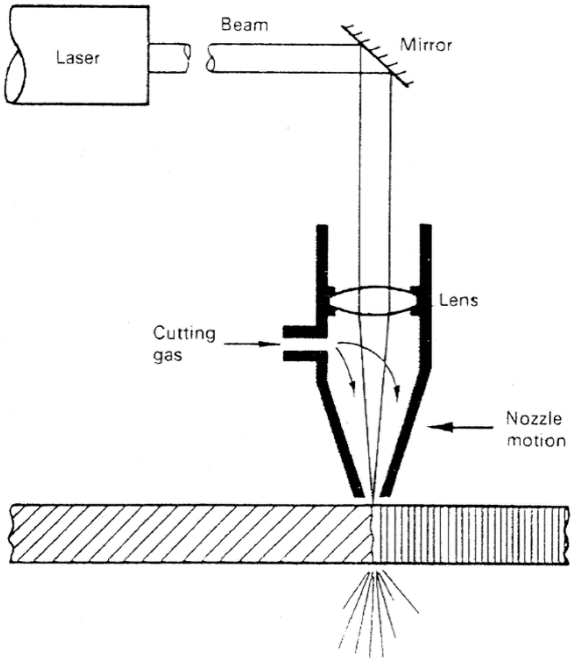


Fig. 9.32 Principio del corte por láser.

Con la ayuda de una lente o un espejo parabólico se localiza el haz del láser de manera que se produzca la fusión de una pequeña zona del material y se sobrepone un chorro de gas de corte a presión que actúa de dos maneras:

a) *Por acción mecánica*, creando una fuerza superior a las de tensión superficial (las cuales mantienen al líquido sobre el sólido) de forma que se evacuen el material fundido, los humos y los vapores producidos en la combustión.

b) *Por acción química*, en el caso de que el gas de corte reaccione con el material a cortar (caso del oxígeno con los aceros). El gas utilizado protege, además, las partes ópticas contra las proyecciones de material fundido, los humos y gases de combustión.

La operación de cortar es el resultado de la interacción entre la luz láser y el material, interviniendo los siguientes parámetros:

Parámetros del haz láser:

— Potencia.

— Diámetro del haz.

— Divergencia.

— Longitud focal de la lente.

— Distribución de la potencia del haz.

Parámetros que derivan del material:

— Composición.

— Propiedades del material.

— Coeficiente de reflexión a la longitud de onda del láser.

— Espesor.

Parámetros ligados al gas de corte:

— Naturaleza y propiedades.

— Presión y caudal.

— Forma de boquilla.

El gas de corte normalmente utilizado para los materiales metálicos es el oxígeno con el fin de mejorar el rendimiento.

Algunas aplicaciones requieren una protección de la zona de trabajo para evitar oxidaciones y en ese caso se utilizan gases neutros como argón o nitrógeno.

En general, es necesario prever una aspiración sobre la zona de trabajo.

En líneas generales, *las principales ventajas del láser en el corte son*:

— No se desgastan los útiles al ser un proceso sin contacto.

— Gran precisión.

— Pequeña zona térmicamente afectada.

— Poca deformación del material.

— Gran velocidad de corte.

2) *Corte con agua*: se usa este proceso de corte *cuando no es posible el corte térmico*, y el uso del corte mecánico requeriría un largo y costoso trabajo. La herramienta de corte empleada en este proceso es un chorro muy concentrado de agua, *incluyendo o no un polvo de un material abrasivo*, que se lanza desde una tobera a una velocidad de dos veces y media la velocidad del sonido, y una presión del orden de varios miles de bares.

9.13 Resumen de los procesos de corte del acero

a) *Principales tecnologías*:

— Oxigás: con acetileno, propano, gas natural o mezclas.

— Plasma: con gas-plasma, con gas secundario en seco, o con inyección de agua).

— Láser bajo CO2.

— Chorro de agua, sin y con polvo de hierro.

b) *La elección del procedimiento de corte viene condicionada por*:

1) *Espesor*:

— De 0,5 a 3 mm = Láser, Plasma seco o Chorro de agua.

— De 5 a 15 mm = Láser, Plasma bajo agua o en seco y Oxigas.

— Más de 20 mm = Oxigás.

2) *Número de piezas a cortar a la vez.*

— 1 pieza: Cualquier procedimiento

— 2 piezas: Oxigás, Plasma seco bajo agua, Chorro de agua.

— 3 piezas: Oxigás.

3) *Calidad del corte:*

— Alta: Láser, Plasma bajo agua y Chorro de agua.

— Acble.: Oxigás y Plasma.

4) *Otros materiales diferentes del acero:*

— Alum., Ac.inox.: Plasma, seco y bajo agua.

— Metales, Fibra de vidrio, Cartón, Plástico, Formica, etc.: Láser o Chorro de agua.

5) *Corte en chaflan*:

— En V, X, K, Y = Oxigás y Plasma.

6) *Velocidad de corte (productividad)*:

Tecnología	Proceso	Velocidad (mm/min)
Oxigás	Propano	560
	Acetileno	620
	Mezclas	600
	Gas Natural	600
Plasma en seco	N2 + CO_2	900 (100Amps.)
	Ar +H_2	1200 (250 Amps.)
	Aire	500 (60 Amps.)
Plasma bajo agua	Ar + H_2	1010 (250 Amps.)
	N2	3100 (600Amps.)
	O2	3300 (400 Amps.)
Chorro de agua	Con abrasivo	100 (3500kg./cm^2)

Tabla. 9.1 Velocidades de corte.

9.14 Curvado de planchas

Hay planchas a las que es necesario dar forma, para lo que las configuraciones que son más sencillas se hacen en frío, por medio de cilindros, y a veces de prensas. Las configuraciones más complejas se realizan en caliente, a veces en máquina, y, otras, simplemente por medio de calor aplicado con soplete, y posteriormente, a veces, con frío por medio chorro de agua y sobre la placa de volteo.

Nos ocupamos en los siguientes apartados de las máquinas más utilizadas para realizar la configuración de las planchas.

9.15 Cilindros de volteo (o de curvar)

Su conjunto forma una máquina constituida por tres grandes cilindros: uno superior y dos inferiores, situados normalmente en posición horizontal en un fuerte bastidor, apoyados en sus extremos en robustos cojinetes y respaldados, en su zona central, por rodillos dorsales para evitar su flexión. La plancha máxima a curvar depende de su longitud, estando ésta comprendida entre 6 y 13 m en la mayoría de los casos. Los espesores llegan hasta los 50 mm e incluso más, dependiendo el máximo espesor que se pueda curvar del ancho de la plancha. Los cilindros inferiores están accionados por motores, proporcionando la tracción necesaria a la plancha durante el curvado, y el desplazamiento horizontal, acercándose o alejándose del plano diametral, lo que permite el curvado de los bordes (*afaldillado*).

Si se emplea la combinación *cilindro/prensa vertical*, el cilindro superior se desplaza verticalmente a lo largo de unas robustas guías, y se puede emplear adicionalmente como *prensa de acanalar* (planchas para mamparos *corrugados*, por ejemplo, acoplando útiles adecuados a los cilindros).

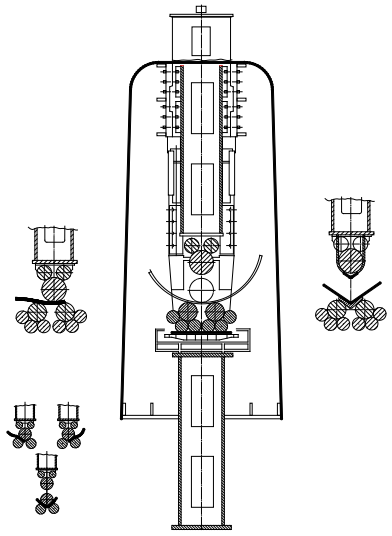


Fig. 9.33 Cilindros de curvar.

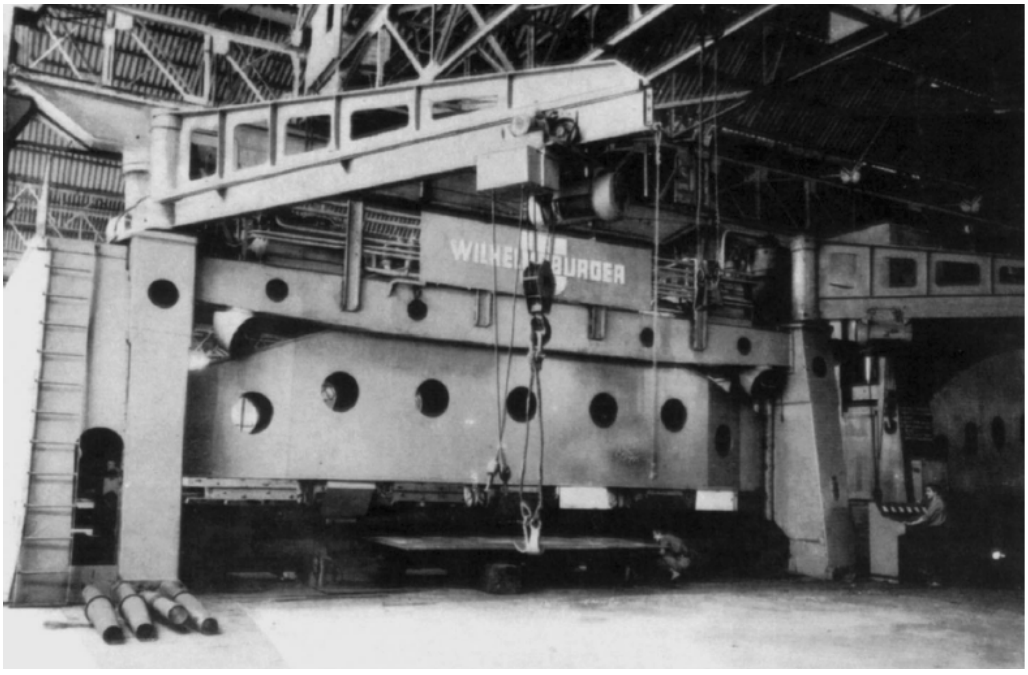


Fig. 9.34 Utilización del cilindro de curvar como prensa de acanalar.

La máquina se manipula desde una consola situada en un lateral del cilindro.

Al desplazar el cilindro superior en altura, se puede variar el radio de curvatura de la plancha. Pero además, los dos extremos del cilindro superior suelen poder desplazarse, hasta cierto punto, independientemente uno de otro, lo cual permite inclinar el eje del cilindro superior para curvar las chapas en forma de superficie cónica.

Las chapas que se curvan en estos cilindros son en principio sólo las *desarrollables*, por lo que hay que comprobar antes la desarrollabilidad de la superficie y buscar una generatriz de la misma, llamada *generatriz de reviro* de la plancha, a fin de situarla en el cilindro a lo largo de dicha generatriz.

La mayoría de los cilindros de volteo, que se han instalado en los astilleros, tienen fijos los extremos del bastidor que los soporta. Por ello no se pueden curvar las chapas 360º para formar *virolas* cilíndricas completas que llevarían un solo cordón de soldadura longitudinal. Habría que hacerlas en mitades, con dos cordones de soldadura, a 180º. No obstante, existen cilindros de volteo horizontales en que el bastidor tiene una de las cabezas desmontable, lo cual permite extraer la virola cilíndrica completa por este extremo.

Los cilindros también pueden ser verticales, dos fijos, y el tercero desplazable. La cabeza superior es desmontable, lo cual permite fabricar las virolas cilíndricas con una sola soldadura. También suelen ser mayores los espesores de las chapas que se pueden curvar en estos cilindros, si bien la longitud de la generatriz es menor que la de las chapas que se curvan en los cilindros horizontales.

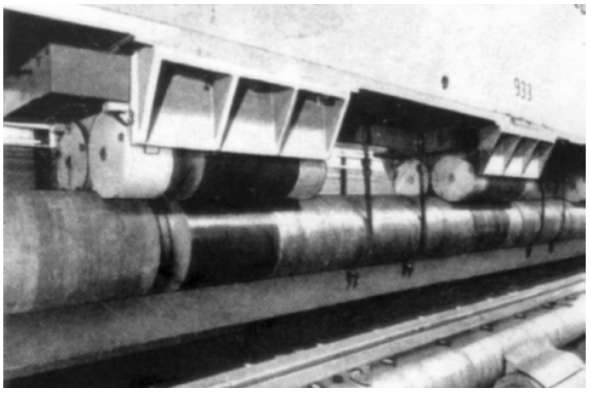


Fig. 9.35 Vista de los cilindros de curvar.

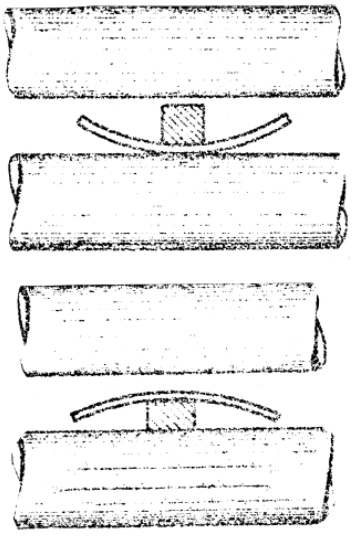


Fig. 9.36 Accesorios para dar doble curvatura a las planchas.

La posibilidad de fabricar virolas cilíndricas, con chapas de gran espesor, y con una sola soldadura longitudinal, es particularmente útil para los astilleros dedicados a la construcción de *plataformas para off-shore (patas y pilotes para las jackets, contretes cilíndricos para plataformas semisumergibles, etc.)*, en que además, para esta aplicación se exige que la chapa sea curvada con la generatriz situada en posición perpendicular a la fibra de laminación.

Hay que tener en cuenta también que el menor radio de curvatura que se puede obtener viene limitado por los radios de los cilindros de volteo.

9.16 Prensa vertical

También a veces llamada prensa de escote por la silueta de su perfil lateral, es una máquina muy usada en el taller de herreros de ribera, y puede resolver multitud de problemas de conformado de chapas con una buena utilización. Son máquinas muy potentes, por lo que vienen montadas sobre bastidores muy robustos y son accionadas hidráulicamente, proporcionando fuerzas entre 150 y 1000 Ton. Están constituidas por una estructura rígida en forma de C situada verticalmente, en la que la parte inferior tiene forma de mesa ranurada sobre la que se pueden montar útiles que han de sujetar la plancha (sufridera) y en la parte superior va a un cilindro hidráulico (o varios) vertical, cuyo émbolo está terminado en otra placa ranurada, en donde se montan los útiles de empuje. Las hay, ver figura:

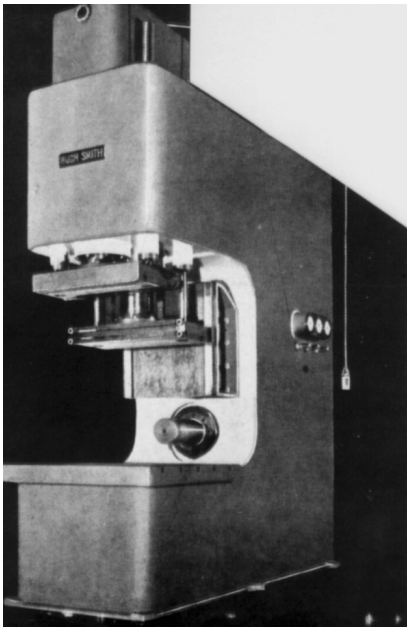


Fig. 9.37 Prensa vertical.

que, además, llevan otro émbolo hidráulico horizontal. Con esta máquina se pueden hacer trabajos muy diversos ya que se suministran con ella diversos accesorios machos y hembras para canalizar y dar formas a las planchas.

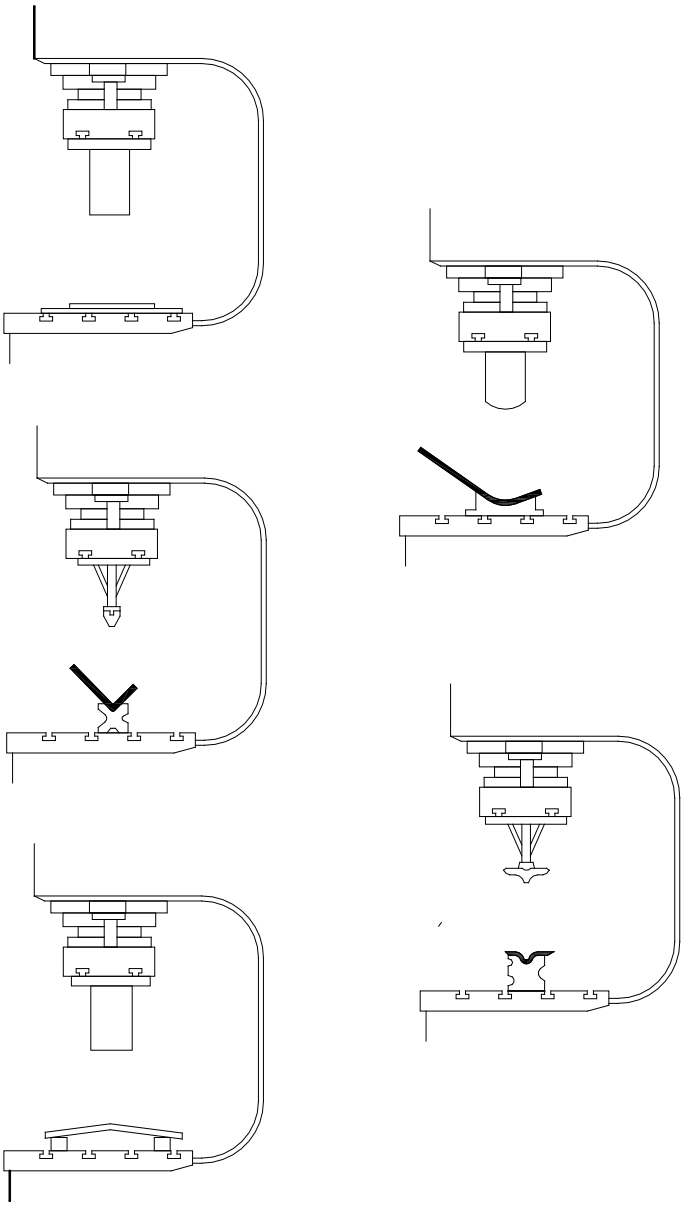


Fig. 9.38 Accesorios hembras y machos para canalizar.

9.17 Prensas de afaldillar

Son máquinas de 3 a 5 m aproximadamente de longitud que pueden doblar de una sola cargada las chapas en sentido longitudinal. Son las idóneas para realizar mamparos corrugados.

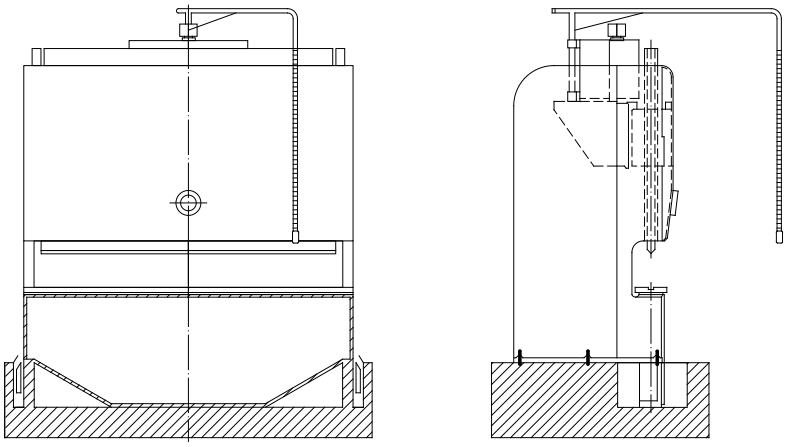


Fig. 9.39 Prensa de afaldillar (1).

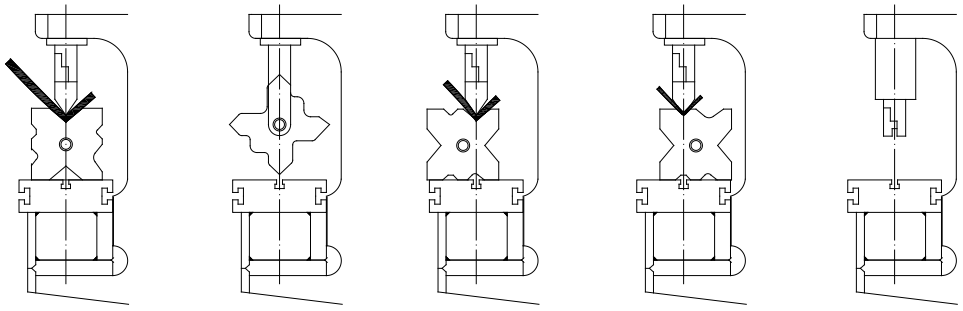


Fig. 9.40 Prensa de afaldillar (2).

9.18 Maquinaria para elaborar perfiles

9.18.1 Cortadora de perfiles

Esta máquina debe disponer de un espacio de una longitud doble de la del perfil más largo. Su alimentación es automática por un transportador de perfiles. Por la mesa avanza el perfil, controlando la longitud recorrida, de modo que, al llegar a la distancia requerida, se detiene, y un dispositivo hidráulico fija el perfil y se realiza el corte por una sierra rotativa, o por otro procedimiento de corte.

Para hacer *groeras y escotaduras* en el alma de los perfiles, puede utilizarse, dependiendo de la forma, una *punzonadora* o *prensa de escotar*, como se indicó antes, que realizan este trabajo muy rápidamente.

9.18.2 Prensas de curvar perfiles y llantas

Suelen emplearse para ello prensas hidráulicas horizontales como en la figura que sigue, también llamada *carnero.*

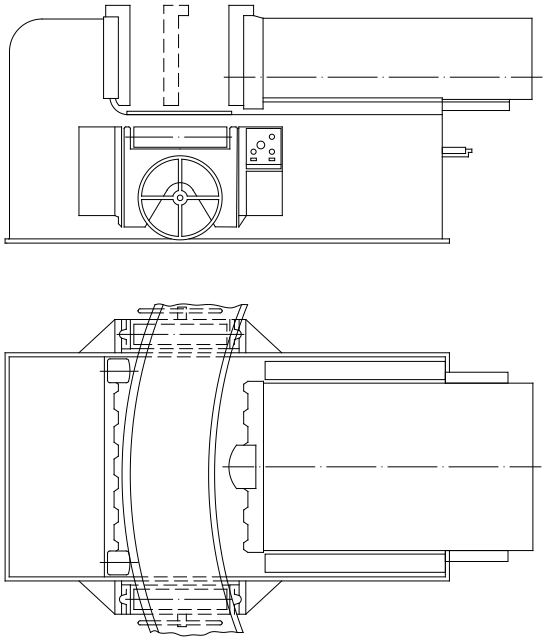


Fig. 9.41 Carnero.

Se emplean, además, máquinas especialmente diseñadas para curvar cuadernas de llanta de bulbo de dos en dos *(Br+Er),* cuyo proceso es: se sitúa el perfil y se bloquea con las mordazas. Se acciona el dispositivo hidráulico, desplazando las mordazas laterales que imprimen la curvatura deseada. Se aflojan las mordazas, se traslada el perfil al nuevo punto deseado y se repite la operación cuantas veces sea necesario.

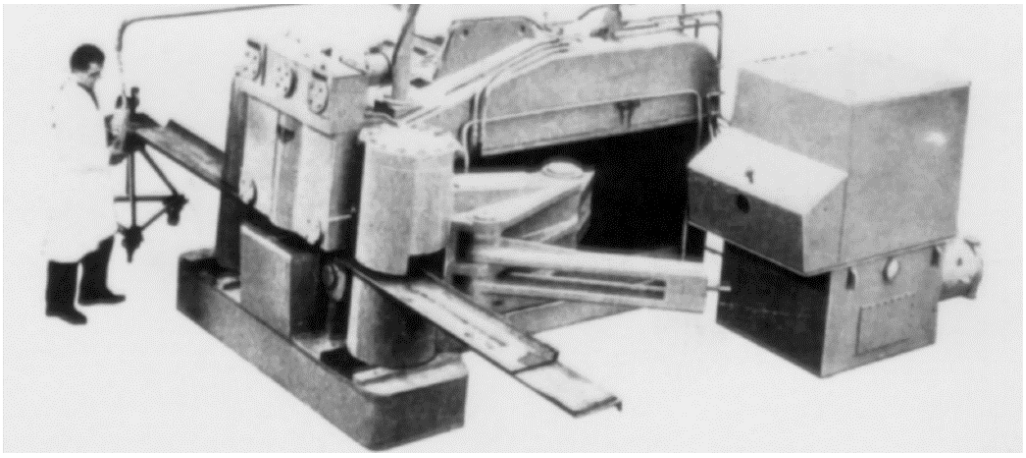


Fig. 9.42 Típica curvadora de perfiles.

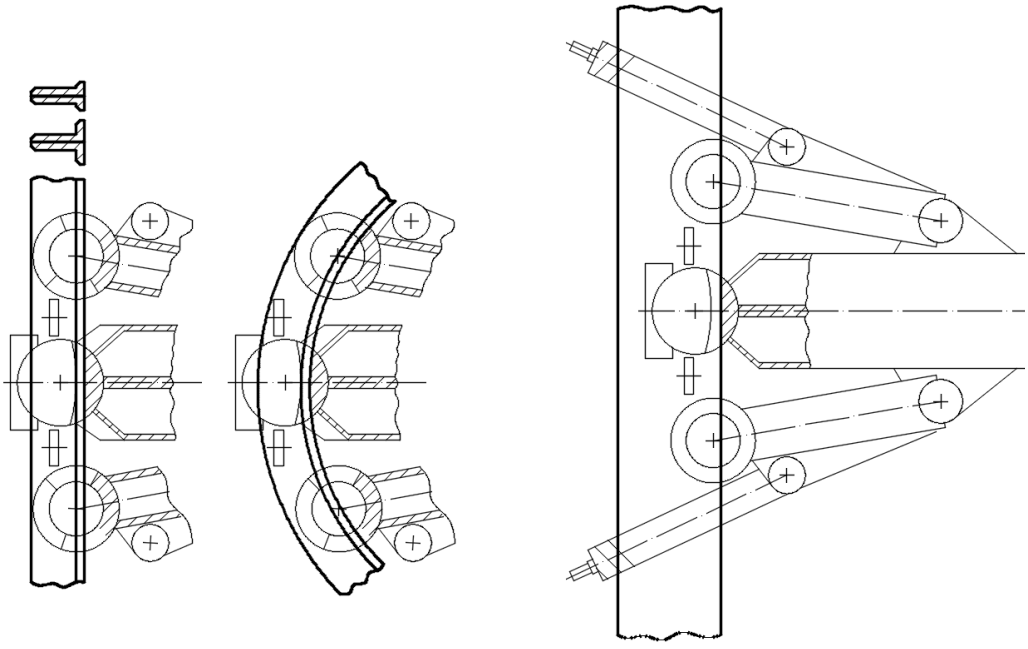


Fig. 9.43 Fundamento del curvado de perfiles.

9.19 Trabajos en caliente

9.19.1 Conformado de chapas en caliente

Suele reducirse a las planchas con curvaturas complejas. Es una operación artesanal que consiste en calentar la chapa localmente (con lanzas de gas) y darle forma, ayudándose a veces con la prensa y usando matrices y modelos *ad hoc*, y también con el cilindro. Otras veces se hace con martillos, tensores u otros artilugios.

El procedimiento consiste en calentar la chapa localmente por el lado por el que se le quiere dar forma cóncava. Al enfriarse y contraer adquiere la concavidad, lo cual se ayuda enfriando el material con chorros de agua, y con lo que se le va dando la forma deseada (procedimiento que ha venido a denominarse *método Tampo*). La comprobación de la forma se efectúa mediante plantillas, incluso plantillas tridimensionales en algunos casos (zona del bulbo del buque, por ejemplo).

En todo caso la temperatura no debe ser mayor que la temperatura crítica que daría lugar a templado del acero ni superar otros límites correspondientes al tratamiento térmico a que haya sido sometido el material. Con aceros de alta tensión se tendrán normalmente grandes problemas para aplicar este método. Para el control de la temperatura que va adquiriendo la chapa, y no sobrepasarla, se pueden utilizar lápices térmicos.

Las líneas de calor dan una buena precisión en el curvado pero deben ir acompañados de conformados mecánicos anteriores a no ser que se trate de curvaturas muy ligeras. A continuación se presenta una figura explicativa del fenómeno utilizado como base para el conformado por líneas de calor, y una comparación con los métodos clásicos.

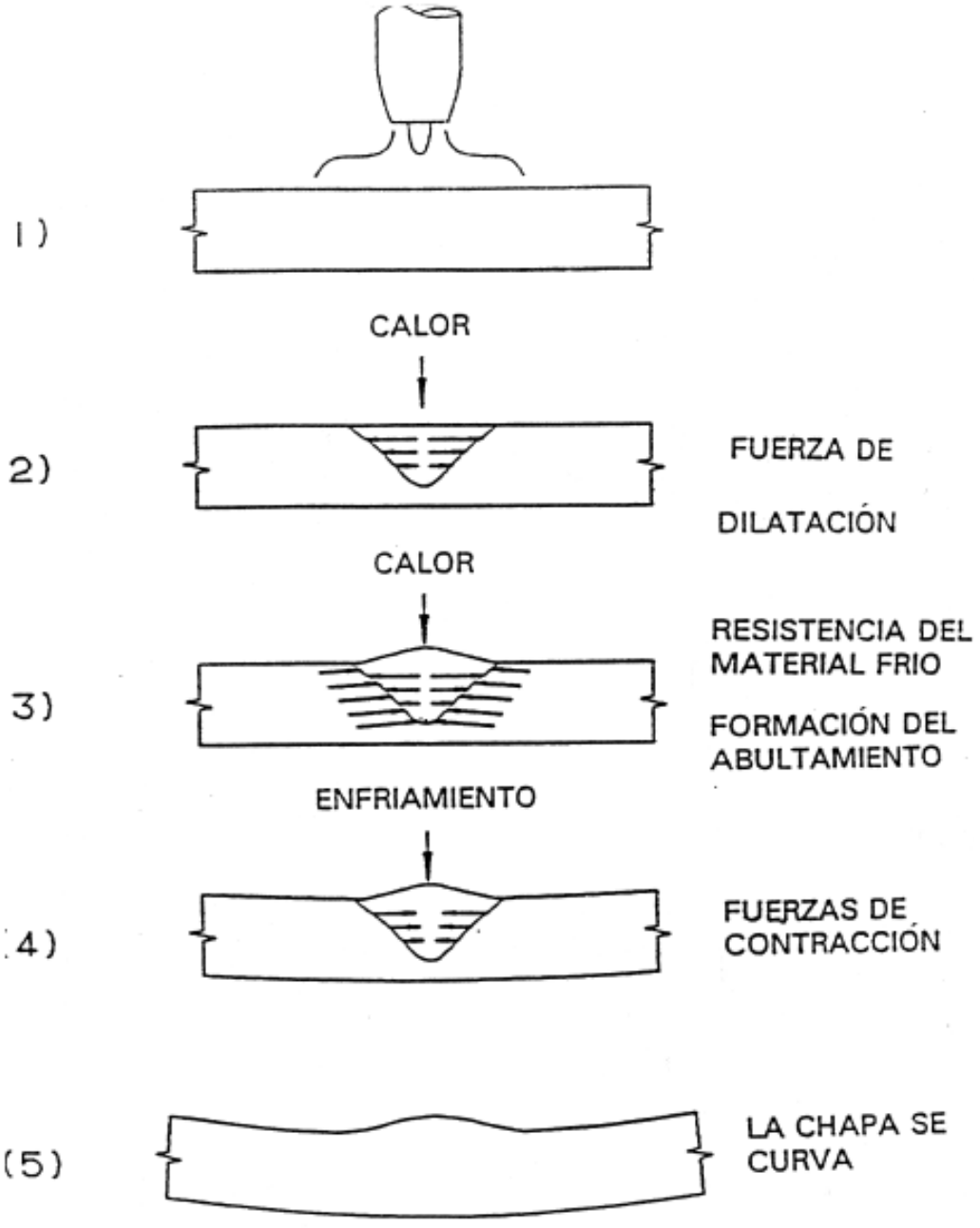


Fig. 9.44 Fundamento del curvado con calor.

	TRADICIONAL	ACTUAL
PRECISIÓN TOLERANCIAS	+ -15 mm	+ - 3 mm
PLANCHAS CURVATURA TRANSVERSAL < 200 mm	CILINDRO TODAS + TAMPO (10%)	TODAS LÍNEAS DE CALOR
PLANCHAS CURVATURA TRANSVERSAL > 200 mm	CILINDRO + TAMPO	1º CILINDRO 2º LÍNEAS DE CALOR
PLANCHAS CURVATURA TRANSVERSAL > 200 mm + CURV. LONGITUDINAL	CILINDRO + TAMPO	1º CILINDRO 2º LÍNEAS DE CALOR 3º TRIÁNGULOS DE CALOR EN SOLAPES
PLANCHAS PANTOQUE RECTO	CILINDRO	CILINDRO
PLANCHAS CODASTE	CILINDRO + PRENSA	CILINDRO + PRENSA (PLANTILLAS EN OBRA)
PLANCHA CENT. BULBO	PRENSA + TAMPO	PRENSA + LÍNEAS DE CALOR

Tabla 9.2 Comparación de métodos tradicionales y actuales de conformado de planchas.

En relación con este procedimiento, la firma japonesa NKK ha desarrollado un sistema 3-D de calentamiento automático para el curvado de las planchas, según se observa en el dibujo siguiente, a fin de reemplazar el trabajo que realizan operarios cualificados, con lo que se conseguiría una reducción del 25% en horas x hombre en este trabajo *(Revista Ingeniería Naval de Abril 1.998)*.

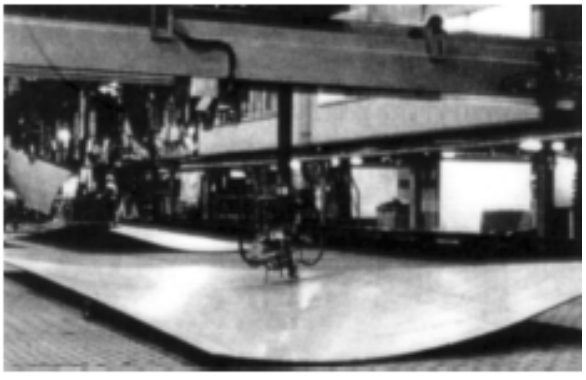


Fig. 9.45 Procedimiento informatizado de curvado de planchas con calor.

9.19.2 Corrección por calor de las deformaciones en planchas y perfiles

El método de calentamientos y enfriamientos localizados se empleará después a veces durante el prefabricado, aunque esto ha de hacerse con mucha precaución y conocimiento a fin de no deteriorar el material, para lograr *pequeñas aproximaciones en el posicionado* de unos elementos con respecto a otros.- También se utilizará para *corregir algunas deformaciones o bollos* que se producen en las chapas como consecuencia de los trabajos de soldadura y otros, ocurriendo a menudo en las que son de poco espesor, como sucede en las superestructuras y casetas. No está de más repetir de nuevo la advertencia de que esta forma de corrección debe ser limitada y *realizada con la precaución de no elevar la temperatura hasta el punto que se deteriore el material*, para lo cual pueden utilizarse *lápices térmicos*, el color de cuyo trazo indica la temperatura alcanzada en la superficie calentada; y de que no queden tensiones internas.

9.19.3 Conformado de perfiles en caliente

En el caso de perfiles pueden usarse las máquinas de curvar, después de calentar el perfil por corrientes de alta frecuencia, así como con lanzas de calentamiento.

También se utiliza la clásica *placa de volteo* (o de curvado) formada por bloques de hierro fundido provistos de orificios regularmente repartidos, sobre los que se coloca el perfil.

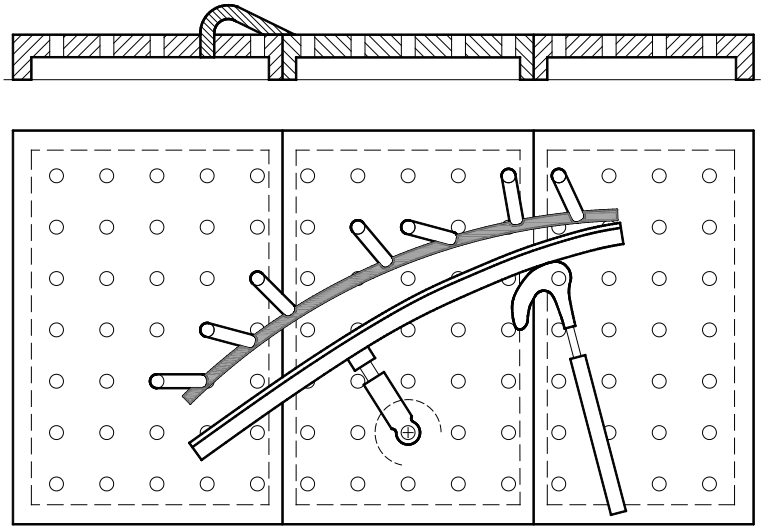


Fig. 9.46 Placa de volteo para curvado de perfiles.

Se traza la curva que hay que realizar y, sujetando el perfil a la placa por medio de *perros* (redondos de acero con un codo) y, *empujándolo con un carrito con émbolo hidráulico, o con palancas curvadas, se le va dando la forma.* Estas operaciones hay que realizarlas ágilmente, para evitar que se enfríe el perfil antes de tiempo.

Se emplea igualmente el procedimiento de calentar con soplete dando los *calores en forma de cuñas* por la zona donde se quiere que el perfil coja forma cóncava y enfriar con agua a continuación. El procedimiento, como se ha indicado antes es muy artesanal, y hay que hacer la misma advertencia que en el caso de las planchas respecto a la máxima temperatura que no debe sobrepasar el material.

9.20 Disposición de un taller de perfiles armados

Mientras que el equipamiento y disposición de un taller de perfiles sencillos, que vienen laminados o fabricados del exterior, como son las llantas con bulbo, las pletinas de fleje de chapa, las **"L"** de lados iguales o desiguales, las **"T",** e incluso las "**doble T",** es más bien sencilla, consistiendo en la máquina de corte de cabezas, la *punzonadora o escotadora para realizar las groeras*, *la prensa horizontal o carnero*, y la *placa de volteo*, un taller para fabricar perfiles armados es un poco más complicado.

En este caso se trata de *refuerzos que se construyen en el astillero a partir de perfiles elementales*, normalmente pletinas. Se trata de estructuras formadas por *un alma y una o dos platabandas* que, consecuentemente, se prestan a la fabricación en serie en talleres con cierto nivel de especialización.

Las almas y platabandas que se utilizan para formar los perfiles en forma de **T** o **L,** mediante soldadura, se pueden cortar en el propio astillero, *como tiras, a partir de chapa*.

Se debe distinguir entre los perfiles rectos y los que tengan forma.

En todos los casos se ha de proceder a:

— Enderezado previo de pletinas o chapas de las que se van a cortar las tiras.

— Corte a medida requerida.

— Conformado de pletinas (en el caso de perfiles curvos).

— Posicionado y punteado.

— Soldado final.

En los astilleros grandes se suele dispone de un taller, concebido para la prefabricación seriada de estos perfiles, con facilidades de movimiento, manipulación y

posicionamiento, que recibe las pletinas cortadas y, en su caso, conformadas; y entrega los perfiles armados. La soldadura se realiza por arco sumergido en el caso de perfiles rectos, y por CO2 en el caso de perfiles con forma.

En el caso de perfiles rectos se coloca la *platabanda* sobre la mesa de soldar y se procede al posicionado, sujeción y punteado de forma semimanual con un operario ayudado por un puente grúa pequeño sobre la línea del perfil o con gatos hidráulicos posicionadores. Posteriormente se procede a la soldadura de la llanta que forma el ala al alma del perfil por arco sumergido y con doble cabezal, ambas caras a la vez.

La soldadura del ala al alma del perfil produce contracción al enfriar, por el lado donde se suelda, por lo que el perfil coge curvatura cóncava por dicho lado. Para disminuirla o evitarla, lo correcto es ajustar adecuadamente los parámetros de soldadura (Intensidad, velocidad), ya que corregirla posteriormente puede dejar tensiones internas que pueden después agrietar la soldadura.

Los perfiles en **U** no se utilizaban tanto en Construcción Naval como en la Civil. Pueden formarse en caso necesario por la soldadura de dos **L,** aunque esto no será lo común.

Con dos perfiles en **U** soldados longitudinalmente se fabrican *puntales* frecuentemente.

9.21 Verificación

Las piezas elaboradas deben ser verificadas para evitar errores que siempre son muy costosos de rectificar posteriormente. Las desviaciones admisibles dependerán de la tecnología que se aplique, aunque deben ser mínimas. Actualmente el verificado y control de calidad interno del astillero es cada vez más riguroso, lo que contribuye enormemente a acortar los tiempos de entrega de los buques o a evitar tener que repetir piezas o ajustar bloques, operaciones que resultan muy gravosas.

Unas tolerancias como las que se indican a continuación son aplicables en el estado actual de la tecnología y su observancia conduciría a una calidad aceptable de la mano de obra en los trabajos habituales de construcción del casco. En otros tipos de trabajo como los de piezas de maquinaria, calderas, recipientes a presión, etc. habría que aplicar otros criterios, normalmente más estrictos.

Los cantos preparados en bisel deben verificarse con escantillones de ángulo, y la figura de su perfil comprobada con la plantilla no debe dejar luces superiores a 0,5 mm.

En elementos cortados con oxígeno, las desviaciones admisibles son: En longitud entre 1,5 mm para forro y 3 mm para cuadernas y baos. En anchura entre 1 y 1,5 mm.

Desviación de las líneas rectas: 0,5 mm para forro y 1,5 mm para cuadernas. Dimensiones y desplazamiento de escotes por los que han de pasar refuerzos, agujeros de hombre y otros orificios: 1 mm

El defecto de hoja de laminación en las planchas, si no se ha detectado antes de entrar en el taller por ultrasonidos, aparecerá en el proceso de corte, si éste atraviesa la zona afectada.

Las planchas con forma se verificarán por aplicación de plantillas longitudinales y transversales de forma y, en su caso, por la aplicación de las plantillas dimensionales cuando se han utilizado. En esta verificación la tolerancia puede ser mayor pero habrá que comprobar con mayor rigor las dimensiones de separación de puntos de referencia, base para el montaje. *Dicha verificación carecería de sentido si no se verificaran, previamente, las plantillas utilizadas para realizar el trabajo.*

Si la verificación es satisfactoria, el material se marca y pasa al almacenamiento intermedio, donde se clasifica por lotes, formando los que constituyen cada bloque que luego habrán de pasar al taller de soldadura. En algunos sitios, y esto constituye una buena práctica, se acostumbra a pesar el material terminado, para dejar constancia del material neto que pasa a montaje, enviando también la nota a la sección de control de pesos, en la que se determinará con precisión en todo momento del peso del buque.

Actualmente, los resultados de estas comprobaciones pueden ser registrados en terminales de ordenador, para su control y archivo por ordenador.

Capítulo 10

Procesos de soldadura

10.1 Soldadura Oxiacetilénica

La *soldadura oxiacetilénica* (OAW: Oxyacetylene Welding) constituye la soldadura a gas con soplete, también llamada *soldadura autógena*. Es el procedimiento de soldeo más antiguo. Se sigue utilizando cuando no se puede disponer de un equipo de soldadura eléctrica o por razones de accesibilidad, pues la varilla a fundir puede doblarse y adaptarse mejor. Par la fusión se emplea el calor procedente de una llama obtenida por la combustión de un gas.

10.1.1 Instalación

La instalación consta de los elementos mostrados en la figura:

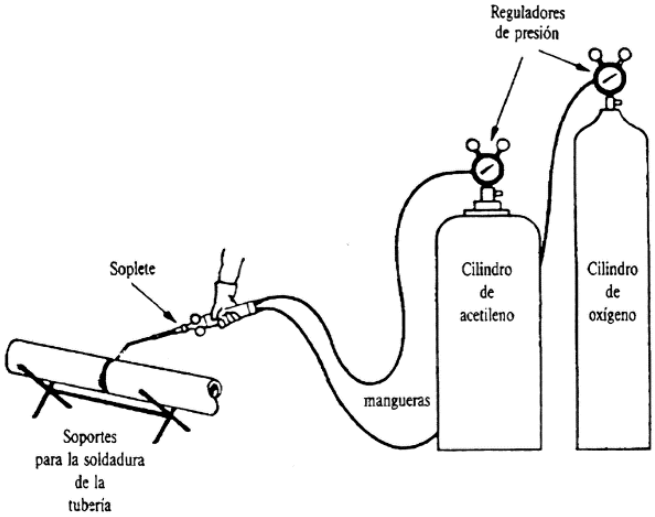


Fig. 10.1 Componentes de instalación de soldadura oxiacetilénica.

Son los siguientes:

— Una botella de oxígeno y otra de acetileno provistas cada una de manorreductores de presión y válvulas de seguridad.

— Mangueras para cada gas.

— Soplete, en donde se mezclan ambos gases, conduciéndose la mezcla a través de un inyector a la boquilla de salida a una velocidad mínima de 150 m/s a fin de superar la de propagación de la llama y evitar que ésta se encienda en el interior del soplete, lo que produciría una detonación y un silbido característico.

10.1.2 Combustible

Se utiliza acetileno, empleando oxígeno como gas comburente.

El acetileno es un gas incoloro, de olor aliáceo característico. Es más ligero que el aire, pues su densidad relativa es 0,91. Altamente inflamable, forma mezclas explosivas con el aire en concentraciones entre el 2,5 y el 80%. Es un hidrocarburo no saturado, cuyo triple enlace en su molécula le da inestabilidad frente a otros compuestos con los que puede reaccionar con violencia. Puede respirarse en proporciones bastante elevadas sin producir efectos crónicos.

Se obtiene industrialmente por hidrólisis del carburo cálcico y posterior purificación. Se suministra en cilindros de acero, rellenos de materia porosa impregnada con acetona, que actúa como disolvente del acetileno, eliminando el riesgo de explosión.

10.1.3 Fundente o desoxidante

Para que la soldadura ofrezca unas propiedades aceptables, tanto la pieza como la varilla del metal de aporte deben estar exentas de grasa, óxidos y cualquier tipo de suciedad.

La mayoría de los metales se encuentran recubiertos de una película de óxido creada al estar expuestos a la atmósfera. Es, pues, necesario eliminar o reducir tanto la película de óxido ya existente como los óxidos que puedan formarse durante el ciclo de soldeo. Es la función que desempeña el fundente, material que rellena el interior de la varilla de metal de aporte. Consiste el fundente en una pasta en disolución acuosa de consistencia espesa que debe reunir las siguientes propiedades:

— Mezclarse fácilmente con el agua para formar una pasta suave y exenta de cristales gruesos, susceptible de reutilización una vez seca.

— Adecuada viscosidad para bañar y cubrir la pieza con la posibilidad de permanecer en superficies verticales al fundirse.

— Capaz de disolver los óxidos de los metales a los que se aplica.

— Producir residuos no corrosivos y fácilmente eliminables.

10.1.4 Métodos operativos

- *Método clásico o "a izquierda".*

Se llama también soldadura hacia adelante. El soplete se mueve de derecha a izquierda, siendo el método más utilizado para soldar cualquier metal o aleación. Las posiciones relativas del soplete y la varilla se representan en la figura. La varilla, durante su fusión, habrá de efectuar ligeros movimientos transversales para que deposite el metal en el sentido longitudinal del cordón.

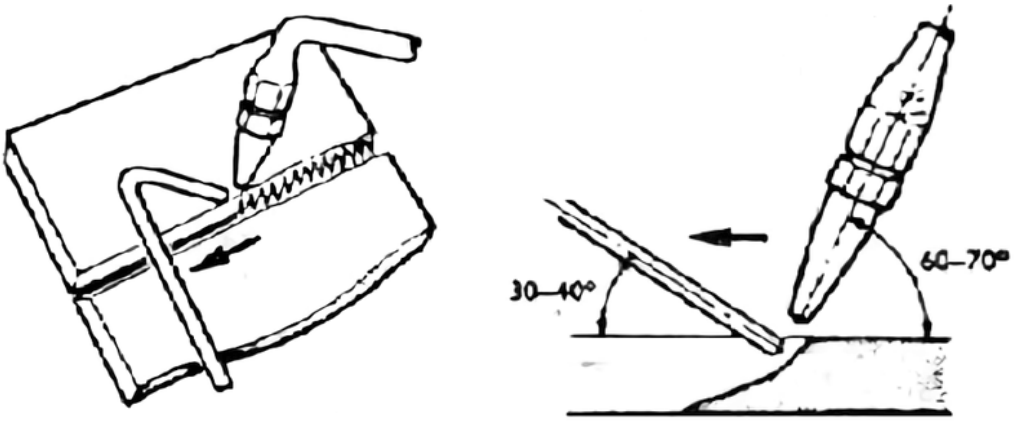


Fig. 10.2 Método clásico o a izquierdas.

- *Método a derechas.*

Se llama también soldadura hacia atrás, porque el sentido del movimiento del soplete, que la determina, va de izquierda a derecha, o sea, opuesto al del método anterior. Las posiciones relativas del soplete y la varilla se representan en la figura.

Como se puede observar, el soplete precede a la varilla. El dardo ha de penetrar en la soldadura. Con este método la penetración es completa y no se producen pegaduras. Además, se obtiene una mayor velocidad y un cordón más estrecho.

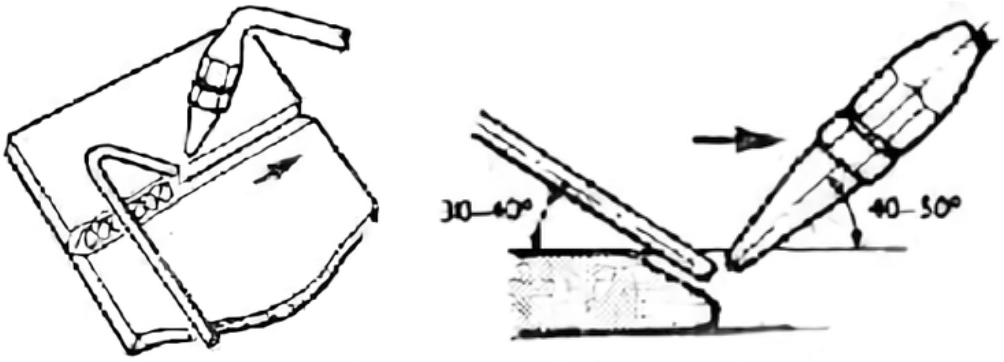


Fig. 10.3 Método a derechas.

10.2 Soldadura por arco manual con electrodos revestidos (SMAW: Shielded Metal Arc Welding)

10.2.1 Introducción. Aplicaciones

En el año 1.904 tiene lugar en Suecia un hecho de trascendencia para el desarrollo de la soldadura. OSCAR KJELLBERG descubre el electrodo recubierto y aunque la era industrial de la unión soldada por arco eléctrico empieza en Europa en la década de 1950, ya se realizaron uniones de este tipo a principios del siglo XX.

El proceso *SMAW* se utiliza hoy por su versatilidad en una amplia gama de aplicaciones tanto en taller como en obra en la soldadura de materiales de espesor superior a 1,5 mm.

Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderas, etc. La selección de los electrodos tiene una influencia decisiva en la calidad y el coste de la soldadura.

Para el usuario, es muy importante disponer de una correcta relación de electrodos, con finalidades específicas. En este sentido, los catálogos y folletos que editan los fabricantes suelen contener una completa información acerca de diámetros, parámetros de uso, revestimiento y precauciones sobre el almacenaje y funcionamiento de cada uno de sus productos.

10.2.2 Principios del proceso

Este proceso de soldadura, también llamado *Manual Metal Arc (MMA),* se caracteriza porque se produce un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico recubierto, cuyo esquema se muestra en la Fig. 10.4.

Con el calor producido por el arco se funde el extremo del electrodo y se quema el revestimiento, produciéndose la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de las gotas del metal fundido desde el alma del electrodo hasta el baño de fusión en el material de base.

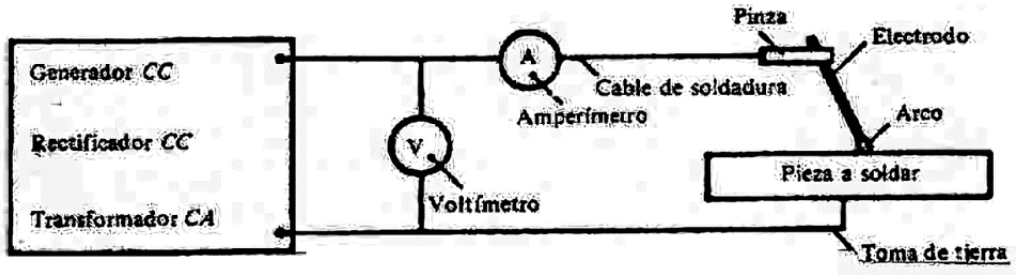


Fig. 10.4 Esquema de proceso de soldadura manual con electrodo revestido (SMAW).

En el arco las gotas de metal fundido se proyectan recubiertas de escoria fundida procedente del recubrimiento, que, por efecto de la tensión superficial y de la viscosidad, flota en la superficie, solidificando y formando una capa de escoria protectora del baño fundido.

A. Varilla metálica interior
B. Revestimiento del electrodo
C. Gas de protección
D. Escoria solidificada
E. Cordón de soldadura
F. Baño de soldadura
G. Gotas de metal recubiertas de escoria fundida
H. Metal base

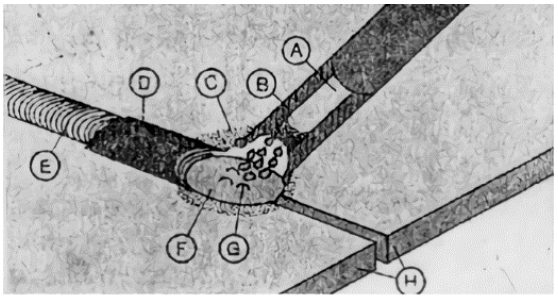


Fig. 10.5 Esquema del proceso físico de soldadura SMAW.

10.2.3 Electrodos

El material de aportación que se usa en el proceso MMA, se conoce como electrodo y consiste en una varilla metálica, generalmente de acero, recubierta de un revestimiento concéntrico de flux extruido y seco.

Existen multitud de composiciones del material de aportación del electrodo. Aquí se citan solamente, a modo de ejemplo y por su interés en la construcción naval, los electrodos de acero al carbono. (AWS-A.5.1 según la clasificación de la American

Welding Society). Estos, a su vez, se clasifican de acuerdo con los siguientes criterios:

— Tipo de corriente a utilizar.

— Tipo de revestimiento.

— Posición de soldadura aconsejable.

— Composición química del metal depositado.

— Propiedades mecánicas del metal depositado.

Como ejemplo, y a fin de que el lector se vaya familiarizando con las diferentes características que hay que considerar, se indica a continuación la forma de codificación utilizada por AWS para la *soldadura de aceros al carbono con electrodos revestidos*:

E XX X X

1. La primera letra "*E*" significa *electrodo*.
2. El segundo grupo de dos dígitos indica la carga de rotura mínima del metal depositado en múltiplos de 1000 psi, cuyo valor oscila de 60 a 70 (1000 psi = 0,7 kg/mm^2).
3. El tercer dígito indica las posiciones de sondeo en las que el electrodo puede ser utilizado satisfactoriamente:
   a. En todas las posiciones.
   b. Sólo en posición horizontal.
   c. Especialmente en vertical descendente.
4. El cuarto dígito indica el tipo de revestimiento, y las características de la corriente adecuada para su uso, según la tabla que sigue:

DÍGITO	REVESTIMIENTO-AGLOMERANTE	CORRIENTE ALTERNA	CORRIENTE CONTINUA ELECTRODO CONECTADO A	
			POLO (+)	POLO (-)
(0) 1	CELULÓSICO- SILICATO SÓDICO		**X**	
(0) 2	ÁCIDO	**X**	**X**	**X**
1	CELULÓSICO-SILICATO POTÁSICO	**X**	**X**	
2	RUTILO-SILICATO SÓDICO			**X**
3	RUTILO-SILICATO POTÁSICO	**X**	**X**	**X**
4	RUTILO GRAN RENDIMIENTO	**X**	**X**	**X**
5	BÁSICO-SILICATO SÓDICO		**X**	
6	BASICO-SILICATO POTÁSICO	**X**	**X**	
7	ÁCIDO GRAN RENDIMIENTO	**X**	**X**	**X**
8	BÁSICO GRAN RENDIMIENTO	**X**	**X**	

Tabla 10.1 Revestimiento del electrodo y tipo de corriente.

10.2.4 Revestimientos

La composición de los revestimientos suele ser muy compleja, formada por una pasta en la cual suelen intervenir

- Óxidos de hierro, rutilo, titanio, sílice, etc.
- Silicatos: caolín, talco, etc.
- Productos químicos, entre ellos los carbonatos.
- Productos volátiles: celulosa, serrín, etc.
- Fundentes.
- Ferroaleaciones de Mn, Si, Ti, etc.
- Aglomerantes: Silicato sódico, potásico, etc.
- La naturaleza y dosificación de los componentes suele constituir la patente del fabricante.

Las *funciones del revestimiento* son:

— Cebar y estabilizar el arco.

— Evitar que el material fundido entre en contacto con el oxígeno, nitrógeno e hidrógeno del aire.

— Incorporar elementos que actúan como desoxidantes, desnitrurantes, desfosforantes, y desulfurantes del metal fundido.

— Eliminar impurezas que producirían inclusiones aparte de mejorar otras características.

— Reducir la velocidad de enfriamiento de la soldadura por su efecto aislante, siendo este efecto muy importante para la calidad de la misma.

De acuerdo con la composición del revestimiento, los electrodos se clasifican en:

10.2.4.1 Electrodos ácidos

Contienen productos desoxidantes en forma de ferroaleaciones, sin embargo el contenido en Si es bajo por lo que el metal aportado contiene siempre una cierta cantidad de oxígeno, y en consecuencia la resiliencia de la unión es solamente mediana. La aplicación usual era para soldar aceros de construcción de resistencia menor de 48kg/mm^2. Este tipo de electrodos que hace una décadas dominaba el mercado, ha ido siendo sustituido por los electrodos de rutilo y básicos.

10.2.4.2 Electrodos celulósicos

El principal constituyente del revestimiento es la celulosa, que se descompone por el calor desarrollado en el arco, proporcionando un gas protector de la oxidación al Mn y a otros componentes. La aplicación casi exclusiva es para soldar tuberías en posición vertical descendente, aunque son adecuados para soldar en todas las posiciones por lo que son muy empleados para soldar oleoductos y gaseoductos.

10.2.4.3 Electrodos de rutilo

El principal componente (30-55 %) del revestimiento es el rutilo, mineral formado por óxido de titanio (TiO2). También se incorpora algo de celulosa, ferromanganeso, y el resto es de materiales áridos.

La escoria tiene la viscosidad adecuada para permitir la soldadura de piezas con ajuste deficiente o cuando entre los bordes existe una distancia excesiva, resultando los electrodos idóneos para soldadura cuando la preparación de juntas es deficiente.

El metal depositado contiene buen número de inclusiones, y el nivel de impurezas es intermedio entre el que dan los electrodos ácidos y básicos. El contenido en hidrógeno puede hacer frágiles las soldaduras.

Aplicación: Son una gama de consumibles muy apreciada por su fácil manejo, ser adecuados para todas las posiciones, ser escasa la influencia de las condiciones ambientales y concretamente la humedad, ser fáciles de encender y reencender, con escasas salpicaduras, y favorable eliminación de la escoria, resultando idóneos para todo tipo de soldaduras en las que no se requiera una elevada tenacidad. Los principales campos de aplicación son estructuras metálicas, calderería y construcción naval.

10.2.4.4 Electrodos básicos

Los principales componentes del revestimiento son el carbonato cálcico y el floruro cálcico. Proporcionan un gas protector a base de CO2 fundamentalmente. Son fuertemente higroscópicos, por lo que se precisan precauciones para evitar que la humedad origine porosidades o fisuraciones en el metal depositado. Su escoria se elimina con menos facilidad que las de otros tipos. Los electrodos básicos son más difíciles de manejar que otros, pero permiten obtener, por adición de elementos adecuados, tales como Mn, Cr, Ni, Mo, etc., *soldaduras de elevadas características mecánicas* y de alta resistencia contra algunos agentes corrosivos. *Debido a su higroscopicidad, los electrodos básicos deben secarse en horno o estufa si han estado expuestos a un ambiente húmedo, siguiendo estrictamente las recomendaciones del fabricante.*

El campo de aplicación es muy amplio, utilizándose para estructuras metálicas, recipientes a presión, construcción naval y maquinaria.

10.2.4.5 Electrodos de gran rendimiento

Se denominan así aquellos que cualquiera que sea la composición de su revestimiento, tienen un rendimiento gravimétrico superior al 130%. En comparación con los electrodos clásicos, que tienen un rendimiento entre el 80% y el 100%, el de los electrodos de gran rendimiento puede llegar al 240%.

El *rendimiento de un electrodo* viene definido como *la relación entre el peso del metal depositado y el peso de la varilla fundida*. Los electrodos de gran rendimiento empezaron a desarrollarse en el año 1947 en Holanda, añadiendo polvo de Fe al revestimiento. Aunque requieren altas intensidades de soldeo debido a su alto rendimiento de aportación, se utilizan para reducir costes de soldadura tanto en construcción como en calderería pesada.

Un caso particular es el de los electrodos de contacto, empleados para *soldadura por gravedad*, mediante unos aparatos mecánicos, *utilizados en los astilleros*, pudiendo cada operario controlar de 2 a 4 aparatos simultáneamente.

Los electrodos básicos de gran rendimiento, con *elevadas características mecánicas*, son utilizados en *construcción off-shore* y *calderería pesada*, donde se exigen *altos valores de resiliencia a baja temperatura.*

10.2.5 Selección del tipo de corriente eléctrica para soldadura con electrodo recubierto

La clase de corriente depende fundamentalmente del tipo de electrodo que se va a utilizar. A pesar de que la corriente continua es la más común, la amplia gama de electrodos actualmente en el mercado que deben utilizarse con corriente alterna ha hecho que crezca el uso de este tipo de corriente.

El coste de la energía con corriente alterna es menor que con corriente continua pero representa una parte poco relevante del coste total de soldadura, no siendo un factor decisivo la selección del tipo de corriente. En la tabla que sigue se reseñan algunas ventajas e inconvenientes de los dos tipos de corriente.

Características	Corriente continua	Corriente alterna
Pérdida de tensión en cables	Grande. Los cables han de ser tan cortos como sea posible	Pequeña. Preferible para soldar a gran distancia de la fuente
Electrodos	Son válidos todos los tipos de electrodos	El revestimiento debe contener sustancias que restablezcan el arco
Encendido del arco	Fácil	Más difícil, sobre todo en electrodos de pequeño diámetro
Mantenimiento del arco	Fácil	Más difícil, excepto cuando se utilizan electrodos de gran rendimiento
Efecto de soplo	Muy sensible, sobre todo cuando la soldadura está cerca de extremos de la pieza. El efecto se incrementa con la intensidad	Es raro que se produzca. La alternancia de ciclos neutraliza los campos magnéticos
Salpicaduras	Poco frecuentes	Más frecuentes debido a la pulsación
Posiciones de soldeo	Más fácil de usar "en posición" para soldaduras de secciones gruesas	Fácil de usar en cualquier posición si se dispone del electrodo adecuado
Soldadura de hojas metálicas	Preferible	Si no se actúa con gran precisión se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido del arco
Soldadura de piezas gruesas	Rendimiento bajo	Preferible, pues al poder utilizarse mayor diámetro de electrodo y más intensidad de corriente se logran mayores rendimientos

Tabla 10.2 Comparación entre usos de corriente continua y alterna.

10.3 Soldadura hiperbárica bajo el agua

Una de las aplicaciones interesantes por sus particularidades es la soldadura submarina. El problema es que la soldadura realizada por buzos en contacto con el agua ofrece una deficiente calidad desde el punto de vista metalúrgico.

La idea de *soldar en seco en una cámara o burbuja hiperbárica* fue el resultado de los experimentos llevados a cabo por EDWIN LINK en el año 1966. El objetivo era conseguir una *soldadura en un ambiente a presión superior a la* atmosférica, o hiperbárico, que pudiese satisfacer los requisitos del *American Petroleum Institute* (Norma API 1104). Desde esta fecha, el proceso ha evolucionado, y está sujeto a continuos avances en cuanto a desarrollo de nuevas técnicas y equipos.

La soldadura hiperbárica es un proceso de soldadura realizada en seco y a presión ligeramente superior a la columna de agua correspondiente a la profundidad a la que se está trabajando, y en la que el soldador opera en seco dentro de una cámara o habitáculo dotada con un sistema con máscaras diseñado especialmente, mecanismos de expulsión de gases, iluminación y control del ambiente, junto con el equipamiento típico de la operación de soldadura.

10.3.1 Proceso de soldadura

Las primeras soldaduras hiperbáricas se hicieron totalmente con el proceso TIG. Recientes investigaciones aconsejan como mejor combinación: *TIG para la pasada de raíz y SMAW para las pasadas de relleno*. Hasta el momento se han desechado otros procesos de soldeo a causa de lo reducido del recinto y la necesaria operatividad del soldador.

Debido a la presión en el interior de la cámara hiperbárica y a su elevada humedad relativa, esta soldadura presenta variables que la hacen distinta de la realizada en condiciones atmosféricas. Estas variables son:

— Modificación de la estructura del arco eléctrico, siendo necesaria una mayor tensión para mantener su estabilidad.

— Mayor penetración.

— Mayor producción de escoria.

— Mayor producción de humos, que dificultan la visibilidad. A profundidades de 75 m y mayores llegan incluso impedir la observación del arco.

— Velocidades de enfriamiento elevadas debido al alto poder refrigerante de la mezcla de gas helio que se utiliza para presurizar la cámara.

— Cuando se suelda por el proceso SMAW se producen fenómenos de difusión química que influyen en las reacciones metalúrgicas en el sentido de aumentar el contenido en C y disminuir el de Mn y Si.

— Mayor absorción de gases por el metal fundido, por soportar una presión mayor.

10.3.2 Equipo necesario

Una cámara hiperbárica construida de chapa de acero totalmente soldada, que se sumerge vaciando con aire a presión unos tanques laterales de lastre hasta situarla sobre la zona a soldar o reparar, y dentro de la cual se sitúan los útiles de soldadura y herramientas auxiliares necesarias. Por medio de juntas especiales se sella la cámara en torno a dicha zona y se vacía de agua. Dentro de la cámara se mantiene una atmósfera inerte para eliminar el peligro de incendio, y los soldadores respiran una mezcla adecuada de gases por medio de máscaras, estando todo el sistema conectado a la superficie a través de una manguera o cordón umbilical por donde se envía el gas para respiración, gases para soldeo, energía eléctrica para iluminación, para precalentamiento de la junta, para soldadura, y líneas para comunicación telefónica (Ver Fig. 10.6).

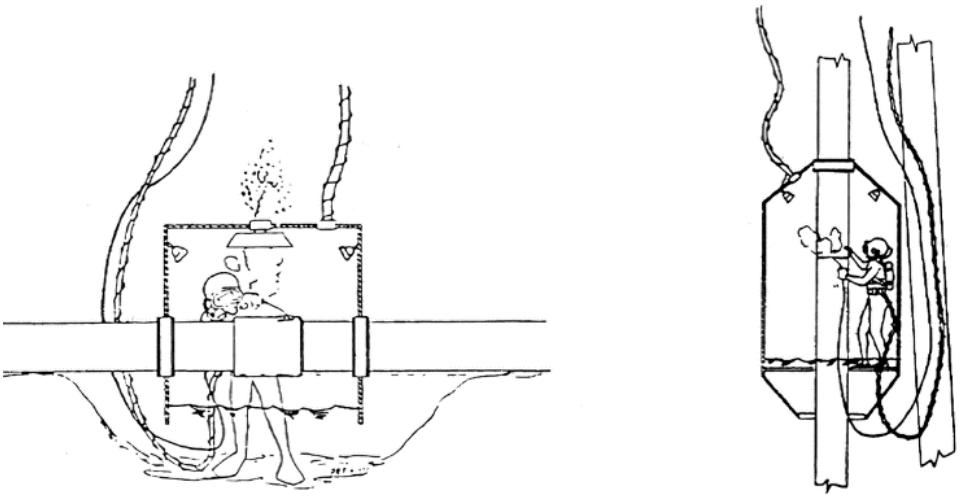


Fig. 10.6 Equipo para soldadura hiperbárica bajo el agua.

Con la técnica de cámara hiperbárica, o soldadura bajo presión con medios humanos, se llega a pasar de los 200 m de profundidad. Parece que el límite de utilización puede estar en los 300 m, pues a mayor profundidad los problemas metalúrgicos y el empleo de buzos harían, por el momento, inviable el proceso, debiendo recurrirse a otras técnicas.

10.4 Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible: TIG o GTAW (Tungsten Inert Gas o Gas Tungsten Arc Welding)

10.4.1 Introducción a la soldadura TIG

La idea de utilizar un medio protector gaseoso es tan antigua como el electrodo revestido, pero fue en 1.919 cuando se investigaron varios gases, desde los inertes hasta el hidrógeno e hidrocarburos. En la década de 1930, el interés se centró en los gases inertes pero no fue hasta 1.940, cuando comenzaron los primeros experimentos en Estados Unidos. El metal a soldar se fundía por un arco eléctrico con un electrodo de tungsteno en una atmósfera inerte de helio monoatómico.

10.4.2 Principios del Proceso TIG

Descripción

El procedimiento de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible, también llamado *TIG (Tungsten Inert Gas)*, utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que salta entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. El material de aportación, cuando es necesario, se aplica a través de varillas como en la soldadura oxiacetilénica. La Fig. 10.7 muestra esquemáticamente los principios del procedimiento TIG.

A. Conducción del gas
B. Soporte del electrodo
C. Electrodo de Tungsteno no consumible
D. Gas de protección
E. Cordón de soldadura
F. Metal fundido
G. Arco
H. Metal de aportación
I. Metal base

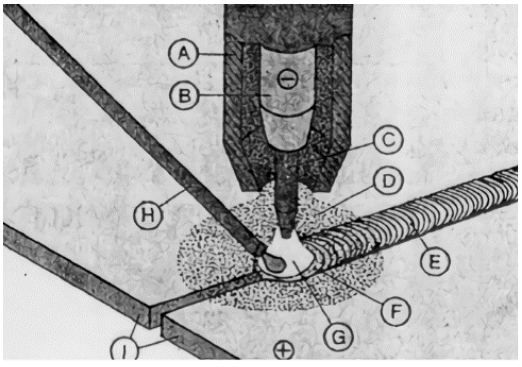


Fig. 10.7 Esquema de principio del procedimiento TIG.

Características

— Aunque se trata de un proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como tubería de pequeño espesor soldada longitudinal o helicoidalmente y para la fijación de tubos a placas en intercambiadores de calor.

— Su aplicación manual exige una gran habilidad por parte del soldador.

— Puede emplearse en todo tipo de uniones o posiciones y en los materiales más diversos: aceros al carbono, inoxidables, metales no férreos, etc.

TIG con arco pulsado

Se trata de una variante del procedimiento TIG en la que la corriente de soldadura varía cíclicamente entre un nivel mínimo (corriente de fondo) y máximo (impulso), a frecuencias que dependen del trabajo a realizar y que pueden oscilar entre milésimas de segundo y segundos.

Esta técnica facilita el control del baño de fusión y permite ajustar con bastante precisión la energía aportada por lo que suele emplearse en espesores muy finos y en uniones que presenten una gran dificultad operativa.

10.4.3 Productos de aporte. Varilla de metal de aportación. Gases de protección. Electrodos no consumibles

Varilla de metal de aportación

Puesto que el TIG es un proceso que no produce escorias y que se realiza en una atmósfera inerte que no provoca reacciones en el baño, el *material de aportación, cuando se utilice, deberá tener básicamente una composición química similar a la del material de base.*

Normalmente, se presentan en forma de varillas de distintos diámetros.

Gases de protección

Los gases utilizados en soldadura y sus técnicas afines se dividen en:

— Inertes: Ar, He.

— Poco activos: N_2.

— Activos: Oxidantes (CO_2, O_2) y reductores (H_2).

Electrodos no consumibles

Su misión es únicamente la de mantener el arco sin aportar material al baño de fusión. Se emplean de tres tipos fundamentalmente: Tungsteno puro (P.F. de 3400ºC. aprox.) para soldadura de aluminio y sus aleaciones; tungsteno aleado con torio (P.F. de 4000ºC aprox.) para aceros al carbono, acero inoxidables, cobre, titanio, etc.; tungsteno aleado con circonio (P.F. de 3800ºC. aprox.) para materiales ligeros como aluminio y magnesio, donde sea necesario evitarla contaminación del metal de aporte.

10.4.4 Corriente eléctrica e instalación de soldadura

Para el proceso TIG puede usarse tanto corriente continua como alterna. La elección del tipo de corriente y polaridad depende del material a soldar.

Cuando se utiliza corriente continua y polaridad directa, es decir, con el electrodo conectado al polo negativo, se obtiene un rendimiento térmico muy aceptable y una buena penetración. De acuerdo con esto, al emplearse C.C., la polaridad recomendada es la directa, salvo excepciones como cuando se sueldan aleaciones ligeras de Al y Mg, por la formación de una capa de óxidos refractarios que recubren el baño, lo cual no se produce con la polaridad inversa.

La corriente alterna aúna las ventajas e inconvenientes de las dos polaridades. Presenta dificultades de cebado y estabilidad del arco, lo que obliga a incorporar al equipo un generador de alta frecuencia.

Aunque las instalaciones pueden ser muy sofisticadas a fin de programar totalmente el proceso, los elementos básicos de una instalación de soldadura TIG pueden verse en Fig. 10.8:

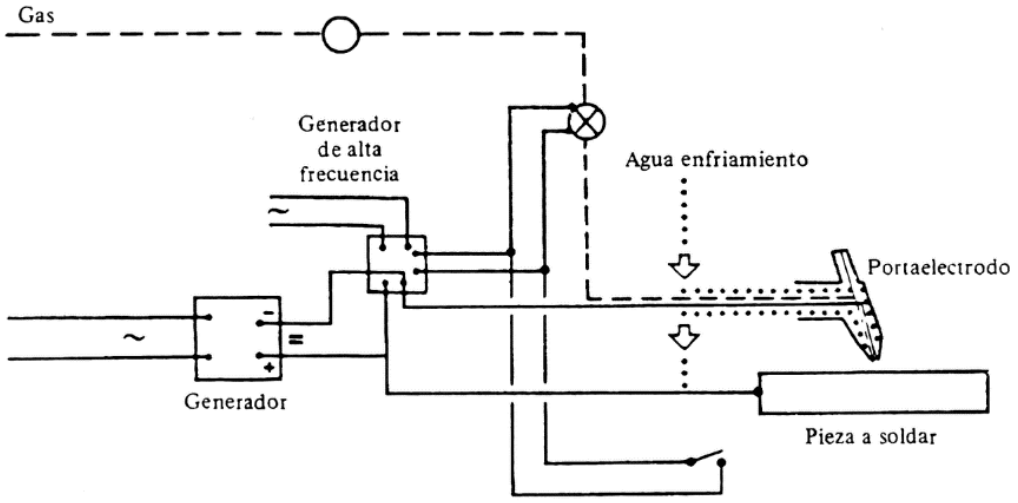


Fig. 10.8 Elementos básicos de una instalación de soldadura TIG.

10.5 Soldadura por arco plasma (Proceso PAW). Principios del proceso

10.5.1 Descripción

La soldadura por arco plasma PAW (*Plasma Arc Welding*) utiliza los mismos principios que la soldadura TIG, por lo que puede considerarse como un desarrollo de este último proceso, y ésta es la razón de incluir aquí su descripción. Sin embargo, tanto la densidad energética como las temperaturas son aquí mucho más elevadas. Su utilización comercial es muy reciente, para trabajos de recargue desde la década de 1970

La materia puede presentarse en cuatro estados: *sólido, líquido, gas y plasma.*

Este último se alcanza cuando un gas es calentado hasta una temperatura suficiente para conseguir su ionización: separación en iones portadores de cargas positivas y electrones portadores de cargas negativas.

10.5.2 Características

En la soldadura PAW, la energía para conseguir la ionización la proporciona el propio arco eléctrico que se establece, como se ve en la figura que sigue, entre un electrodo de tungsteno, a veces aleado con torio, y el metal de base *(arco transferido),* o entre el electrodo y la boquilla *(arco no transferido).*

La soldadura se puede realizar con o sin metal de aportación.

A. Electrodo
B. Gas de plasma
C. Gas de protección
D. Boquilla
E. Cubierta de gas
F. Conducto de enfriamiento
G. Arco de plasma
H. Metal base

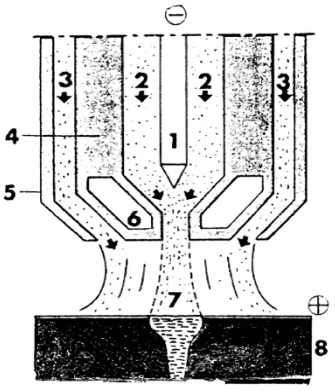
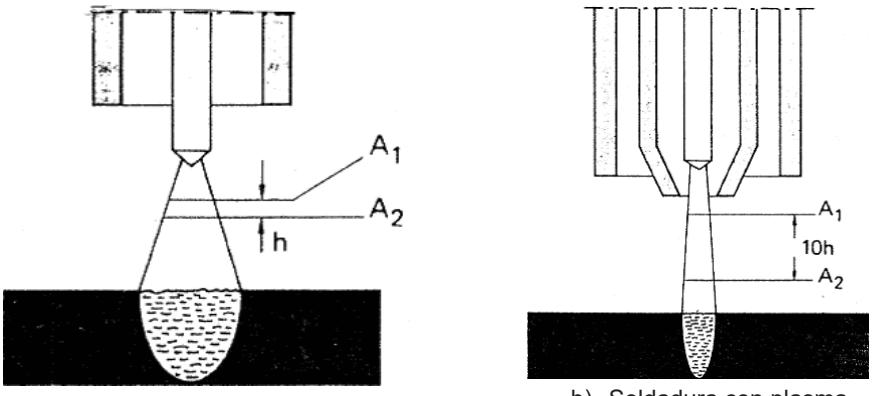


Fig. 10.9 Ilustración esquemática de pistola para soldadura con plasma.



a) Soldadura TIG b) Soldadura con plasma

Fig. 10.10 Forma elemental del arco (A1 y A2 son las secciones transversales).

1. Gas de plasma
2. Gas de protección

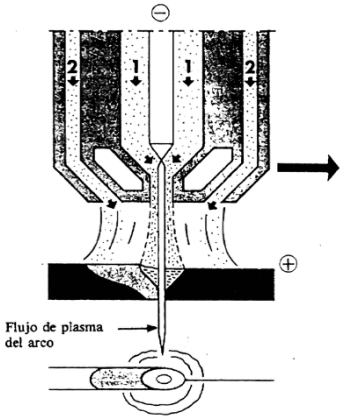


Fig. 10.11 Soldadura con plasma con la técnica "Key Hole".

Como soporte del arco se emplea un gas en estado plasma al que se rodea con un gas de protección. El estado plasma se alcanza al pasar el gas a través del orificio de la boquilla que estrangula el arco. Durante la ionización el gas sufre una considerable expansión, que aumenta su velocidad.

El diseño especial de la boquilla-tobera implica una constricción de la vena central del chorro plasma. Ello supone una mayor densidad de energía que en cualquier otro tipo de arco: SMAW, SAW, TIG, etc.

En efecto, en el proceso TIG, donde las temperaturas son del orden de los 11.000º C, la columna del arco es libre para oscilar entre el extremo del electrodo y la pieza. En el PAW, a diferencia del anterior, el chorro se concentra, como se aprecia en la figura, y la temperatura en el centro de la columna del chorro de plasma puede alcanzar los 28.000º C.

La zona de impacto es dos o tres veces inferior que en la soldadura TIG. Cuando el plasma entre en contacto con la pieza fría recupera su estado de gas, liberando la energía consumida por éste para transformarse en plasma. Esta energía es precisamente la que se aporta a la pieza.

La mayor ventaja del proceso PAW se obtiene al trabajar en espesores en los que pueda emplearse la técnica "keyhole", o de ojo de cerradura mostrada en la figura. Ello implica que el calor producido por el fino chorro de plasma atraviesa la chapa. Cuando se hace avanzar la pistola se funde el material situado delante del agujero, apartándose alrededor a causa de la fuerza del arco y volviéndose a unir por la tensión superficial detrás del surco, donde se enfría y solidifica. La soldadura es homogénea en cuanto a calidad en todo el espesor.

El flujo de gas de plasma no suele ser suficiente para proteger de la atmósfera circundante al arco, al baño de fusión y al material expuesto al calentamiento.

Por esta razón, a través de la envoltura de la pistola se aporta un segundo gas, llamado de protección, que envuelve al conjunto.

Gases.

En el proceso PAW se suele emplear Ar puro como gas plasmágeno. En ciertos casos también se utiliza He o una mezcla de 98% He - 2% H_2.

No pueden emplearse gases activos de naturaleza oxidante puesto que tienen un efecto perjudicial para el electrodo.

Aplicaciones.

El proceso *TIG* se aplica principalmente a los *aceros inoxidables*, *a los aceros al Cr-Mo resistentes al calor*, *aluminio, níquel y sus aleaciones.*

Puesto que el proceso posee las virtudes necesarias para conseguir soldaduras de alta calidad y con una elevada pureza metalúrgica, exentas de defectos y buen acabado superficiales es ideal para soldaduras de responsabilidad en la industria del petróleo, química, petroquímica, de alimentación, de generación de energía, nuclear, etc.

Se emplea así mismo en la soldadura de metales sensibles a la oxidación, como titanio y circonio.

Se puede soldar a tope y sin aporte de material, desde 0,3 mm hasta 4 mm

Como su tasa de deposición es baja, no resulta económico para soldar materiales con espesores mayores de 6-8 mm. *En estos casos el TIG se utiliza para efectuar la pasada de raíz, empleándose otros procesos de mayor productividad para el resto de las pasadas de relleno.* Presenta las limitaciones de todo proceso con protección gaseosa.

10.6 Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible, normalmente conocida como soldadura semiautomática (Gas Metal Arc Welding o GMAW, y también MIG y MAG según el tipo de gas protector)

10.6.1 Introducción

Es un proceso relativamente reciente pues comenzó a emplearse en 1.948 en la soldadura de Al y Mg utilizando un gas protector inerte, y en el año 1.951 en la soldadura de aceros al carbono.

El *elevado precio de los gases inertes* condujo rápidamente a estudiar *la posibilidad de utilizar gases activos*, puros o mezclados con aquellos.

10.6.2 Principios del proceso

Descripción.

La soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible es un proceso en el que el arco se establece entre un electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar, estando protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte, *proceso MIG (Metal Inert Gas)* o por un gas activo, *proceso MAG (Metal Active Gas)*.

En la figura que sigue se muestran esquemáticamente los principios del proceso *GMAW* que puede ser:

— *Semiautomático*. La tensión del arco, velocidad de alimentación del hilo, intensidad de soldadura y caudal de gas se regulan previamente. El movimiento de la pistola de soldadura se ejecuta manualmente.

— *Automático*. Todos los parámetros, incluso la velocidad de soldadura, se regulan previamente y se aplican de forma automática.

— *Robotizado*. En la actualidad *el GMAW es el único proceso de soldadura por arco que se ha robotizado a nivel industrial*. En este caso, todos los parámetros de soldeo, así como las coordenadas de localización de la junta a soldar, se programan mediante una unidad específica para este fin. La soldadura la realiza un robot al ejecutar la programación, según se ve en la segunda figura.

A. Conducción del gas
B. Tubo de contacto
C. Metal de aportación
D. Gas de protección
E. Cordón de soldadura
F. Metal fundido
G. Arco
H. Metal base

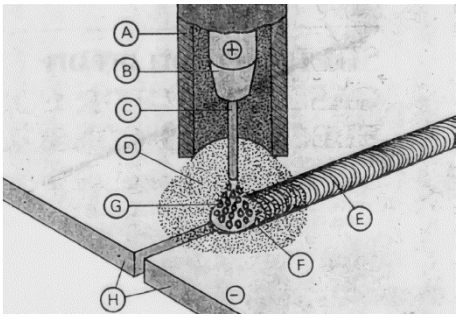


Fig. 10.12 Soldadura GMAW.

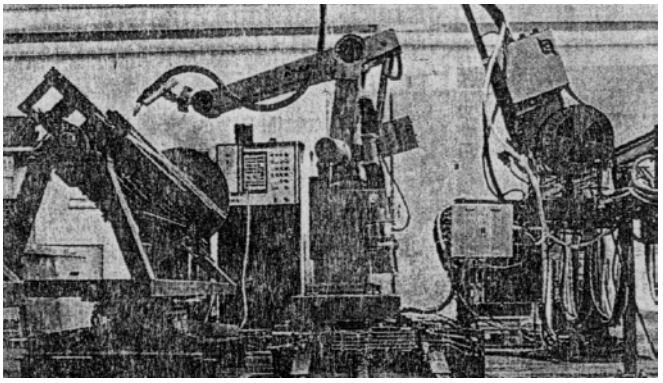


Fig. 10.13 Robot para soldadura GMAW.

10.6.3 Parámetros a considerar

1. Polaridad.
2. Tensión del arco.
3. Velocidad de alimentación del hilo.
4. Naturaleza del gas.

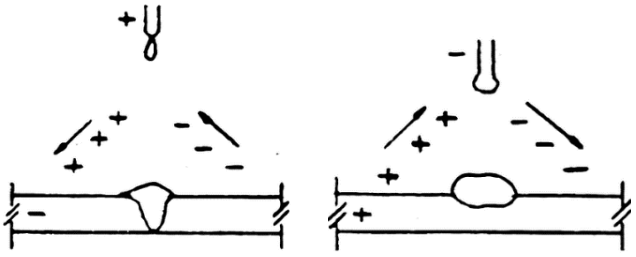


Fig. 10.14 Influencia de la polaridad.

10.6.4 Modalidad de transporte

Arco "spray", arco pulsado, arco globular, arco corto o cortocírcuito (Ver **Fig 10.15**)

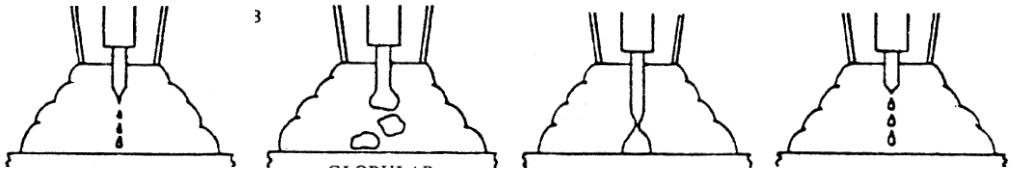


Fig. 10.15 Modalidades de transporte del metal del electrodo según tipo del arco.

10.6.5 Material de aportación

Hilos.

En la soldadura *MIG/MAG*, el electrodo consiste en un hilo continuo, macizo, o tubular, de diámetro que oscila normalmente entre *0,8 a 1,6 mm* Los diámetros comerciales son: *0,8, 1,0, 1,2 y 1,6 mm*. En ciertos casos de soldeo con fuerte intensidad, se emplea hilo de *2,4 mm* de diámetro, e incluso mayor.

Se presenta enrollado en bobinas de 15 kg, aunque en instalaciones automatizadas pueden llegarse a emplear carretes de 100 kg o mayores.

El hilo suele estar recubierto de cobre para favorecer el contacto eléctrico con la boquilla, disminuir rozamientos y protegerlos de la oxidación.

El sistema de alimentación del hilo es continuo, y se incorpora en la máquina de soldar para evitar que la pistola sea muy pesada. La manguera desde la máquina incorpora también la alimentación del gas de protección.

El arco se autorregula hasta que se alcance el equilibrio entre la alimentación del electrodo y la longitud de arco. El cebado inicial se realiza mediante contacto entre el electrodo y la pieza. De este modo el electrodo se funde y se inicia el arco.

En general, la composición del hilo macizo suele ser similar a la del material de base. No obstante, para su elección hay que tener en cuenta la naturaleza del gas protector, por lo que se debe seleccionar la pareja hilo-gas. Por ejemplo, cuando se suelda con CO_2 existe el riesgo de formación de poros. Con objeto de evitarlos conviene que el hilo posea una cierta cantidad de elementos desoxidantes, como Si y Mn, que

reacciona con el O_2 procedente de la disociación del CO_2 y produce SiO_2 y MnO, que se eliminan en forma de escoria muy ligera.

Los hilos tubulares normalmente van rellenos con flux (FCAW o flux core arc welding), con polvo metálico (MCAW o metal core arc welding), o incluso con ambos. El relleno con polvo metálico, aparte de que puede aportar algún elemento de aleación, mejora el rendimiento gravimétrico del hilo. En cuanto al flux de relleno, son similares a los usados para soldadura con arco sumergido, excepto que, como en el proceso GMAW se utiliza un gas de protección, no es necesario que haya celulosa o carbonatos. Estos hilos se clasifican en básicos o rutilos según la naturaleza del flux de relleno.

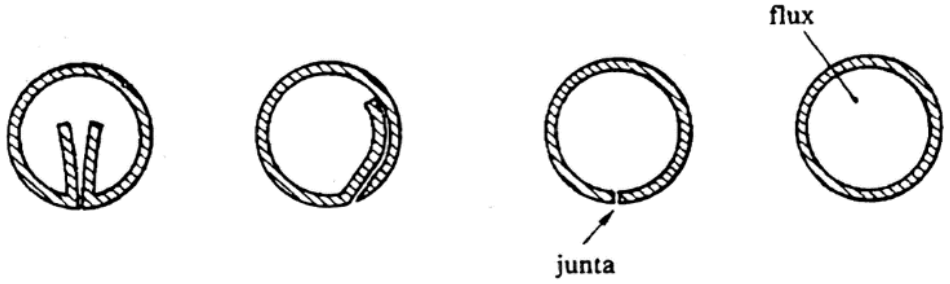


Fig. 10.16 Tipos de hilos tubulares.

10.6.6 Gases de protección

La naturaleza del gas de protección es muy importante puesto que influye notablemente en:

— La cantidad de energía aportada.

— El tipo de transferencia.

— La penetración.

— La velocidad de soldeo.

— El aspecto del cordón.

— La probabilidad de proyecciones y mordeduras.

10.6.7 Soldadura MIG

Emplea como gas protector un gas inerte, que es muy estable y no reacciona en el arco. De los seis gases inertes: argón, helio, neón, criptón, xenón y radón, el argón es el que más se emplea en Europa y el helio en Estados Unidos. El helio y el argón se comportan de forma muy diferente en el soldeo MIG. El argón se ioniza fácilmente, de manera que la tensión del arco bajo argón es sensiblemente inferior que bajo helio.

10.6.8 Soldadura MAG

Emplea como gas protector un gas un gas activo, o sea, que interviene en el arco de forma más o menos decisiva. Puede ser *CO2, Argón +CO2; O2; H2; N2* para diferentes aplicaciones y propiedades de la soldadura obtenida.

10.6.9 Instalación

Básicamente consta de:

- Generador de CC
- Unidad de alimentación del hilo.
- Circuito de gas protector.
- Eventualmente, circuito de refrigeración.
- Pistola de soldadura.
- Conjuntos de válvulas y órganos de reglaje y control.

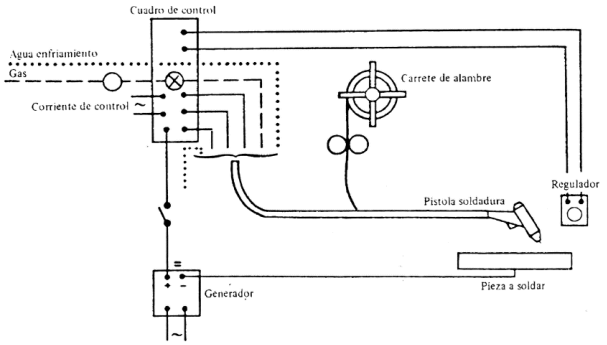


Fig. 10.17 Esquema de instalación de soldadura GMAW.

10.6.10 Ventajas y limitaciones del proceso GMAW

El proceso se *caracteriza* por:

- Ausencia de escoria.
- Alimentación automática del hilo.
- Gran flexibilidad en la regulación.

De todo ello se derivan las *siguientes ventajas*:

- Reduce el tiempo y costes de operaciones con relación al proceso SMAW.
- No requiere una excesiva pericia en el operario.
- Se consigue un alto rendimiento en la soldadura con buena calidad.
- Seguridad e higiene altas en comparación con otros procesos.
- Evita impurezas en el baño fundido.
- Es versátil.

Tenemos las siguientes *limitaciones:*

— Necesidad de soldar sin corrientes de aire para no perder la protección del gas.

— Movilidad aceptable pero menor que la del proceso SMAW.

— Gama de materiales de aporte limitada por las dificultades de trefilado de algunos aceros.

— Si no se aplica correctamente, tiende dar lugar a faltas de fusión y porosidad.

10.6.11 Aplicaciones

Son múltiples, aunque no se ha impuesto definitivamente como para conseguir desplazar de forma masiva a otros procesos. (Ver cuadros que sigue con diversos ejemplos de aplicación, así como diferentes características en función de cada aplicación).

Material	Modalidad de transporte	Posición	Espesor (mm)	
			<5	≥5
Acero al carbono	Spray	Sobremesa cornisa	No recomendado	98A – $2O_2$ 92A – $8CO_2$
	Spray pulsado	Todas	98A – $2O_2$ 92A – $8CO_2$ (p. varilla 0,6 mm)	92A – $8CO_2$
	Cortocircuito	Todas	75A – $25CO_2$ 92A – $8CO_2$	75A – $25CO_2$ Dióxido de carbono
Acero de baja aleación	Spray	Sobremesa cornisa	No recomendado	98A – $2O_2$ 92A – $8CO_2$
	Spray pulsado	Todas	98A – $2O_2$	98A – $2O_2$ 92A – $8CO_2$
	Cortocircuito	Todas	75A – $25CO_2$ 92A – $8CO_2$	75A – $25CO_2$
Acero inox.	Spray	Sobremesa cornisa	No recomendado	98A – $2O_2$
	Spray pulsado	Todas	98A – $2O_2$	98A – $2O_2$
	Cortocircuito	Todas	90He – 7,5A – $2{,}5CO_2$	90He – 7,5A – $2{,}5CO_2$

Tabla 10.3 Gases de protección para soldadura MIG y MAG de aceros.

Material	Modalidad de transporte	Posición	Espesor (mm)	
			<5	≥5
Aluminio y sus aleaciones	Spray	Todas	A	A 75He – 25A
	Spray pulsado	Todas	A	A 75He – 25A
Cobre y sus aleaciones	Spray	Todas	A 75He – 25A	75He – 25[a]
	Spray pulsado	Todas	A 75He – 25A	75He – 25A
Níquel y sus aleaciones	Spray	Todas	A	A 75He – 25A
	Spray pulsado	Todas	A	A 75He – 25A

Tabla 10.4 Gases de protección para soldadura MIG y MAG de Aluminio, Cobre y Niquel.

10.7 Soldadura automática por arco sumergido (SAW) con electrodo único y múltiple

La *soldadura* conocida *como automática* es la denominada *soldadura por arco sumergido (SAW)*, o en algunos sitios, por costumbre, llamada *UNION MELT.* Consiste en el establecimiento del arco eléctrico bajo un *flux* granulado o en polvo que es proporcionado por una tolva que lo deja caer por gravedad antes del paso del electrodo. Dicho flux se funde pudiendo suministrar al baño fundido ciertos elementos de aleación, y al solidificar forma una escoria que protege al cordón de la oxidación, y al mismo tiempo disminuye la velocidad de enfriamiento. El electrodo es un hilo de alambre que es alimentado de modo continuo por un alimentador de rodillos situado en la propia máquina de soldar que se desplaza sobre la unión. Dicho electrodo puede ser alambre macizo o hueco, y en este caso va relleno interiormente de flux. Exteriormente suele ir recubierto de un baño de cobre.

Normalmente se suelda con corriente alterna, pero en los casos en que se emplee más de un electrodo, el primero de ellos suele ser de corriente continua con objeto de mejorar la penetración de la primera pasada, siendo los siguientes (normalmente no más de tres), de corriente alterna.

La soldadura automática por arco sumergido puede llevarse a cabo sobre chapas planas y en ángulo para la soldadura de perfiles a la chapa.

Básicamente es una soldadura en horizontal.

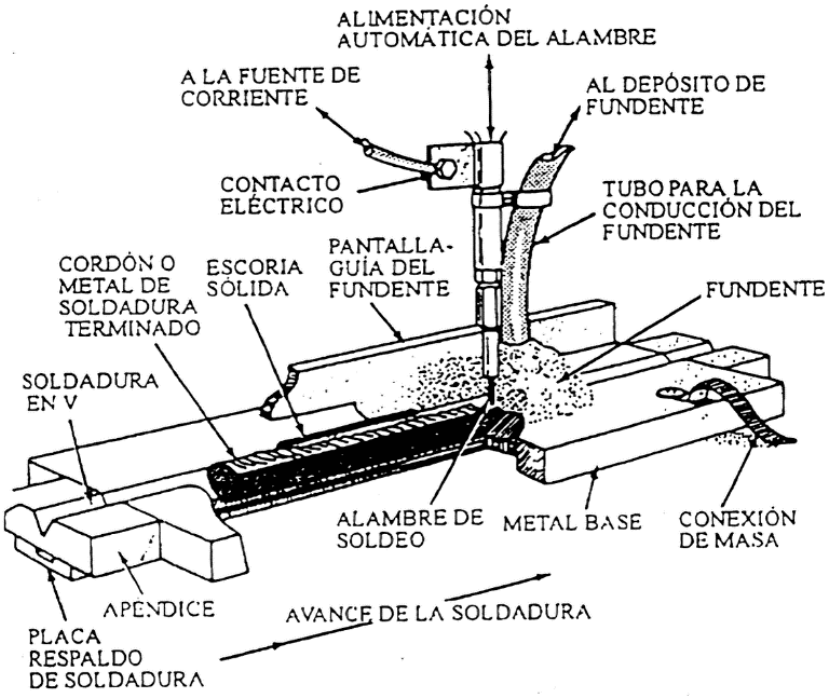


Fig. 10.18 Representación esquemática proceso SAW.

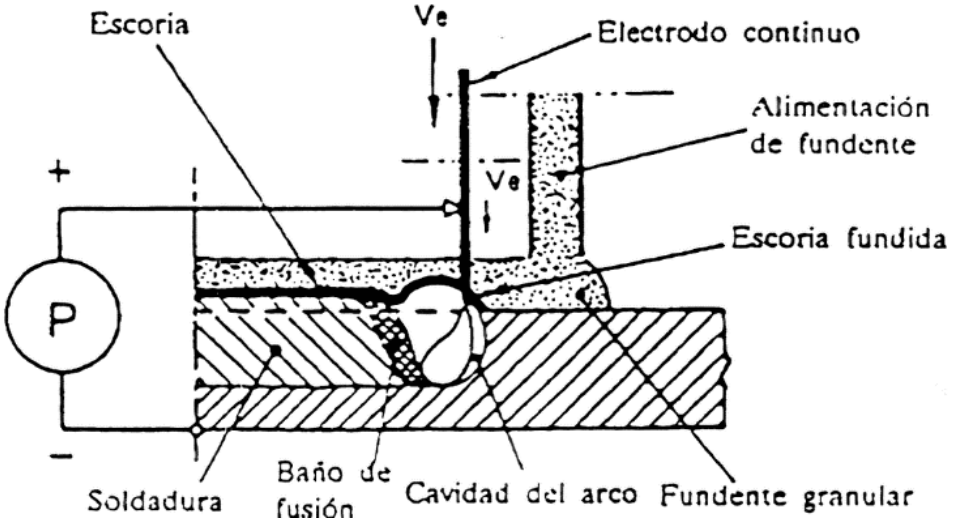


Fig. 10.19 Soldeo por arco sumergido. P= fuente de energía. Ve = velocidad de alimentación del electrodo.

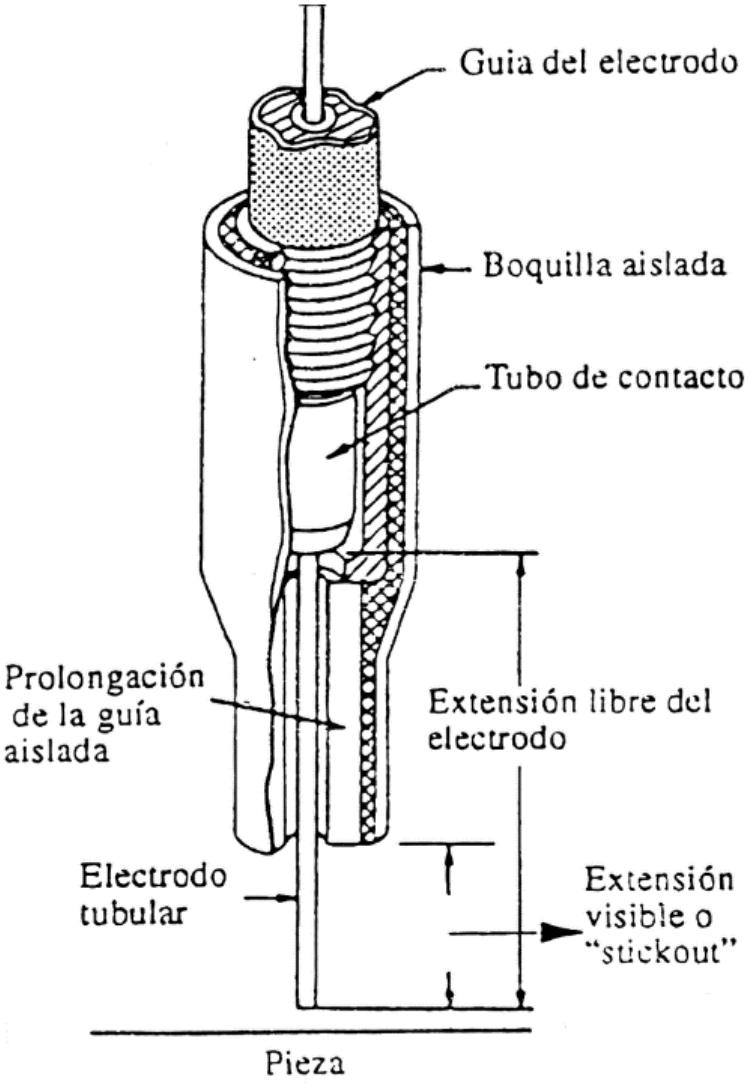


Fig. 10.20 Boquilla para SAW.

Para mejorar el rendimiento se puede incorporar polvo de hierro durante el soldeo SAW, para producir un incremento en la tasa de deposición, ver figura que sigue. Se pueden así conseguir cordones de buen aspecto, pero se reduce la penetración y la dilución. La adición del polvo puede variar también la composición del metal de soldadura. El polvo metálico puede ser añadido delante del baño de fusión o en el mismo baño.

La máquina de soldar suele llevar por detrás un mecanismo recoger del *flux* que no se ha fundido, a fin de recuperarlo para su uso en posteriores soldaduras.

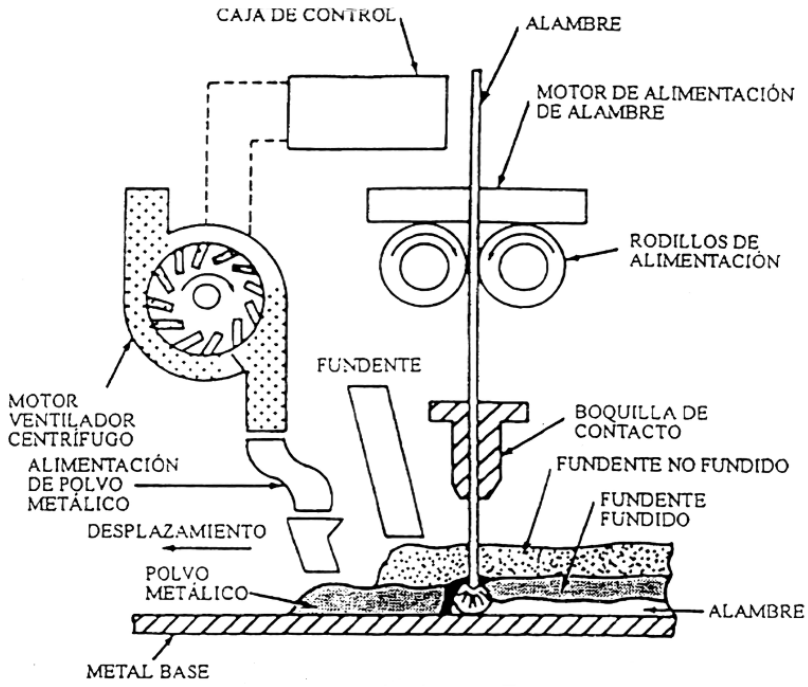


Fig. 10.21 Soldeo SAW con aportación de polvo metálico.

10.7.1 Respaldo

En el soldeo por arco sumergido se produce una gran cantidad de metal fundido. Este metal líquido debe soportarse de alguna forma hasta que se solidifique ya que él solo muchas veces no es capaz.

Existen varios métodos para soportar el metal líquido cuando se requiere penetración completa:

— Cordones de raíz o de respaldo.

— Placas de respaldo cerámico.

— Placas de respaldo de cobre.

— Respaldo de flux.

10.7.2 Cordones de raíz

Para dar respaldo a las soldaduras realizadas por el método SAW, se realiza el cordón de soldadura de raíz por uno de los procedimientos SMAW, GMAW, etc.

Dichos cordones de raíz pueden permanecer como parte de l unión o ser retirados des pues de dar la pasada por SAW En todo caso deben ser cuidadosamente inspeccionados, generalmente por inspección visual, y resanados en caso de tener defectos como grietas, inclusiones de escoria, materias extrañas, antes de proceder a depositar los cordones SAW.

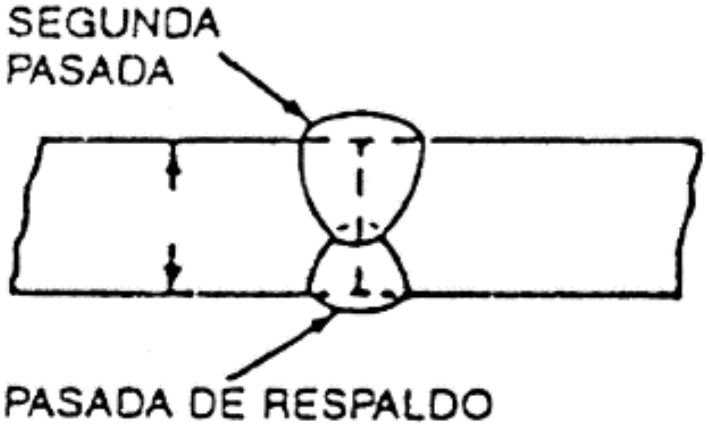


Fig. 10.22 Cordón de respaldo.

10.7.3 Soldadura automática por arco sumergido (SAW), de chapas para formar un panel, por una sola cara, con pletina de respaldo

Cuando los espesores son grandes, se realiza la preparación de bordes en chaflán o en K, como se vio en el apartado dedicado a *corte* (Cap. IX), y lo normal es soldar con SAW por una de las caras, voltear, resanar la raíz, y soldar también con SAW por la otra cara.

En caso de realizar una *soldadura automática por una sola cara con penetración total*, se requiere un *respaldo en la cara contraria* a la que se suelda, que consiste en unas piezas, normalmente cerámicas, con forma de canal, sujetas mediante una cinta adhesiva. En algunos casos, dichos respaldos contienen fundente con objeto de crear un cordón de raíz de mejor aspecto.

Algunas veces se utilizan placas de respaldo metálicas, que, a fin de que no se fundan con el metal de soldadura, suelen ser de cobre dado que su gran conductividad térmica impide la fusión de dicha placa. También hay sistemas en que ésta, para evitar su fusión, va refrigerada con agua.



Fig. 10.23 Disposiciones típicas de las barras de respaldo.

También se usa, como respaldo, *flux* sometido a cierta presión, dispuesto en una envolvente de material flexible, por debajo de la cual va situada una manguera que suministra una presión moderada por el lado de la raíz de la soldadura.

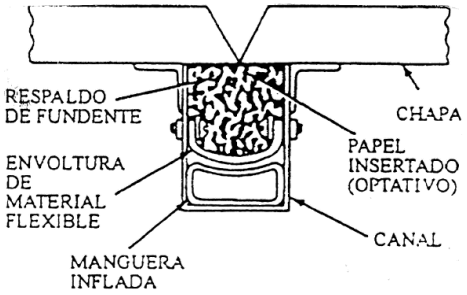


Fig. 10.24 Método para situar el respaldo de flux en la soldadura por arco sumergido.

10.8 Soldadura por electroescoria

Se utiliza en costuras verticales. Consiste en un crisol que asciende por la unión y que sirve de molde a la costura que se va produciendo. Un electrodo es alimentado desde la parte superior y se funde por resistencia en el caldo de la unión. El fundente es aportado por el propio electrodo y sobrenada en el caldo.

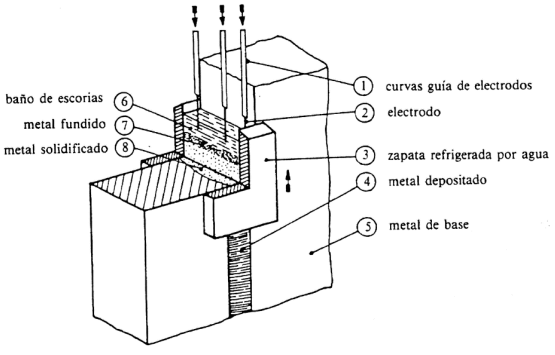


Fig. 10.25 Diagrama descriptivo de la soldadura por electroescoria.

Para evacuar el calor producido se adaptan a la junta a soldar unas zapatas de cobre refrigeradas por agua que juegan un papel similar al de las paredes de una lingotera. A medida que solidifica el metal aportado, las paredes se elevan en sentido vertical, que resulta ser la posición de soldeo más frecuente.

10.9 Soldadura por electrogás

Del mismo modo en el caso de la soldadura por electroescoria, un crisol va ascendiendo por la unión, pero la fusión del electrodo se produce por arco entre el mismo y el caldo de la unión. En este caso existe un gas protector que es aportado a través del molde.

10.10 Soldadura por gravedad

Se denomina así a una variedad utilizada del proceso SMAW, en que el electrodo se va consumiendo, según gira alrededor de una articulación con un contrapeso, habiendo sido un proceso apropiado para las soldaduras en ángulo en horizontal, pudiendo un solo operario controlar varios electrodos simultáneamente.

10.11 Otros procedimientos: Soldadura por resistencia eléctrica,explosión, haz de electrones, láser

— *Soldadura por resistencia eléctrica*: En diversas modalidades como la utilizada para la soldadura de espárragos, para soldadura por puntos de chapas de poco espesor etc.

— *Soldadura por explosión*: Utilizada entre otros usos, para fabricar "chapa sandwich", plaqueado o *cladding* (por ejemplo chapa de acero al carbono con lámina de acero inoxidable por una cara, y de otros metales).

— *Soldadura por haz de electrones*, utilizada normalmente para piezas ya mecanizadas.

— *Soldadura por láser*, para unión de piezas también ya mecanizadas.

10.12 Resanado o calafateado del acero con máquina neumática

El proceso de la tradicional máquina del calafate, utilizada anteriormente para hacer estancas las uniones remachadas, se sigue utilizando para recantear piezas de acero, eliminar *rebarbas*, levantar las raíces de los cordones para proceder a realizar el cordón de soldadura de la cara inferior, arrancar material defectuoso de los cordones de soldadura para proceder a su rectificación, o lo que comúnmente se denomina resanar

el material, e incluso preparar los bordes o biseles de soldadura cuando no es necesaria una gran perfección.

Esto se realizaba y se realiza mediante un cincel de acero impulsado a golpes intermitentes por una máquina de aire comprimido que constituye la tradicional, ruidosa y molesta, aunque útil y socorrida máquina de calafate, que, por el estruendoso ruido que produce, denota su presencia a bastante distancia desde donde está funcionando.

10.13 Resanado con arco-aire

El sistema *arco-aire (arc-air)* consiste en la utilización de un electrodo consumible de grafito, que conduce la corriente eléctrica, saltando el arco entre dicho electrodo y la superficie de la pieza en la que se quiere resanar la raíz de un cordón de soldadura, o eliminar material. A través de una boquilla concéntrica con el electrodo se sopla aire a presión, el cual elimina el metal de la pieza que se va fundiendo por el calor producido por el arco eléctrico y la combustión del electrodo.

Un sistema similar consiste en la utilización de un electrodo tubular, para mayores espesores según se ve en la figura adjunta, que conduce la corriente y crea un arco con la superficie de la pieza, de intensidad suficiente para mantenerla incandescente. Mientras tanto una corriente de aire va siendo descargada a través del orificio del electrodo, la cual expulsa el metal fundido, eliminando el material indeseado.

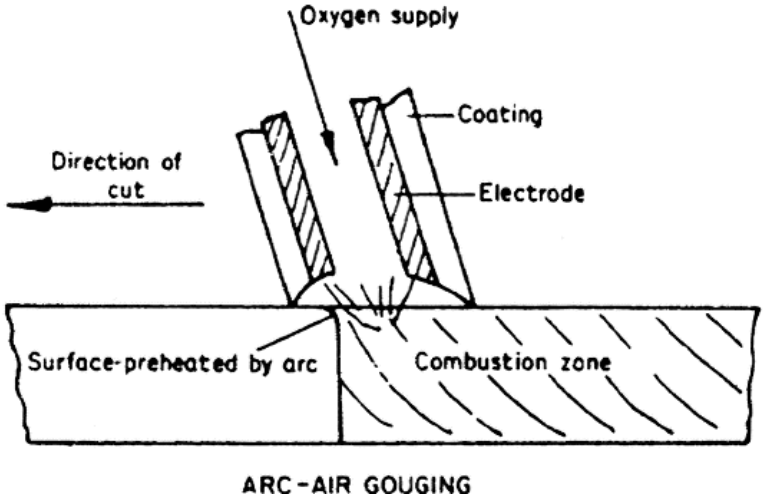


Fig. 10.26 Diagrama descriptivo del resanado con arco-aire.

10.14 Deformaciones producidas en el proceso de soldadura y modos de contrarrestarlas

En los procesos de soldadura siempre se van a producir deformaciones, más acentuadas en el caso de las chapas y perfiles, debido a la contracción que experimenta el material al enfriar. Se deben tratar de disminuir al máximo posible con un estudio previo para establecer una adecuada distribución y secuencia de soldadura a fin de ir compensando las de un lado con las de otro, además estableciendo los valores adecuados de intensidad y velocidad de soldadura. Incluso, se pueden provocar deformaciones previas antagonistas de las que va a provocar la soldadura. Y en el proceso se utilizarán tensores, puentes, grapas, posicionadores correctamente colocados.

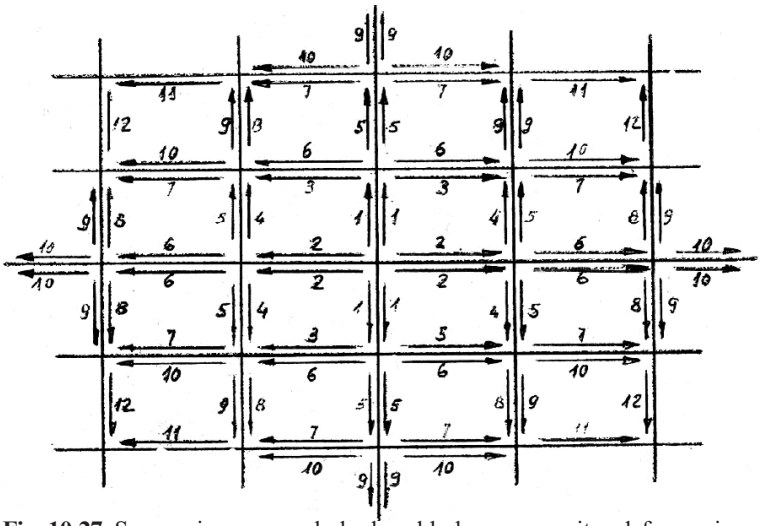


Fig. 10.27 Secuencia recomendada de soldadura para evitar deformaciones.

Aun así, seguramente existirán deformaciones y éstas se pueden corregir hasta cierto punto con procesos de conformado con calor (o calor y frío), similares a los utilizados para conformar las chapas de acero, vistos en otro capítulo (procedimiento Tampo), así como con procesos mecánicos, pero siempre teniendo en cuenta lo indicado en el siguiente párrafo acerca de las tensiones internas.

Las tensiones creadas en la soldadura deben poder liberarse en la mayor medida posible, no debiendo permanecer después de la soldadura como tensiones internas.

Las deformaciones típicas que aparecen en los procesos de soldadura se ven en las figuras que siguen:

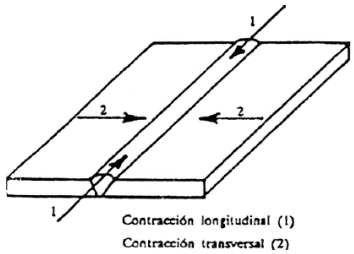


Fig. 10.28 Contracciones longitudinales y transversales producidas al realizar la soldadura.

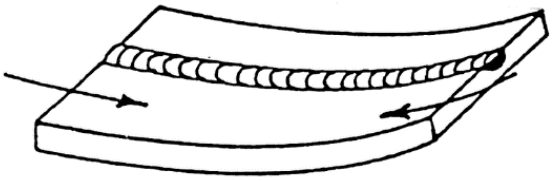


Fig. 10.29 Deformación por contracción longitudinal.

Como idea orientativa solamente, la contracción longitudinal sería del orden de 1mm por cada metro de soldadura, y la transversal de 1 mm.

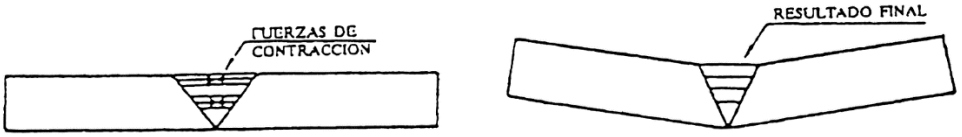
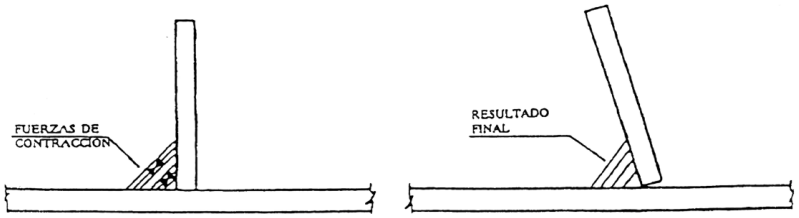


Fig. 10.30 Deformación angular en una unión a tope.



Deformación angular.

Fig. 10.31 Deformación angular en una unión en ángulo.

10.15 Precalentamiento previo, y tratamiento térmico posterior de las soldaduras

En casos de piezas muy gruesas puede ser necesario tener que precalentarse para lo cual se pueden utilizar sopletes (lanzas de calentamiento, mantas con resistencia eléctrica, corrientes inducidas, etc.)

En piezas de cierta responsabilidad, puede ser necesario tener que recurrir a un tratamiento térmico posterior, bien sea para corregir modificaciones de la estructura cristalina o para eliminar las tensiones internas. Esto puede realizarse mediante hornos, si existen del tamaño necesario, o en caso contrario con mantas con resistencia eléctrica, y con corrientes inducidas como en el caso anterior.

10.16 Listado resumen de los procesos de soldadura), con sus siglas correspondientes en inglés

— OAW = Soldadura oxiacetilénica.

— SMAW = Soldadura con electrodo recubierto (Shielded metal arc welding).

— SAW = Soldadura, *automática*, por arco sumergido (Submerged arc weding).

— GTAW = TIG = Soldadura con electrodo de tungsteno con protección de gas (inerte), (Gas tungsten arc welding, o Tungsten inert gas).

— GMAW = Soldadura, normalmente *semiautomática*, con protección de gas, usualmente CO_2, o CO_2 + Argón (Gas metal arc welding), ya sea MIG (Metal inert gas, normalmente Ar), o MAG (Metal active gas, normalmente CO_2).

— FCAW = Electrodo hueco relleno con flux (Flux core arc welding).

— MCAW = Electrodo hueco relleno con polvo de metal (Metal core arc welding).

— ESW = Soldadura por electroescoria (Electroslag welding).

— PAW = Soldadura por plasma (Plasma arc welding).

— ERW = Soldadura por resistencia eléctrica (Electrical resistance welding).

— LBW = Soldadura por láser (Laser beam welding).

— EBW = Soldadura por haz de electrones (Electron beam welding).

— EXW = Soldadura por explosión (Explosion welding).

10.17 Oficina de Métodos. Procedimientos de Soldadura. Homologación de Procedimientos. Homologación de Soldadores

El escantillonado (*cuellos*) de los cordones de soldadura, y otros detalles, como el de si ésta ha de ser por uno o por ambos lados, con o sin penetración completa, soldadura continua o intermitente, etc., han de venir indicados, con una codificación estandarizada, en los planos de delineación realizados por la Oficina Técnica del astillero según las exigencias de la Sociedad de Clasificación y de la buena práctica. No obstante, en los astilleros de cierta entidad suele existir una oficina de Métodos de Soldadura, con un cometido específico claramente diferenciado, dependiendo normalmente de producción, encargada de estudiar y preparar los procedimientos y métodos de trabajo de soldadura, y de asesorar tanto a Producción como a la Oficina Técnica.

La oficina de Métodos de Soldadura es también la encargada de realizar la homologación y mantenimiento del período de vigencia, de los procedimientos de soldadura ante

las Sociedades de Clasificación y Organismos que procedan, y también, bien sea directamente o a través de consultores, de realizar la formación y entrenamiento y homologación de los soldadores en los diversos procedimientos y posiciones (G.1 a G.6 por orden de dificultad según sea necesario), manteniendo los registros de los correspondientes certificados, los cuales tienen períodos de caducidad.

Entre otras cosas debe mantener al día los tres juegos de documentación siguientes:

— *PQR (Procedure Qualification Reports)*. Se suele exigir que éstos estén homologados por una Sociedad de Clasificación, y respaldan a los *WPS* que se mencionan a continuación.

— *WPS (Welding Procedure Specifications)*, o *Procedimientos de Soldadura.*

— *WPQ (Welder Performance Qualification) u Homologaciones de Soldadores* para las diferentes posiciones y procedimientos de soldadura.

Igualmente, esta oficina mantendrá los debidos controles y registros del historial de soldadura de las obras en que así se requiera.

La Oficina de Métodos de Soldadura es también normalmente la responsable del control e instrucciones para el correcto almacenamiento de los electrodos, y de otros materiales para la soldadura, que en ciertos casos requieren el mantenimiento de unas condiciones muy estrictas de temperatura y humedad.

10.18 Ensayos no destructivos o END (NDT o NDE en inglés) utilizados para el control de la soldadura. Ensayos con probetas

Son ensayos para conocer los defectos internos del material de las piezas, ya sean defectos de las piezas sueltas, o del cordón en la soldadura de unión con otras. Estos ensayos se realizan sin destruir ni afectar las propiedades del material de dichas piezas con objeto de poder utilizarlas posteriormente con garantía.

1) *Radiografías.*

   La radiografía industrial consiste en obtener una imagen del objeto por la acción de rayos "X". La mayor ventaja de la radiografía consiste en proporcionar documentos permanentes de la inspección, lo que ha hecho que este ensayo sea indispensable para el control no destructivo de una obra soldada, por ejemplo.

   Los rayos "X" son radiaciones electromagnéticas producidas al cambiar los electrones de los distintos átomos su nivel magnético. La pérdida de energía se transforma en radiaciones electromagnéticas.

   Un filamento incandescente (cátodo) emite electrones los cuales son acelerados y

llegan al ánodo (anticátodo). Cuando la energía de los electrones procedentes del cátodo es suficiente chocan con los átomos del anticátodo los cuales lo absorben y pasan a un nivel de energía mayor. Cuando la pierden emiten radiaciones.

La película empleada en radiografía consiste en una emulsión de halógenos de plata por ambas caras de un soporte de plástico.

2) *Gammagrafía.*

Es conceptualmente similar a la radiografía pero con mayor poder de penetración. Los rayos γ se producen en la desintegración de los elementos radiactivos, los cuales emiten tres tipos de radiaciones:

— Rayos α: Núcleos de He.

— Rayos β: Electrones.

— Rayos γ: Ondas electromagnéticas.

El equipo consta de un cilindro de acero inoxidable en cuyo interior va alojada la fuente radiactiva, placa de isótopo de dimensiones reducidas la cual va unida a otro del mismo material que la fuente, pero ya envejecido, por medio de un muelle metálico.

Se evita el peligro de radiactividad alojando la fuente en un contenedor de gran poder absorbente de radiaciones.

3) *Ultrasonidos*.

El examen por ultrasonidos es un END que utiliza la propagación del sonido, tanto en sólidos como en líquidos, para realizar un control de cualquier material susceptible de ser atravesado por aquellos.

El elemento utilizado para la generación de ondas es un material piezoeléctrico (ejemplo: el cuarzo) que tiene la propiedad de deformarse al recibir una presión mecánica externa, produciendo una diferencia de potencial eléctrico entre sus caras y a la inversa, al aplicar a sus caras un potencial eléctrico, el material cambia de tamaño produciendo una onda de presión.

El elemento emisor de la onda ultrasónica se llama *palpador.* Un *oscilocopio* recoge el eco de las ondas emitidas por el palpador, cuando éstas encuentran una discontinuidad o defecto.

Como técnica avanzada, citaremos la denominada *phased array*, que permite realizar las inspecciones por ultrasonidos con imagen 3D.

Si apoyamos el palpador en la superficie de una chapa, el haz de ondas longitudinales emitido por el cristal del palpador se refracta al atravesar la superficie límite convirtiéndose en un haz de ondas transversales. Este haz se propaga en zig-zag a través de la chapa, y si en su camino no encuentra ningún reflector de orientación

favorable, continuará su propagación a través de la chapa y en la pantalla no habrá ninguna indicación.

El aparato se utiliza para control de espesor de las chapas y piezas.

Destacaríamos.

4) *Partículas magnéticas.*

Es un ensayo END que en materiales ferromagnéticos permite detectar fisuras y otras discontinuidades, tanto superficiales como subsuperficiales. La sensibilidad óptica y nitidez son máximas en las discontinuidades superficiales y disminuyen rápidamente a medida que aumenta su profundidad bajo la superficie.

El procedimiento consiste en:

— Magnetizar la zona a inspeccionar (imanes, corriente eléctrica).

— Aplicar las partículas magnéticas (sustancias ferromagnéticas finamente divididas).

— Observar las líneas de fuerza para ver/detectar alguna desviación.

5) *Líquidos penetrantes.*

El examen por líquidos penetrantes es un END mediante el cual es posible detectar discontinuidades que afloran a la superficie de sólidos no porosos.

Se utiliza un líquido que, al aplicarlo sobre la pieza a examinar, penetra por capilaridad en las discontinuidades y, una vez limpiada la superficie de la pieza del líquido sobrante, el que queda retenido en las discontinuidades exuda y puede ser observado superficialmente.

El procedimiento deberá ejecutarse en siete etapas:

1. Limpieza inicial de la superficie.
2. Aplicación del líquido penetrante.
3. Medida del tiempo de penetración.
4. Eliminación del exceso de líquido.
5. Aplicación del revelador.
6. Examen.
7. Limpieza final.

6) Inspecciones no destructivas, generalmente para defectos superficiales, se pueden realizar por medio de detectores de corrientes de Foulcault y corrientes Eddy parásitarias.

7) *Ensayos con probetas: e*n ciertos casos, como sucede con las homologaciones de procedimientos y de soldadores, no bastará en general con los ensayos no destructivos arriba citados, y habrá que usar probetas normalizadas, según especifiquen en las normas de las sociedades de clasificación y otros organismos, tomadas de las uniones soldadas, a fin de realizar ensayos de tracción, flexión, determinar los valores de resiliencia a diversas temperaturas, ensayos de fatiga, también a diversas temperaturas, como sucede con el ensayo COD a ("cracking opening displacement test", a -50ºC), exigido para estructuras off-shore que deben soportar muy bajas temperaturas.

10.19 Posiciones de soldeo (anexo I al capítulo X, tomado de Soldadura de los aceros, 2.ª edición, de D. Manuel Reina Gómez)

En principio, cualquier tipo de junta podrá soldarse en cuatro posiciones diferentes. Dichas posiciones son:

1. Soldadura llamada "en posición", plana o sobremesa.
2. En cornisa.
3. Bajo techo.
4. En vertical.

La clasificación como una u otra de las posiciones citadas, la cual se establece según normas (ver, p.ej.: AWS A 3.0) depende de la combinación del ángulo de inclinación del eje de la soldadura con respecto al plano horizontal y del ángulo de posición de las caras de las piezas a soldar.

En general, la clasificación de las posiciones tiene aplicación principalmente a la hora de juzgar la habilidad de los soldadores u operaciones de las máquinas de soldeo y también cuando se trata de soldaduras de responsabilidad.

De acuerdo con la AWS y otras normas, se distinguen las diversas posiciones cuando se trata de soldar chapas o tuberías, tanto a tope como en ángulo, según se refleja en las siguientes figuras.

10.19.1 Posiciones de soldeo de chapas a tope

— Posición 1 G: Chapas horizontales. Soldadura plana, sobremesa o "en posición".

— Posición 2 G: Chapas verticales, con cordón de soldadura horizontal: Soldadura horizontal o en cornisa.

— Posición 3 G: Chapas verticales, con cordón de soldadura también vertical: Soldadura vertical.

— Posición 4 G: Chapas horizontales, con soldadura bajo techo.

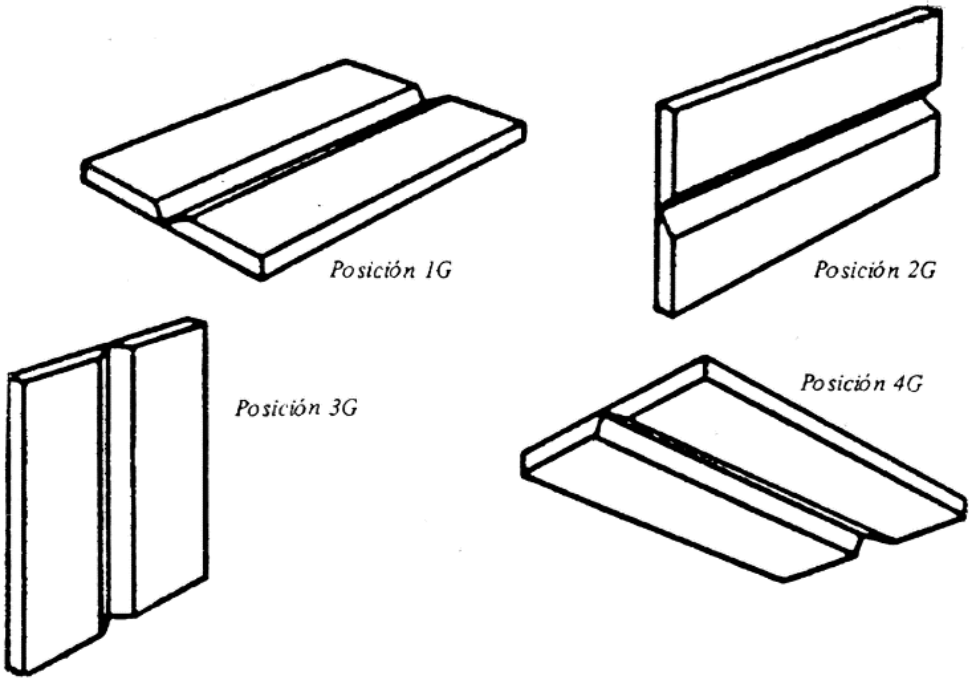


Fig. 10.32 Posiciones para soldadura de chapas a tope.

10.19.2 Posiciones de soldeo de tuberías a tope

— Posición 1 G: Tuberías horizontales, con movimiento de rotación: Soldadura plana, de sobremesa o "en posición". El depósito de material se realiza en la parte superior.

— Posición 2 G: Tuberías verticales e inmóviles durante el soldeo: Soldadura horizontal o en cornisa.

— Posición 5 G: Tuberías horizontales e inmóviles durante el soldeo: Soldadura plana, vertical y bajo techo.

— Posición 6 G: Tuberías inmóviles con sus ejes inclinados 45º.

— Posición 6 GR: Id. 6 G, con restricción al movimiento del electrodo (Fig. 18.29 - E).

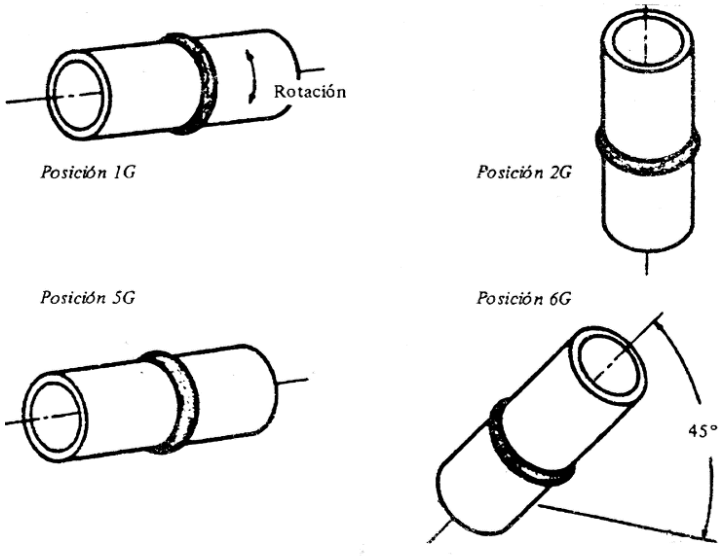


Fig. 10.33 Posiciones de soldeo de tuberías a tope.

10.19.3 Posiciones de soldeo de chapas en ángulo

— Posición 1 F: Una de las chapas inclinadas 45º. Eje de soldadura horizontal. Soldadura plana.

— Posición 2 F: Una de las chapas horizontal, eje de soldadura horizontal, soldadura plana.

— Posición 3 F: Ambas chapas verticales con eje de soldadura vertical. Soldadura vertical.

— Posición 4 F: Una de las chapas horizontal, eje de soldadura horizontal. Soldadura bajo techo.

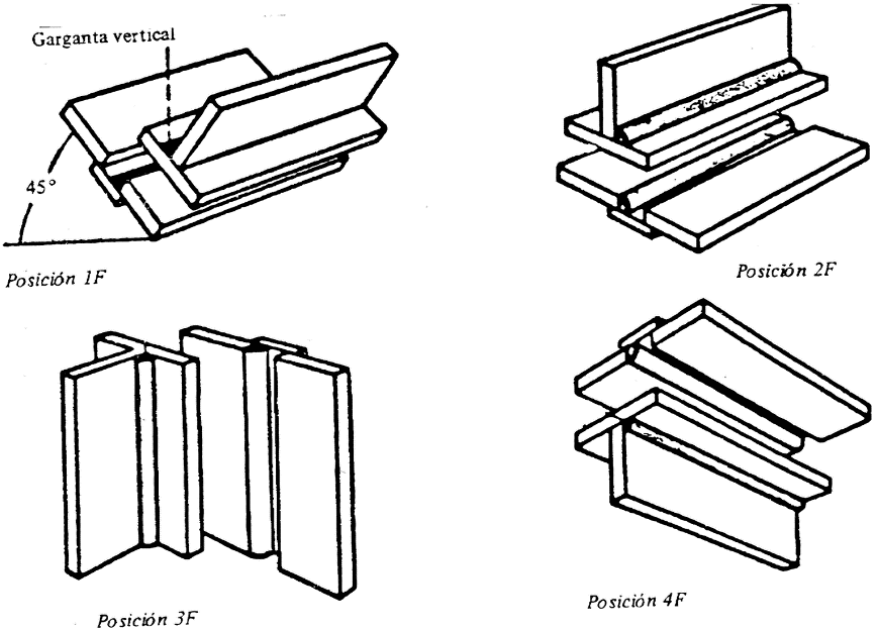


Fig. 10.34 Posiciones de soldeo de chapas en ángulo.

10.19.4 Posiciones de soldeo de tuberías en ángulo

— Posición 1 F: Conjunto con movimiento de rotación. Eje del tubo a 45º. Soldadura plana. Depósito de material realizado en la parte superior.

— Posición 2 F: Conjunto inmóvil durante el soldeo. Tubo vertical. Soldadura horizontal.

— Posición 2 FR: Conjunto con movimiento de rotación. Tubo horizontal. El depósito de material se realiza en la parte superior.

— Posición 4 F: Conjunto inmóvil durante el sondeo. Tubo vertical. Soldadura bajo techo.

— Posición 5 F: Conjunto inmóvil durante el sondeo. Tubo horizontal. Soldadura plana, vertical y bajo techo.

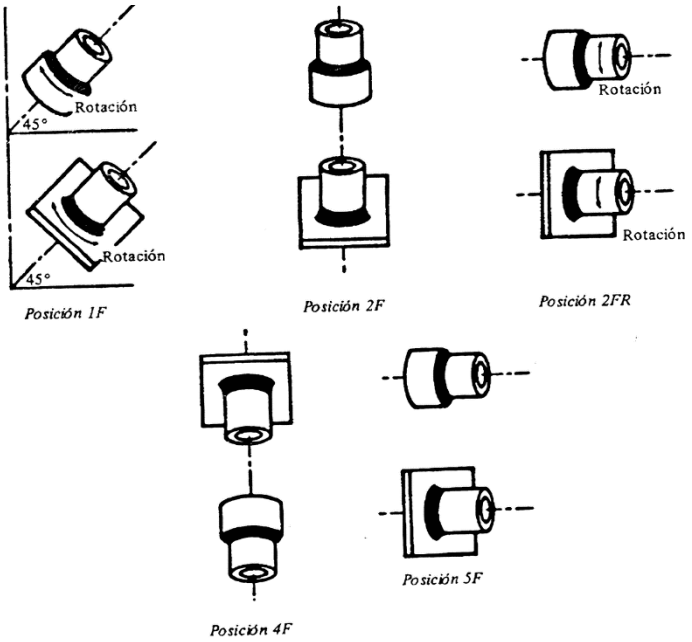


Fig. 10.35 Posiciones de soldeo de tuberías en ángulo.

10.20 Preparación de bordes para la soldadura (anexo II al capítulo X, tomado de *Soldadura de los aceros*, 2.ª edición, de D. Manuel Reina Gómez)

10.20.1 Diseño de la junta

Se entiende por junta el espacio existente entre las superficies que van a ser unidas por soldadura.

El proceso de soldadura, el tipo de material, la geometría de las piezas, y particularmente el espesor, son los principales factores a tener en cuenta para el diseño de junta.

La terminología utilizada se indica en las figuras que siguen:

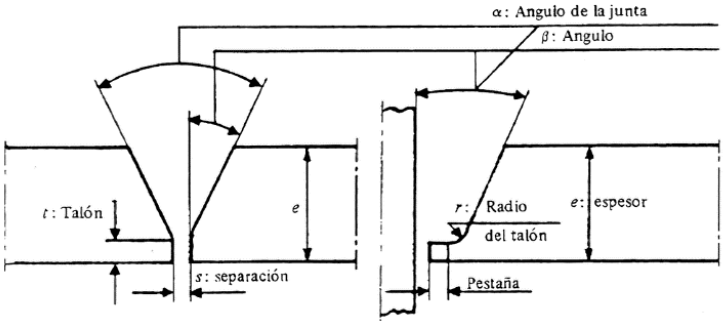


Fig. 10.36 Terminología empleada para diseño de juntas de soldeo.

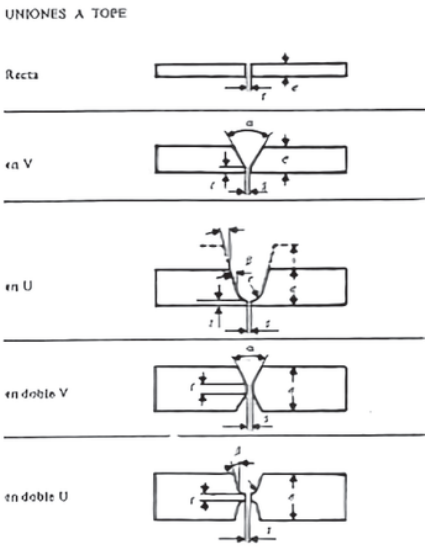


Fig. 10.37 Tipos de juntas en uniones a tope.

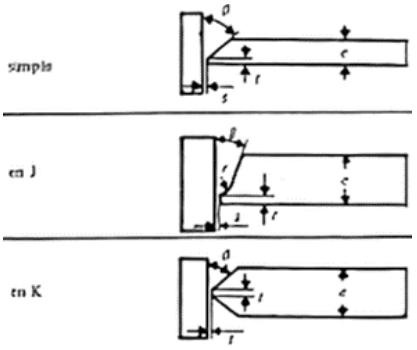
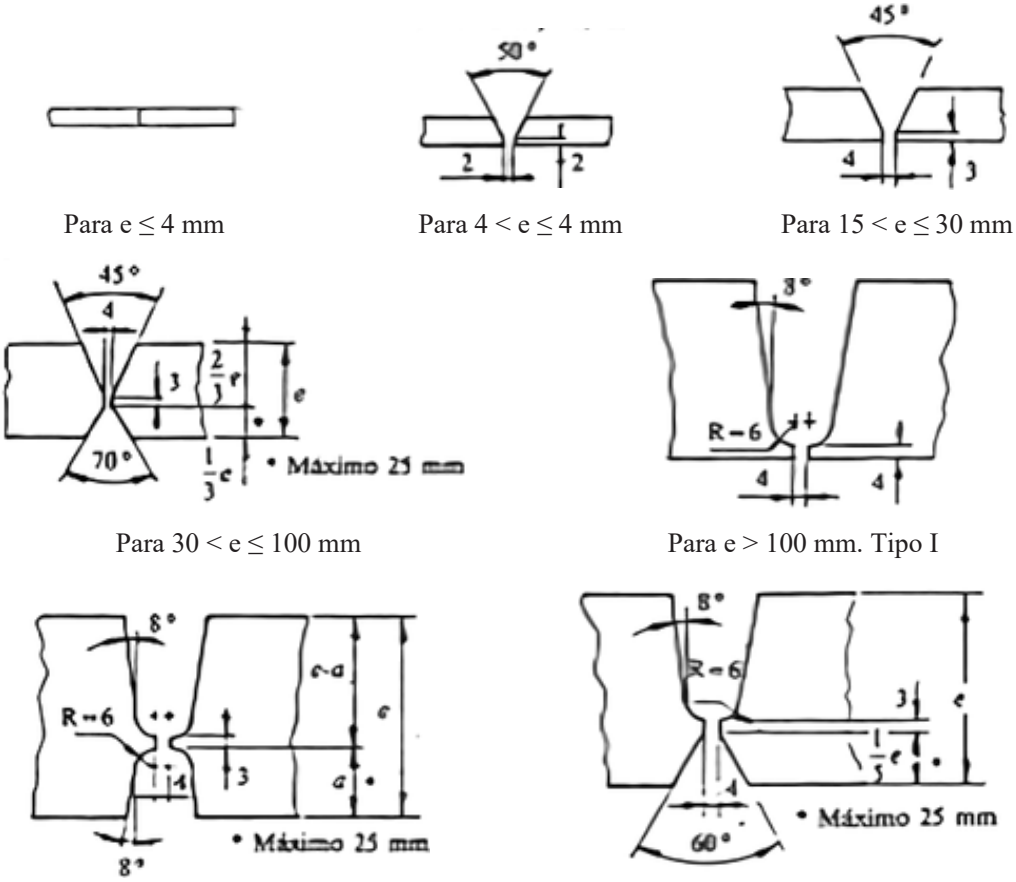


Fig. 10.38 Tipos de juntas en uniones en ángulo.

Se exponen, a continuación, las preparaciones de bordes típicas, atendiendo al proceso de soldadura empleada y al espesor del material.

10.20.2 Preparación de bordes para soldadura SMAW

Las siguientes preparaciones de bordes para soldadura SMAW (arco manual con electrodos revestidos) son aplicables, tanto a juntas longitudinales como circulares, donde sea posible soldar por ambos lados.

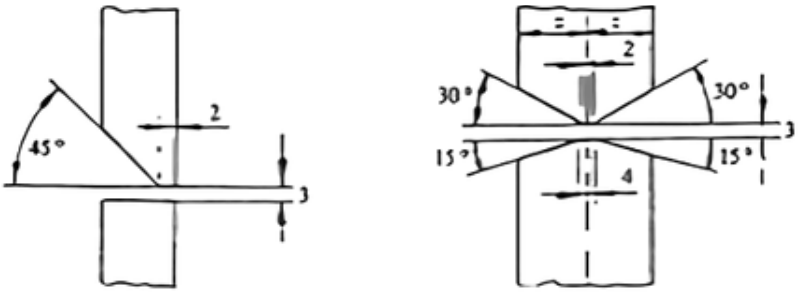


Para e ≤ 4 mm | Para 4 < e ≤ 4 mm | Para 15 < e ≤ 30 mm

Para 30 < e ≤ 100 mm | Para e > 100 mm. Tipo I

Para e > 100 mm. Tipo II | Para e > 100 mm. Tipo III

Fig. 10.39 Preparaciones de bordes para soldadura SMAW aplicables a juntas longitudinales y circulares donde sea posible soldar por ambos lados.



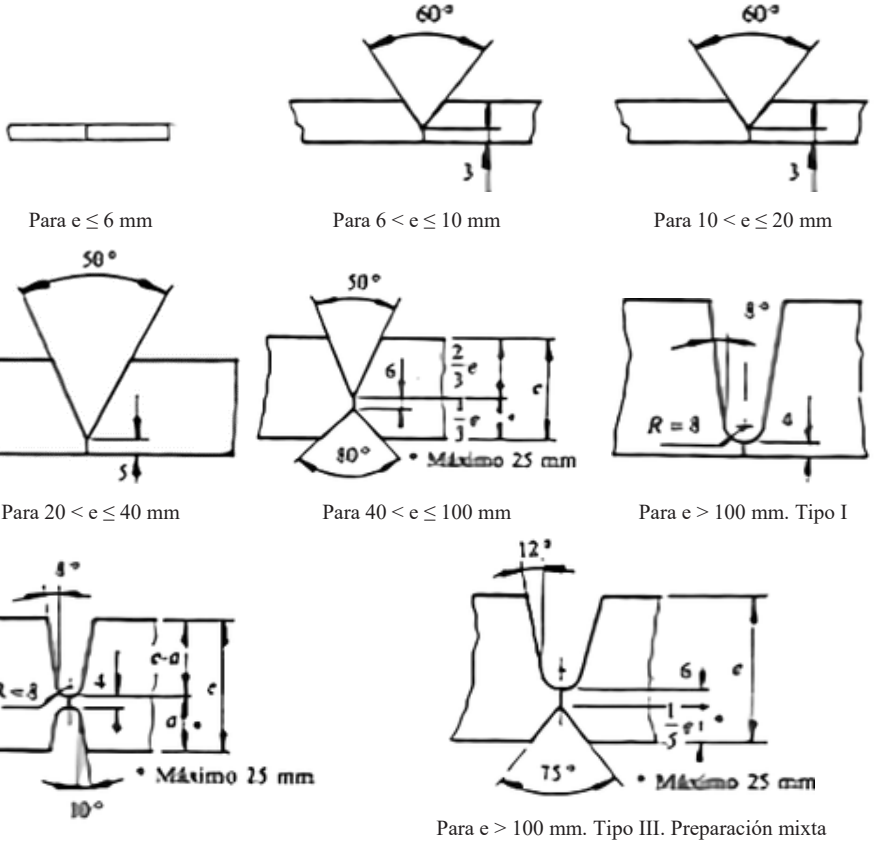
Para e ≤ 20 mm

Para 20 < e ≤ 100 mm

Fig. 10.40 Preparaciones para juntas circulares en obra en posición cornisa.

10.20.3 Preparación de bordes para soldadura SAW

A continuación se indican algunas preparaciones típicas para soldadura SAW (arco sumergido), las cuales son aplicables tanto a juntas circulares como longitudinales donde sea posible soldar por ambos lados.



Para e ≤ 6 mm

Para 6 < e ≤ 10 mm

Para 10 < e ≤ 20 mm

Para 20 < e ≤ 40 mm

Para 40 < e ≤ 100 mm

Para e > 100 mm. Tipo I

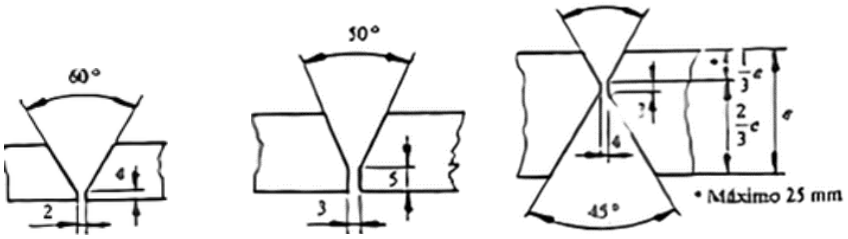
Para e > 100 mm. Tipo II

Para e > 100 mm. Tipo III. Preparación mixta recomendable para juntas circulares

Fig. 10.41 Preparaciones de juntas típicas para soldadura SAW.

10.20.4 Preparación de bordes para soldadura SMAW + SAW

Las preparaciones de bordes siguientes son de aplicación a juntas tanto longitudinales como circunferencias en las que por uno de los lados no es posible la soldadura con la máquina de arco sumergido.

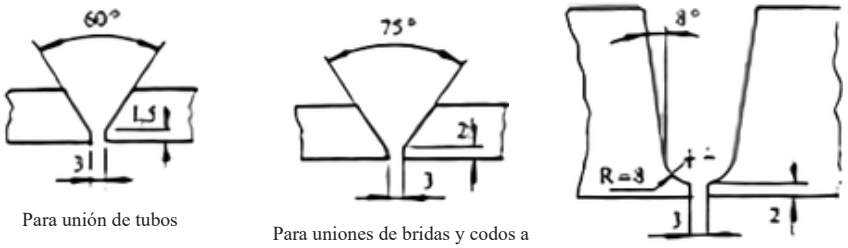


e ≤ 15 mm | Para 16 < e ≤ 30 mm | Para e > 30 mm

Fig. 10.42 Preparaciones de juntas típicas para soldadura SMAW + SAW.

10.20.5 Preparación de bordes para soldadura GTAW + SMAW

Las siguientes preparaciones son aplicables para juntas donde no es posible soldar por ambos lados. En tal caso, por lo menos los dos primeros cordones de soldadura se realizarán por el proceso GTAW (TIG o arco bajo gas protector con electrodo no consumibles de tungsteno) y los restantes cordones por el proceso SMAW.



Para unión de tubos e ≤ 50 mm | Para uniones de bridas y codos a tubos | Para unión de tubos e > 50 mm

Fig. 10.43 Preparaciones de juntas típicas para soldadura GTAW + SMAW.

10.21 Robotización de la soldadura en la construcción naval

10.21.1 Introducción

La robótica es una nueva tecnología que surgió como tal hacia 1960 y su avance e introducción en la industria fue a la par de los avances en electrónica e informática, por lo que hasta mediados de la década de los años ochenta no empezó a introducirse masivamente en la industria, principalmente en la industria del automóvil, debido a que en ella los procesos productivos se realizan en talleres altamente automatizados en los que las piezas a unir, siempre en la mismas posiciones, son de serie; sin embargo

en la construcción naval, debido a la gran variedad de piezas, diferentes formas de los bloques que componen un buque y las particulares ubicaciones en donde se aplican las soldaduras, el proceso era muy difícil de automatizar, por lo que la aplicación de robotización fue un poco más tardía que en otras industrias. Actualmente, debido a las mejoras introducidas en las técnicas de construcción naval, estandarizando los procesos de fabricación de bloques, tuberías, etc., son muchas las aplicaciones que tiene la robotización de la soldadura, en concreto en los talleres de fabricación de bloques y tuberías.

10.21.2 Aplicaciones en la industria de construcción naval

La soldadura robotizada se puede aplicar a casi todas las partes y piezas de componen el buque, principalmente las soldaduras que son realizadas en talleres cerrados para bloques y tuberías, aunque actualmente debido a los avances de las técnicas de control y supervisión de movimientos, también existen robots que permiten realizar soldaduras de forma automática en el exterior.

10.21.3 Soldadura robotizada automática de unidades abiertas

La soldadura automatizada con robot de un buque de doble casco es difícil de realizar debido principalmente a las limitaciones de espacio.

Los robots para realizar este tipo de soldadura son tipo pórtico. Se pueden construir bloques dispuestos como unidades abiertas con dimensiones de 24 x 16 x 3 metros, incluso soldando en las zonas más extremas de los mismos. Además también se utilizan pequeños robots suspendidos desde el pórtico para soldar zonas con dimensiones menores (700 x 700 mm), para optimizar los espacios de trabajo.



Fig. 10.44 Robot tipo pórtico para soldadura de unidades abiertas.

10.21.4 Talleres automatizados de fabricación de tuberías

La fabricación de tuberías en la construcción naval es un proceso complejo y que consume mucho tiempo; la robotización de este proceso implica desde los trabajos de corte, soldadura, marcado, clasificación, control y almacenamiento automatizado de las piezas.

Los procesos suelen ser totalmente automatizados y controlados de forma centralizada, evitando la programación manual, dando una mayor flexibilidad al proceso y permitiendo manejar sin problemas los posibles cambios en el diseño.

Línea de soldadura automatizada de tuberías

Estas células de montaje se componen de varios robots (4, 5 o 6), los más avanzados con tecnología de visión artificial y que realizan de forma automática la selección de las piezas, colocación en posición, punteo y soldadura final de bridas, tuberías, y otras figuras, según los diferentes tamaños. Las tecnologías de visión artificial son capaces de reconocer tanto las bridas, como las tuberías y además de aseguración de la colocación en el punto exacto con la correcta orientación, las precisiones en este tipo de operaciones son de 0,3 mm. Una vez colocadas las piezas y punteadas o aplicados los puntos de sujeción, los robots realizan simultáneamente los cordones de soldadura, tanto por las partes exterior como interior de las piezas.

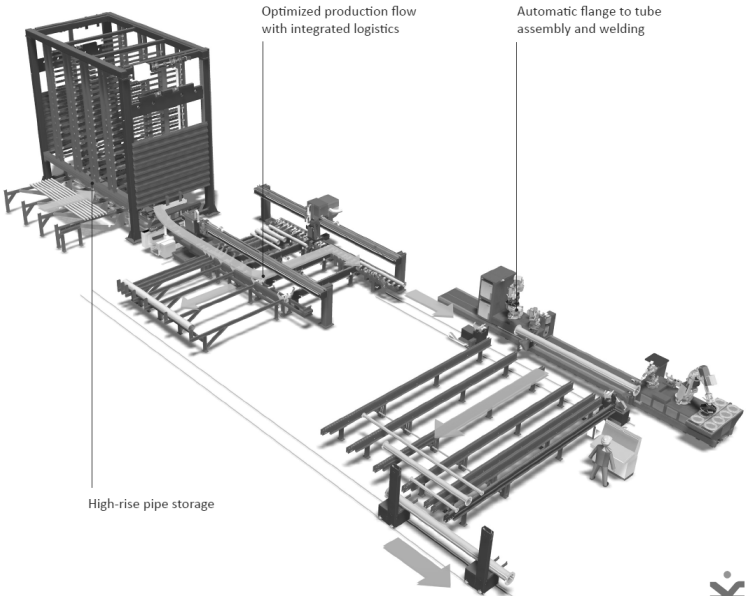


Fig. 10.45 Línea de soldadura automática de tuberías.

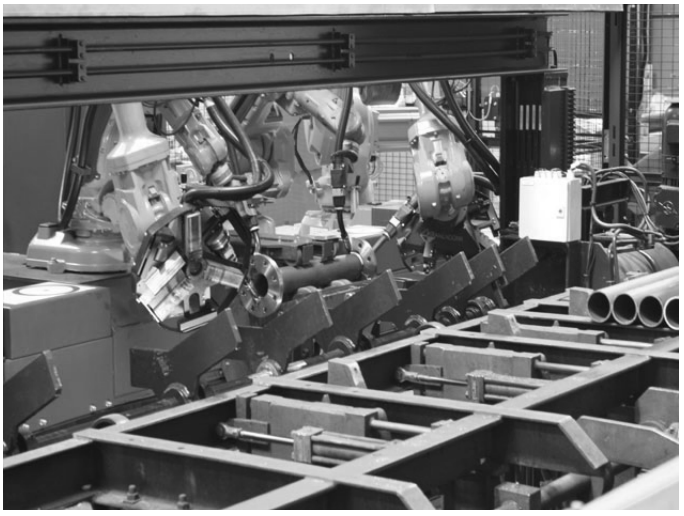


Fig. 10.46 Línea de soldadura automática de bridas sobre tuberías.

10.21.5 Soldadura robotizada de mamparos y pequeñas piezas de chapa

Son líneas de soldaduras desarrolladas para realizar la soldadura automática de subconjuntos del buque. Estas líneas son bastante flexibles y permiten la soldadura de pequeñas chapas, refuerzos y mamparos. La configuración del sistema, suele ser un único robot o múltiples robots suspendidos en un pórtico móvil. Los movimientos del pórtico se sincronizan con el robot en una amplia zona de trabajo. Los sistemas estándar son capaces de soldar chapas de hasta 12 x 5 metros, con refuerzos con altura de 500 mm.

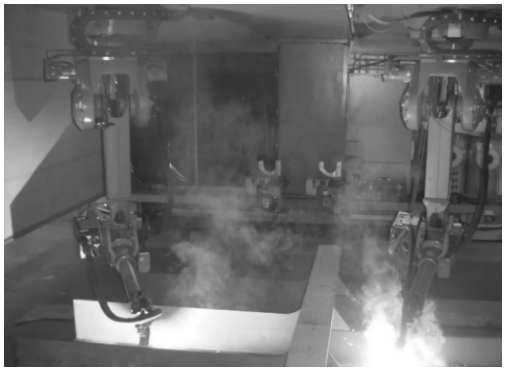


Fig. 10.47 Fijación de refuerzos sobre chapa mediante soldadura robotizada.

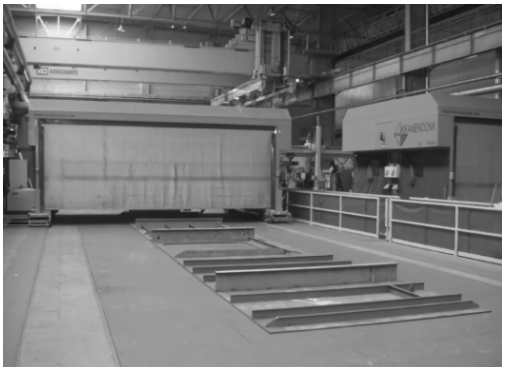


Fig. 10.48 Robot de soldadura en funcionamiento.

10.21.6 Mejoras de la robotización de un proceso industrial

Entre las principales mejoras que se obtienen al automatizar y robotizar un proceso industrial cabe destacar las siguientes:

— Mejorar las condiciones de trabajo.

— Aumentar la calidad.

— Aumentar la productividad.

— Disminuir los costes.

En este caso surge la necesidad de robotizar un proceso totalmente manual como es el de soldadura en la construcción naval, proceso laborioso con riesgos laborales que puede generar un cuello de botella y, por tanto, un incremento en tiempos de espera y entrega del producto.

Se mejora la productividad en las líneas de fabricación del astillero al disminuir las horas de trabajo en el proceso de soldadura de elementos y bloques del buque. Por lo tanto se reducen tanto el tiempo de proceso como el ratio de presupuesto, con lo que se consigue:

— Ser más competitivos en el mercado.

— Aplicar rutinas propias de diseño naval con mayor facilidad.

— Mejorar calidad del producto y reducción de tiempos en procesos siguientes.

10.21.7 Principales características de los robots industriales

A la hora de seleccionar, programar y manejar un robot es necesario conocer las características básicas que lo definen. A continuación se indican las principales características generales de cualquier robot que también deberán cumplir los robots de soldadura.

10.21.7.1 Grados de libertad

Es el principal parámetro que define al robot a nivel cinemático, ya que una vez definidos se podrán determinar la posición y la orientación del elemento terminal del manipulador, pinza de soldar, etc., que disponga el robot. Desde el punto de vista de la teoría de máquinas se pueden definir los grados de libertad como los posibles movimientos básicos (giratorios y de desplazamiento) independientes.

Cuanto mayor sea el número de grados de libertad será también mayor la flexibilidad a la hora de definir el posicionamiento del elemento terminal. La mayoría de las

aplicaciones industriales requieren muchos grados de libertad. En aplicaciones como las de soldadura, mecanizado y paletización podemos llegar a robots con 6 grados de libertad; otras más complejas requieren un número mayor, tal es el caso en las labores de montaje.



Fig. 10.49 Robot de soldadura al arco KUKA KR 5 arc HW.

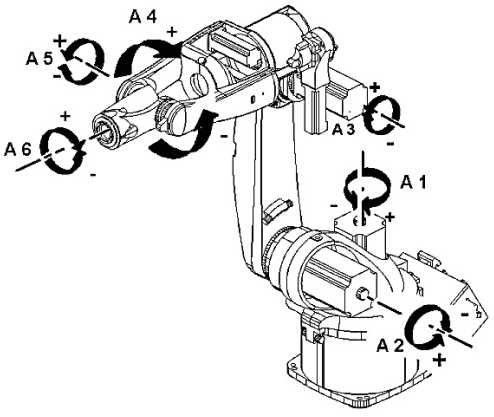


Fig. 10.50 Grados de libertad (Ejes de rotación) del robot KUKA KR 5 arc HW.

10.21.7.2 Arquitectura hardware y software del robot

En este apartado definimos el concepto de *arquitectura de un robot* que se refiere primordialmente al *hardware* y *software* que definen el ámbito de control del mismo. Principalmente dispondrá de sistema de control o autómata que ejecutará el *software* y por medio de las tarjetas de control, el control de salida dará señal a los motores de posicionamiento para ir a la posición deseada, y por medio de los controles de posición recibirá información de la posición en cada instante. El desarrollo de módulos de software y la comunicación entre las diferentes partes del robot y el hardware es lo que define realmente la arquitectura del mismo.

Los sistemas robóticos son complejos y tienden a ser difíciles de desarrollar debido a la gran variedad de sensores que deben integrar, así como delimitar su rango de acción, por ejemplo, en un brazo robot, cuál va a ser el radio de giro o la altura máxima a la que puede levantar el peso de algún objeto que está manipulando.

Actualmente las nuevas tendencias para el desarrollo de la *arquitectura robótica* se han enfocado en lo que podemos nombrar sistemas reactivos o bien basados en el entorno, esto quiere decir que los robots tendrán la capacidad de reaccionar sin necesidad de la intervención humana ante ciertas situaciones de eventual peligro para la máquina,

éstas mediante sensores determinan el ambiente la rodea y así puede tomar la decisión más acertadas acerca de la ruta u operación a realizar.

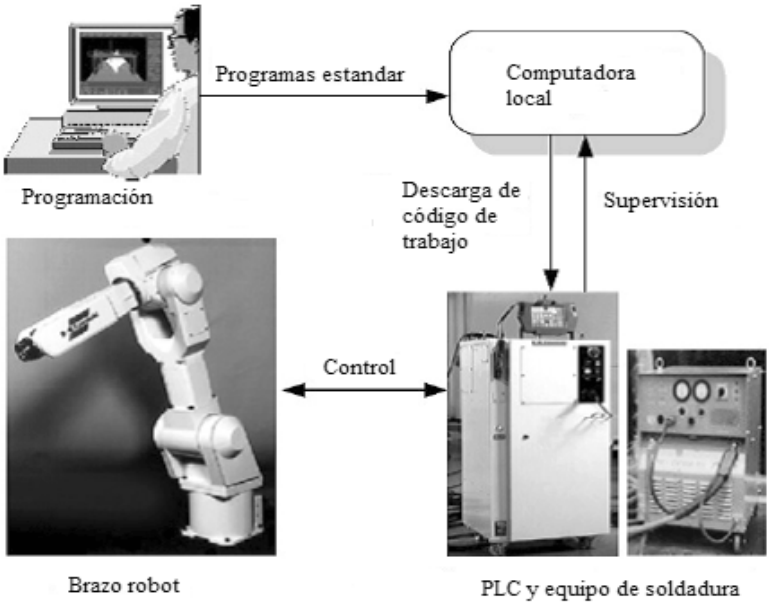


Fig. 10.51 Esquema de arquitectura de un sistema robotizado.

10.21.7.3 Sensores

Unos de los elementos principales que definen un robot son los sensores para obtener información acerca de su entorno. En general, un sensor mide una característica del ambiente (temperatura, intensidad luminosa, resistencia, humedad, etc.) en el espacio donde se encuentra y retorna señales eléctricas al sistema de control. Estos dispositivos tratan de emular los sentidos humanos, es decir, el olfato, la visión, el tacto, etc. Los tipos de sensores más habituales son:

— Sensores de luz

— Sensores de visión

— Sensores de proximidad ópticos.

— Sensores de temperatura y humedad.

— Sensores de posición y movimiento.

10.21.8 Clasificación de los robots

Existen distintas formas de clasificar a los robots industriales en general:

a) *Según la configuración del brazo:*

- — *Cartesianos:* tienen tres articulaciones del tipo prismáticas.
- — *Pórtico:* generalmente son robots cartesianos suspendidos del techo.
- — *Cilíndricos:* tienen la una articulación angular y dos prismáticas.
- — *SCARA:* son similares a los cilíndricos, solo que la diferencia está en que tienen articulaciones que rotan en un plano paralelo al suelo.
- — *Polares:* tienen dos articulaciones angulares y una prismática.
- — *Angulares:* todas las articulaciones del robot son del tipo angular.

b) *Según el controlador, se pueden distinguir:*

- — *Sistema de control de lazo abierto.*
- — *Sistema de control de lazo cerrado:*
- — *De secuencia limitada.*
- — *Punto a punto.*
- — *Camino continuo.*

c) *Según la energía de accionamiento, los robots se dividen en:*

- — *Hidráulicos.*
- — *Eléctricos.*
- — *Neumáticos.*

d) *Según el modelo de programación, los robots se dividen en:*

Los robots de soldadura que actualmente se utilizan en la construcción naval, siguiendo una clasificación en función de su modelo de programación, son los siguientes:

- — *Programación totalmente manual,* basada en la creación de librerías compuestas de macros.
- — *Programación totalmente automática* (*off-line,* donde los archivos CAD son procesados automáticamente).
- — *Programación semiautomática no estándar basada en un sistema VRI* (Visual robot interface).

Según esta clasificación, a continuación se indican las ventajas e inconvenientes de cada tipo, siempre teniendo en cuenta las particularidades del proceso de robotización de soldadura.

Programación manual (macros)

Como ventaja principal cabe destacar su polivalencia ya que permite la adaptación a todo tipo de fabricación, desde las estructuras navales, estructuras off-shore, etc.... Ahora bien necesita un alto tiempo de programación (parada de producción durante programación) y, por supuesto, contar con un equipo de programadores de alto nivel de conocimientos, al menos hasta completar una librería de macros más usuales. Es por este motivo por lo que resulta más rentable en diseños muy repetitivos y formas estándar. Como resumen, resulta poco flexible.

Programación totalmente automática (off-line)

En los robots con programación *off-line* la principal ventaja es que la generación de los programas de soldadura está totalmente separada de la producción, por lo que los tiempos de preparación del robot en producción (tiempos de parada) se minimizan. El coste es independiente de la producción, la producción puede continuar durante la programación. Por otra parte también nos permite verificar el programa a través de simulación.

Su principal desventaja es su alto precio, ya que necesita la integración con un programa de diseño. Además, para el caso que nos ocupa, el hecho de depender de una oficina técnica puede resultar poco flexible ante cualquier variación.

Programación semiautomática no estándar basada en un sistema VRI

Como breve descripción, este tipo de programación se basa en un sistema visión, en el que mediante una cámara se escanea la estructura a soldar y mediante un software sencillo (en maquina) se indican las zonas de soldadura sobre la planta escaneada.

Las ventajas fundamentales de este sistema son:

- *Método rápido de programación.*
- *No son necesarios ficheros de CAD*
- *No existe dependencia de oficina Técnica.*
- *No es necesario calibraciones para cada tipo de pieza.*
- *Tiempos de arranque cortos.*
- *Fácil sistema de operación, lo que permite una gran accesibilidad al personal de producción.*

10.21.9 Características básicas para seleccionar un robot

En el momento de seleccionar un robot deberemos tener en cuenta que las siguientes características fundamentales:

a. *Respecto al control:*

- — Tipo de microprocesador
- — Numero de ejes controlados
- — Tipo de memoria y capacidad
- — Modos de aprendizaje
- — Edición de datos: forma de edición de datos de control de equipos periféricos.
- — Control de señales de entradas y salidas de almacenamiento de datos.
- — Temperatura de operación

b. *Respecto a la operación y mantenimiento del robot:*

- — Capacidad de carga
- — Precisión
- — Volumen de trabajo forma de instalación del robot
- — Grados de libertad requeridos características del ambiente operativo
- — Vida útil del equipo y sus partes Plan de mantenimiento requerido
- — Disponibilidad de repuestos críticos
- — Entrenamiento que requerido para el uso del robot
- — Experiencia del proveedor de la ingeniería de aplicación.
- — Mantenimiento y formación al personal de mantenimiento

10.21.10 Imágenes de robots de soldadura

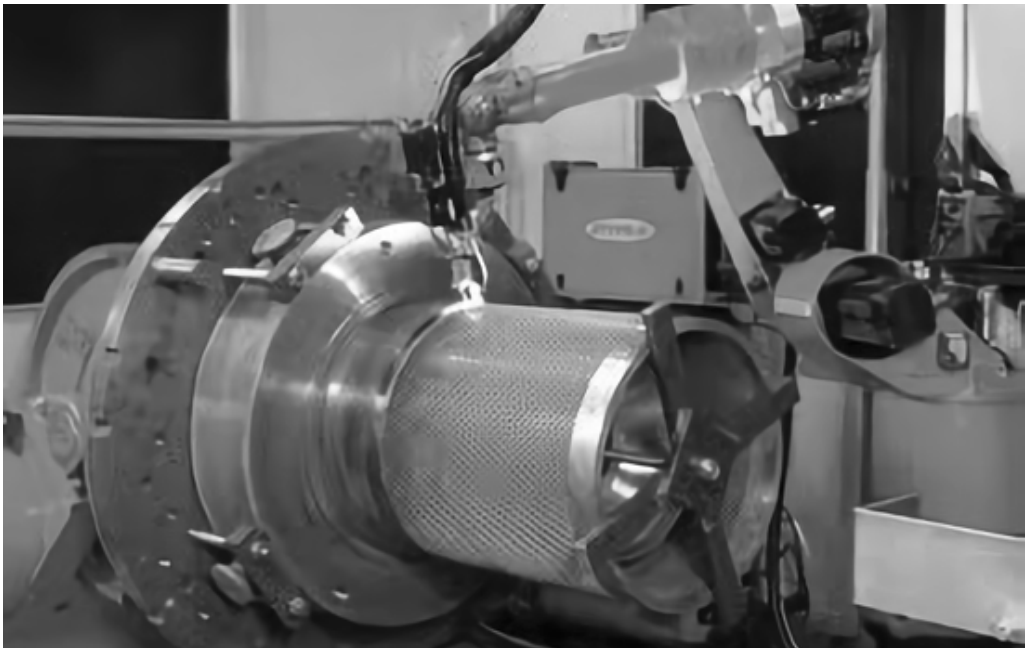


Fig. 10.52 Robot soldando brida y tubería.



Fig. 10.53 Robot de soldadura taller tubos.

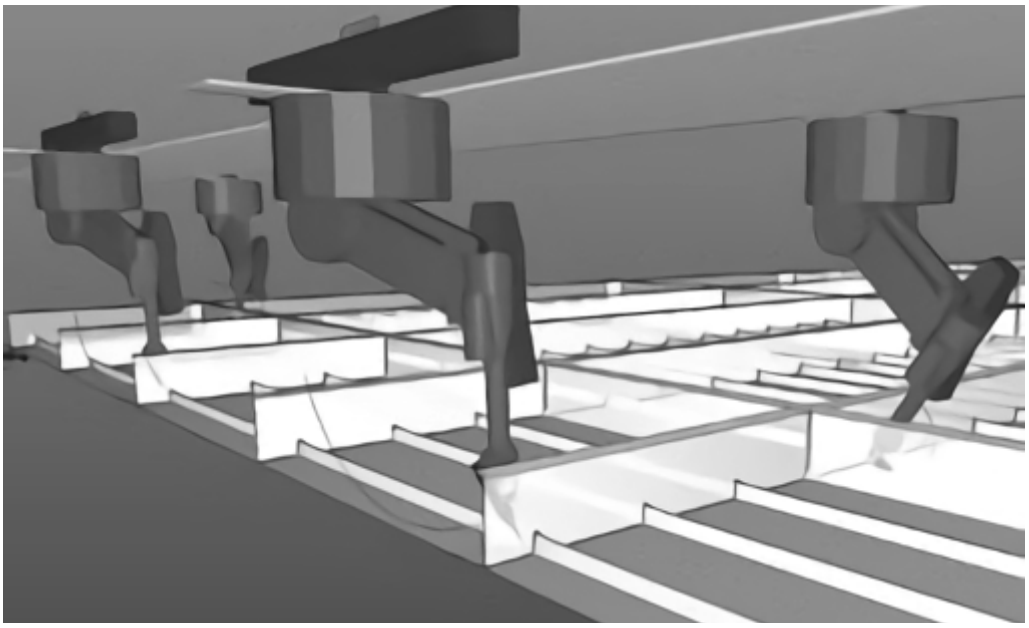


Fig. 10.54 Esquema de robot múltiple para soldadura de bloques.

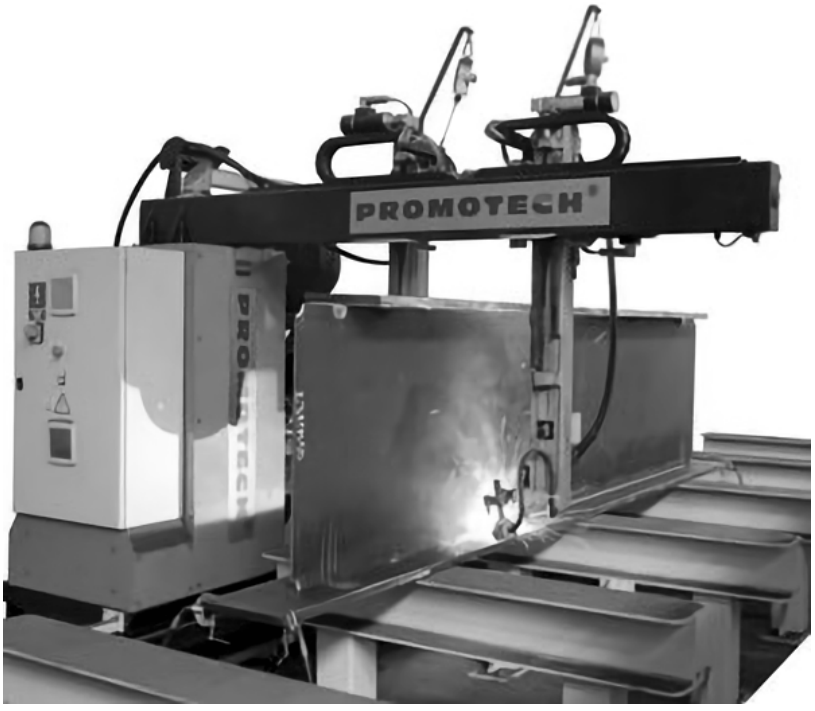


Fig. 10.55 Robot de soldadura tipo pórtico fab. Promotech.

Capítulo 11

Prefabricado, armamento anticipado y montaje del buque

11.1 Prefabricación

Se denomina así al proceso tecnológico por el que se construye el buque, no como un todo desde el principio, sino dividiendo su estructura previamente en varios *bloques estructurales, que se fabrican*, en cierta forma, *como unidades independientes, y que, una vez terminados, se van montando y uniendo con los bloques adyacentes ya montados*, siguiendo paulatinamente la construcción con los trabajos necesarios de enlace entre dichos bloques hasta completar el buque. Cuanto menor sea el número de bloques en que se divida el buque y cuanto mayor sea el nivel de terminación con que se fabriquen las correspondientes estructuras de los mismos, mayor será el grado con que se esté aplicando esta técnica. Otra cosa *diferente es* lo que se denomina *el armamento anticipado en bloques*, que, aunque condicionado y relacionado con su prefabricación estructural, consiste en incorporar en ellos los diferentes equipos con sus soportes o polines, las tuberías y diversos conductos con sus soportes, la canaleta eléctrica también con su soportado, y en ciertos casos incluso el cableado y otros accesorios. *El prefabricado*, como tal*, se refiere solamente a la fabricación previa de la estructura de los subconjuntos en que se divide el buque, denominados bloques.*

11.2 Ventajas de la prefabricación

Las más importantes son las siguientes:

a) *Simplificación del trabajo y reducción del coste*, ya que se puede realizar gran parte de los trabajos en las posiciones más idóneas, pudiendo reducir, entre otras de las ventajas, el número andamios que se necesitarían en la grada o dique donde se montan los bloques para formar el buque.

b) *Apertura de mayor número de frentes de trabajo* como consecuencia de que los trabajos puedan subdividirse al fabricar previamente los conjuntos, y se puedan

acometer simultáneamente los procesos en varios frentes, con independencia unos de otros.

c) *Reducción del tiempo de ocupación de la grada o dique*, medios que por ser necesarios para poner a flote todas las unidades que se construyen, resultan los más comprometidos del astillero. Con la prefabricación se puede adelantar la fabricación de la estructura del buque en subconjuntos, en los que la mayor parte del trabajo ya viene terminado, permitiendo así construir más buques en menos tiempo, con mayor aprovechamiento de los medios que, a la postre, resultan críticos e insustituibles.

Estas razones justifican en principio el empleo de la prefabricación. Sin embargo, hay que tener en cuenta que al prefabricar bloques, cada vez mayores y más pesados, pueden ser necesarias importantes inversiones en grúas, elementos de montaje y de transporte.

El límite máximo de los bloques a prefabricar viene marcado por:

1. Limitación de los medios disponibles: talleres, grúas, plataformas para transporte, etc.
2. Deformación de los conjuntos en su manipulación.

Para evitar este segundo problema es por lo que muchos bloques se refuerzan de forma provisional para los procesos de traslado y montaje. Lo ideal sería, no obstante, que la subdivisión del buque en bloques y la forma de realizar la suspensión de los mismos por medio de los cáncamos de maniobra que se le sueldan, o por otros medios, pueda realizarse de tal manera que el propio reforzado estructural de dichos bloques ya sea suficiente, sin necesidad de reforzados adicionales, pero esto no siempre es posible.

11.3 Influencia del desarrollo tecnológico

El avance experimentado en la Construcción Naval se ha logrado por un perfeccionamiento en la tecnología en cada uno de sus apartados: recepción de materiales, almacenamiento y manipulación de éstos, nuevos métodos de trazado y elaborado de materiales, reducción de las tolerancias con vistas al ajuste y montaje de los bloques, fuerte impulso dado al armamento anticipado, a las técnicas actuales aplicadas a la planificación y optimización de los recursos disponibles, a la *automatización y robotización de procesos*, a la implantación extensiva de los sistemas de *Gestión de Calidad/ Control de Calidad (GC/CC)*, etc.

La tecnología aplicada a la construcción naval ha llevado a que, desde casi el comienzo del desarrollo de los proyectos, deben considerarse *los propios conjuntos en que el buque*

se divide desde el principio, para su construcción más efectiva, como unidades de trabajo o unidades de planificación, de acuerdo con la estrategia constructiva acordada.

Para la efectividad del sistema deben adoptarse soluciones en las que estén de acuerdo las distintas secciones que van a desarrollar el trabajo. Esto supone que cada vez más se tiende a que la Construcción Naval sea una industria en la que las diversas fases de desarrollo de un proyecto y las de su construcción estén representadas desde el principio, con los propios criterios aplicables en cada fase, configurando un equipo de trabajo perfectamente compenetrado, sistema que ha venido a decantarse en lo que se denomina *Ingeniería Integrada*.

11.4 Fases del proceso de prefabricación. Productos intermedios

A partir de los elementos o piezas que proceden generalmente del taller de elaborado de acero o Taller de Herreros de Ribera, el trabajo de prefabricado consta en esencia de las siguientes fases, normalmente sucesivas:

1.ª Fase: Fabricación de pequeños elementos estructurales compuestos, o subprefabricados, en los que predomina *una dimensión sobre las otras dos*. Son conjuntos de poco peso que se montan posteriormente en el casco o forman parte de otros conjuntos mayores.

2.ª Fase: Fabricación de bloques bidimensionales o paneles planos. En ellos predominan dos dimensiones e incluyen la mayor parte del forro, mamparos y cubiertas a cuyas planchas se incorporan los elementos de refuerzo como cuadernas, baos, etc.

3.ª Fase: *Fabricación de bloques tridimensionales* usando los paneles prefabricados en la fase anterior, así como otros lineales fabricados en la primera fase, para completar los conjuntos con elementos elaborados que aún no se hubieran incorporado en la fase anterior. *Bloques típicos de esa fase son: piques, castillos, etc*. Los dobles fondos pueden ser considerados como típicos de esta fase o de la anterior.

4.ª Fase: *Formación de anillos o conjuntos de grandes dimensiones y peso*, *denominadas también secciones,* que abarcan gran parte de la estructura del casco comprendida entre dos mamparos transversales. Se requieren medios muy potentes, tanto para su transporte como para su montaje.

5.ª Fase: Se desarrolla en la grada o dique, y comprende el trabajo de montaje, ajuste y unión de los conjuntos prefabricados, para completar la estructura del casco. En esta fase se parte de los bloques fabricados en las fases anteriores, completándolos con los elementos que falten.

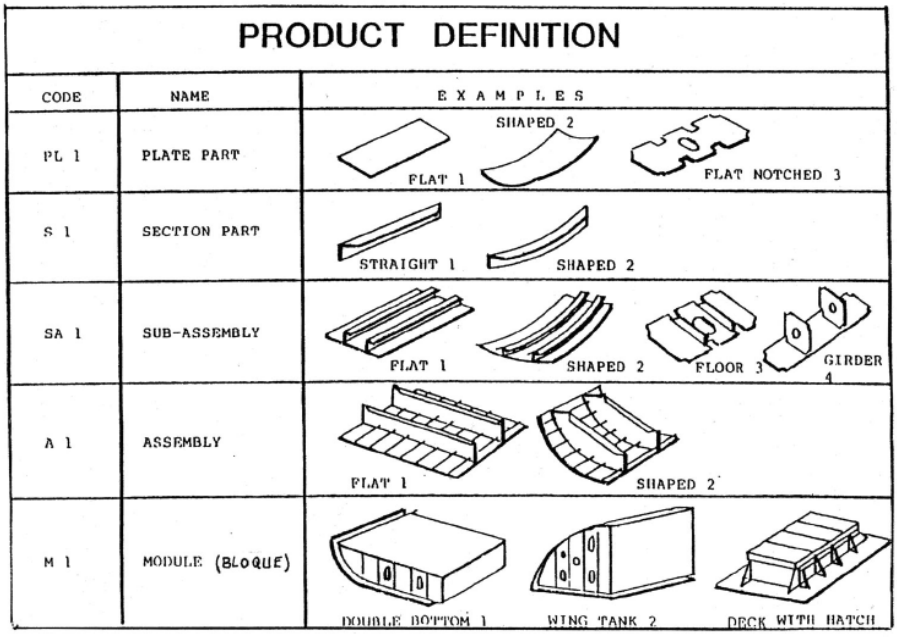


Tabla 11.1 *Definición de producto.*

Cabe aquí presentar el concepto de producto intermedio que se va obteniendo en cada etapa, como suma o integración del (de los) producto(s) intermedio(s) recibido(s) de la(s) etapa(s) anterior(es), más el valor añadido(trabajo), elementos y materiales incorporados en la etapa presente, lo cual, aparte de su utilidad desde el punto de vista de la planificación y organización de la producción, es un concepto útil para otros procesos como: programación y preparación de información en grupos por parte de la oficina técnica, aprovisionamiento de conjuntos de materiales a incorporar en cada etapa (pallets), programación de la inspección, control del coste incorporado en cada etapa y contabilidad en general.

11.5 Concepto de previas. Fabricación de previas

Las "previas" son elementos relativamente sencillos, con características constructivas similares, que se emplean en gran cantidad en el buque. Un ejemplo típico de previa es la vagra o varenga. Incluso pueden considerarse previas en ciertos casos los perfiles armados rectos.

Dada la similitud de estos elementos parece lógico crear talleres específicos, áreas separadas dentro de talleres mayores, o trabajaderos particulares para fabricar dichas previas. Las ventajas de establecer, no ya el taller, sino el propio concepto de previa, es muy interesante, ya que son elementos prácticamente repetitivos y permiten su

construcción aproximadamente en serie. Por otra parte, la forma y características fundamentales de las previas pueden ser establecidas desde fases muy tempranas del diseño ya que, a su vez, dependen de características del buque que son conocidas en estas etapas, por lo que su información puede adelantarse mucho respecto de la del resto de los elementos estructurales, que requieren el desarrollo más avanzado del proyecto.

La ventaja es que, dada su sencillez unitaria y la posibilidad de disponer de la información necesaria muy pronto, se puede adelantar su fabricación para aligerar después las cargas de trabajo en los talleres de elaborado y de prefabricado. Incluso se puede recurrir a establecer una normalización, para crear *un stock de previas*, lo cual de alguna forma reduce la flexibilidad del diseñador, dado que tendrá que ajustarse a ellas en el diseño del buque.

El trabajo requerido para el taller de previas no tiene por qué ser de muy elevada cualificación dada la sencillez, normalmente, de los elementos concebidos como tales, lo que puede tener un efecto importante en la reducción del coste de construcción, ya que las previas pueden significar un porcentaje nada desdeñable del acero del buque.

De hecho, puede ser subcontratada su construcción fuera del astillero y transportadas fácilmente, dado el poco espacio que ocupan por tratarse de elementos planos o de perfiles.

Un taller de fabricación de previas se deberá establecer bajo los principios de fabricación en serie. De hecho, las tareas a realizar en el caso de las previas son elementales y repetitivas:

— Corte, aunque, en muchos casos, las piezas que se construyan a partir de chapa, vendrán cortadas de la máquina automática de corte del taller de elaborado.

— Posicionado y punteado.

— Soldado.

— Amolado, o recanteado de los bordes angulosos que hayan dejado los diversos cortes.

Normalmente, la cantidad de soldadura requerida no es muy grande comparada con el peso de la pieza, y puede utilizarse soldadura por CO_2 semiautomática, ya que aunque lo ideal sería la utilización de soldadura por arco sumergido, las soldaduras de refuerzos o rigidizadores, son, en este caso, normalmente por una sola cara de la pieza, y de longitud corta, por lo que el tiempo necesario para la colocación y ajuste de la máquina automática no la haría rentable en comparación con las máquinas semiautomáticas.

11.6 Mesas de soldadura y equipamiento

Las mesas de soldadura constituyen superficies planas formadas por vigas metálicas, ya sean embutidas en el piso o configurando parrillas formadas por perfiles soldados, normalmente en forma de cuadrículas, apoyadas en pies derechos situados sobre cimentaciones robustas para que no se deformen, constituyendo así un plano lo más perfecto posible donde se van a situar las chapas, y los bloques. Sus dimensiones serán las de los mayores conjuntos que se vayan a formar sobre dichas mesas.

Los elementos auxiliares que se utilizan para situar las chapas y la preparación para la soldadura son: *orejetas, puentes, gatos, tensores, cuñas, catracas o ranas,* etc. Todos ellos tienen como objeto sujetar y nivelar. Es decir, *posicionar los elementos a soldar.*

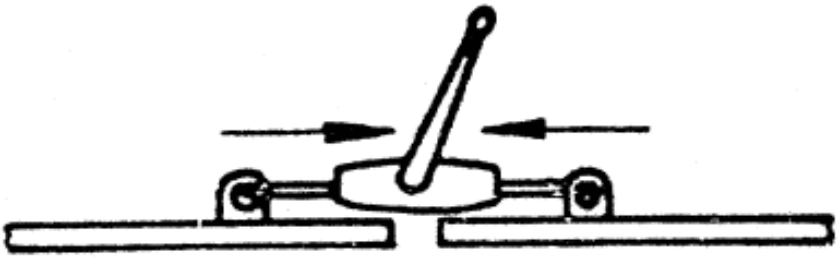


Fig. 11.1 Tensor.

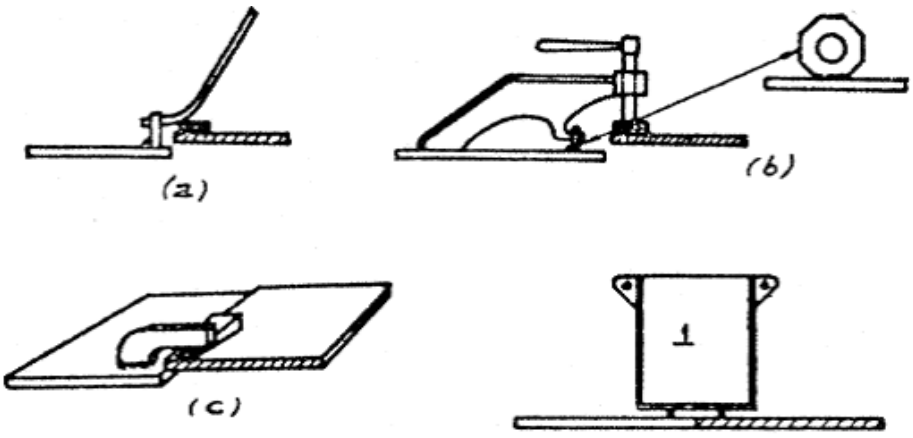


Fig. 11.2 Diversas soluciones para el pañeado y punteado de planchas. (1) Peso portátil.

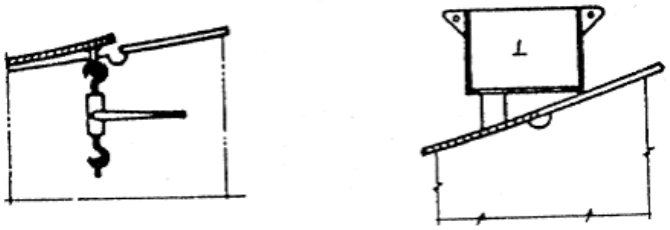


Fig. 11.3 Corregido de planchas con figura. (1) Peso portátil.

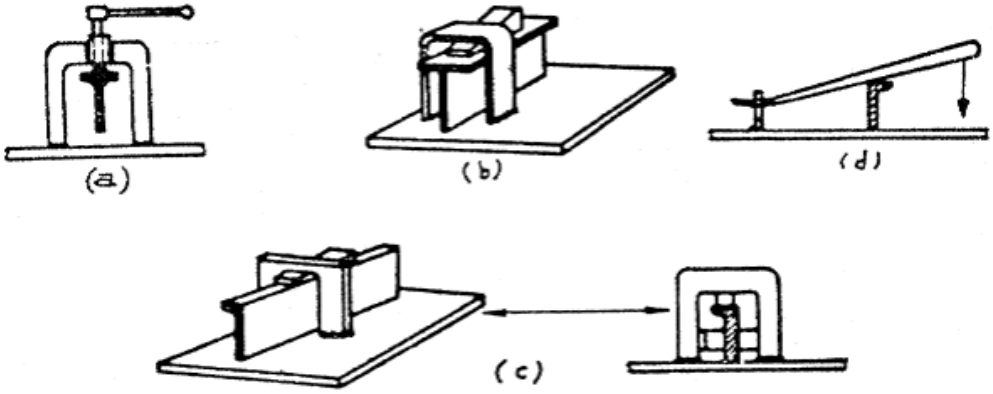


Fig. 11.4 Diversas soluciones para el corregido de perfiles.

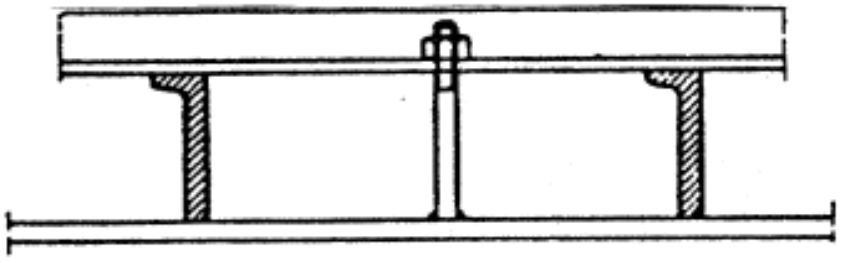


Fig. 11.5 Dispositivo para el corregido de dos perfiles simultáneamente.

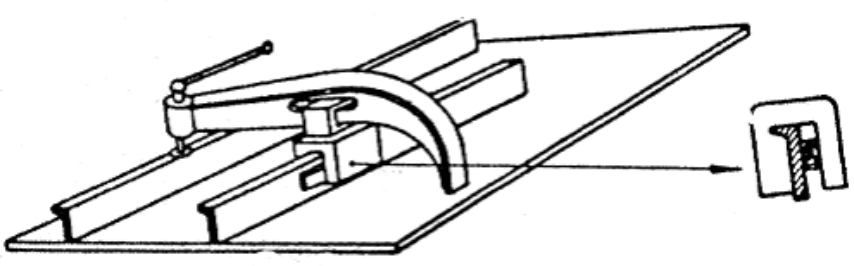


Fig. 11.6 Herramienta para el corregido de perfiles partiendo de uno ya acoplado.

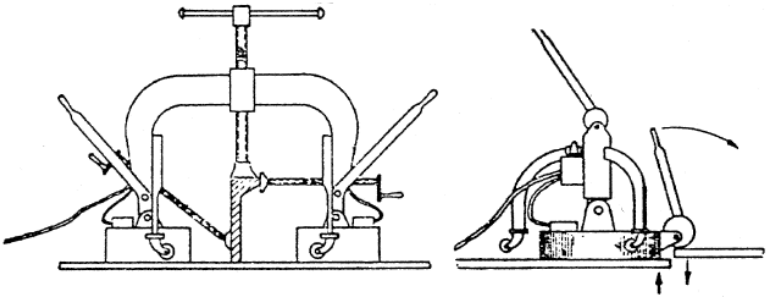


Fig. 11.7 Herramientas electromagnéticas para el corregido de perfiles y planchas.

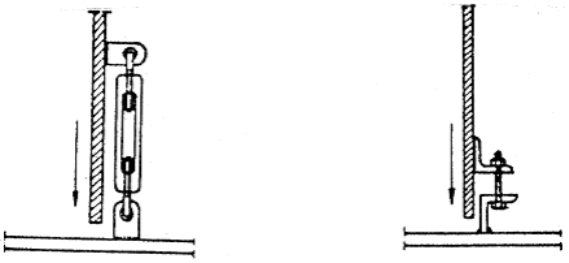


Fig. 11.8 Soluciones para el corregido de varengas, bulárcamas, vagras, palmejares, etc.



Fig. 11.9 Puentes y cuñas para el acoplamiento de llantas de cara.

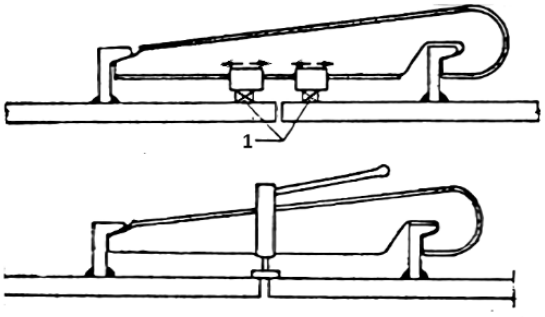


Fig. 11.10 Herramientas para el acoplamiento de sub-bloques.

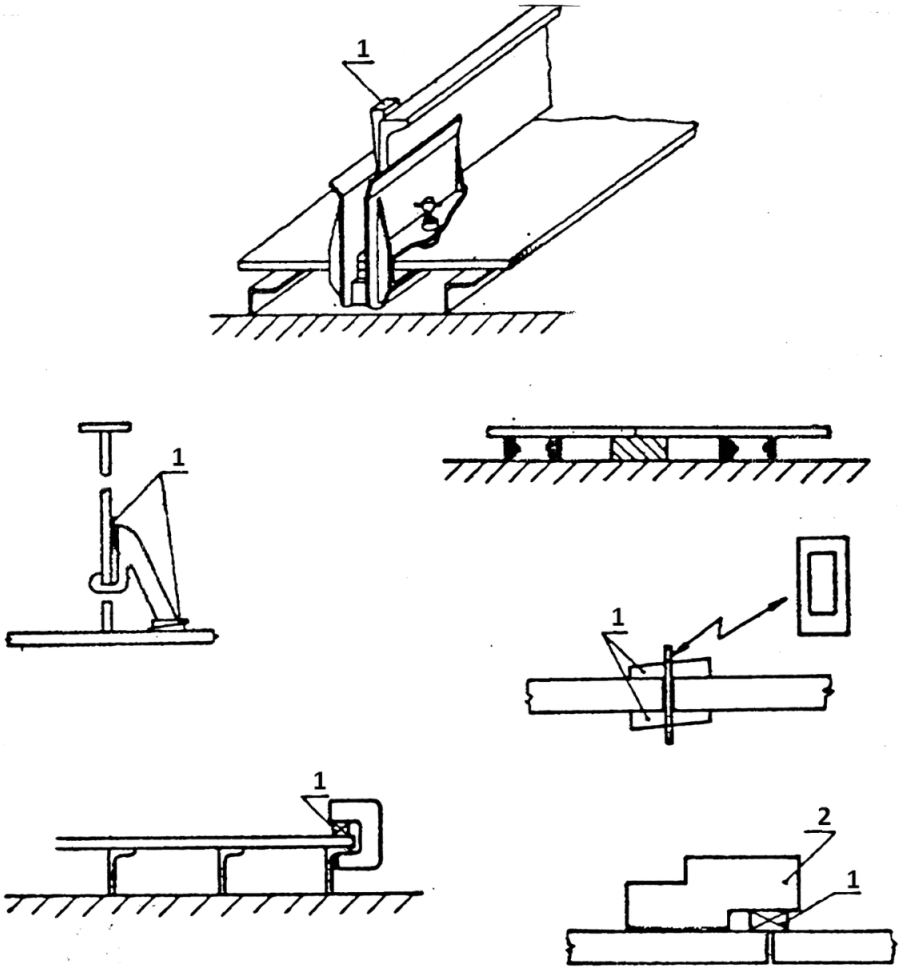


Fig. 11.11 Diversos útiles para trabajos de prefabricación: (1) cuñas (2) grapas.

Para facilitar la soldadura pueden emplearse *mesas basculantes y posicionadores*. Las primeras son mesas que pueden girar 360º al estar montadas sobre sectores circulares Los segundos están constituidos por mesas que pueden girar alrededor de dos ejes.

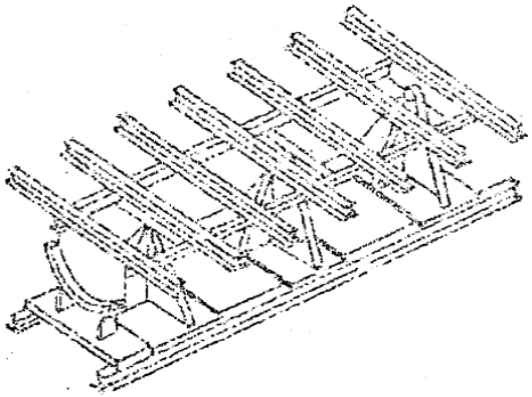


Fig. 11.12 Mesa basculante.

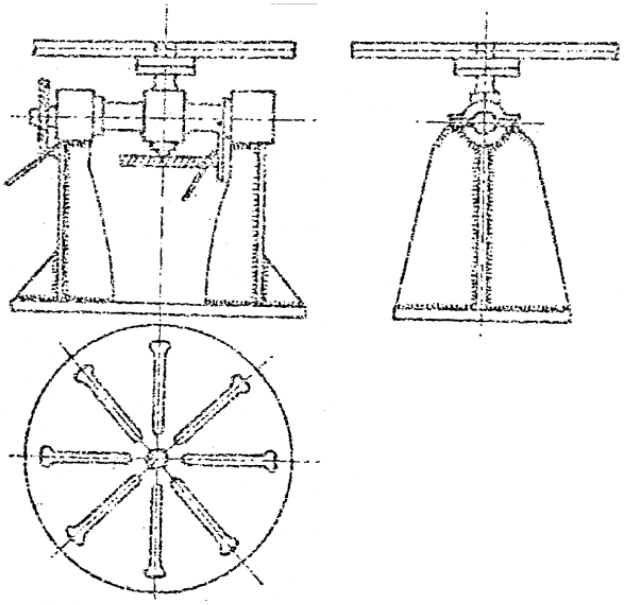


Fig. 11.13 Posicionador.

Para fabricar bloques curvos es necesario construir *camas con la forma de la superficie* del bloque sobre la que éste se va a apoyar. En el caso de que los bloques se construyan sobre la superficie con forma, estas camas se hacen con chapas y perfiles o con *tubos telescópicos*, colocados normalmente en *tinteros embutidos en el piso*. Sobre la superficie de apoyo se sitúan las chapas, se sueldan y se le acoplan los refuerzos del bloque. La rigidez de la cama ha de ser grande para que no se deforme durante los procesos de armado y soldadura del bloque. Estas camas han de verificarse una vez construidas.

Otra cosa distinta es si el bloque se construye sobre una de sus caras planas.

11.7 Fabricación de elementos lineales

Son en la mayoría de los casos refuerzos armados formados por dos tiras rectangulares de chapa, normalmente un alma y un ala, unidas por soldadura en ángulo recto que, una vez terminados, van a formar parte de otros conjuntos más complejos, como ya se describió en el capítulo correspondiente al elaborado del acero, al tratar de la fabricación seriada de los perfiles armados.

El utillaje usado en talleres mecanizados consta esencialmente de una máquina o elemento posicionador de tipo mecánico, electromagnético o hidráulico, que centra y comprime el alma contra el ala, procediéndose a puntear la unión. La soldadura se hace por ambos lados a la vez, siendo utilizadas fundamentalmente máquinas de soldadura automática en doble rincón. La alimentación de almas y alas se efectúa mediante colchones magnéticos y trenes de rodillos. La salida de los refuerzos ya soldados se realiza también por medio de trenes de rodillos.

Cuando se trate de refuerzos formados por perfiles con sección en L, en T, doble T o llanta con bulbo, que vienen laminados de la acería, estos tienen que ser cortados en las longitudes necesarias y con la forma precisa en los extremos, lo cual suele hacerse en el taller de elaborado de acero. La perfilería también puede estar constituida por pletinas de acero, recibidas como tales de la acería o cortadas en tiras a partir de chapa, lo que normalmente se hace también en el taller de elaborado del astillero o en talleres de subcontratistas.

En todo caso, los refuerzos deben ser verificados, una vez fabricados, para acto seguido corregir las distorsiones que se hayan producido durante los procesos de corte y soldadura para fabricación de los mismos, antes de ser incorporados a los bloques.

Estamos considerando, en principio, elementos lineales constituidos por perfiles rectos, para los bloques planos. Para los bloques curvos o con forma, se necesitan perfiles curvos, formados con piezas cortadas de chapa, como almas, y soldadas e éstas, como alas, platabandas, recibidas como pletinas, o cortadas de chapa y, en uno y otro caso, curvadas; o bien refuerzos formados por perfiles laminados con sección, también como se citó antes, en L, T, doble T o llanta con bulbo. En esto casos, si han de tener forma, vendrán cortados y curvados del taller de elaborado, lo primero se hace en las mesas y máquinas de corte, y la forma se le da mediante el carnero y en la placa de volteo, ya mencionados en el Capítulo 9.

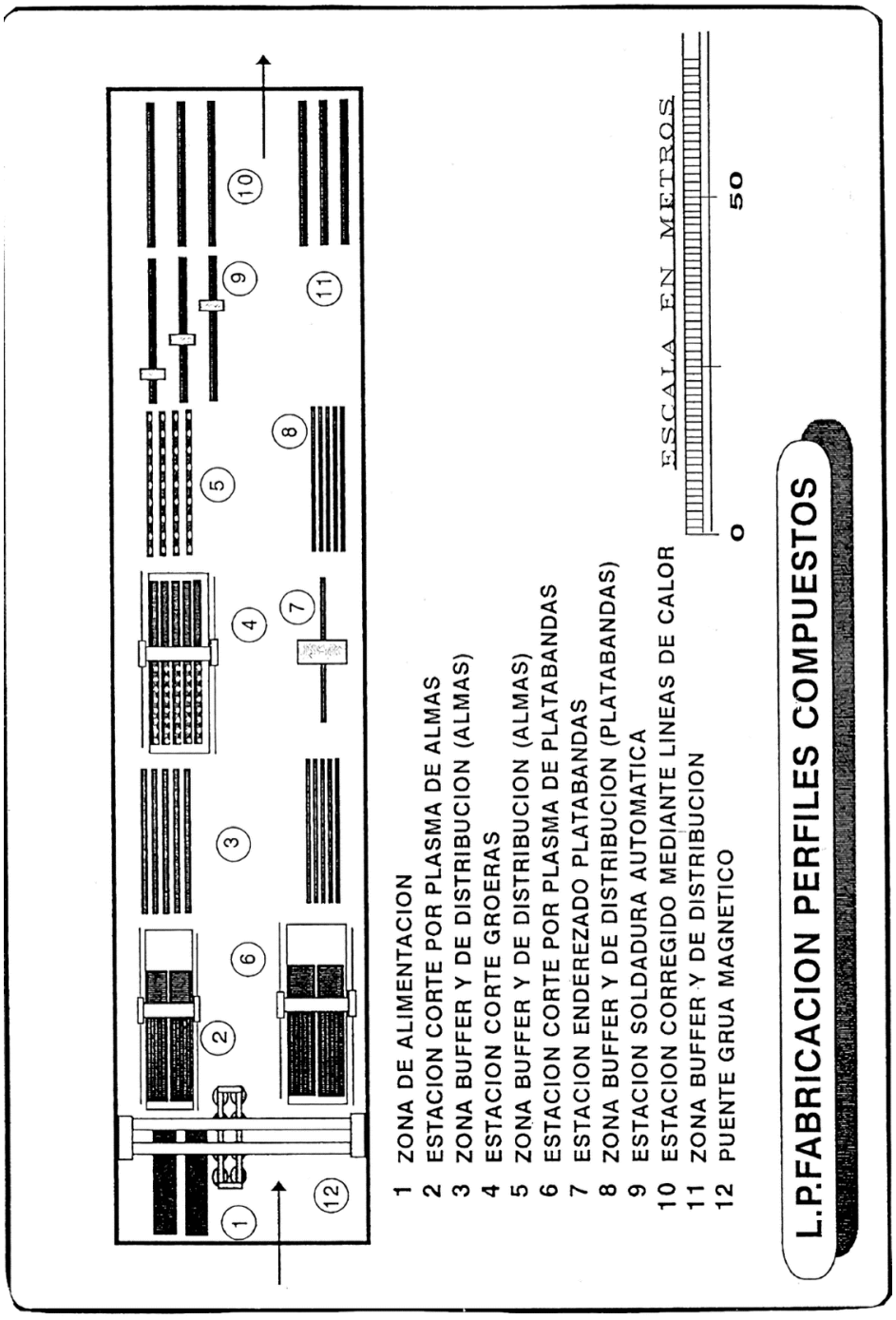


Fig. 11.14 Taller de fabricación de perfiles compuestos rectos.

11.8 Talleres de prefabricado. Líneas de paneles

De las fases de prefabricado relacionadas en el punto 11.4 anterior, la primera suele realizarse en un taller de previas y la segunda en el taller de bloques planos. La tercera fase se realiza en el taller de bloques curvos o a la intemperie. Las secciones suelen realizarse a la intemperie sobre mesas de prefabricación. Únicamente en países muy fríos o con lluvia frecuente, se construyen en talleres cerrados especiales. También las gradas pueden estar cubiertas, aunque no es muy habitual.

En la construcción de *grandes buques*, el 60% aproximadamente de los conjuntos que forman el buque son paneles planos que se obtienen por procesos repetitivos que hacen aconsejable la utilización de una *línea de paneles*, descrita en este apartado y en el apartado número 9 de este capítulo.

Estas líneas suelen estar constituidas por un conjunto de discos que giran alrededor de sus ejes horizontales colocados sobre apoyos verticales situados sobre el suelo, con el canto superior de estos discos situado en un plano horizontal y sobre los cuales pasan las planchas. Estas se colocan paralelas unas a otras en la cabeza del taller y *se sueldan por una sola cara, utilizando normalmente pletina de respaldo*. Antes, los paneles formados por las chapas, después de punteadas una con otra lateralmente y soldadas por una cara, se *volteaban y se soldaban por la otra después de resanar la raíz* en caso necesario tras la inspección visual. Al final de toda la operación se arrastran los paneles de chapas, completamente soldadas, sobre la mesa de discos, por medio de mordazas que las trincan lateralmente, llamadas *cocodrilos* según la jerga a veces utilizada, hasta situarlos bajo un pórtico que transversalmente, desde un espacio de almacenaje lateral, coloca sobre las planchas los refuerzos en T o en L, comprimiéndolos por medio de una batería de cilindros hidráulicos dispuesta en el pórtico, soldándose dichos refuerzos por medio de dos cabezales dobles en "tándem" a cada lado del perfil. El panel, terminado con todos sus refuerzos incorporados, sigue avanzando en el taller de bloques planos.

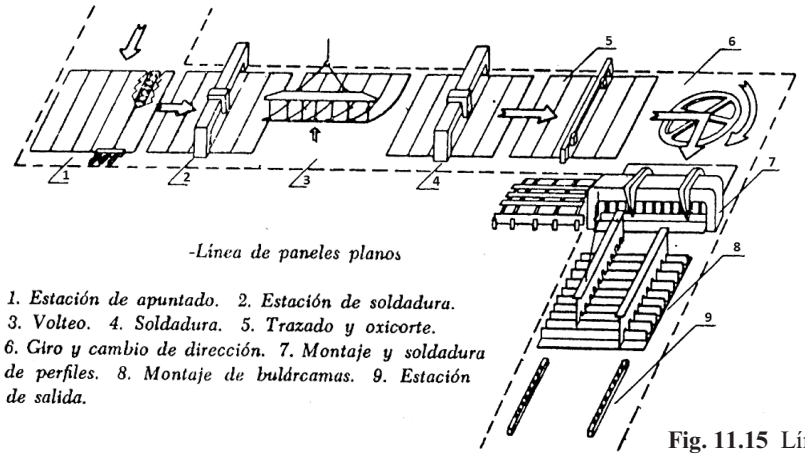


Fig. 11.15 Línea de paneles planos.

A la vista de lo expuesto, esta sección para la fabricación de panes planos de chapas con refuerzos debería complementarse con un taller relativamente automatizado para la fabricación seriada de perfiles de refuerzo en **T,** tal como se describió en el capítulo dedicado a Elaborado del Acero, a fin de abastecer el almacenaje lateral de refuerzos antes citado.

Es importante indicar que para que estos talleres puedan trabajar de forma efectiva, hay que asegurar la alimentación y el flujo, de acuerdo con la planificación establecida, de los lotes completos de materiales que constituyen el bloque.

11.9 Prefabricación de paneles planos y de bloques bidimensionales

11.9.1 Panel de chapas. Incorporación de refuerzos simples y de refuerzos primarios complejos perpendiculares/paralelos a los refuerzos simples

Los bloques bidimensionales están constituidos por una superficie formada por chapas paralelas soldadas formando un *panel de chapas*, sobre el que se sitúa, tanto en el sistema de estructura longitudinal como en el de estructura transversal, una retícula de refuerzos.

Llamaremos *refuerzos simples* (*stiffeners*) a los refuerzos de menor altura, paralelos entre sí, tomémoslos en principio como refuerzos longitudinales. Llamaremos *refuerzos primarios* (*girders*) o refuerzos mayores, a un sistema de refuerzos más altos, y normalmente más complejos (ya sean varengas, bulárcamas y baos, si son transversales) situados perpendicularmente a los anteriores, pero que también pueden ser paralelos (vagras y esloras, si son elementos de reforzado longitudinal, así como palmejares o *stringers*).

El primer paso es soldar las planchas entre sí para formar el panel. Lo habitual antes, dependiendo en todo caso del espesor, era que el panel de chapas se hubiera soldado por una cara hasta la mitad del espesor, para luego voltearlo y realizar la soldadura por la otra cara, o bien se esperaba a voltearlo una vez que se hubieran soldado los refuerzos simples para poder aprovechar la mayor rigidez del conjunto y luego del volteo se terminaría la soldadura de las chapas por la segunda cara.

Actualmente como se dijo antes, lo normal es realizar la soldadura completa de las planchas para formar el panel por una sola cara, dependiendo en todo caso del espesor y del procedimiento de soldadura disponible en el astillero.

Pero en definitiva, después de la soldadura de las planchas para formar el panel, hay que montar toda la red de reforzado (longitudinal y transversal), aunque en el caso ya mencionado de haber montado ya los refuerzos simples en una dirección, sólo habría que completar la red de refuerzos, colocando ahora los refuerzos primarios o mayores, en sentido perpendicular o paralelo a los anteriores.

Después de la soldadura de las planchas, hay que montar toda la red de reforzado (longitudinal y transversal), aunque en el caso mencionado en el párrafo anterior de haber montado ya los refuerzos simples en una dirección, sólo habrá que completar la red de refuerzos, colocando ahora los refuerzos primarios o mayores, en sentido perpendicular o paralelo a los anteriores.

La colocación de la retícula de refuerzos se puede hacer por dos procedimientos: Por el método "separado" o el "simultáneo". En el separado, se presentan primero los refuerzos paralelos simples o de menor altura tal como contemplamos antes. Se sueldan en rincón y luego se presentan los secundarios, más altos, que los cruzan perpendicularmente o son paralelos a los mismos según sea que el reforzado primario esté constituido respectivamente por refuerzos transversales o por refuerzos longitudinales. Este proceso facilita el uso de máquinas automáticas de soldadura, soldando simultáneamente por los dos lados.

En el procedimiento simultáneo se presentan todos los refuerzos longitudinales y los transversales cruzándose como si fuera una parrilla o canastilla y se puntean. La soldadura suele hacerse con métodos semiautomáticos. En este caso, la secuencia de soldadura es muy importante a fin de evitar grandes distorsiones, debiendo comenzarse por el centro de la retícula y siguiendo hacia los extremos, en direcciones opuestas de forma simétrica, tal como se indicó en el apartado 10.14 de este libro.

11.9.2 Prefabricación automatizada

En cuanto a la prefabricación automatizada, hay dos alternativas para elegir:

1. *Línea de paneles con instalación de montaje de perfiles o refuerzos secundarios o menores.*
2. *Línea de paneles con incorporación de canastilla.*

11.9.2.1 Línea de paneles con instalación de montaje de perfiles o refuerzos secundarios o menores

En esta alternativa el bloque se va moviendo a lo largo de una serie de instalaciones fijas, en cada una de las cuales se le va incorporando el proceso y los elementos o materiales correspondientes a la instalación que se trate.

La secuencia sería, en líneas generales, la siguiente:

1. Corte de chapas rectangulares.
2. Reajuste y punteado de las planchas. El punteado suele hacerse con soldadura semiautomática (GMAW).
3. Soldadura de las costuras longitudinales de las planchas que, tal como se indicó antes, se puede hacer por una sola cara o por las dos. Actualmente es más frecuente la soldadura SAW por una sola cara.
4. Estación de volteo y soldadura de raíz: necesaria cuando se utiliza soldadura, normalmente SAW, por las dos caras.
5. Marcado (trazado) del panel y corte (recanteo) del contorno.
6. Estación de giro horizontal: es necesaria cuando los perfiles de refuerzo han de soldarse perpendicularmente a la dirección de las planchas.
7. Estación para montaje y soldadura de perfiles simples sobre el panel de chapas plano.
8. Estación de montaje de los refuerzos primarios (bulárcamas o vagras): incorporando dichos refuerzos, en sentido respectivamente perpendicular o paralelo, a los refuerzos primarios ya montados.
9. Reajuste de bulárcamas o vagras.
10. Soldadura de estos últimos elementos.
11. Inspección del bloque: visual, control dimensional, inspección de soldadura visual y mediante END.
12. Armamento anticipado del bloque: incorporación de escalas, polines, soportes de tuberías y tuberías si procede, conductos de ventilación, canaleta eléctrica, etc.
13. Estación de salida: mediante sistema de elevación por gatos hidráulicos a fin de colocar el bloque sobre la plataforma rodante, o mediante elevación por grúas.

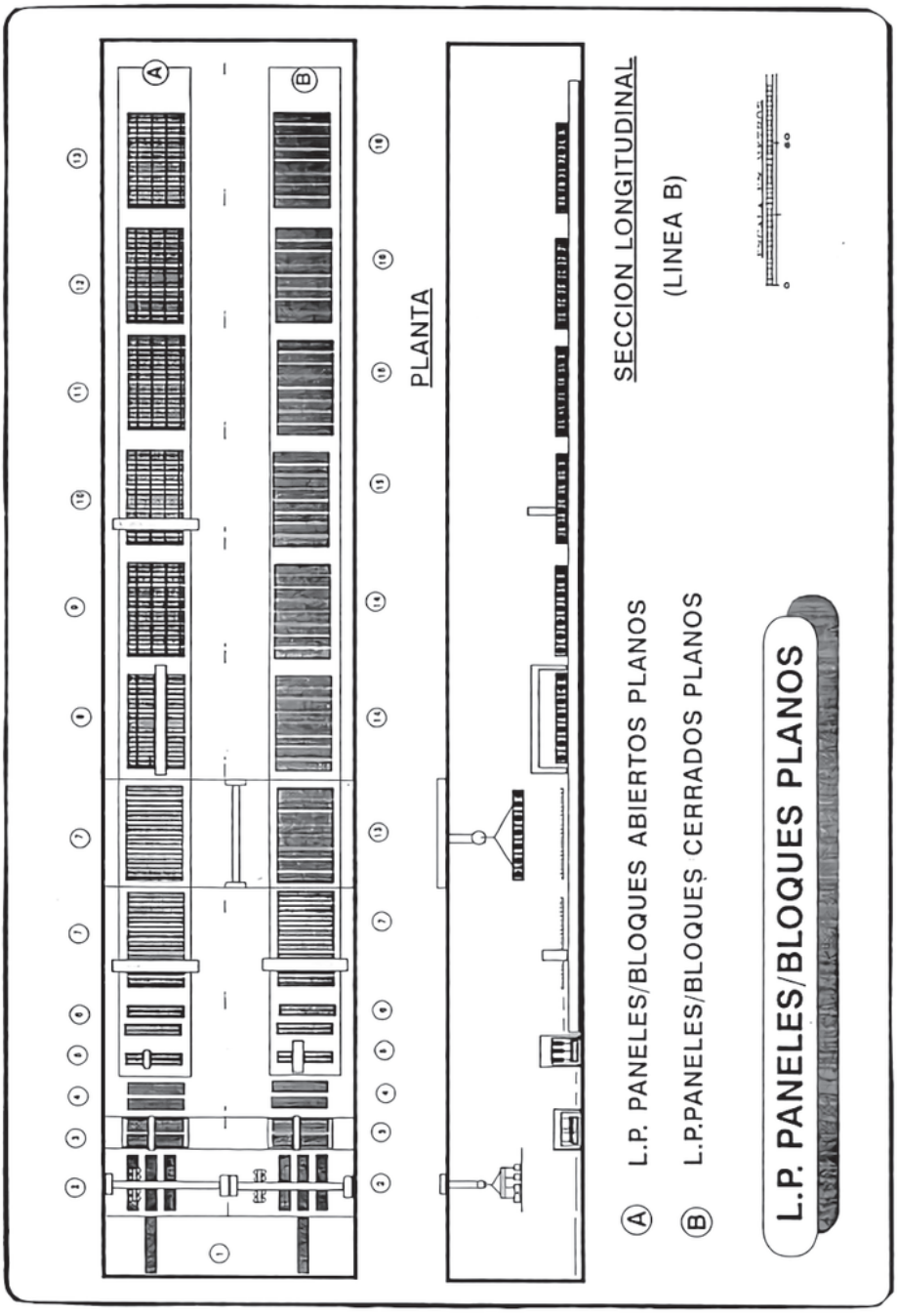


Fig. 11.16 Esquema de línea de prefabricación de paneles/bloques planos.

L.P. PANELES/BLOQUES ABIERTOS PLANOS	**L.P. PANELES/BLOQUES CERRADOS PLANOS**
1. LÍNEA MECANIZADA SUMINISTRO PLANCHAS 2. ZONA DE ALIMENTACIÓN 3. ESTACIÓN CORTE CON PLASMA Y MARCADO CON C.N. (PLANCHAS) 4. ZONA BUFFER DE MÓDULOS 5. ESTACIÓN MONTAJE Y SOLDADURA REFUERZOS SOBRE PLANCHAS (MÓDULOS INTEGRADOS) 6. ZONA BUFFER DE MÓDULOS 7. LÍNEA ACOPLAMIENTO MÓDULOS (SOLDADURA UNA CARA) 8. ESTACIÓN MONTAJE REFUERZOS LONGITUDINALES PRIMARIOS (VAGRAS) 9. ESTACIÓN SOLDADURA REFUERZOS TRANSVERSALES PRIMARIOS 10. ESTACIÓN MONTAJE REFUERZOS TRANSVERSALES PRIMARIOS (VARENGAS) 11. ESTACIÓN SOLDADURA RERFUERZOS TRANSVERSALES PRIMARIOS 12. ESTACIONES DE ARMAMENTO Y ACABADO	1. 1 a 7. COMO PARA LÍNEA PROCESO “A” 13. MONTAJE BLOQUE ABIERTO DESPUÉS DE VOLTEO SOBRE PANEL 14. ESTACIONES DE MONTAJE Y PUNTEADO 15. ESTACIONES DE SOLDADURA 16. ESTACIONES DE ARMAMENTO Y ACABADO

Tabla 11.2 Cuadro de interpretación de esquema de la figura 11.16.

11.9.2.2 Línea de paneles con incorporación de canastilla

Esta segunda alternativa consiste en fabricar independientemente y en paralelo, el panel de plancha y la canastilla o caja de huevos también llamada, formada por los refuerzos que se cruzan perpendicularmente, montándose posteriormente esta última, sobre el panel.

Las estaciones para formación del panel son las mismas que las utilizadas en el método anterior.

Para la fabricación de las canastillas, existe un soporte especial donde se montan los refuerzos longitudinales y los transversales, según se ve en la figura que sigue.

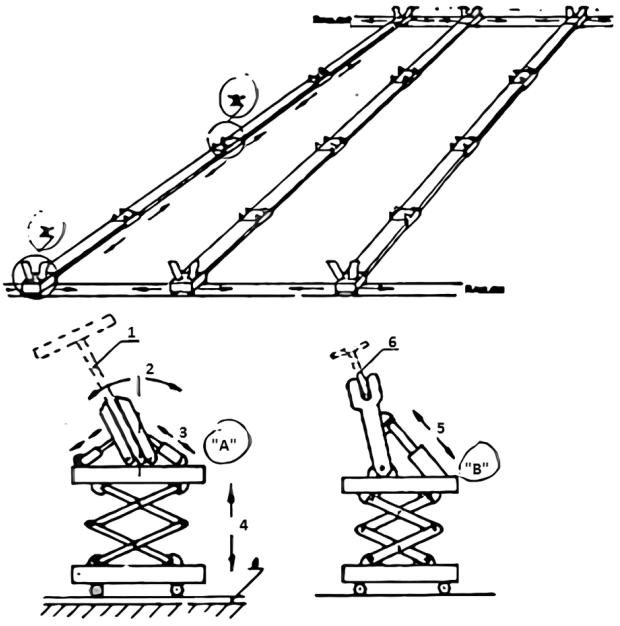


Fig. 11.17 Polín mecanizado para la prefabricación de canastillas.

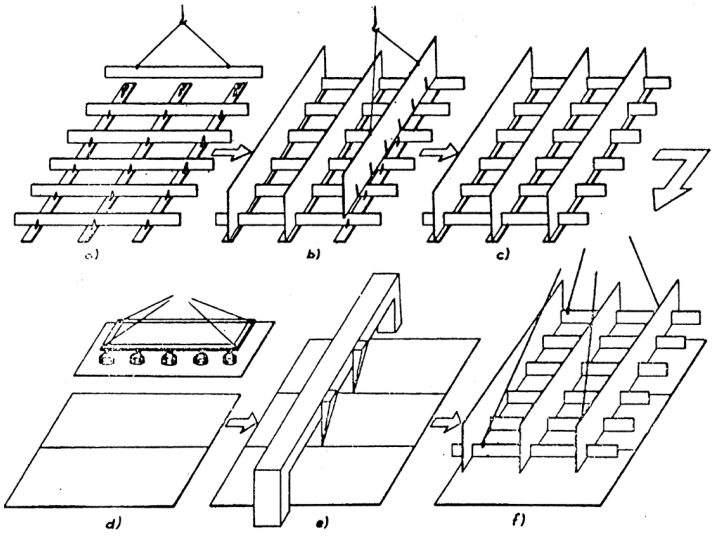


Fig. 11.18 Línea de canastillas.

Los primeros soportes móviles que se ven en el croquis arriba sostienen los longitudinales y los segundos a las bulárcamas.

La secuencia para la fabricación de la canastilla es montar los longitudinales y a continuación las bulárcamas de acuerdo con los datos del plano, corregir con gatos y otras herramientas auxiliares, puntear y soldar los refuerzos en vertical y en ángulo, normalmente con soldadura semiautomática.

A continuación se montan las canastillas sobre los paneles planos de chapas que se han sido prefabricados con antelación o a la par, y se reajustan, procediéndose a su punteado y soldadura, que normalmente es semiautomática o por gravedad, para continuar con la inspección del bloque y el armamento anticipado del mismo, igual que la alternativa anterior.

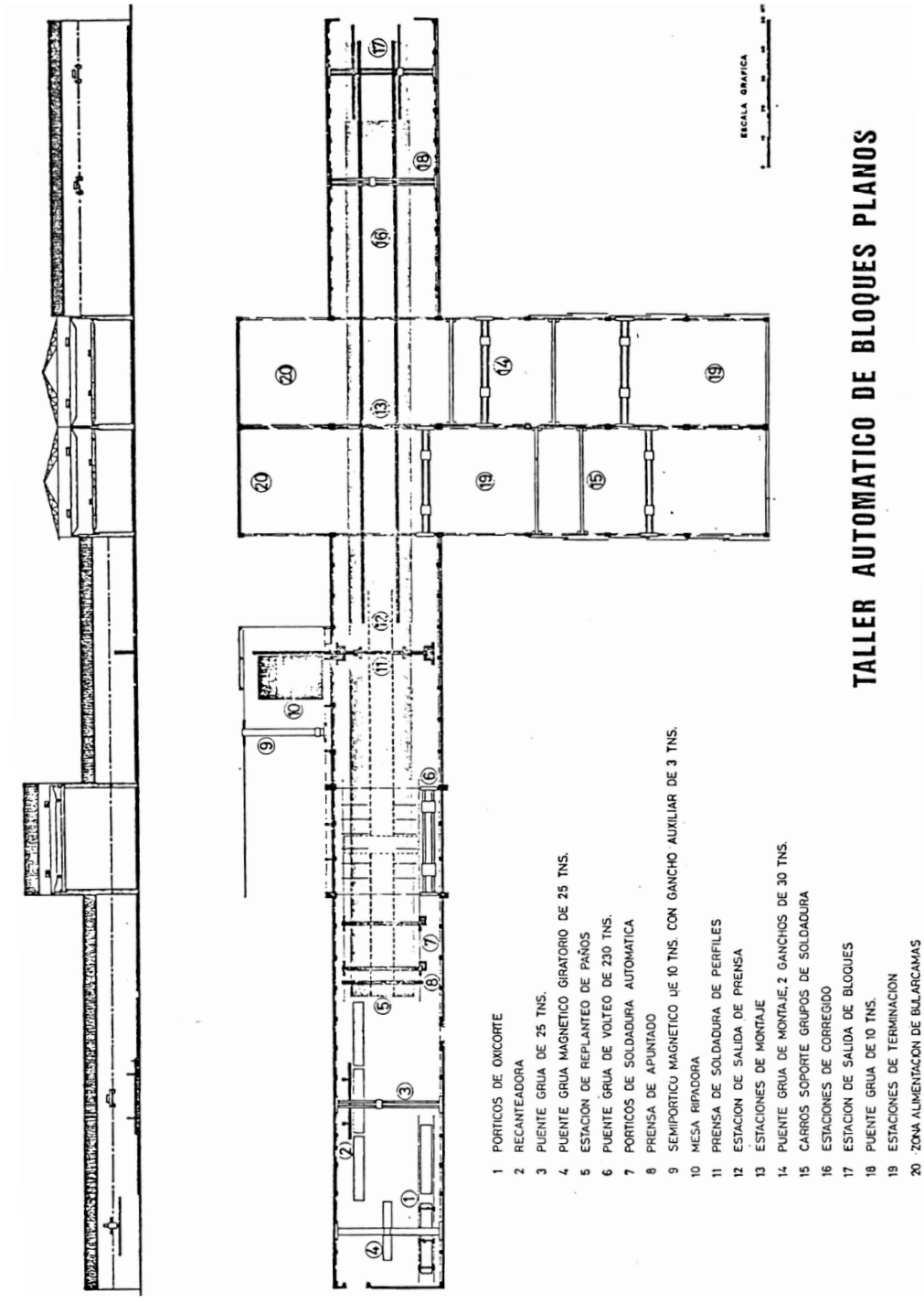


Fig. 11.19 Taller automático de bloques planos.

11.10 Prefabricación de bloques curvos

11.10.1 Procedimiento general

Del mismo modo que en el caso de los bloques planos, se puede proceder al prefabricado de los bloques curvos (bloques con figura) bidimensionales, es decir, *aquéllos en los que predominan dos direcciones del espacio frente a la tercera*.

El taller es similar en su forma al de bloques planos, con la diferencia de que las camas deberán estar adaptadas previamente a la forma de las chapas mediante el empleo de tubos telescópicos colocados en los vértices de una cuadrícula, ajustados a las alturas que se indican en una tabla obtenida del plano correspondiente del forro, mediante sistema de trazado tradicional o con el sistema CAD/CAM. Dichas chapas han tenido que pasar previamente por las fases de corte y conformado, así como los perfiles.

Se supone que las chapas y perfiles se incorporan al taller de bloques curvos ya cortados, recanteados y conformados hasta la precisión requerida, procedentes del taller de elaborado.

Dado que la cama deberá adaptarse a las formas de las chapas, no sería práctico que el trabajo de preparación de dicha cama tuviera que repetirse en cada estación de trabajo, por lo que la cama va avanzando de modo solidario con el bloque, lo cual implica un cambio importante con respecto al taller de fabricación de bloques planos. Asimismo, si se pretende disminuir de modo radical la intervención manual en el proceso, *la precisión dimensional de los figurados de chapa y perfiles es de la mayor importanci*a. En el caso de prefabricación totalmente manual, puede aceptarse, hasta cierto punto, que los operarios tengan que recurrir al reajuste y correcciones necesarias de chapas y perfiles mediante tensores y líneas de calor. Sin embargo, esto sería inaceptable o, en todo caso, tendría que reducirse al mínimo, en un sistema más o menos automatizado, puesto que se perdería gran parte de la eficacia del sistema.

El tamaño máximo para los bloques curvos es también menor que en el caso de bloques planos.

Las chapas, ya conformadas, se colocan sobre las camas especialmente preparadas y se sitúan para su soldadura. En este caso, la aportación de trabajo manual es importante ya que la ayuda mecánica que se puede dar es simplemente la suspensión de las chapas para su posicionado de precisión y una vez en su sitio, la presión para el punteado se realiza normalmente de modo manual, ayudado con elementos auxiliares, dada la dificultad de obtener máquinas de precisión suficiente que se adapten a la chapa en distintas posiciones con cotas muy distintas. Existen casos en que se trabaja con posicionadores basados en palpadores eléctricos o de rodillos suspendidos de puentes grúa.

Lo mismo ocurre con la soldadura final por una o por las dos caras. El sistema empleado suele ser el de soldadura semiautomática con máquinas suspendidas y con manguera prolongada.

El marcado de refuerzos se obtiene previamente en la máquina de corte, y el posicionado de los perfiles se realiza del igual modo que el de las propias chapas, con gran aportación de trabajo manual.

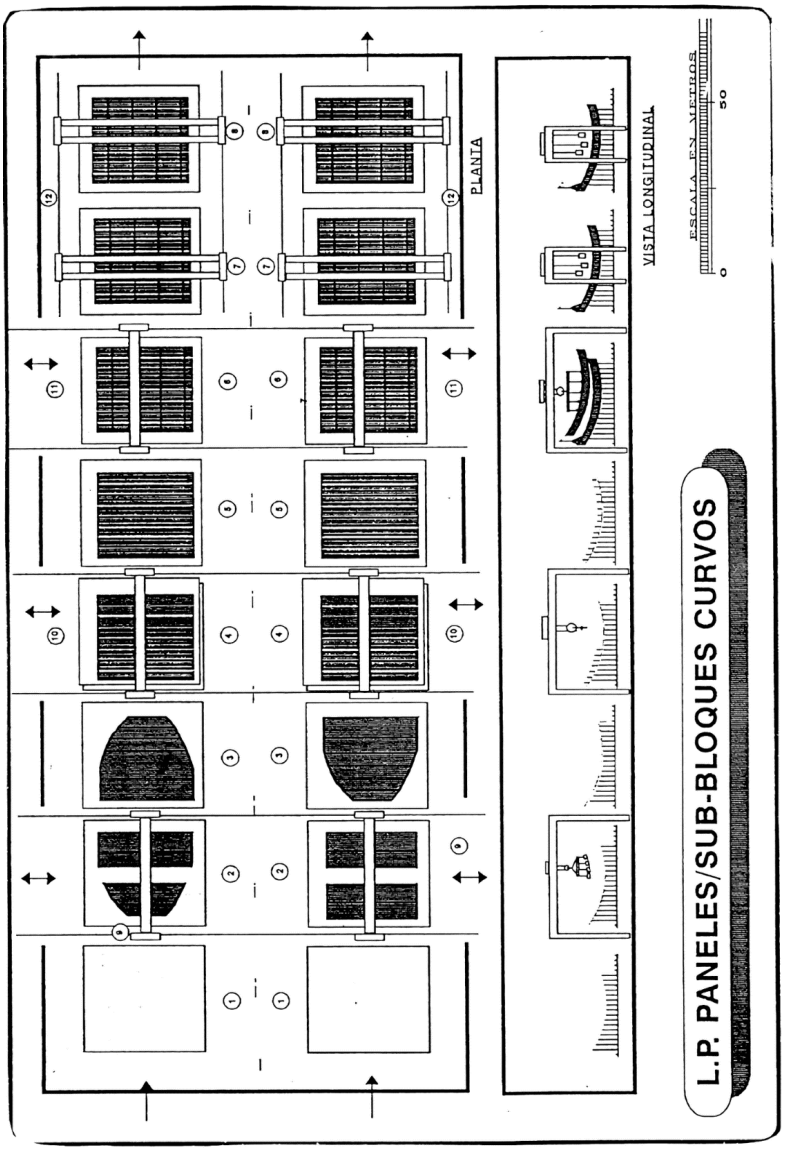


Fig. 11.20 Esquema de línea de prefabricación de paneles/bloques curvos.

L.P. PANELES/SUB-BLOQUES CURVOS

1. PLATAFORMA MÓVIL CON TUBOS TELESCÓPICOS DE SOPORTE
2. ESTACIÓN DE MONTAJE CORREGIDO Y PUNTEADO DE PLANCHAS
3. ESTACIÓN SOLDADURA PANEL CURVO
4. ESTACIÓN MONTAJE Y PUNTEADO LONGITUDINALES/CUADERNAS
5. ESTACIÓN SOLDADURA LONGITUDINALES/CUADERNAS
6. ESTACIÓN MONTAJE Y PUNTEADO REFUERZOS PRIMARIOS
7. ESTACIÓN SOLDADURA REFUERZOS PRIMARIOS
8. ESTACIÓN ARMAMENTO Y ACABADO
9. PUENTES-GRÚA MONTAJE PLANCHAS
10. PUENTES-GRÚA MONTAJE LONGITUDINALES
11. PUENTES-GRÚA MONTAJE REFUERZOS PRIMARIOS
12. PÓRTICOS DE SOLDADURA

Tabla 11.3 Clave de identificación esquema de la figura 11.20.

11.10.2 Procedimiento con línea automatizada

En el caso de los bloques planos, se puede mover el bloque sobre ruedas, ya que este tiene una superficie plana.

En el caso de los bloques curvos, se puede soslayar el problema, disponiendo unas mesas planas sobre las que se construye un polín con la figura del bloque, y son estas mesas con el bloque encima las que se mueven sobre ruedas. Como se puede comprender, el grado de automatización que se puede alcanzar es menor que en el caso que de bloques planos.

11.11 Construcción de secciones y de anillos

Están formados por varios bloques, prefabricados previamente, que se unen entre sí para formar un conjunto mayor antes de su montaje en la grada o dique. Si comprenden una rebanada completa del buque entre dos cuadernas, incluyendo la parte del fondo, de los costados de Br. y de Er., y de cubierta, se llaman anillos.

Casi todos los elementos que constituyen las secciones y anillos se han prefabricado anteriormente, por lo que lo normal es que vengan ya comprobados con la mayor exactitud posible, ya que las secciones y los anillos son muy difíciles de rectificar, y el coste de realizarlo resultaría altísimo. Por eso, antes de proceder a la soldadura de *las uniones de bloques y sub-bloques, hay que verificar cuidadosamente el conjunto*.

Es conveniente elegir las secciones de forma que tengan un elemento plano sobre el que se realiza el montaje y a partir del cual se efectúan las verificaciones.

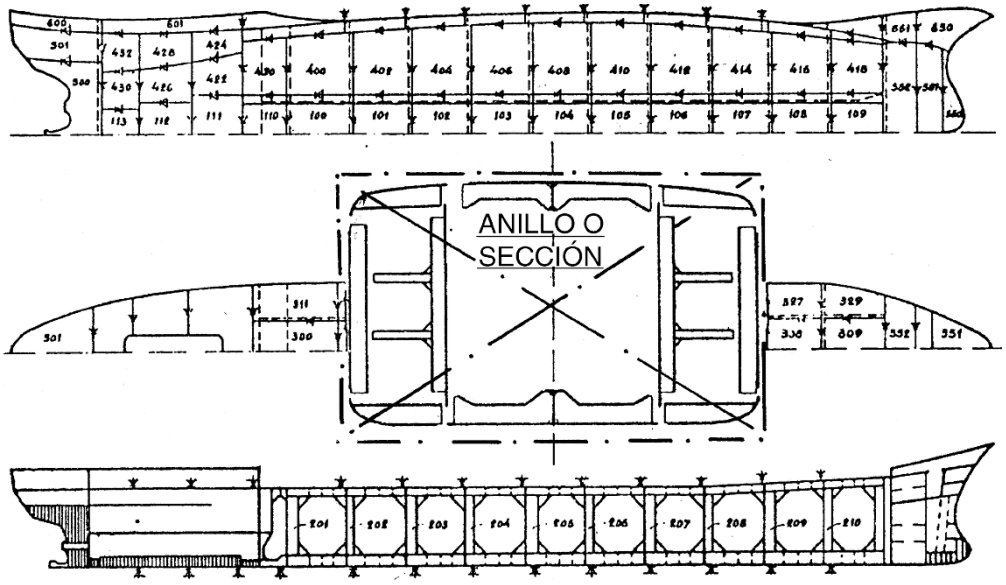


Fig. 11.21 Descomposición de un petrolero en bloques.

Para el montaje y movimiento de estas secciones y/o anillos deben seguirse escrupulosamente las instrucciones de los planos en los que se ha estudiado y dispuesto la secuencia de montaje y soldadura, incluyendo los elementos necesarios para posicionar el conjunto, suspenderlo, voltearlo y disponerlo para su transporte y montaje en gradas. Los *cáncamos de suspensión del conjunto* se refuerzan y sitúan adecuadamente para efectuar con seguridad, los movimientos y maniobras, eliminando posteriormente los refuerzos adicionales que se hubieran dispuesto sólo para estas maniobras.

11.12 Deformaciones y distorsiones

Dependiendo del sistema de soldadura utilizado pueden producirse deformaciones locales o generales (debidas a las contracciones), sobre todo en las planchas de poco espesor.

Las deformaciones no sólo suponen dificultades posteriores en el montaje, sino que también se ven afectadas las estructuras que pueden no trabajar de la forma prevista.

Por ejemplo, en las planchas con ondulaciones paralelas a los refuerzos, pueden producirse pandeos del panel por comprensiones en sentido perpendicular al reforzado. Estas deformaciones afectan notablemente al aspecto final de todo el conjunto.

Se pueden seguir los métodos siguientes para eliminar estas deformaciones:

— *Deformar previamente el elemento a soldar* en sentido contrario a la deformación prevista que va a sufrir como consecuencia de la soldadura.

— *Rectificar la deformación sufrida con deformaciones contrarias realizadas posteriormente.*

— *Impedir mecánicamente que se produzcan las deformaciones* (este procedimiento puede provocar el mantenimiento de fuertes tensiones internas que pueden ocasionar después la formación de grietas).

— *Utilizar secuencias adecuadas de soldadura*: Este es el mejor procedimiento, siempre que sea viable de forma efectiva.

— En el caso de refuerzos y, siempre que sea permisible, *la soldadura se realizaría por medio de cordones intermitentes.*

— *Utilizar pesos, puentes, cuñas, etc.,* que limitan las deformaciones, pero dejando libertad a la contracción, por deslizamiento.

Si se producen deformaciones que superen lo aceptable hay que corregirlas, lo que se consigue aplicando medios mecánicos o, lo más frecuentemente, por aplicación de calor y enfriamiento sucesivo (método *tampo*) por la cara convexa mediante el uso de sopletes con varias boquillas, en líneas onduladas (gusanillos) o en líneas paralelas cerradas (óvalos o rectángulos). Estos procesos térmicos no deben prodigarse mucho ya que tanto el calor como el enfriamiento posterior pueden llegar a alterar la estructura del material, tal como se indicó en el capítulo correspondiente al elaborado del acero.

11.13 Disposiciones estructurales que facilitan la prefabricación

Con objeto de establecer unos criterios de diseño y fabricación constructivos como norma general a tener en cuenta, se adjuntan una serie de ejemplos en que la construcción se simplifica en gran medida, ahorrando un considerable número de horas de trabajo, si se adoptan las soluciones que se indican a continuación:

- Las formas del buque serán desarrollables, en incluso planas, en su gran mayoría. Solamente se permitirán formas no desarrollables en los extremos de popa y de proa y, aún en esos casos, se tratará de trabajar con curvaturas amplias o con composiciones geométricas que permitan conformados por zonas, asimilables a conos, a cilindros y, como mucho, a esferas.

- Cuando las formas sean muy extremadas y no se pudieran conseguir mediante prefabricación con chapa naval, o fuera esto muy difícil, se tratará de recurrir al moldeo de la pieza.
- Se recurrirá a estructuras de habilitaciones y casetas lo más paralelepipédicas posible. Caso típico son las chimeneas que, últimamente, se fabrican prácticamente todas en forma paralelepipédica o, como mucho, de tronco de pirámide,
- Las alineaciones de elementos se reducirán al mínimo que se pueda, sustituyéndolas por solapes si ello es aceptable. Ello supone algo más de peso estructural pero puede ahorrar ímprobos trabajos de ajuste, que, por otra parte, pueden dar resultados de muy dudosa calidad.
- Se evitarán ajustes de precisión a bordo con la utilización de tolerancias que sean suficientes desde el punto de vista constructivo, o, en ciertos casos mediante la utilización de resinas para suplementar desajustes en nivelación, si ello fuera aceptable.
- No deberá depender del trabajo de prefabricación de acero ningún ajuste de precisión a bordo, dado que las tolerancias en la prefabricación, por muy buenas que éstas sean, son mucho mayores que las requeridas para alineación de maquinarias, líneas de ejes, alineación de elementos de cubierta, etc.
- Se tratará de conseguir el *mayor número posible de previas.*
- Se tratará de utilizar el mayor número posible de *perfiles que vengan terminados de acería* y, en particular, los de *llanta con bulbo*. No obstante, se tendrá en cuenta que *los pasos de mamparos estancos se complican con perfiles de llanta con bulbo*, al tener que *acorbatarlos*. Este inconveniente se deberá tratar de resolver en general, reduciendo el número de los pasos estancos y tratar de utilizar llanta de pletina como sustitución de la llanta con bulbo cuando sea posible. No obstante, ha de tenerse en cuenta que la utilización de pletina plana como refuerzo implica mayor altura o distancia a la chapa, por lo que los dobles fondos se complicarían por las distancias mínimas que hay que respetar entre la terminación del refuerzo y los aligeramientos necesarios para el paso de personas, con lo cual los dobles fondos serían más altos si se adoptara esta solución.
- Las platabandas de los refuerzos deberían ser rectas y sin conformar, siempre que sea posible.
- Si no se cuenta con gran precisión constructiva, los *acartelados* se harán a solape, terminando los perfiles a solape en las cartelas.
- Las llantas de cara de cartelas se construirán doblando el extremo de las mismas, si es posible, sin necesidad de soldadura adicional.

- La prefabricación se tratará de llevar a cabo, en general, sobre la cara plana de los bloques, incluso en el caso de trabajarse con dobles fondos de acero inoxidable (casos de buques para productos químicos).
- La soldadura deberá ser en su mayoría de tipo automático por arco sumergido. Para ello, se establecerán los procesos de posicionamiento del bloque y avance del trabajo de modo apropiado para conseguir la máxima utilización de esta alternativa.

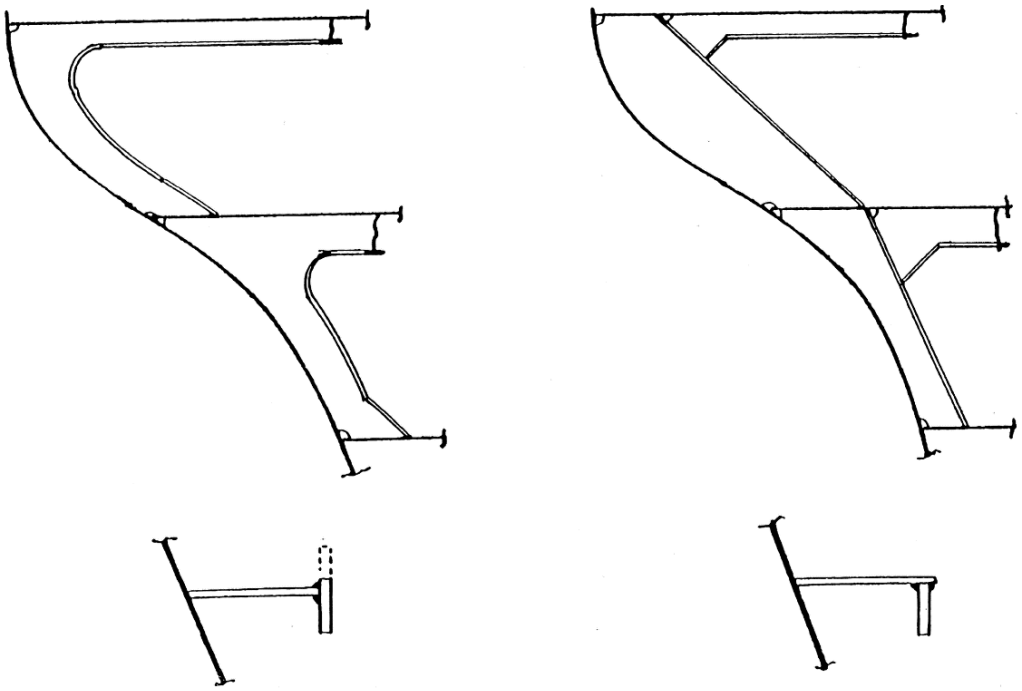


Fig. 11.22 Diseño de bulárcama orientado a mejorar la productividad.

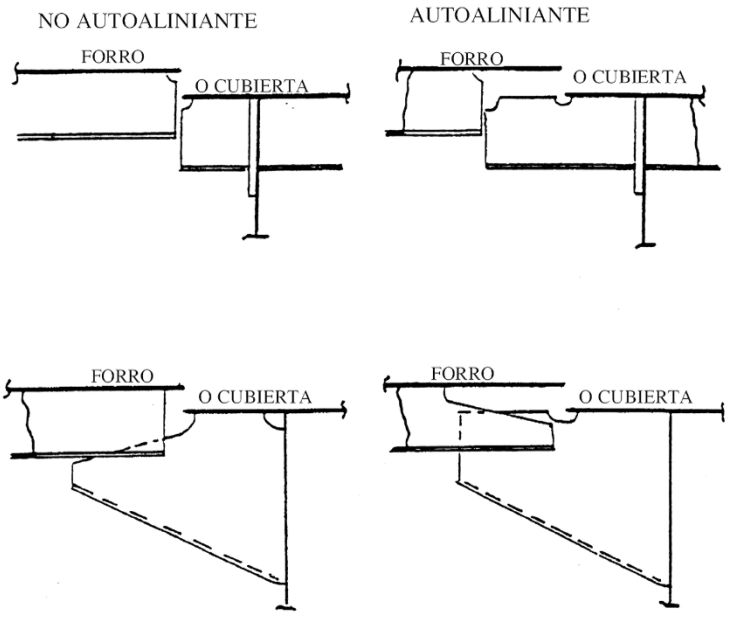


Fig. 11.23 Detalles que facilitan la unión de los bloques de forro o de cubierta (autoalineado).

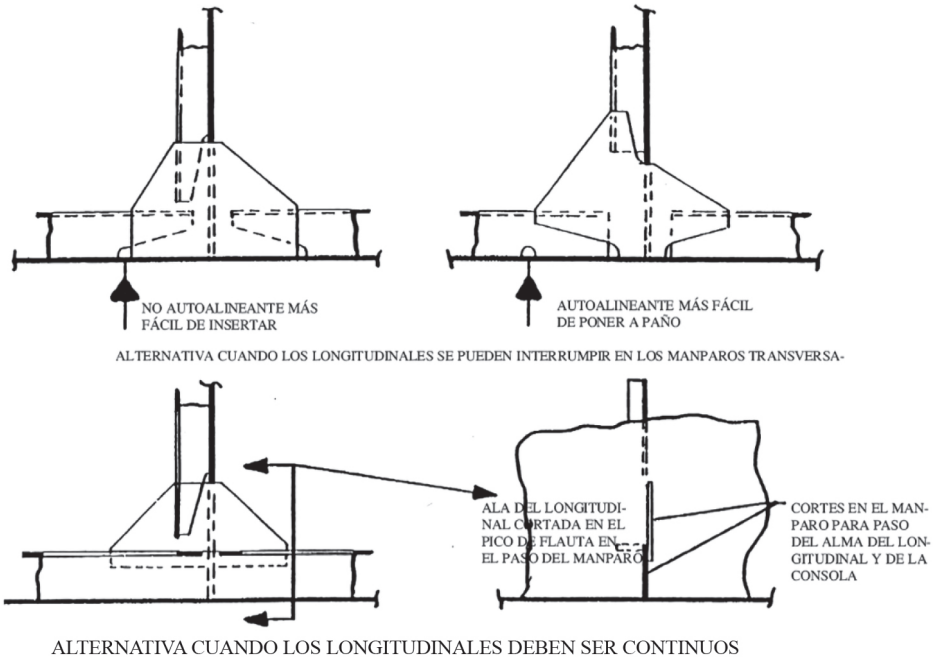


Fig. 11.24 Conexión de los longitudinales con los mamparos a fin de eliminar el acorbatado.

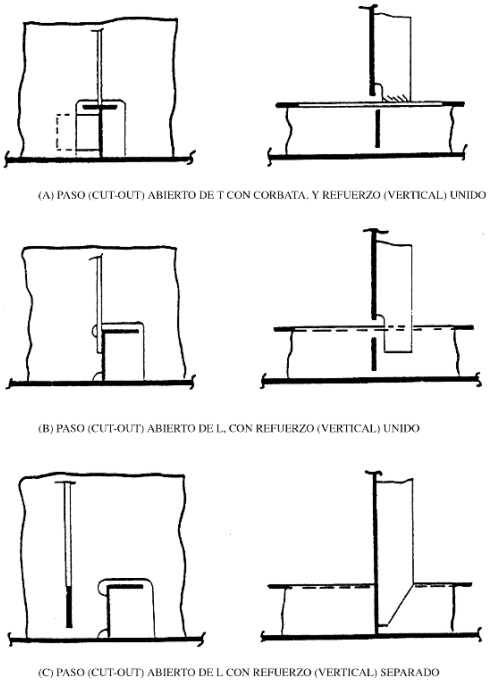


Fig. 11.25 Diseño para el reforzado en los cruces de los longitudinales con cuadernas o bulárcamas.

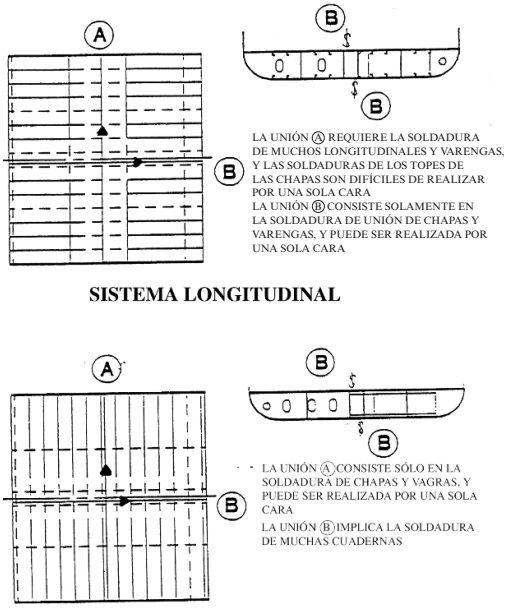


Fig. 11.26 Consideraciones sobre las uniones de los bloques de fondo a fin de aumentar la productividad.

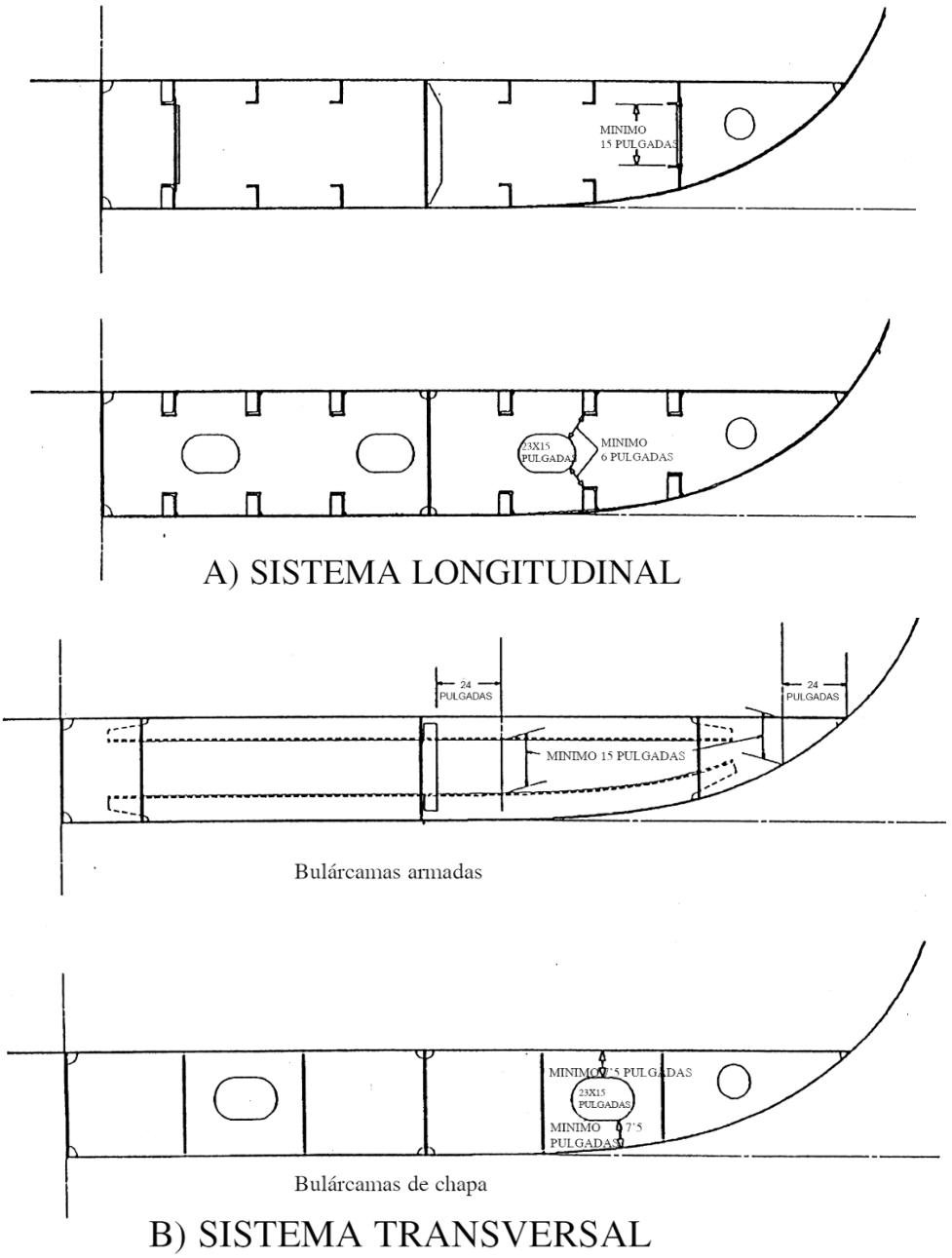


Fig. 11.27 Factores que afectan a la altura del doble fondo.

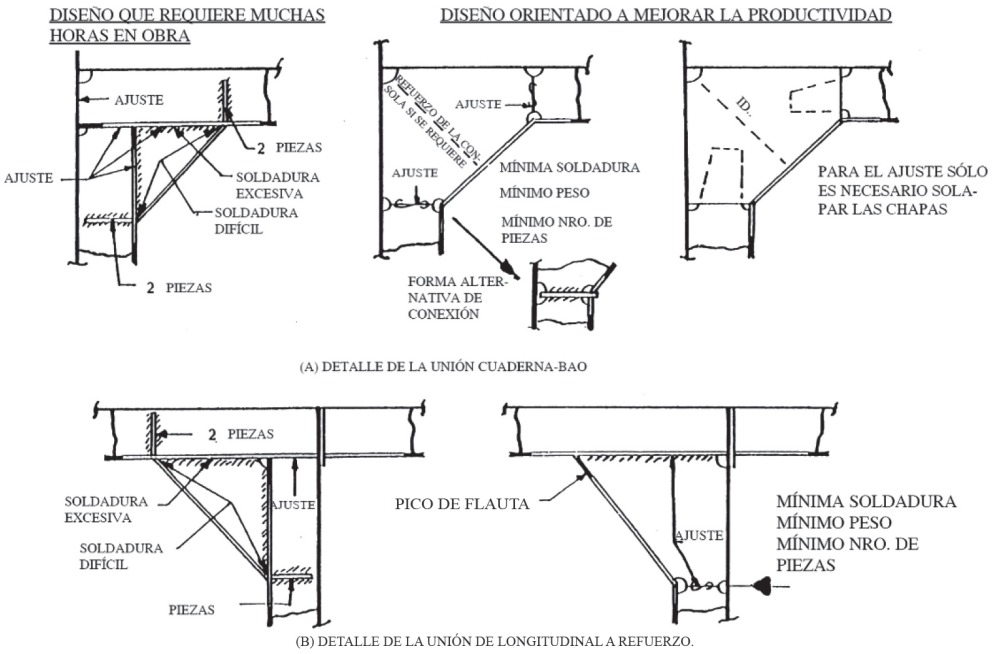


Fig. 11.28 Detalles de consolas para uniones de baos, longitudinales, cuadernas y refuerzos.

11.14 Tratamiento superficial de los bloques estructurales después del prefabricado

Lo habitual en la construcción naval moderna de los buques de acero es que los bloques estructurales se pinten después de terminar el prefabricado, y con él la mayoría de los trabajos de aplicación de calor y soldadura, que habrían deteriorado la pintura si ésta se hubiera aplicado antes.

Los modernos sistemas de protección superficial suelen exigir que, antes de aplicar la pintura, se chorree la superficie del acero, al menos la exterior de los bloques del forro, hasta, por lo menos, el grado SA 2 1/2 (chorreado hasta casi metal blanco, según el estándar sueco).

Algunos astilleros disponen de cabinas cerradas de chorreado y pintado en las que se pueden introducir los bloques prefabricados a fin de proceder al chorreado de la superficie de los mismos hasta el grado SA 2 1/2 ó SA 3 (metal blanco), según se requiera (raramente se emplean las cabinas para una limpieza menos exigente de las superficies como sería el grado SA 2), e inmediatamente aplicar las diferentes capas de pintura que exija la especificación de pintado, excepto la mano de acabado y la de pintura anti incrustante (*antifouling*) en las zonas de flotación, pintura esta última que

se deterioraría, por perder su actividad durante los meses en que probablemente aún permanezca el buque en seco. De esta forma, al acabar el montaje de los bloques en la grada, sólo hay que chorrear con un sistema portátil y pintar las zonas correspondientes a la soldadura de unión de los bloques y otras partes que se hubieran deteriorado por la aplicación de calor o por otras razones. Poco antes de la botadura se aplica la capa de pintura final, que, en su caso, será la anti incrustante. Finalmente, antes de las pruebas de entrega, el buque se vara en dique, donde, entre otras cosas, se realiza la reparación de las superficies del casco afectadas por la botadura y la limpieza final del mismo y, a continuación, se da una mano de pintura exterior, quedando dichas superficies en perfecto estado para las pruebas de velocidad.

En caso de que el astillero no disponga de cabinas de chorreado y pintado, hay que disponer unas protecciones, normalmente de lona, contra la intemperie, alrededor de la zona que se está chorreando y pintando, cuya misión es, no sólo evitar las perturbaciones que los agentes atmosféricos pueden producir en el trabajo de pintado, sino por *la exigencia de las normas de higiene y medio ambientales de que las partículas de granalla o arena, así como las posibles emisiones de pintura, durante el chorreado y el pintado quedan confinadas sin salir al exterior.*

En todos los trabajos de pintado hay que tener extremo cuidado con la posibilidad de toxicidad, explosiones e incendios, que pueden ser motivados por gases y sustancias contenidas en las pinturas y sus disolventes. Para ello se debe evitar en todo lo posible que existan sustancias peligrosas en la composición de las pinturas, y en todo caso, conocer perfectamente las características de los productos que se están manejando y hacer uso de los medios necesarios para contrarrestar los posibles peligros, como son máscaras, ventilación y control de atmósferas explosivas, precauciones necesarias con llamas y soldadura, máxime en espacios cerrados, colocación de señales de advertencia y/o prohibición, empleo de aparatos antideflagrantes, etc.

11.15 Montaje de accesorios, tubería, equipos sobre sus polines, accesos, etc. Construcción integrada o armamento anticipado

Es fundamental realizar el *armamento anticipado*, también llamado *construcción integrada*, en los bloques prefabricados, ya que se logra adelantar los trabajos de terminación y con ello la entrega del buque, reduciéndose normalmente las horas de trabajo al poder efectuarlo más cómodamente, ya que se dispone de espacios abiertos y sin las interferencias que con frecuencia surgen a bordo.

Parte de los elementos que, aparte de otros, sería inadmisible, salvo excepciones muy contadas, no haber colocado en los bloques estructurales durante su prefabricado, y, como muy tarde, durante su armamento anticipado, son los *carretes o trozos de*

conductos y tubos pasantes que han de quedar soldados a elementos estructurales, como es en el caso de pasantes estancos, carretes de tomas de mar (y, por supuesto, las cajonadas de dichas tomas de mar) y las descargas al costado, embonos de reforzado de orificios en elementos estructurales, regolas, etc., ya que si no se hace así, tendremos, aparte de otros inconvenientes de hacerlo a bordo, el deterioro de las superficies ya pintadas, al tener que hacer cortes y soldaduras con posterioridad al pintado.

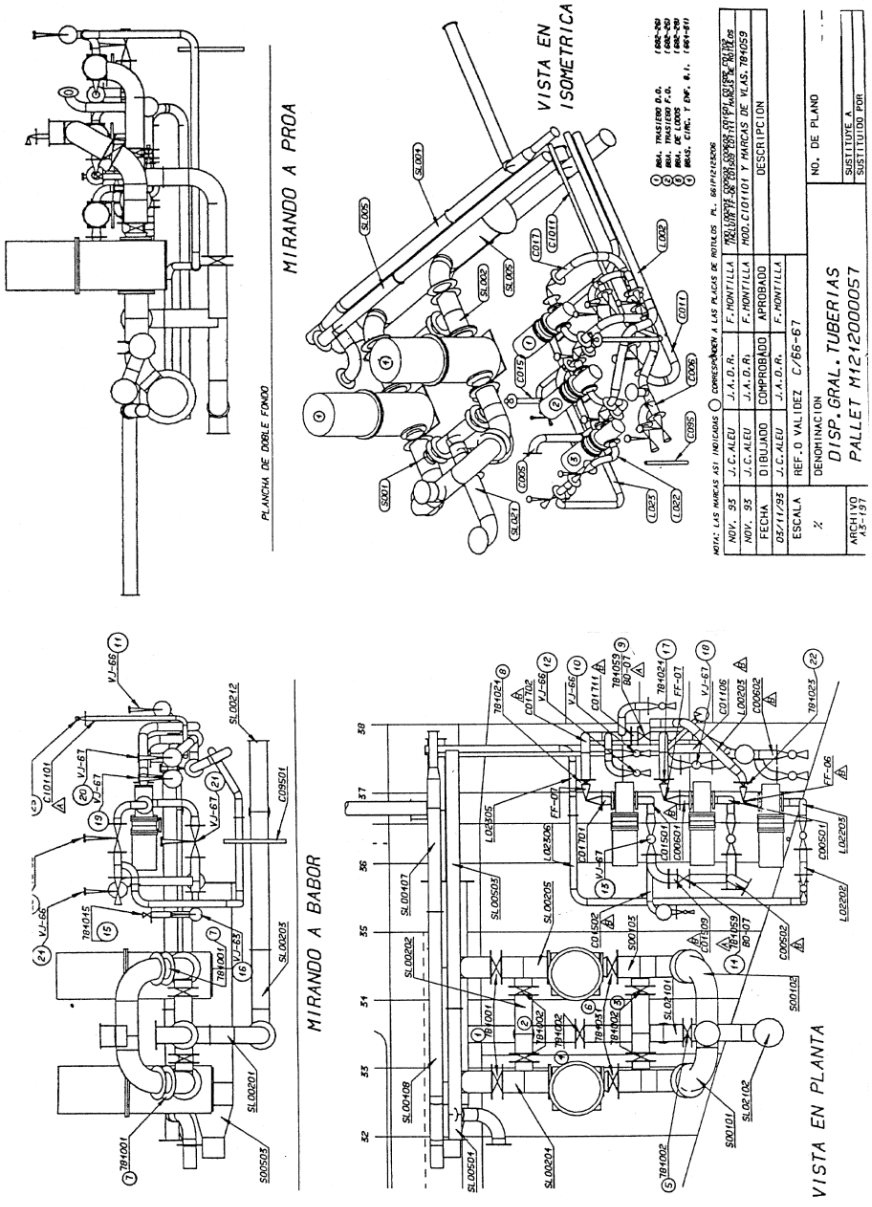


Fig. 11.29 Ejemplo 1 de módulo de bombas con tubería.

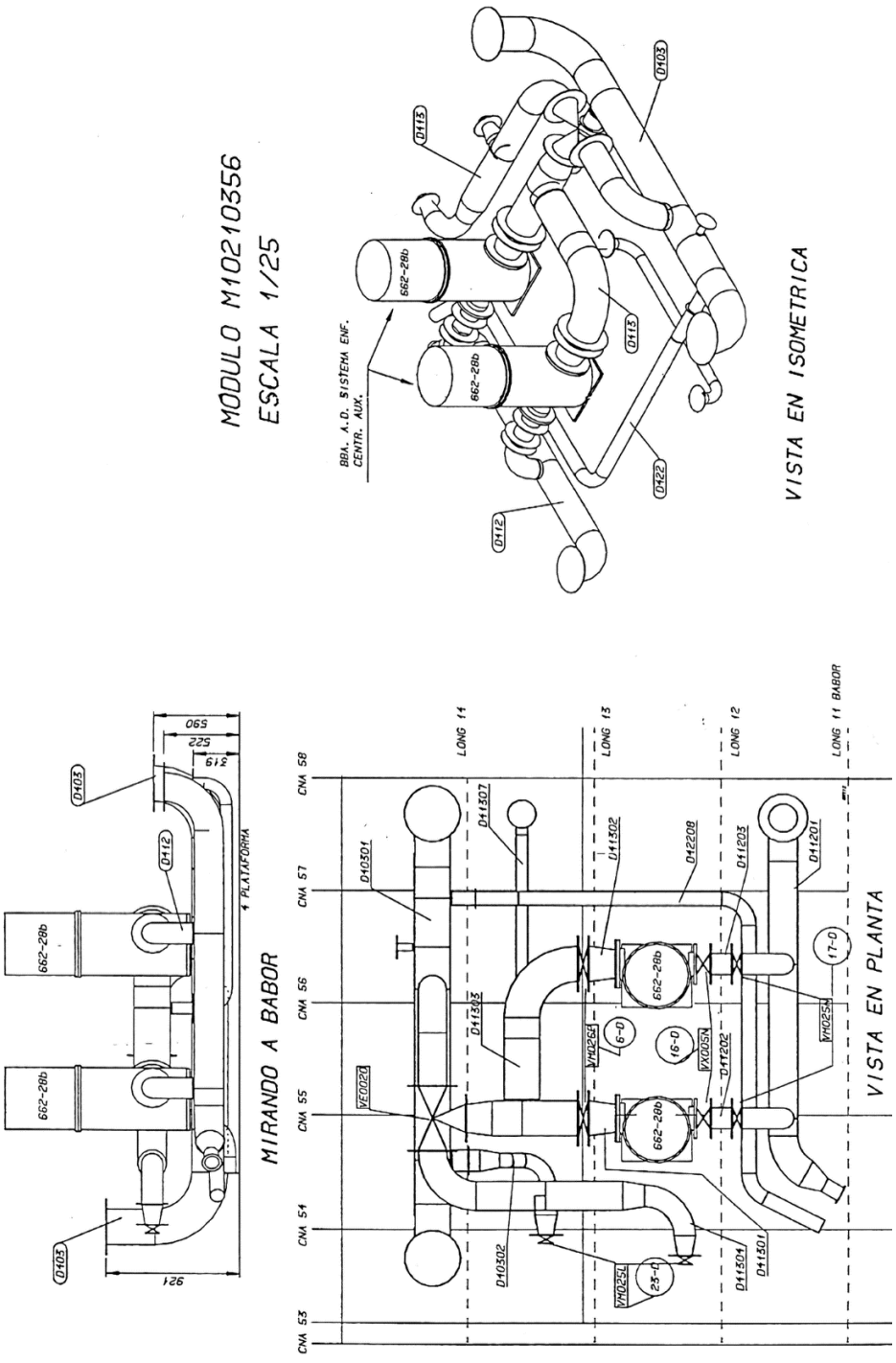


Fig. 11.30 Ejemplo 2 de módulo de bombas con tubería.

El armamento anticipado a montar sólo debe estar limitado, en general, a que el peso total del bloque no exceda lo permisible para los medios de manipulación y elevación y a ciertos problemas de alineación que pudieran surgir de partes de máquinas que tengan que montarse sobre bloques diferentes o que puedan sufrir deterioros durante el tiempo que resta de construcción del buque. Los elementos a montar, de los que algunos ya se citaron antes, serán las tomas de mar con sus carretes, cines electrógenos, rejillas, tuberías con sus soportes, bitas, cáncamos, polines, aparatos, escalas y pasarelas, soportes de canaleta de cables, así como cables aunque sea enrollados dentro del bloque, para extender después a lo largo de varios bloques, evitando así el tener que cortarlos, sondas, telemandos, guías, etc., pudiendo llegar incluso a montarse superestructuras con su habilitación casi terminada y con sus elementos ya montados.

Los módulos de armamento anticipado, formados por polines, aparatos, tuberías, etc., se montan normalmente en la grada, en el dique de construcción y a flote, aunque en casos pueden ya ir montados en los bloques estructurales o en secciones.

11.16 Inspección. Control de Calidad. Plan de Calidad. PPI

En los bloques, conjuntos y estructuras ya terminadas hay que realizar inspecciones y verificaciones de la calidad de materiales y mano de obra realizada de acuerdo con el nivel establecido en los documentos contractuales, Sociedad de Clasificación, y otras inspecciones acordadas según se especifica en dichos documentos contractuales.

Se insiste en el concepto *de acuerdo con el nivel establecido en los documentos contractuales* a fin de que las inspecciones que hayan de realizarse se hagan justamente, ni más ni menos, que a ese nivel, el cual, en caso de duda, debe ser perfectamente aclarado por el Dpto. de Gestión de la Calidad o, en todo caso, por el Dpto. responsable de la interpretación de los documentos contractuales. La realización de inspecciones adicionales y/o exigencias de niveles superiores a lo que se deduzca de lo acordado en el contrato, ya sean por requerimiento del cliente, autoridades u organizaciones involucradas o invocadas en un proyecto, puede ser algo muy comprometido y costoso, cuyas consecuencias hay que analizar previamente y, en todo caso, podrían dar lugar a un presupuesto extra a acordar con el cliente, para su abono por parte de éste.

Las inspecciones deberían realizarse siguiendo un *plan de calidad establecido a priori* de acuerdo con las exigencias del proyecto, a fin de poder *tener todo previsto y evitar sorpresas* de última hora, con *situaciones problemáticas de facto*, a veces irreversibles. Por supuesto que esto ya se realizará de forma habitual si el astillero tiene implantado un *Sistema de Gestión de Calidad (quality managemet)* que presupone la preparación de un *Plan de Calidad (P.C.) y un Programa de Puntos de Inspección (P.P.I.)* para cada proyecto.

Los materiales, ya sean chapas, perfiles, electrodos, tuberías, cables eléctricos, maquinaria principal y auxiliar y equipos y componentes diversos para los que así se requiera en los reglamentos de la Soc. de Clasificación y de organismos estatutarios, deben ser aprobados y certificados por la Sociedad de Clasificación e Inspección de Buques en su lugar de origen de fabricación, debiendo contrastarse, a su llegada al Astillero, sus marcas de identificación con sus correspondientes certificados.

Las inspecciones y pruebas que se realizan durante y después de la fabricación estructural pueden comprender todas o varias de las siguientes verificaciones, aparte de otras que, en algún caso, se pudieran requerir:

— Examen externo visual.

— Comprobación de espesores.

— Extracción de muestras de uniones soldadas, para ensayos mecánicos de tracción, flexión, resiliencia, etc.

— Radiografiado de soldaduras en zonas determinadas por las Sociedades de Clasificación, de los cuales se puede citar como ejemplo los cruces de uniones soldadas.

— Ensayos de ultrasonidos.

— Pruebas hidráulicas.

— Pruebas de estanqueidad.

— Espesores de pintura.

— Control dimensional o comprobación de dimensiones, trabajo que en el caso de los bloques estructurales, y del propio buque como conjunto, realizaba tradicionalmente la Sección de Gálibos.

— Control de pesos, verificación que suele ser muy exigente en cierto tipo de unidades, en que tanto el peso como la posición del centro de gravedad del conjunto o de partes tiene una importancia crítica, y posiblemente consecuencias contractuales.

11.17 Gradas y diques para construcción y puesta a flote de los buques

El montaje o ensamblaje de los bloques y la terminación de la estructura del casco del buque es llevado a cabo en gradas o en diques de construcción, que han de tener las siguientes características:

1. Deben disponerse en forma y posición que faciliten lo mejor posible la botadura o puesta a flote del buque.

2. Deben estar dotados de una sólida cimentación que asegure la rigidez de la estructura que ha de soportar el peso del buque más las cargas adicionales que temporalmente puedan producirse, más los esfuerzos ocasionados en el lanzamiento.
3. Además de la cimentación citada en el punto anterior, la placa de la grada, o solera del dique, deben ser capaces de soportar cargas puntuales, muy superiores a la media, en los soportados localizados del buque (picaderos, apoyos de escoras, etc.).
4. Las dimensiones han de ser las adecuadas para los tipos de buques que se van a construir.
5. Deben disponer de medios de izado suficientes para los mayores bloques que se van a montar.
6. Han de estar dotados de servicios de electricidad, gases, alumbrado, aire y agua.

La *puesta a flote en las gradas* se efectúa *por lanzamiento dinámico* y *en el dique por empuje hidrostático (flotadura) consecuente de la inundación* del dique, con lo que, como fácilmente puede comprenderse, las características y preparación de las operaciones de puesta a flote son esencialmente distintas en uno y en otro caso.

La puesta a flote en dique es muy sencilla y no requiere de las costosas construcciones auxiliares que necesita la grada. Además, el apoyo del buque es sobre un plano horizontal, más fácil por tanto que sobre un plano inclinando, y las grúas no requieren tanta altura como en gradas para alcanzar el punto más alto como ya se indicó en el capítulo dedicado a medios de movimiento y elevación.

A pesar de sus muchas ventajas, los diques no se han prodigado, debido por una parte a su elevado coste de construcción y por otra, a que en muchos astilleros existentes, en que ya se disponía de gradas, la disposición y configuración del espacio existente haría difícil el construir un dique.

Aun así, existen astilleros en que, para eliminar los elevados costes de un lanzamiento y porque el tiempo de construcción del buque se reduce, se han decidido a utilizar diques.

En el caso de gradas, lo más frecuente es que la pendiente se disponga en sentido longitudinal, es decir que la eslora del buque se disponga hacia el agua perpendicularmente a la orilla, aunque, como se describe más adelante, también hay astilleros con la grada paralela a la orilla, y, en este caso, los lanzamientos son transversales. También se disponen gradas para lanzamiento longitudinal formando

un ángulo agudo con la orilla, dependiendo la orientación de la forma y de la amplitud de la dársena en la dirección del lanzamiento.

Durante el lanzamiento longitudinal, el buque se desliza apoyado en la grada hasta sumergirse lo suficiente para que pueda flotar. Por esto la grada se ha de prolongar bajo el agua hasta la profundidad necesaria para que se cumpla lo anterior, denominándose esta prolongación *antegrada.*

11.18 Pendiente de la grada

El lanzamiento se produce por deslizamiento sobre un plano inclinado, por lo que éste ha de tener la pendiente necesaria. Esta inclinación debe estar próxima a la mínima imprescindible para evitar alturas innecesarias en la proa y tener que disponer zonas muy reforzadas de antegrada. Las gradas con pendiente pequeña precisan mayor longitud de antegrada, y las de mayor pendiente tienen esfuerzos más elevados durante el giro.

A medida que se van montando los bloques, su verticalidad se va ajustando a la inclinación de la grada, para lo que se emplean cartabones especiales, hechos exprofeso.

Las pendientes oscilan entre 1/12 y 1/25, utilizándose mayores pendientes para buques pequeños, al ser menor el peso de éstos. Algunas gradas se han construido con un perfil de arco de circunferencia (de gran radio) o de parábola.

La pendiente de la grada implica que la proa de la misma se ha de elevar sobre el suelo, por lo que la solera debe estar apoyada sobre estructuras altas, siendo normal que se aproveche el espacio bajo ésa para talleres, pañoles, oficinas, etc.

11.19 Apoyo del buque: picaderos, almohadas, escoras

En la grada o dique, los bloques se van colocando sobre piezas de madera arriostradas entre sí, dispuestas en forma de conjuntos paralelepipédicos transversales con respecto al buque, que se denominan *picaderos* cuando su situación es bajo la quilla. Los apoyos situados hacia los costados se denominan *almohadas*. Unos y otros han de colocarse bajo zonas resistentes (mamparos, vagras, varengas, etc.) para evitar deformaciones.

Para el soportado de los bloques de costado durante el montaje y también a lo largo de la construcción, se emplean puntales de madera o de acero denominados *escoras* que, donde es necesario, toman la carga de los bloques por medio de cajeras de acero soldadas provisionalmente a dichos bloques por el exterior del forro. Las escoras se aprietan con cuñas de madera en su apoyo inferior sobre la placa de la grada o dique.

Dichas escoras pueden transmitir una carga puntual elevada, por lo que dicho apoyo debe tener el reforzado o soportado necesario por debajo de la placa para evitar que la escora pueda atravesarla, como ya ha sucedido en algún caso.

Dichas escoras *han de retirarse antes del lanzamiento*, así como los picaderos y almohadas de construcción, cuyo conjunto constituye lo que se denomina *cama de construcción*, *a medida que la carga del buque, de una forma programada, se va transfiriendo a la llamada cuna de lanzamiento,* como se verá en el siguiente capítulo.

El piso, tanto de los diques como de las gradas, particularmente el de las gradas en su zona central y bajo las imadas, y muy especialmente en éstas bajo la zona de giro en el lanzamiento, será muy resistente para soportar las cargas. Por este motivo cuando estas instalaciones no se construyan sobre roca, deben efectuarse cimentaciones a base de filas de pilotes y, sobre éstos, una placa de hormigón armado que forma la solera de la grada. Semejantes consideraciones han de hacerse para los diques.

Para los picaderos y almohadas se utiliza una cantidad muy grande de madera que hay que reponer a medida que se deteriora. Para disminuir dicha cantidad de madera se utilizan *bloques o paralelepípedos de hormigón que sustituyen al conjunto inferior de madera de los picaderos.*

11.20 Gradas transversales

Se utilizan generalmente para buques de menor tamaño y en los casos en los que no se pueden efectuar los lanzamientos en sentido longitudinal por falta de espacio *(cancha)* para la salida del buque y para su frenado en la dirección de su eslora, como puede ser en el caso de estar la grada en la orilla de un estuario estrecho o de un río. También se disponen gradas con su eje longitudinal inclinado, formando un ángulo agudo con respecto a la línea de costa.

En tales casos, la grada está inclinada transversalmente y, si el lanzamiento es por deslizamiento transversal del buque sobre la grada, ésta tiene que prolongarse bajo el agua con su correspondiente antegrada, en una distancia perpendicular a la línea de costa, de, al menos, el orden de magnitud de la manga del buque, para soportar los apoyos de la cuna en el lanzamiento hasta que el buque flota.

Si el lanzamiento se efectúa por *basculamiento transversal* del buque, se elimina la antegrada.

11.21 Gradas horizontales

Suelen usarse para buques de tamaño y peso menor, que pueden izarse y ponerse a flote por medio de una grúa, ya sea instalada fija en el muelle o locomóvil. Si la grada está muy separada de la orilla, habría que transferir primero el casco desde los apoyos o picaderos sobre los que se construye hasta una plataforma rodante o carretón, lo cual puede hacerse por medio de gatos hidráulicos o de husillo y trasladar el carretón hasta ponerlo al alcance de la grúa al lado del muelle. Alternativamente, el carretón puede bajarse hacia el agua por una rampa, con el buque colocado encima a modo de los *carros varaderos*.

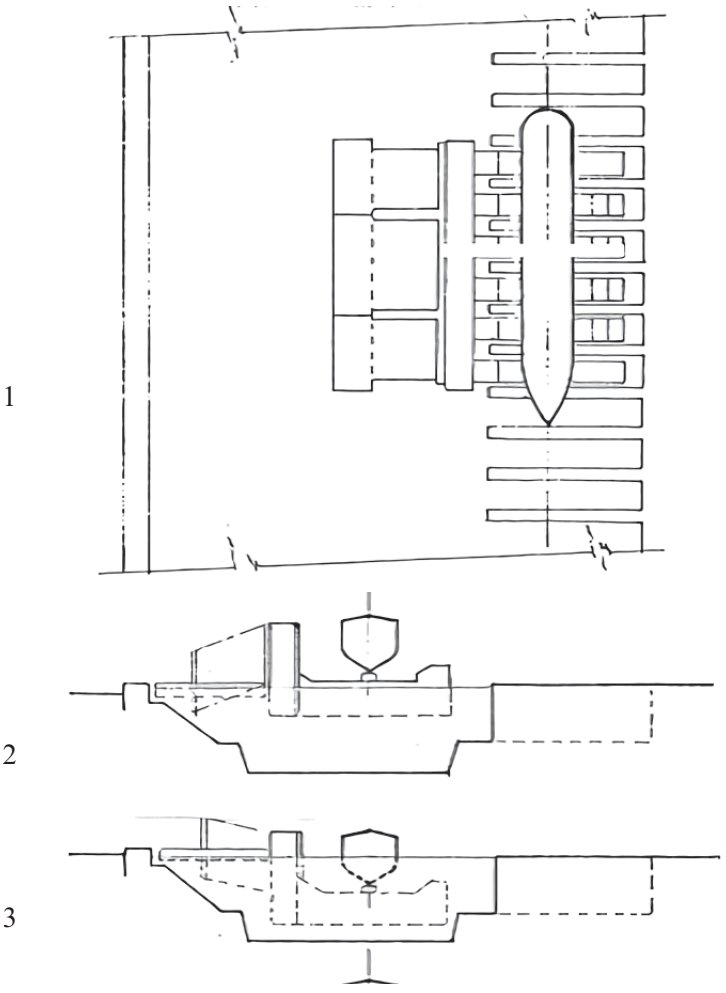


Fig. 11.31 Esquema de funcionamiento de dique carenero.

Otra forma es arrastrar longitudinalmente, por deslizamiento o sobre carretón con rodillos, el casco del buque sobre la cama horizontal hasta depositarlo sobre un dique flotante puesto a continuación de la grada y situado con su plan en el mismo plano que la cama y, una vez el buque apoyado sobre el dique, éste se inunda para sumergirse y dejar al buque flotando libremente.

Otra alternativa es la combinación de gradas horizontales, que pueden estar dispuestas perpendicularmente al canto del muelle, con diques careneros (Fig. 11.31**)**. El buque se construye paralelamente al canto del muelle, y cuando se desee botar, entre las imadas (gradas) penetran apéndices flotadores del dique carenero flotante (que es en forma de L) por debajo del buque (1). Al ser deslastrado el dique y elevarse, eleva a su vez el buque y lo traslada al mar (2), lastrándose a continuación para dejar a flote el buque (3). La operación inversa, tanto en este caso como en el anterior, pueden utilizarse para elevar buques desde el agua para su varada en seco para reparaciones, pintado, etc.

DISPOSICION GENERAL DE UN SINCROLIFT

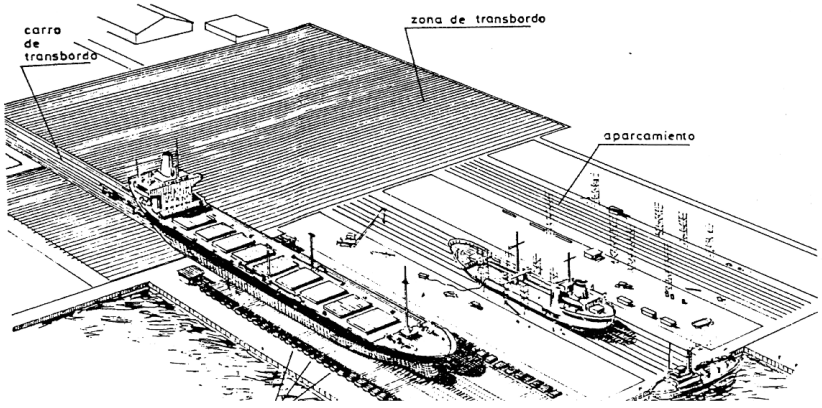


Fig. 11.32 Disposición general de un sincro-lift.

Otro sistema es el *SINCRO–LIFT,* consistente en que los buques se pueden levantar del agua, así como ponerlos a flote, por medio de una plataforma en la que estos se apoyan, siendo esta plataforma izada del agua por la acción de varios chigres que actúan conjuntamente de forma sincronizada. Para sacar el buque a tierra, una vez que la plataforma se ha izado hasta el nivel del muelle, existe un sistema de arrastre transversal del buque sobre rodillos, para ponerlo en firme en la posición que se desee. Existen normalmente varias ubicaciones paralelas entre sí para situar el buque, permitiendo así, la construcción o el carenado de diferentes buques a un mismo tiempo.

11.22 Gradas dique

Son gradas horizontales situadas paralelamente a un dique, rodeadas de un muro continuo, resistente y estanco, con una altura sobre el nivel de las gradas tal que permita hacer flotar a los buques que se hayan construido o reparado apoyados a nivel de dichas gradas, cuando el recinto formado por dicho muro se cierre por medio de un barco puerta y se inunde hasta el nivel necesario. Como medio de inundación se usarán, normalmente, las propias bombas del dique.

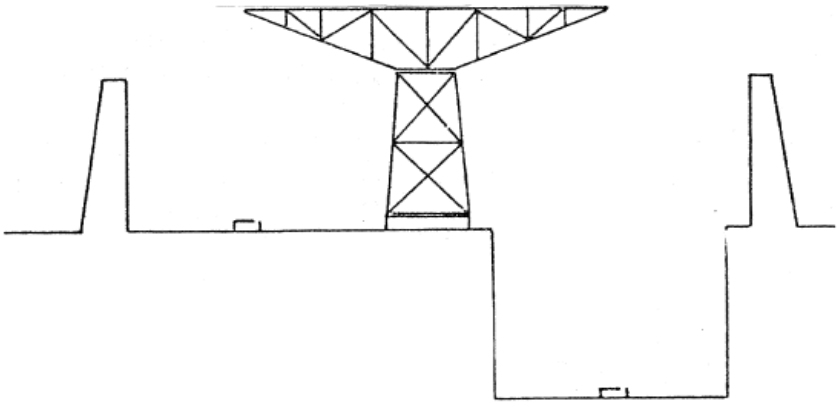


Fig. 11.33 Esquema grada dique.

Una vez que se haya inundado dicho recinto y de que el casco que está situado sobre las gradas quede flotando, se desplaza transversalmente hasta ponerlo sobre la vertical del dique. Se deslastra ahora el recinto superior y el del dique hasta el nivel del mar y el buque, consecuentemente, va bajando. Al sacar el barco puerta se saca el buque del dique. Tiene la ventaja de que mientras no se está realizando el traslado, para la botadura, lo cual es una operación puntual, del buque que se ha construido o reparado, desde la grada horizontal hasta la vertical de lo que es propiamente el dique, la parte inferior de éste puede ser usada como dique normal de reparaciones y de carenado. El barco puerta, naturalmente, tiene que tener mayor altura que si sólo se tratara de utilizar el dique propiamente tal (espacio inferior), ya que tiene que llegar hasta el nivel del muro superior citado antes.

La operación necesaria para subir un buque para su reparación, transformación, etc., desde mar hasta la grada horizontal se puede deducir fácilmente. Durante dicha operación, el dique inferior tiene que estar vacío.

Tal disposición permite compatibilizar obras de larga duración como puede ser una construcción, gran reparación o transformación, llevadas a cabo en las gradas horizontales, con el uso del dique para obras de corta duración en los buques, como son

el mantenimiento y carenados habituales, así como reparaciones de poca envergadura y corto plazo.

11.23 Servicios de las gradas y diques

Aparte de *los medios de elevación*, que se describen en el Capítulo 8, y del *equipamiento*, que se describe en el Capítulo 12, apropiado para el lanzamiento en el caso de las gradas, o para la puesta a flote por flotación en el caso de los diques, tanto unas como otros dispondrán de los siguientes equipos

Andamios.- Pueden ser exteriores o interiores al buque. Sobre ellos han de pasar las personas y situarse para realizar trabajos de ajuste, soldadura, inspección, montajes, etc.

Los exteriores han de adaptarse a la manga y forma del buque a lo largo de la eslora. Deben construirse de acuerdo con las normas de seguridad, que entre otras contemplan: a) que pueda pasar una persona con comodidad mientras otra trabaja; b) que los tablones sean resistentes y se encuentren en buen estado; c) que tengan gualderas de protección para evitar la caída de piezas; d) que tengan pasamanos resistentes montados sobre candeleros, etc.

En la actualidad son muy comunes los andamios para colgar de la chapa del trancanil.

En el piso de los andamios es frecuente colocar trampillas situadas verticalmente para que puedan subir por ellas las personas o pasar las máquinas de soldadura automática.

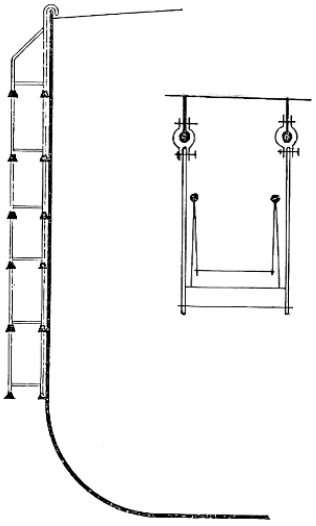


Fig. 11.34 Andamios exteriores.

En el interior de tanques y bodegas, así como en el exterior (fundamentalmente en los finos de Pr. y Pp.) se utilizan andamios de estructura tubular ligera, fácilmente montable y desmontable por medio de grapas y/o conos patentados. Dentro del buque y para trabajar bajo cubiertas ya montadas se pueden utilizar andamios colgados que se sujetan en los baos.

Otros andamios se cuelgan de *orejetas* soldadas a mamparos u otras zonas firmes por lo que, al quitarlos, hay que cortar con soplete estos puntos de apoyo y luego repelarlos con piedra de esmeril.

Torre escalera, para acceso a cubierta. Se instala en los grandes buques Suele estar ya fabricada, siendo desplazable por medio de ruedas en la parte inferior, y dispuesta *con escalones o con rampas* con peldaños. A menudo tienen doble dirección subida/ bajada para facilitar los cambios de turno.

Ascensor mecánico. En los buques que tienen gran puntal. Facilita la subida y bajada a /desde cubierta.

Redes de protección. Bajo los andamios, para protección de posibles caídas de personas, y para la protección de personas de los posibles impactos de objetos en su caída.

Redes de energía. Estas pueden ser:

a) Eléctrica: de fuerza y de alumbrado. Deben estar sobredimensionadas para evitar sobrecargas, y los terminales deben estar protegidos contra la intemperie. A ellos se conectan cables que alimentan cuadros provistos de conexiones para alimentar las máquinas de los distintos puestos de trabajo. En el caso de alumbrado, se conectan a los cuadros las líneas de alumbrado provisional y portátiles que se necesiten.

b) Aire comprimido. Para el accionamiento de máquinas neumáticas rotativas (taladros, esmeriladoras, etc.) o de percusión (cinceles, retacadoras, máquinas de calafate, etc.). La presión de las líneas es, generalmente, de 7 k/cm² desde los acumuladores, y el aire a suministrar debe estar seco (por lo que hay que purgar las tuberías frecuentemente).

c) Oxígeno y acetileno. No en todos los astilleros se encuentran estas redes ya que en muchos casos éstos gases se suministran mediante baterías de botellas que se izan a bordo mediante las grúas de gradas.

d) Agua salada. Se utiliza para los servicios de *Contra Incendios* y para las *pruebas* de tanques.

e) Caseta en cubierta. En muchos astilleros, sobre todo en buques de grandes dimensiones en los que subir y/o bajar a la cubierta es trabajoso, suele

montarse sobre ésta una caseta con teléfono que puede aprovecharse como pañol u oficina de distribución de trabajo.

11.24 Preparación de gradas y diques para la construcción

En ambos casos, antes del comienzo de la construcción se procede a verificar los picaderos, y, si se descubre alguno con síntomas de putrefacción o grietas que lo hacen dudoso, debe sustituirse.

Los picaderos están constituidos por una o varias piezas de madera enteriza resistentes, un juego de cuñas de ángulo reducido y gran dureza, que se enclavan golpeándolas en sus extremos con "mandarria", y en la parte superior una solera o taco de madera más blanda, y de menores dimensiones, que facilita la distribución de la carga. Se comprueba, antes de colocar los bloques, que la parte superior de los picaderos esté perfectamente alineada a fin de poder asegurar el alineamiento subsiguiente de dichos bloques, lo cual puede realizarse con teodolito y con luz natural o con rayo luminoso y, con más exactitud, con láser. Tradicionalmente se utilizaron cuerdas de piano y alambre tensados.

Una vez colocado el bloque, el picadero desciende ligeramente, por lo que se tendrá que proceder a una nueva alineación y ajuste.

Sobre la línea de picaderos se marca también el plano diametral del buque o línea base. Esto se logra con plomadas cuando se usa cuerda de piano o alambre, o por proyección vertical del centro de cada blanco, cuando el método es óptico o por teodolito. Hay que marcar igualmente la posición de la cuaderna maestra, las perpendiculares de Pp. y de Pr. y las posiciones transversales que van a servir de referencia para los bloques que luego se van a montar.

Según va avanzando la colocación de bloques y se va completando la soldadura, se producen tensiones que deforman el conjunto. La práctica habitual para evitarlas es colocar pesos que evitan el levantamiento de los bloques según avanza la soldadura. No obstante, este sistema irá creando tensiones impedidas que se liberan cuando se sacan los pesos, con lo cual el buque se deforma y las referencias inicialmente escogidas pueden llegar a no ser válidas. Lo normal es que el buque fuera resultando más corto, con menos manga y con menos puntal que lo previsto, y tienda a tomar arrufo durante la construcción si no se toman las medidas oportunas, para lo cual ha de ir comprobándose el nivel de la quilla a lo largo de dicha construcción y corrigiendo las desviaciones cuando resulten inadmisibles. Estas desviaciones son tanto menores cuanto mayor es la exactitud dimensional en el prefabricado de los bloques, mejor es la preparación de los picaderos y mejor se diseña la secuencia de soldadura.

En las comprobaciones, particularmente en el verano, deben tenerse en cuenta las deformaciones provocadas por las dilataciones y contracciones de la cubierta debido a las diferentes temperaturas alcanzadas a lo largo del día y de la noche.

Las desviaciones que, de todas formas, puedan existir al final, tienen que ser tenidas en cuenta para varios fines, entre ellos para situar correctamente las marcas de calados.

Por último y a medida que ya se van montando los bloques se sitúan las almohadas.

11.25 Montaje del casco

Antes de construir los bloques tiene que estar definida *la secuencia de montaje*, partiendo del bloque con que se ha de iniciar, lo cual se llama *la puesta de quilla*, normalmente ligado a un plazo de pago importante, y que, en buques con máquina a popa, suele ser un bloque de esta zona.

Las dimensiones del buque pueden no coincidir con las de las gradas, siendo en casos factible, previos los estudios pertinentes, aumentar la capacidad de uso de dichas gradas mediante soluciones como las que siguen: a) si la manga de la grada es excesiva y la cimentación lo permite, se pueden montar dos buques, uno junto a otro; b) si lo que sobra es eslora, se puede montar un buque en la popa de la grada y, a proa de él, el bloque de popa de una segunda unidad, por lo que al botar el primero se desliza el otro (con retenidas especiales) hasta situarlo en su posición correcta para acabar el montaje; si este segundo buque se monta invertido, se podría acabar su construcción sin moverlo, pero con la dificultad que representa una botadura de proa.

Otro recurso que se ha seguido es el de construir medio buque, o una parte, en un astillero y el otro medio, o la otra parte, respectivamente, en otro lugar, por lo que han de ponerse ambas mitades, o partes, a flote y llevarlas a unir a un dique.

Los bloques, según la secuencia prevista, se llevan a la grada, cada uno con las necesarias referencias perfectamente marcadas (plano diametral, mamparos, línea base, etc.) para poder situarlos con exactitud.

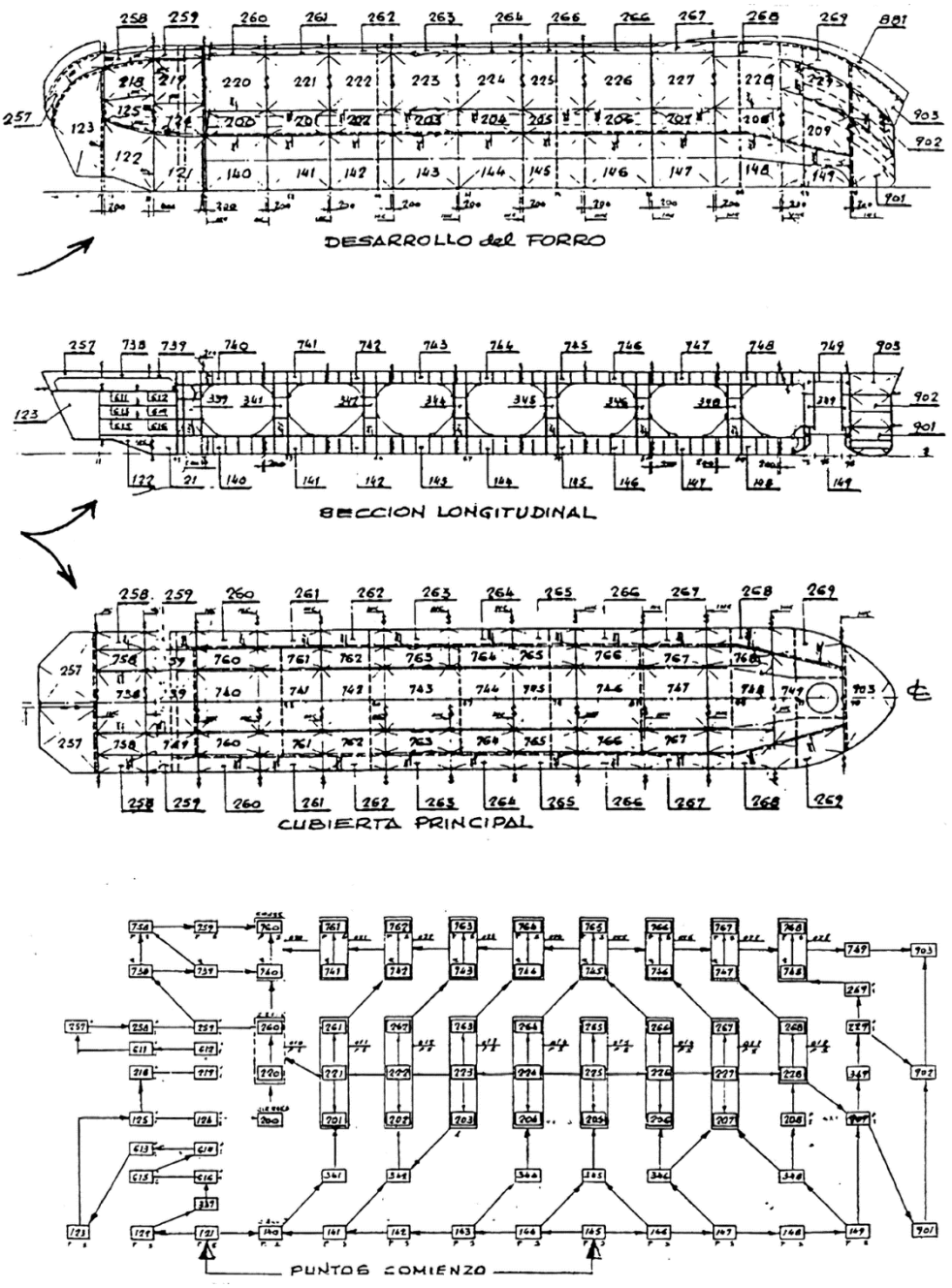


Fig. 11.35 Estrategia constructiva: despiece en bloques y diagrama de montaje de bloques (y secciones) de un buque petrolero.

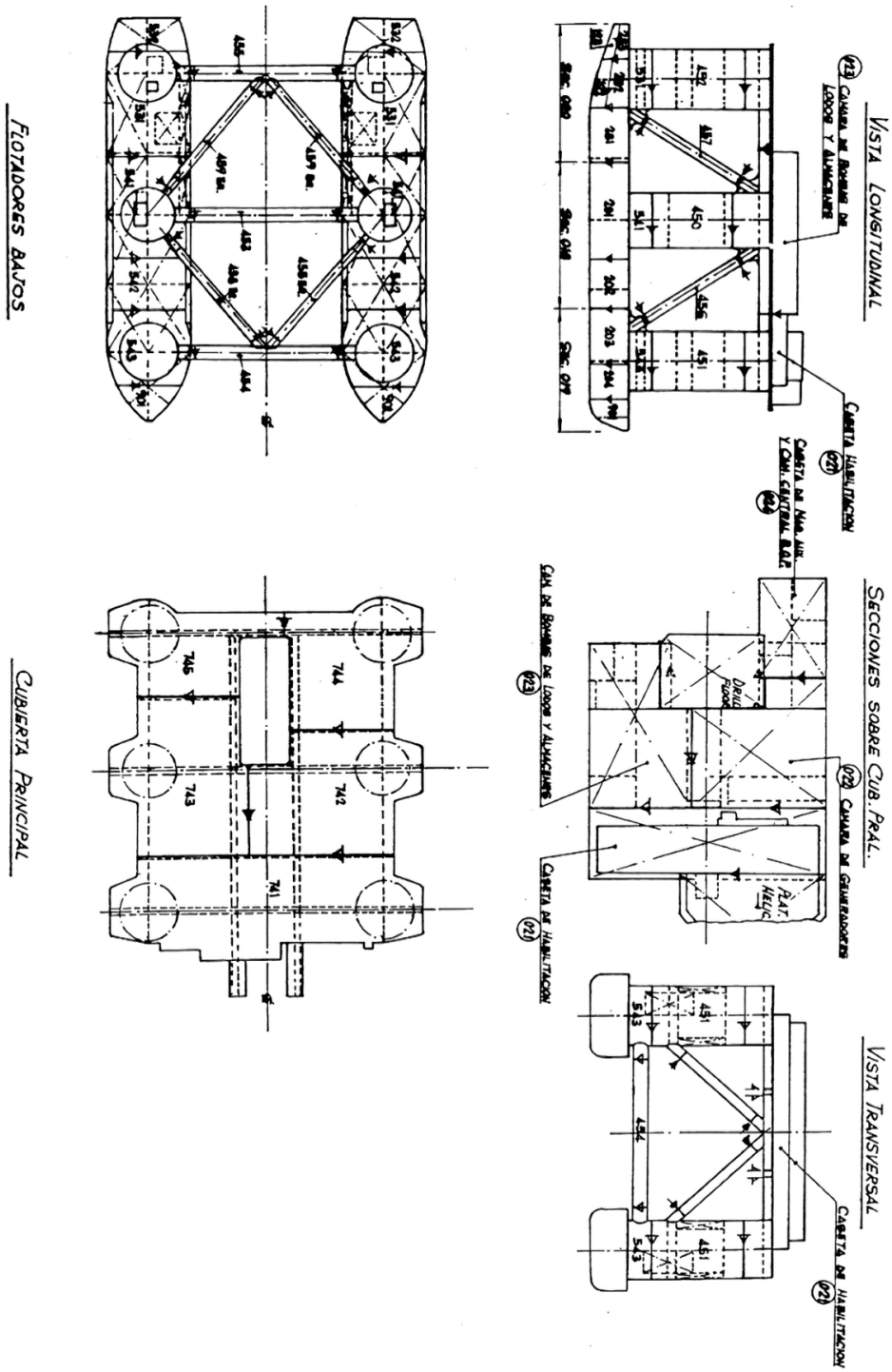


Fig. 11.36 Despiece de bloques y secciones. Plataforma Friede & Goldman (L-907).

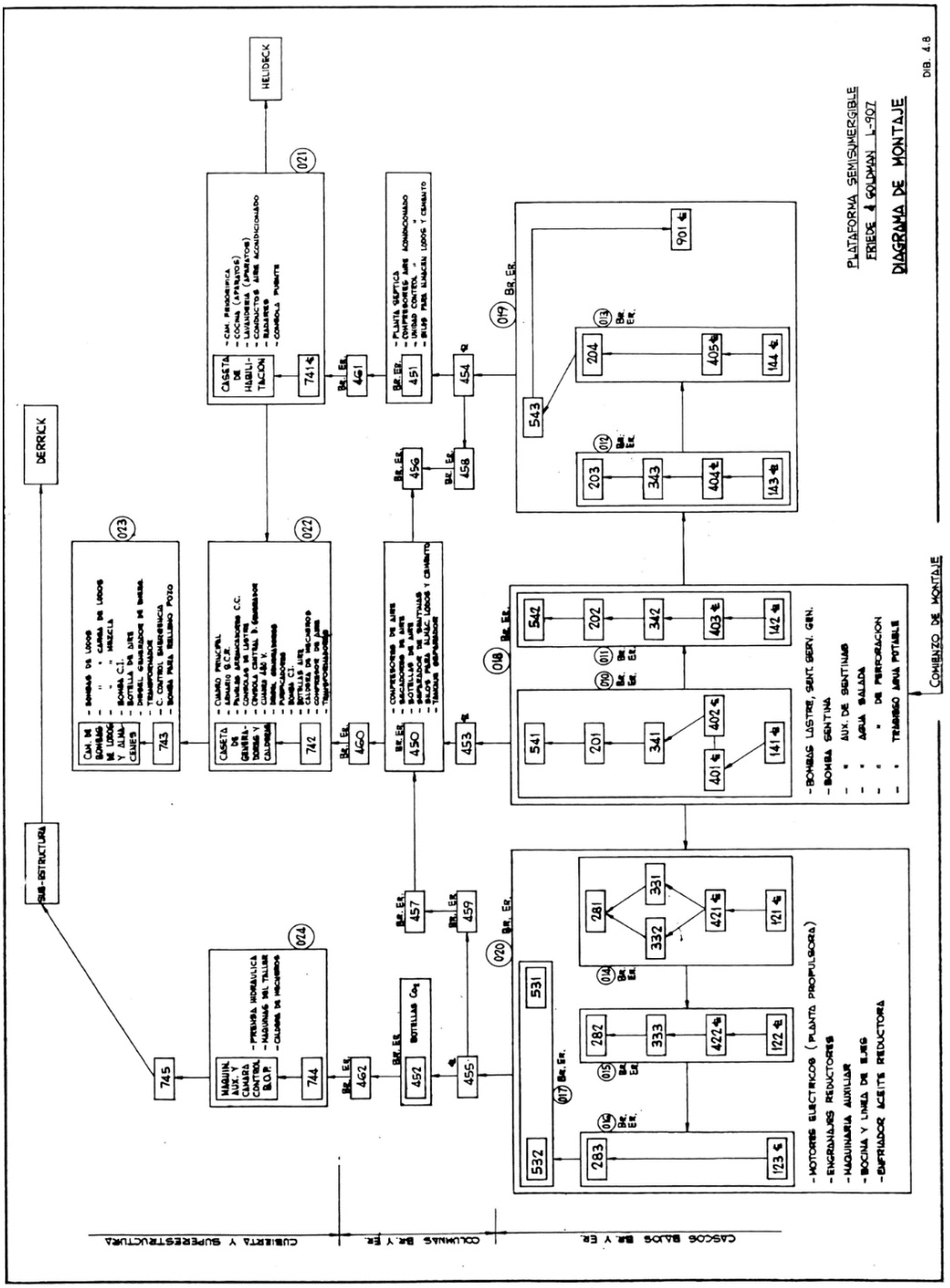


Fig. 11.37 Diagrama de montaje. Plataforma semisumergible Friede & Goldman (L-907).

11.26 Montaje de los bloques de fondo

Se presenta el primero de la secuencia de montaje, dejándolo lo más exactamente posible en la posición prevista. Luego, con gatos, tensores o cuñas se sitúa exactamente con pequeños movimientos, colocándolo en las referencias marcadas. Posteriormente, se presentan los bloques colaterales de acuerdo con la secuencia de montaje. Cada bloque debe ajustar con el anexo, preparando adecuadamente los contornos de planchas y refuerzos para completar las soldaduras de unión. *Aunque la tendencia actual es tratar de montar los bloques sin márgenes,* pues el ahorro en tiempo es muy importante, aunque requiera un control dimensional previo muchísimo más preciso y riguroso, *en algunos bloques se dejan márgenes de aprox. 50 mm que hay que cortar después del montaje*. En estos casos, el bloque se presenta desplazado paralelamente a una pequeña distancia del ya situado o base. Luego, apoyándose en el bloque base y con un *gramil* se marca en el bloque que se va a montar una línea paralela a la de referencia del bloque base, que es por donde se corta el sobrante del nuevo bloque a montar y se prepara el borde para soldar, corriéndose a su posición definitiva hasta que queda besando la línea base, se igualan las superficies por medio de puentes, cuñas, gatos o tensores, se puntea la unión y se suelda. El corte del sobrante suele hacerse con soplete manual provisto de guía. La soldadura entre ambos bloques debe efectuarse de acuerdo con lo indicado en los planos, aunque, de forma general, el proceso es el siguiente: *se comienza por los bordes de las planchas, comenzando por la cara donde están los refuerzos para acabar por el otro lado una vez saneado el cordón de raíz. Como esta soldadura del perímetro de planchas puede producir deformaciones en V debido a la contracción, pueden utilizarse dispositivos posicionadores, generalmente puentes, para evitarlo. Una vez realizada esta soldadura, se pasan a soldar los topes de los refuerzos y se dejan para el final las soldaduras en rincón de los refuerzos a las planchas, que se dejan libres en unos 300 mm en cada bloque, cuando éstos se prefabrican.*

Los bloques de doble fondo se montan enteros en el sentido de la manga, y si esto no es posible (por capacidad de grúas), se montan en dos tramos, uno de los cuales contiene la quilla vertical y la sobrequilla horizontal, o en tres o más tramos si la manga es muy grande.

Las verificaciones a realizar en los bloques de fondo son habitualmente:

— Que la posición del diametral coincida con las referencias de la grada y del bloque anterior.

— Que los refuerzos de ambos bloques coincidan.

— Comprobación de la altura de la línea base en el diametral y su nivelación en el sentido de manga.

— Situación longitudinal de las marcas de las cuadernas.

Estas comprobaciones se realizan con referencia a las efectuadas en la grada, ya que podría cometerse una acumulación de errores si se realizaran con relación al bloque anterior.

11.27 Montaje de mamparos

Los mamparos se montarán completos, siempre que se pueda por la capacidad de las grúas. Así disponen de suficiente rigidez al tener los refuerzos y palmejares, por lo que no deberían sufrir deformaciones. Deben montarse sobre la línea que previamente se ha marcado como línea de apoyo en el lugar correcto.

Antes de soltar el mamparo hay que sujetarlo con tensores, desde la parte alta del mamparo, al doble fondo o cubierta en que se apoya. Y además con puntales inclinados provisionales o consolas para asegurar que no caiga sobre el doble fondo o cubierta.

Una vez situado deberá verificarse que:

— El canto inferior coincide con la línea trazada previamente.

— Su centrado respecto a las referencias (crujía si el mamparo es longitudinal y plantillas con la caída de la grada si es transversal) en, al menos, dos puntos.

— Comprobación de la altura en la parte alta del mamparo (nivelando dos puntos sí es transversal, y tomando alturas en diversos puntos sí es longitudinal).

Si se ha dejado margen, debe gramilarse la parte baja del mamparo, preparando el canto y punteándolo una vez cortado.

Un mamparo, normalmente, se apoya sobre una vagra o varenga (según sea longitudinal o transversal) por lo que ambos elementos deben estar rigurosamente alineados para evitar el efecto de cizalla.

11.28 Bloques de costado

Pueden montarse apoyándolos en los mamparos u otros elementos que les sirvan de tope y sujeción. Se les sujeta mediante orejetas soldadas, tensores, escoras apoyadas en la grada, etc.

Deben verificarse:

— Las referencias transversales para fijar su posición longitudinal.

— Las alturas sobre la línea base.

— Las semimangas respecto al plano diametral.

— Si las planchas de forro quedan en la misma superficie con relación a las de los otros bloques.

Es fundamental aplicar la correcta secuencia de soldadura para evitar deformaciones en el forro, soldando primero los cordones longitudinales, luego los transversales y después los refuerzos longitudinales, partiendo, como norma general, del centro hacia los extremos. Normalmente los cordones de raíz se resanan por el exterior.

11.29 Bloques de cubierta

Con el montaje y soldadura de estos bloques se acaba de rigidizar la estructura. Debe tenerse en cuenta que, al situar estos bloques, se dificulta cualquier montaje posterior en el interior del buque. Debe comprobarse:

— En eslora, la posición de las marcas con relación a las cuadernas y mamparos transversales.

— En manga, las referencias con el diametral, así como comprobación de los costados con relación al forro y mamparos longitudinales.

— En altura, verificación de los puntales en el plano diametral y en los costados, sobre la línea base.

Una vez más hay que hacer hincapié en la importancia de la secuencia de soldadura. Estos bloques permiten el uso fácil de medios de soldadura automática y semiautomática.

11.30 Montaje de secciones y anillos

Son más cómodos de montar al tener gran rigidez y ser, generalmente, estables, pero debe esmerarse al máximo la verificación, tanto de su situación en grada como de sus dimensiones.

Especial mención merece el montaje de la sección que contiene el pique de popa ya que, además de las comprobaciones indicadas en los apartados anteriores, requiere la *verificación de la línea de la bocina que debe estar rigurosamente centrada con el diametral y con la correcta altura de la línea de ejes sobre la base*. También deber verificarse *el riguroso centrado de la mecha del timón, así como su perpendicularidad a la línea de base y su posición longitudinal (cuaderna 0)*. Análogamente, la soldadura habrá de ser realizada cuidadosamente para evitar posibles deformaciones en un bloque tan importante. Igualmente *ha de tenerse todo soldado (y completas todas las soldaduras del conjunto que configura su contorno) antes de tirar visuales para, con sus referencias,*

mandrinar los orificios dispuestos para los ejes de propulsión, evitando así el efecto de posibles deformaciones posteriores debidas a soldaduras que se hubiesen realizado después, lo que podría alterar la correcta alineación prevista.

11.31 Montajes de superestructuras y casetas

La tendencia es montar toda la superestructura en el menor número de bloques. No obstante, al ser conjuntos compuestos por cubiertas con sus mamparos y refuerzos, que están constituidos por paneles de chapas finas (incluso hasta de 6 o de 5 mm) tienen bastante flexibilidad, por lo que es frecuente que necesiten reforzados adicionales para el montaje, sobre todo en el caso de llevar incorporados pesos locales debido al armamento anticipado.

Para el montaje, se marcan sobre la cubierta el contorno exterior y la huella de los mamparos interiores, por lo que estos elementos deben hacerse coincidir con precisión con sus marcas, ya que, en general, van situados sobre refuerzos bajo la cubierta.

Si la superestructura se monta como una sección en la que se han unido varios bloques, vez situada la sección sobre el buque, deben de verificarse:

— *Las marcas de coincidencia con el plano diametral.*

— *La posición en eslora y manga de los contornos.*

— *Las alturas de los mamparos sobre la cubierta en las marcas, recortando las creces y ajustando perfectamente el contorno a la cubierta.*

Al ser un conjunto con posibilidades de deformación (debido esencialmente a la chapa fina con la que se construye la superestructura) hay que prever que la parte inferior sea fácilmente movible para ajustarla a las marcas sobre la cubierta, por lo que es normal dejar los refuerzos de la parte baja sin soldar en un tramo.

Una vez en posición, se puntea a la cubierta y se suelda (de centro a los extremos de popa y proa y de crujía a los costados) el pie (en rincón) y luego se termina la soldadura de refuerzos.

11.32 Disposiciones de diseño y constructivas que facilitan el montaje y la unión de los bloques

Del mismo modo que en el caso de la prefabricación, se pueden seguir criterios para mejorar los resultados del montaje y la unión entre bloques:

— Las conexiones entre bloques serán autoalineantes en el sentido de que en la propia presentación y colocación de los dos bloques sirva de apoyo uno contra el otro, simplificando grandemente el proceso de unión (posicionado y soldadura).

— Se tratará de maximizar la soldadura automática, tanto en horizontal por arco sumergido, como en vertical, por el procedimiento de *electroescoria* o *electrogás.*

— Se evitarán alineaciones a uno y otro lado de mamparos o elementos que impidan ver la posición de elementos que queden por detrás y deban de alinearse. Esto no es siempre posible y se deberá recurrir a sistemas de posicionado mediante referencias o por palpadores de ultrasonidos para evitar errores. La Sociedad de Clasificación admite solamente una desalineación máxima de medio espesor. Los elementos a alinear deberán permitir correcciones a bordo. Lo ideal es dejar una faldilla de acuerdo, de modo que se vea por "debajo" la posición del elemento situado por la otra cara del panel. En el caso de consolas de respaldo por la cara de atrás, éstas se dejarán punteadas hasta comprobar la correcta alineación del mamparo por la cara de delante. Evidentemente, cuanto mejor sea el control dimensional, mejores serán los resultados en obra, ya que se puede terminar un mayor porcentaje de estas alineaciones en taller sin esperar a posicionar y soldar a bordo, donde todo es más caro y difícil.

— Es mejor que los elementos horizontales (cubiertas) sean pasantes. No siempre es posible, principalmente por razones estéticas.

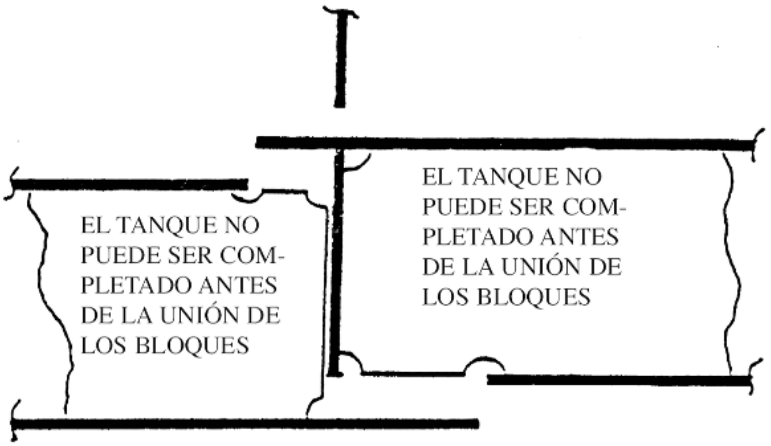
— Los mamparos corrugados tienen ciertas ventajas, ya que se ahorra una cantidad considerable de soldadura y alineación de los refuerzos. Sin embargo, si hay que unir topes en sentido perpendicular a la dirección de las corrugas, ha de evitarse la posible deformación de las mismas en las maniobras, para facilitar su alineación en bloques anexos, o bien evitar que existan topes en que se tengan que alinear las corrugas de dos bloques contiguos.

— Los tanques son siempre un problema constructivo por la necesidad de su prueba hidráulica o neumática, y por el armamento asociado que llevan, que supone un buen número de interferencias, trabajos adicionales y aumento importante de coste (cada tanque ha de llevar sus tubos de llenado/vaciado, agotamiento, con sus válvulas, su atmosférico, su sonda, su acceso, su escala, su prueba independiente, etc.). También suponen problemas de interferencias en obra porque se forman con mamparos procedentes de varios bloques y, como consecuencia, no pueden considerarse terminados prácticamente nunca en el taller, sino que hay que esperar al montaje de todos los bloques que los forman, con las dificultades que esto conlleva, para proceder a las correspondientes pruebas de estanqueidad. En ciertos casos, este inconveniente se puede solventar, *disminuyendo el número de tanques todo lo posible* y, además, situando *cofferdams* o túneles de tubería entre los distintos tanques, de modo que la finalización de uno de ellos sea lo más independiente posible de la de los otros. Pero no se debe olvidar que un *cofferdam* se, en definitiva,

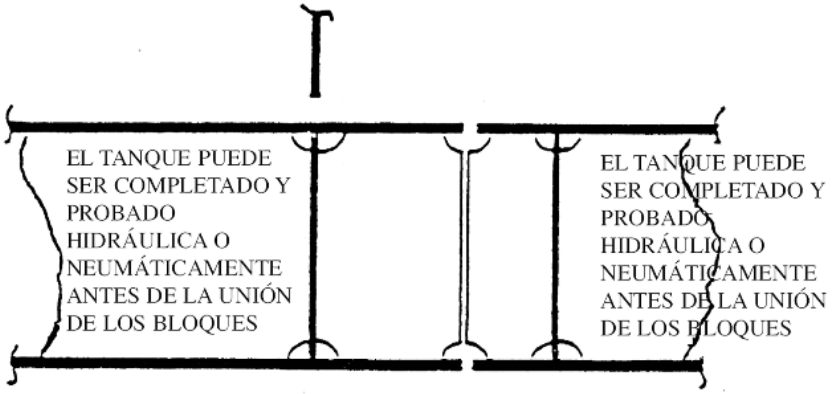
otro tanque, y que los mamparos se prueban una vez por tanque. Un tanque que estuviera rodeado por otros cuatro tanques, quedaría probado cuando a su vez se prueban los cuatro tanques colindantes, puesto que los mamparos son comunes.

— El tipo de estructura condiciona la distribución inicial de bloques de acero como también lo hace el armamento que se piensa asociar a cada bloque. El tipo de estructura supone que, si las uniones de bloques y las "orientaciones" de éstos no son las adecuadas, exista gran cantidad de uniones de refuerzos a realizar, con los consiguientes problemas de precisión.

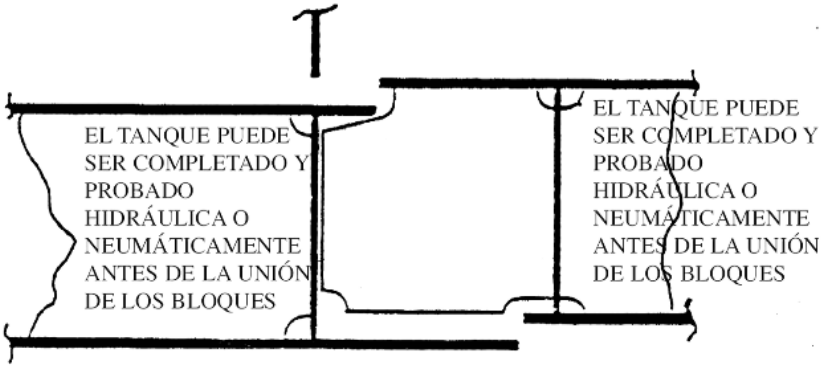
— *Se deberá tender a la construcción de bloques sin sobrantes, de modo que su instalación en grada o dique no requiera el ajuste de márgenes que clásicamente se marcaban y cortaban in situ, una vez presentados los bloques para su unión a los ya montados*. El marcado del sobrante se realiza mediante un granete, por superposición de las partes sobrantes, normalmente sólo en una de las partes. El corte posterior se hace por oxicorte manual con ayuda de guías si es posible. El problema de preparar ahora en la grada los bordes para la soldadura, supone un gran inconveniente, al tener que recurrir de nuevo al oxicorte manual con terminación mediante amoladora, con gran consumo de horas y poca precisión. En el caso de que tuvieran que existir sobrantes, éstos han de ser los menos posibles, tratando de llevarlos a los bloques del extremo, más alejados de las partes centrales.



DISEÑO TRADICIONAL CON UN ALTO CONTENIDO DE TRABAJO



DISEÑO NO ALINEANTE CON BAJO CONTENIDO DE TRABAJO



DISEÑO AUTOALINEANTE CON BAJO CONTENIDO DE TRABAJO

Fig. 11.38 Consideraciones sobre las uniones de los bloques con objeto de mejorar la productividad.

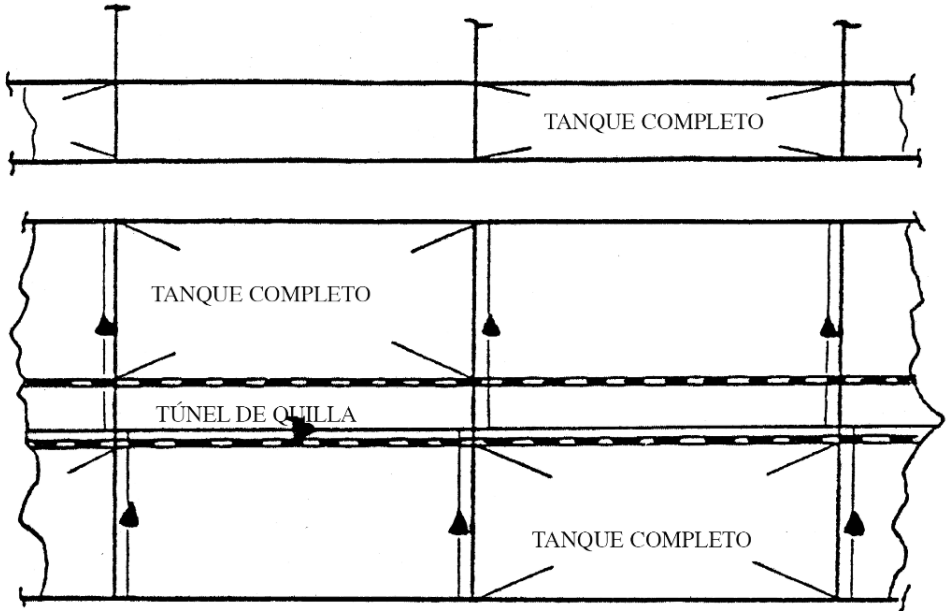


Fig. 11.39 Disposición de las uniones de los bloques para facilitar que los tanques alternos lleven incluida la prueba de estanqueidad y de presión.

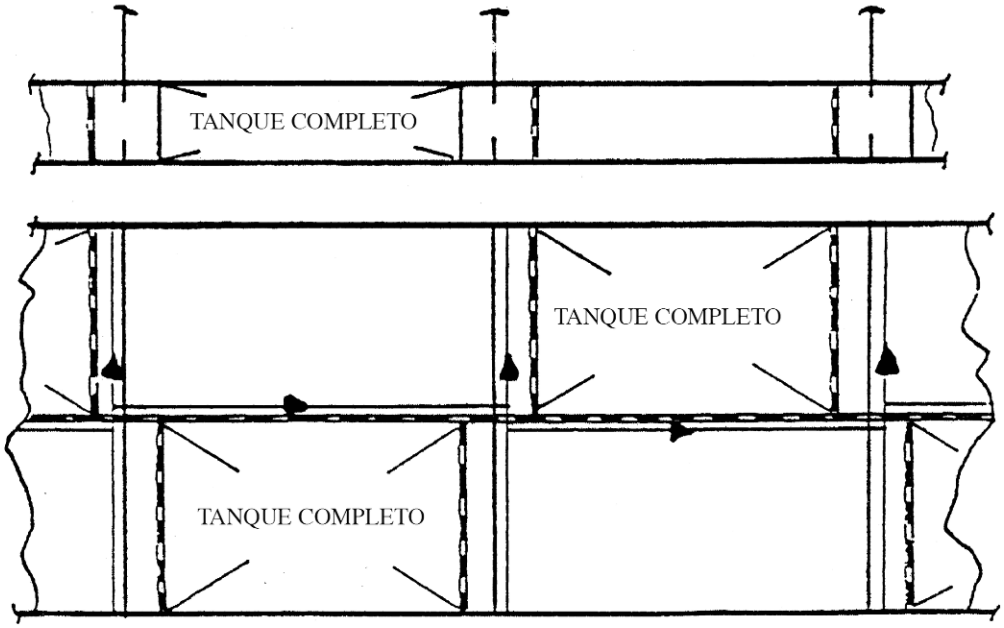


Fig. 11.40 Disp. alternativa para las uniones de los bloques a fin de facilitar que se puedan completar los tanques, incluida la prueba en tanques alternos.

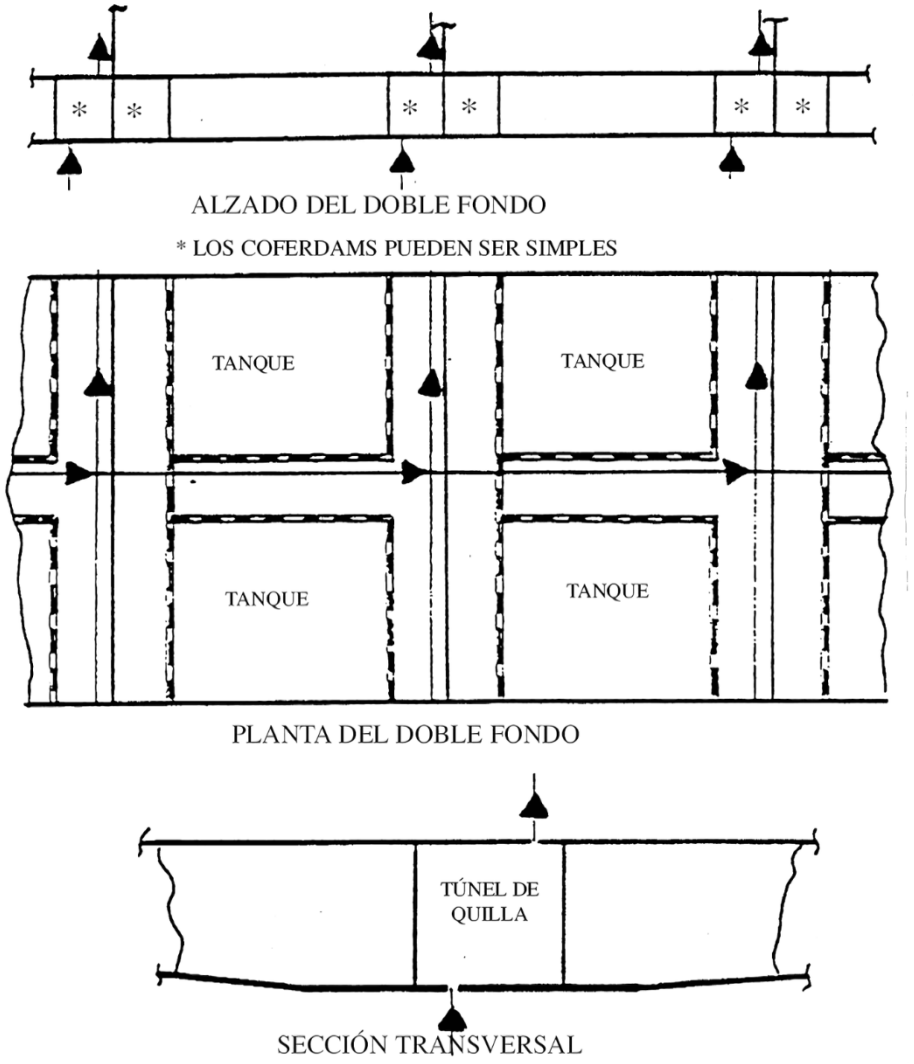


Fig. 11.41 Utilización de cofferdams para facilitar las uniones de los bloques.

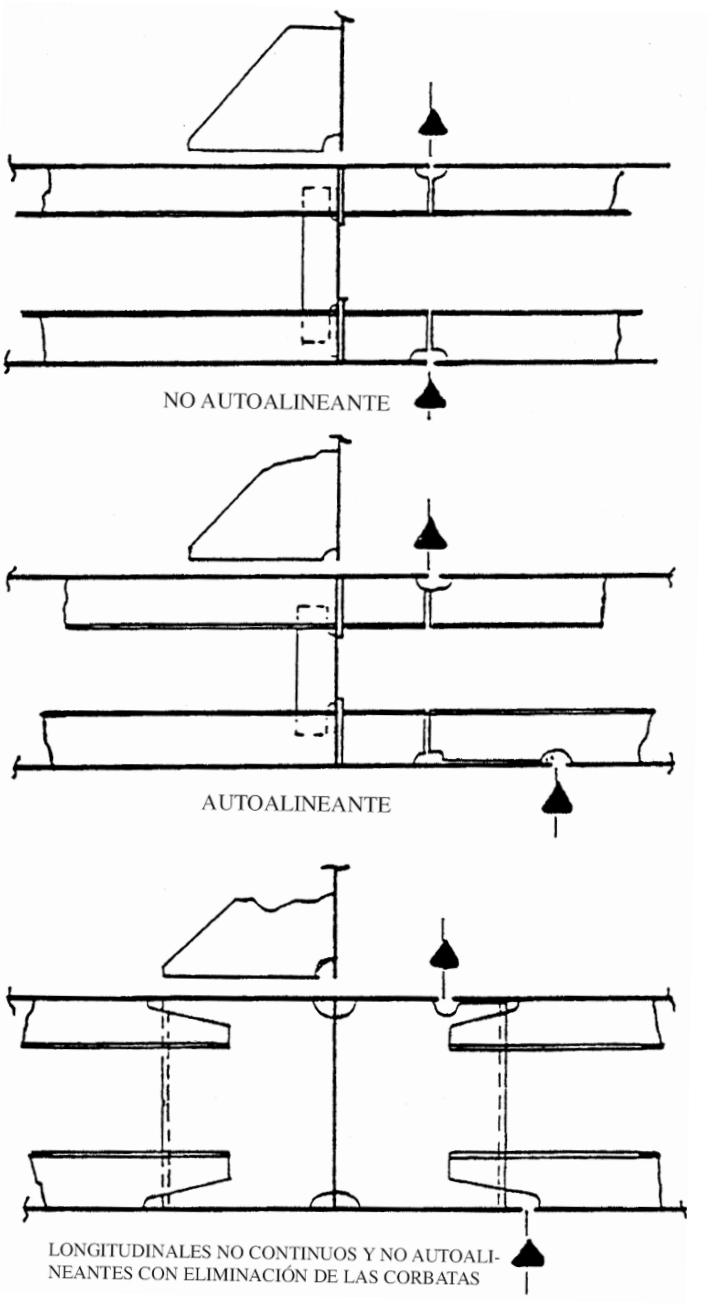


Fig. 11.42 Detalles de las uniones de los longitudinales.

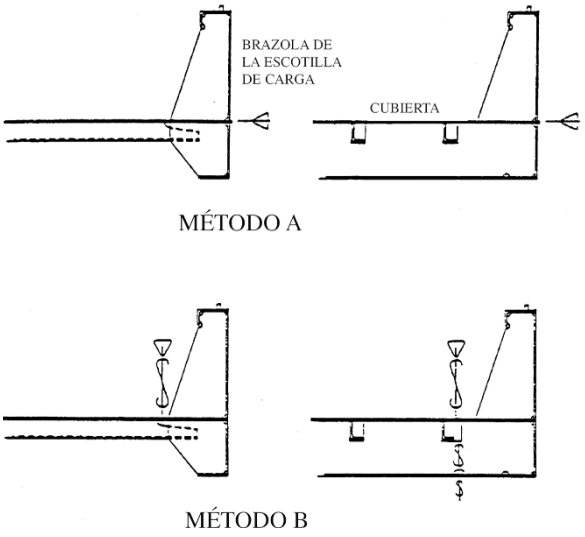


Fig. 11.43 Alternativas para la instalación de las escotillas.

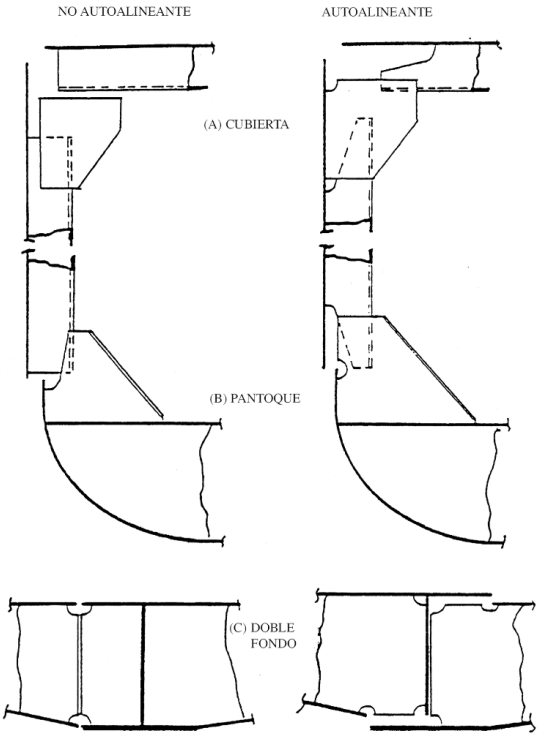
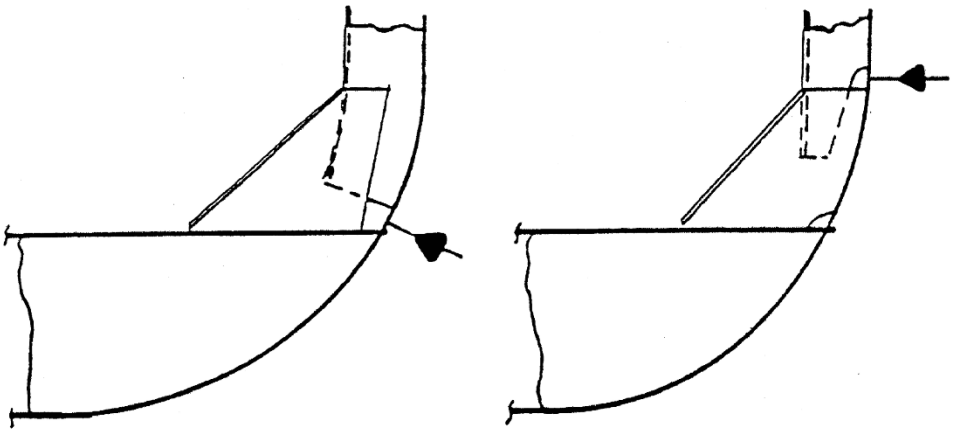


Fig. 11.44 Uniones de bloques de costado y fondo para mejor productividad (1).



DÍFICIL DE AJUSTAR Y DE LOGRAR UNA FORMA CORRECTA

CON ESTA DISPOSICIÓN, LA LÍNEA DE TANGENCIA A LO LARGO DEL CUERPO CILÍNDICO CENTRAL NO ES AFECTADA POR LAS FORMAS, VINIENDO DETERMINADA LA FORMA DEL PANTOQUE POR LA DE LA CONSOLA

Fig. 11.45 Uniones de bloques de costado y fondo para mejor productividad (2).

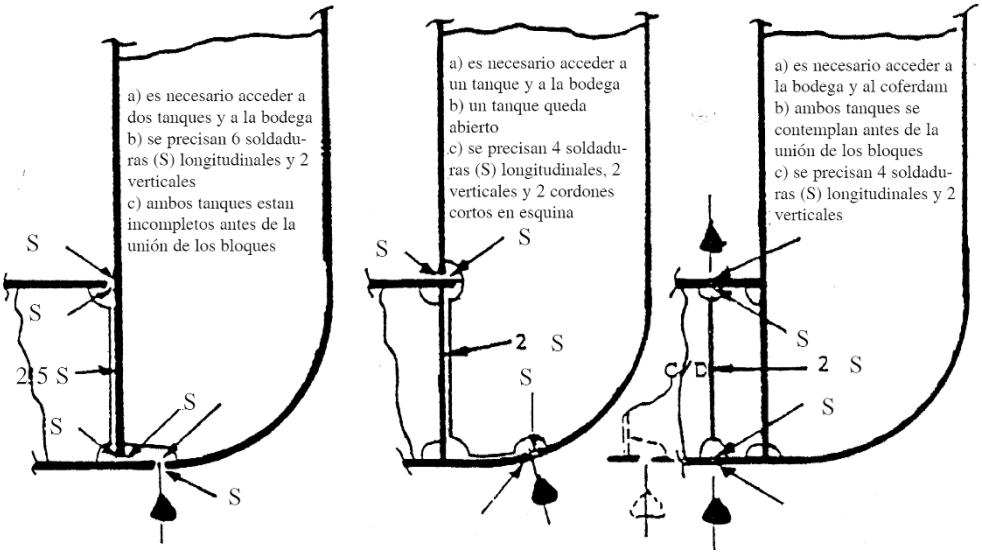


Fig. 11.46 Consideraciones sobre las uniones de los bloques de costado con objeto de mejorar la productividad.

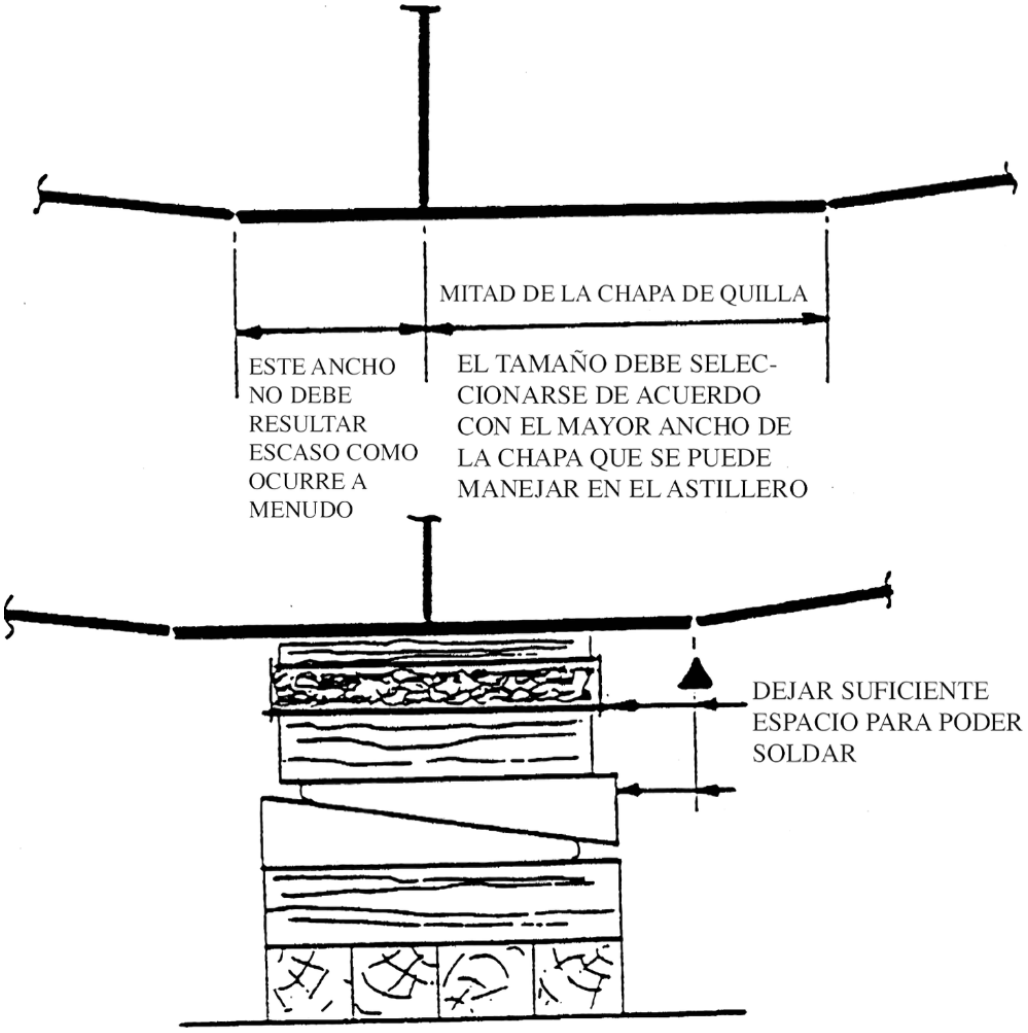


Fig. 11.47 Consideraciones para la disposición de la chapa de quilla a fin de mejorar la productividad.

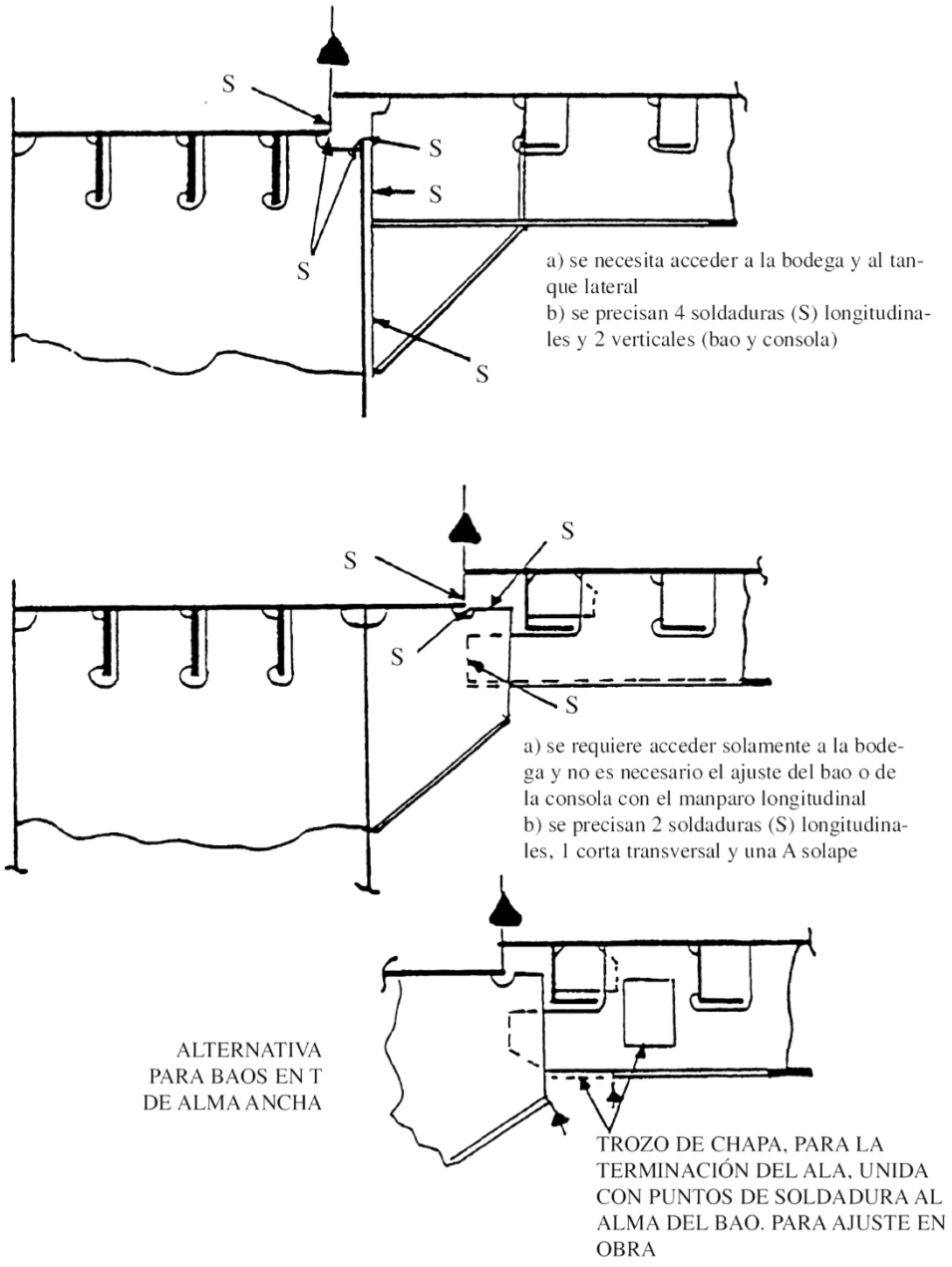


Fig. 11.48 Consideraciones para la unión de los bloques de cubierta a fin de mejorar la productividad.

11.33 Pruebas de estanqueidad y de presión hidrostática de tanques, tomas de mar y otros compartimentos del buque

Las Sociedades de Clasificación exigen dichas pruebas y establecen las directrices bajo las que se han de realizar, las cuales son también normalmente aceptadas por la Inspección de Buques. Aunque parezca lógico que para ciertas partes del buque estas pruebas hubieran de efectuarse llenando con agua tanques y compartimentos, o sometiéndolos a presión neumática con aire, antes de poner a flote el buque, ciertas circunstancias limitativas como son los esfuerzos que se provocarían en su estructura estando en seco, así como en la de la grada o dique, y las enormes cantidades de agua que habría que trasegar, hacen que, en la mayoría de los casos, estas pruebas sólo se puedan realizar parcialmente o tengan que sustituirse por otro tipo de comprobaciones antes de la puesta a flote que resulten suficientemente fidedignas, completándose después a flote bajo los criterios que se adopten.

Son pruebas que afectan al forro, cubiertas, superestructuras, casetas, mamparos estancos, dobles fondos, tanques, cajonadas de las tomas del mar que estarán completas con todas sus conexiones soldadas, etc.

Deben realizarse con la estructura completamente terminada, aunque se permite en ciertos casos, para agilizar la construcción del buque, que, carretes de tubería que atraviesan mamparos estancos a los que deben estar soldados, no estén aún montados, pero con la condición de que, una vez lo estén, y ya soldados, se haga la comprobación local de esa zona.

Prueba hidrostática. La prueba más eficaz es someter la estructura a una presión hidrostática, pero esto, en la grada o dique, debido a las razones indicadas al principio, sólo es posible realizarlo de forma razonable en algunos compartimentos como en dobles fondos, piques, *cofferdams*, etc.

Previamente, y sin haber aplicado la pintura, se efectúa el reconocimiento de las uniones, consistente en el *uso de luz* en locales cerrados, que hace fácilmente visible al otro lado si hay poros o faltas de soldadura, o bien por aplicación de una *solución jabonosa* en un lado, mientras que por el otro se aplica un *chorro de aire a baja presión*, por lo que, de haber fugas, se formará un burbujeo de dicha solución jabonosa en el lado en que se ha aplicado.

La prueba hidrostática se realiza para la observación exterior de las uniones existentes en un recinto que se ha llenado de agua completamente a la presión reglamentaria. Esta prueba no sólo analiza la estanqueidad sino también la resistencia de la estructura ante cargas análogas a las que va a soportar en servicio. La presión a que se ha de someter viene definida en los reglamentos, generalmente la mayor de: la presión máxima de

servicio del tanque, o bien 2,44 m (8 pies) de columna de agua sobre el nivel de máximo llenado, normalmente el nivel al que llega el tubo atmosférico del tanque. Caso de producirse lagrimeo, habrá que comprobar con líquidos penetrantes la zona donde va situado el poro o grieta, levantar la soldadura, y volver de nuevo a soldarla.

Si se requiriese una prueba hidrostática que antes de la botadura pudiera comprometer en la grada la estructura, se comprueba simplemente la calidad de la soldadura y la estanqueidad del forro, mamparos, etc. por chorro de manguera, realizándose la prueba definitiva con el buque a flote.

Estas pruebas de estanqueidad y resistencia a la presión hidrostática, en el caso de mamparos, se realizarán, como es lógico, llenando solamente el tanque o compartimento por un lado del mamparo y realizando las observaciones por el lado que esté en seco. En el caso de buques tanque, suele hacerse el *llenado de agua de los diversos compartimentos en forma de tablero de ajedrez*, o de una forma similar, y calculando previamente los esfuerzos que en la estructura puede producir la correspondiente situación de carga, para no sobrepasar los valores admisibles de los mismos. Puede suceder que, por falta de calado en puerto, el llenado máximo de los tanques no pueda ser realizado hasta que el buque esté finalizado y salga a mar abierto ya para las pruebas de mar.

Prueba de presión estática con aire comprimido. En lugar de la prueba hidrostática citada antes, en algunos casos se permite la prueba con aire comprimido. El proceso a seguir consiste en cerrar el compartimento, aplicando presión del aire a través de una manguera. La precaución a tener es la de no sobrepasar la presión de carga prevista para la estructura, puesto que, si la supera, podría reventar. Para ello, deberá haber una válvula de seguridad en el compartimento tarada a la máxima presión de prueba, y una válvula reductora. Al alcanzar la presión de prueba se desconecta la manguera y se reconocen las juntas, aplicando sobre ellas una solución jabonosa que, en caso de porosidad, burbujea.

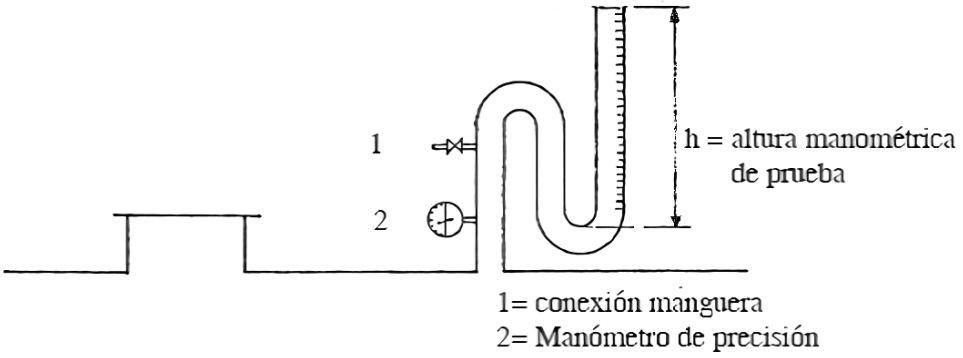


Fig. 11.49 Esquema para prueba a presión con aire.

Es una prueba más económica que la indicada en el apartado anterior y más rápida en caso de pérdidas, ya que no hay que vaciar un tanque de agua, que siempre es lento en comparación con el método ahora descrito.

Prueba con chorro de manguera. Se aplica en forros, cubiertas, mamparos, superestructuras y casetas en las que no se haya practicado la prueba hidrostática. La estanqueidad se verifica aplicando un chorro de agua a las costuras, normalmente por la cara de los refuerzos y observando en el compartimento adyacente o por el exterior en caso del forro, que no existe lagrimeo. Se aplica con una manguera provista de una lanza acabada en tobera, situada a menos de un metro de la costura y con una presión mínima de 2 kg/cm^2.

Esta prueba es la que se realiza casi siempre para comprobar la estanqueidad de los cierres de escotillas, aberturas, puertas de costado, etc.

Como fácilmente se puede deducir de todo lo anterior, aunque las pruebas citadas no revisten dificultades conceptuales, su realización práctica puede ser compleja, costosa y requerir mucho tiempo. Por ello, lo habitual es que la oficina técnica del astillero proponga, para discusión con la Sociedad de Clasificación y, en su caso con la Inspección de Buques, un *plan de pruebas de compartimentos*, razonablemente de acuerdo con la reglamentación y particularidades del caso, y una vez acordado conjuntamente, ponerlo en ejecución.

11.34 Instalación de equipos y accesorios de maniobra

Lo normal es que se haya montado el equipo de amarre y fondeo antes de la botadura o puesta a flote del buque, para poder utilizarlo si fuera necesario a lo largo de o después de la misma. El montaje de estos equipos puede realizarse en la grada o dique, o podrían venir ya montados como armamento anticipado durante las últimas fases del prefabricado.

Escobenes. Los trazadores de gálibos, de acuerdo con los datos obtenidos en el trazado, con un sistema CAD interactivo, o en su caso con una maqueta construida ex profeso para comprobar cómo va a funcionar la maniobra de fondeo, sitúan los orificios de cubierta y de forro por donde va a salir el tubo del escobén. Luego se sitúan los medallones, regolas y otras piezas que sean moldeadas para que el ancla encaje con sus uñas contra la regola o la chapa doble, de modo que quede perfectamente acoplada y sin movimiento en esta posición.

Molinete y estopores. Se marcan los polines una vez verificada la alineación con el escobén y la gatera, se puntean y se sueldan a la cubierta. Los polines han de tener

un anclaje rígido para soportar los grandes esfuerzos de las máquinas que van a ir fuertemente apoyadas y unidas a ellos. Sobre estos polines se sitúan los molinetes, cuya correcta posición se comprueba mediante hilos con los que se verifica su alineación. Se calzan convenientemente con tacos de hierro fundido en la posición, que tiene que ser antes comprobada, y se empernan firmemente. Los estopores se fijan después de montar la cadena y el ancla y después de comprobar que el tiro es correcto, y así poder situar la posición de la trinca con el ancla en su alojamiento.

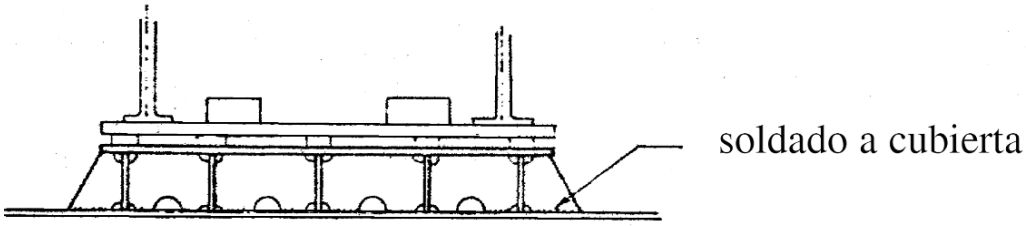


Fig. 11.50 Anclaje de polines para molinetes.

Guías y elementos de amarre. Se sitúan de acuerdo con los planos. Las bitas se sueldan directamente a cubierta y los alavantes y las guías normalmente sobre polines. Su objetivo siempre es evitar que los cabos y cables rocen contra aristas vivas.

Equipo de maniobra. Cabrestantes y chigres de amarre siguen, en su montaje, criterios similares a los explicados para los molinetes. Se sitúan después de haber estudiado correctamente la maniobra de amarre sobre el plano de la Oficina Técnica y, antes de soldar sus polines en la posición definitiva, se comprobará a bordo con un hilo que la maniobra trabaja correctamente, con ángulos suaves y sin interferencia con otros elementos de la zona.

11.35 Otras operaciones que tienen que realizarse en grada o dique antes del lanzamiento o puesta a flote

Conviene señalar que algunos de los trabajos que se relacionan a continuación no son específicamente estructurales, como es el de la alineación de la línea de ejes que en un astillero es un trabajo específico de lo que se conoce como *gremio de monturas*. Sin embargo, se considera conveniente incorporar aquí una breve referencia a los trabajos más importantes que se han de realizar antes de la puesta a flote, ya que ésta última sí que es responsabilidad de la sección del astillero dedicada la construcción estructural del casco y, por lo tanto, para una adecuada coordinación de los trabajos necesarios, tienen que ser conocidos y tenidos en cuenta. Y por poner un ejemplo, para la alineación de la línea de ejes, como se verá más adelante, la coordinación del trabajo de estructuras con el de monturas es de vital importancia, ya que, entre otras cosas,

antes de proceder a la alineación, el trabajo de soldadura de la estructura debe estar totalmente finalizado a popa, a fin de que no estropear posiblemente la alineación realizada, debido a las deformaciones que puedan ser causadas por una soldadura posterior a dicha alineación.

11.35.1 Alineación óptica de la línea de ejes y colocación de portacasquillos

Una vez situadas las piezas fundidas, que alojarán las *piezas portacasquillos* de las antifricciones para el eje de cola, se debe proceder de uno u otro de los siguientes modos:

a) Si se trabaja con *ajuste de apriete*, deberá llevarse a cabo un mecanizado de las piezas fundidas con objeto de orientarlas en la dirección del eje, para la posterior colocación de los *portacasquillos* (piezas de acero que alojan *los casquillos de metal antifricción* que actúan como cojinetes del eje).

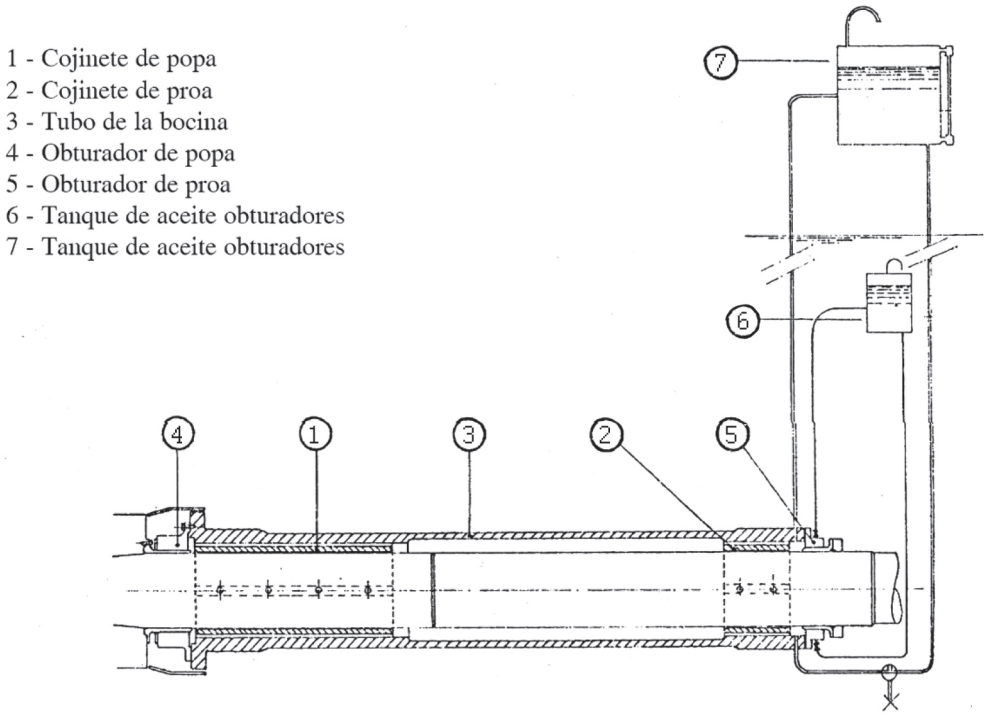


Fig. 11.51 Esquema de bocina SIMPLEX, lubricación.

b) Si se va a utilizar el sistema de *apoyo de las piezas portacasquillos con resina*, se deberán alinear dichas piezas que se encontrarán sujetas a las piezas fundidas, con tornillos de orientación.

El método de alineación utilizado es el óptico. Más recientemente y de forma más exacta se realiza por láser.

El método consiste en esencia en materializar la línea recta trazada por un rayo luminoso o láser. Para ello se sitúa un foco luminoso o de láser en un punto de la línea del eje en el exterior, por la popa del buque, y se toman referencias verticales y horizontales de la línea recta marcada desde el foco por el rayo luminoso o láser, por medio de "blancos" en las posiciones de los cojinetes de la bocina y en la posición de cada chumacera. En la popa del reductor, o del motor principal si es directamente acoplado, se sitúa un aparato óptico o receptor de láser, que permitirá la visión de la línea recta luminosa o láser y de los distintos "blancos" de referencia, que han de quedar así alineados.

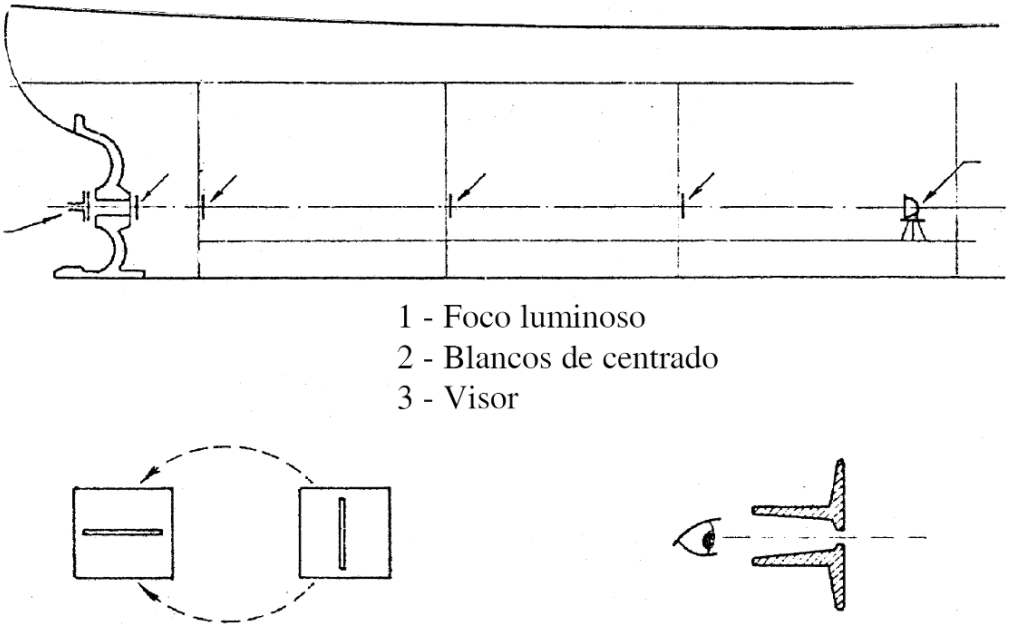


Fig. 11.52 Alineación óptica de la línea de ejes.

Una vez realizada la alineación, se marcan en el buque *las posiciones de chumaceras* y los *ejes de las piezas fundidas* para proceder al mecanizado de las mismas *según el eje de referencia* trazado. Debe tenerse en cuenta que en la *alineación racional*, que se verá a continuación, se indica con más exactitud la orientación de los portacasquillos del eje. De hecho, *el eje tiene siempre una cierta caída hacia popa*, por lo que es más correcto que los portacasquillos se sitúen con esa orientación.

Por ello es importante disponer del cálculo de la alineación racional con suficiente antelación para conocer estos datos. Dicho mecanizado es bastante lento y fija de modo irreparable la orientación del eje de cola de modo que es extraordinariamente difícil corregir errores. Para conseguir *una correcta alineación del eje*, es imprescindible, como se indicó arriba, que *la soldadura de la popa está terminada*, si no en su totalidad, al menos en lo que respecta a dos cubiertas por encima de la cubierta de cierre, y que se hayan instalado otros elementos auxiliares de la botadura de cierta envergadura (a veces, las pantallas de botadura se instalan tarde puesto que dependen de la posibilidad de que el taller pueda instalar el timón a tiempo. Este hecho puede arruinar totalmente la alineación, y requerir nuevos mecanizados, o la sustitución de piezas fundidas).

Debido a ello, como alternativa a este procedimiento, se utiliza el denominado apoyo de *resina.* Se trata de una resina epoxy *(Chockfast)* homologada, que es capaz de aguantar sin problemas los esfuerzos que se presentan entre las piezas fundidas y los portacasquillos. Para su instalación sólo se requiere un desbastado de la pieza fundida hasta dejar un amplio huelgo con el portacasquillos. Los portacasquillos se sitúan dentro de las piezas fundidas y son sujetos con pernos de nivelación, tres o cuatro en una sección transversal y otros tres o cuatro en otra sección, de modo que actúen como directores del portacasquillos. Los portacasquillos se alinean en función de la línea óptica descrita más arriba o siguiendo las correcciones de la alineación racional. Una vez alineados, se cuela la resina, normalmente tras el mezclado de los dos componentes que la integran, y un agitado adecuado. La resina, una vez mezclada, tiene una vida limitada de horas. Para un perfecto relleno, se debe estudiar la posición de los coladeros y bebederos de los que dependerá la no existencia de cavernas interiores.

Tanto en el caso de mecanizado de piezas fundidas en grada como en el caso del colado de la resina, la bocina y los portacasquillos quedan fijos. La diferencia de la resina es que, en caso de problemas o errores de alineación, simplemente se destruye con piqueta y se vuelve a repetir el proceso. En el caso del mecanizado es muy probable que se tuvieran que sustituir las piezas por otras nuevas y proceder de nuevo a la alineación y mecanizado.

11.35.2 Introducción del eje de cola

Con los portacasquillos en posición se introduce el eje de cola. Se hace por la proa del mamparo de popa de cámara de máquinas, mediante sujeción con *polipastos* que *cuelgan de cáncamos o mecanismos de rodadura situados en dicha cámara de máquinas.* Una vez situado el eje en posición, se colocan los cierres de proa y popa de acuerdo con las instrucciones del fabricante correspondiente.

11.35.3 Colocación de la hélice

Si se trata de una hélice de palas variables, el eje de cola lleva incorporando el núcleo y las bases de las palas. Las palas se instalan tras la instalación de los cierres, como el último acto de la instalación del eje de cola.

Si se trata de una hélice de palas fijas, el eje de cola lleva incorporado el dispositivo de colocación de la hélice. En particular, la hélice debe tener un ajuste de taller determinado que se habrá conseguido en el taller de monturas de máquinas con anterioridad a la instalación del eje de cola. La popa cónica del eje de cola y el interior de la caperuza de la hélice deben tener un determinado ajuste que se comprueba con *azulete* y se corrige con lima y lija. Después de que se consigue el contacto requerido, se instala el eje de cola y a continuación se coloca la hélice, que deja salir por su extremo de popa la cabeza roscada del eje, al que se ajusta la tuerca que se aprieta hidráulicamente, y se hace prisionera según el sistema correspondiente. Posteriormente se coloca la *caperuza* que cubre la tuerca. Existen sistemas *con y sin chaveta*. Entre las sin chaveta, se encuentra la hélice con *Tuerca Pilgrim*, patente que consiste en que el apriete entre eje y hélice se realiza por propia compresión de la hélice sobre el cono de popa del eje de cola. En este caso se requiere un apriete superior al del caso del *chavetero*. Debido a ello, para conseguir colocar la hélice, se ejerce presión hidráulica a través de unos canales de que dispone la cabeza de la hélice. Cuando la presión se elimina, la hélice queda ajustada. En caso de requerirse su cambio, se procede de nuevo a la aplicación de la presión, con lo que la hélice queda liberada y se puede extraer fácilmente.

11.35.4 Mecanizado de las piezas de apoyo del timón

Los mecanizados de las piezas de timón dependen del tipo de timón empleado y de la patente del fabricante del mismo. En general, igual que en el caso de la bocina, a fin de evitar los ajustes mediante mecanizados costosos se tratará de emplear el calzado con tacos de resina. Dicho calzado con resina puede efectuarse normalmente para apoyo de la maquinaria del *servo*, que abraza la *mecha* y requiere, como consecuencia, la alineación con la misma.

11.35.5 Sujeción de eje de cola y de timón

Dado que en el momento de la botadura, la línea de ejes no está definitivamente colocada y *amarrada,* ni aun probablemente en el caso de la puesta a flote en dique; y de que a veces tampoco se dispone del *servo*, tanto el eje de cola como el timón se deberán colocar y sujetar a elementos fijos del buque para que no se dañen durante el proceso de la botadura o de puesta a flote.

11.35.6 Pintura de la zona bajo la línea de flotación

En el caso de diques esta pintura es definitiva, a falta de la última mano de pintura antiincrustante, en caso de que la botadura no se efectúe poco antes de la entrega. Si las pruebas de mar y entrega van a ser casi inmediatas a la puesta a flote, el barco puede ya flotar con el esquema de pintado definitivo.

En ambos casos se deberá llevar a cabo el "salto de la rana", o recolocación mediante reflotado del buque en dique, para que las zonas que hayan quedado sobre picaderos se puedan pintar. Puede evitarse si se marcan las zonas de picaderos en grada y no se hacen coincidir posteriormente con los apoyos que se dispongan para la entrada en dique previa a la entrega.

11.35.7 Pintura de las zonas interiores del buque

Que no hayan sido tratadas con anterioridad debido a la necesidad de prueba previa de los tanques, uniones o falta de suficiente armamento asociado.

11.35.8 Comprobación de estanqueidad del casco, peso total antes de la botadura, y grado de terminación

De acuerdo con las instrucciones de la Oficina Técnica (Sala de Proyectos), ya que ésta habrá supuesto una cantidad de pesos, tanto en magnitud como en distribución, de lo que dependen los cálculos de botadura, incluyendo los de resistencia longitudinal. La comprobación de la estanqueidad del casco y otros compartimentos ya se explicó en el punto 33 de este capítulo.

11.35.9 Realización del lastrado

Que sea necesario, según indiquen las instrucciones de la Oficina Técnica (Sala de Proyectos).

11.36 Fundaciones de aparatos o polines. Polín del motor principal. Taqueado

La colocación del motor principal, grupos auxiliares, calderas, aparatos, módulos de armamento y elementos varios, tanto de armamento como de equipo metálico suelen requerir la instalación de una fundación que es el denominado *polín*. El polín cumple las funciones de apoyo del aparato o elemento, medio de ajuste para el caso de requerirse alineación del mismo, transferencia de esfuerzos a la estructura del buque, reforzado

del elemento instalado, soporte de accesorios antivibratorios si existen, nivelación y medio de absorber tolerancias de montaje con otros elementos.

Los polines no deben resultar excesivamente ajustados a los aparatos, ya que esto produce problemas de rigidez en el caso de sobrepasarse las tolerancias previstas.

Tras la alineación inicial de la línea de ejes se sitúa el motor principal en posición. En posición significa que aún no se ha realizado la alineación final (alineación racional) y aún no se ha taqueado (calzado) el motor. Estas operaciones no se llevarán a cabo normalmente hasta que el buque se encuentre a flote con objeto de que pueda ser tenida en cuenta la deformación del casco ocasionada por el empuje de la parte sumergida, así como de la línea de ejes debido el peso aparente (peso menos empuje) de la hélice en el agua.

En el caso del motor principal, existe un polín sobre el que se apoya, y también existen polines para la reductora, virador del motor, chumaceras, multiplicadores para alternadores de cola, embragues, etc. El polín de la reductora, si existe este elemento, es más exigente que el del motor principal, ya que soporta la chumacera de empuje de la hélice. Si el motor es lento y directamente acoplado, no existe engranaje reductor, pero el motor, de por sí, supone una enorme fuente de vibraciones y esfuerzos, incluido el del empuje de la hélice, lo que trae como consecuencia que dicho polín tenga que ser realmente robusto y rígido. Lo importante del polín es que se puedan corregir las posibles desviaciones que requiera la posición final del mismo tras la alineación final de la línea de ejes. En realidad debe recordarse que el polín del motor se deberá instalar mucho antes de poder alinear la línea de ejes, aunque dicha alineación sólo se pretendiera al nivel inicial óptico, y que la alineación se comienza por la popa, con lo que la posición final del motor es una consecuencia de todo ello.

Finalmente, el taqueado del motor se lleva a cabo mediante calzos o tacos de acero, o de resina.

11.37 Alineación racional de la línea de ejes. Generalidades

La alineación óptica supone que el eje es matemáticamente recto y que coincide su eje geométrico con la línea óptica del trazado. Esto es, evidentemente, falso. El eje tiene un peso apreciable y está apoyado de una determinada manera, lo que supone unas deformaciones (flechas) y un determinado reparto de esfuerzos a las chumaceras, cojinetes de bocina y platos de conexión al reductor o al motor propulsor. Como consecuencia de ello, ciertas configuraciones de líneas de ejes pueden sufrir vibraciones muy elevadas, y desgastes alarmantes en los apoyos durante el servicio. Ello llevó a estudiar un método para determinar las cargas y deflexiones del eje, para poder

conseguir unos esfuerzos admisibles y repartidos más uniformemente a lo largo del eje. La alineación racional es un cálculo que, partiendo de los apoyos reales del eje en el buque y del peso de los distintos elementos del eje, determina los esfuerzos a que dichos apoyos van a ver sometidos, tanto con el eje en frío como con el eje en caliente en servicio. Además se puede tener en cuenta el efecto que la propia deflexión del buque puede tener en dichos esfuerzos. La determinación de las elásticas de los ejes también sirve para poder prever y disminuir vibraciones que pueden ser peligrosas, causadas por una deflexión excesiva del eje que daría lugar al efecto *whirling* o *salto de comba*, que consiste que el eje (deformado) gira alrededor del eje definidos por los apoyos, además de hacerlo alrededor de su propio eje flexionado.

La alineación racional debe realizarse con el buque a flote. Se parte de la posición del eje en servicio y se calculan los esfuerzos que transmite en reposo a los apoyos y muy en particular al cojinete de popa de la bocina y al acoplamiento del reductor o motor principal. Cambiando la posición vertical de los apoyos, por medio de suplementos, se puede corregir el reparto de esfuerzos. Normalmente sólo se modifica la posición en altura.

Una vez ajustadas las cargas, se definen finalmente las posiciones en altura de los apoyos, reductor, ángulo de los cojinetes de la bocina, y se obtienen las cargas del eje en los diversos apoyos y las *"abras" de los platos de acoplamiento de los ejes intermedios*. Para comprobar a bordo los esfuerzos, se recurre al método de levantar los apoyos para ver la carga que soportan, y para ello se colocan unos gatos hidráulicos.

11.38 Equipo metálico

Todos los elementos de acero, fundición, y otros metálicos, para armamento o equipamiento del buque constituyen lo que viene a llamarse *equipo metálico*, como son, sin tratar de ser exclusivos:

— Embonos y refuerzos para pasos de tubería.

— Refuerzos de aligeramientos.

— Registros y escotillas.

— Tomas de mar con sus carretes, atmosféricos, válvulas, cines y rejillas.

— Descargas al costado con sus válvulas.

— Tapones y válvulas de fondo.

— Embono para el eco-sonda.

— Zines electrógenos.

— Escalas.

— Soportes de tubería que convenga instalar.

— Conductos estructurales.

— Reforzado de elementos.

— Polines.

— Pocetes de tanques de carga y bodegas.

— Portillos.

— Quillas de balance.

— Marcas de tanques en los costados hechas con cordones de soldadura.

— Marcas para empuje de remolcadores, también con cordones de soldadura.

— Al final: marcas de calados, normalmente también con soldadura.

— Etc.

La mayoría de estos elementos deberían incorporarse en la mayor extensión posible en los bloques cuando se fabrica su estructura o en el armamento anticipado de los mismos. Un inconveniente es que no suelen ser tan repetitivos como el acero estructural y pueden no prestarse a una gran automatización para su fabricación. Pero no por ello se debe renunciar a su incorporación en etapas tempranas de la construcción, para lo cual conviene prever el que la información técnica y los materiales necesarios estén disponibles en el momento oportuno.

Una de las prácticas empleadas es incorporar estos elementos al final de los talleres de bloques planos y curvos, mediante la alimentación transversal, cuando proceda, de dichos elementos previamente fabricados en el *taller que se denomina de equipo metálico*, o bien procedentes de la subcontratación en un taller exterior.

11.39 Simultaneidad y coordinación de los trabajos de fabricación estructural y de los de armamento. Procedimiento denominado Construcción Integrada o Armamento Anticipado

Con objeto de trabajar más eficientemente y de abrir más tajos de trabajo simultáneo, con lo cual se acorta el plazo total, y evitar además el tener que practicar *cesáreas (*aunque esto puede resultar muy útil durante el armamento de ciertas zonas, como en la cámara de máquinas) y otras aberturas en la estructura para la introducción de elementos de equipamiento, como son la maquinaria, aparatos y equipos varios, todo con sus polines, servicios de tubería, electricidad, equipo metálico diverso, etc., dichos elementos deben ser incorporados en el proceso productivo, en los bloques de acero, ya sea en las fases de prefabricación, comenzando por los bloques planos,

o inmediatamente después de prefabricados, según mejor convenga. Todo esto constituye lo que ha venido a llamarse *construcción integrada o armamento anticipado*, concepto que ha de irse teniendo en cuenta desde las primeras fases de diseño, como se ha querido hacer resaltar a lo largo de este libro, con objeto de que las disposiciones de los diversos elementos y servicios del buque, así como de su estructura y detalles estructurales, división y disposición de los bloques, etc. faciliten este objetivo.

Los elementos que integran el armamento pueden colocarse uno a uno sobre sus soportes o polines en los bloques, o bien tratando de agruparlos previamente sobre un soportado, fundación o polín común, constituyendo lo que se llaman *módulos de armamento anticipado*. Para ello, puede ser conveniente disponer de un taller especializado en la fabricación de estos módulos, ya sea propio o exterior, a quien se le subcontratan, para producirlos en paralelo a los bloques de acero estructural, a fin de incorporarlos en la fase más conveniente, ya sea sobre los bloques, sobre las secciones formadas por varios bloques que se unen para formar un conjunto mayor antes de su montaje en grada; o para montar dichos módulos directamente en el buque, ya sea en grada o dique antes de su botadura, o bien, después, a flote.

Es evidente que las mayores ventajas del armamento anticipado se conseguirán si éste ha sido previsto desde las primeras etapas del desarrollo del proyecto con una entidad del mismo o similar nivel que tiene el despiece del casco, y su secuencia de montaje, en bloques y secciones estructurales. Es más, en muchos casos la posibilidad o no de realizar armamento anticipado depende de que éste haya sido previsto al realizar el despiece y estudio de la secuencia de montaje de los bloques, o incluso de etapas anteriores en que se ha decidido la configuración final de ciertos locales, la disposición de tanques, de tomas de mar, de descargas al costado, etc.

Un caso muy especial de lo anteriormente citado es cuando los módulos (en este caso de dimensiones apreciables con gran cantidad de elementos incorporados) son llevados directamente a la grada o al dique para su instalación durante esta fase de la construcción del buque. La incorporación de módulos de armamento deberá preverse también en la secuencia de montaje, de modo que no interfieran con los bloques estructurales que se van incorporando a la vez. Por ello es fundamental también que, al nivel de la definición de los bloques constructivos, ya se conozcan las líneas generales de las disposiciones de las salas de máquinas y de cualquier otro espacio que incorpore módulos de armamento, con objeto de poder tenerlos en cuenta.

En esta fase de decisión del despiece del buque en bloques y módulos, es imprescindible realizar un estudio conjunto con el objeto de preparar un cuadernillo denominado *Plan de Armamento* en el que, de *común acuerdo por parte de la Oficina Técnica, Planificación, Producción, Aprovisionamientos*, así como *Control de Calidad*, se defina el alcance y secuencia de incorporación de módulos y otros elementos en armamento

anticipado, junto con la adecuada estimación de fechas. Dicho plan de armamento junto con el cuadernillo de *Despiece y Diagrama de Montaje de los Bloques*, amén de otros cuadernillos de instrucciones como es el *Cuadernillo de Pintado* con las adecuadas instrucciones y secuencias, lo cual suele crear verdaderos quebraderos de cabeza si no ha sido correctamente planificado, constituyen lo fundamental de la *Estrategia Constructiva* del buque o unidad.

Dichos cuadernillos servirán a partir de ese momento de elemento común de coordinación y de instrucción general para los diversos departamentos implicados en la construcción del buque. A lo largo de ésta se debe ir *cotejando la experiencia obtenida con lo previsto*, de forma que este *plan de construcción* se vaya actualizando y mejorando, y sirva para emplear con el mayor provecho en construcciones futuras.

Conviene advertir que *cuando se va a preparar el plan de construcción para un buque o unidad de un nuevo tipo para el astillero, se debe tratar de obtener información acerca de la experiencia obtenida por otras factorías que lo hayan construido previamente.*

Capítulo 12

Puesta a flote del buque

12.1 Puesta a flote de buques e instalaciones marinas. Introducción

En este capítulo se van a describir y estudiar las formas e instalaciones habituales para poner a flote un buque o una instalación marina flotante, una vez finalizada la construcción de su estructura o de haber sufrido una reparación o una transformación, para la cual ha sido necesario haber puesto previamente en seco dicho buque o instalación.

Tradicionalmente, lo habitual para la construcción de los buques fue hacerlo sobre una superficie fija inclinada, la *grada*, generalmente plana aunque también puede tener una cierta curvatura pequeña, normalmente circular aunque puede ser parabólica, hacia abajo por el lado del mar, y al final de la construcción, dejar deslizar el barco hacia el agua a lo largo de dicha superficie por efecto de la componente paralela a la grada del propio peso del barco, después de haber dispuesto, entre su parte baja y la grada, los elementos adecuados para el deslizamiento, constituidos por una parte fija adherida firmemente al suelo y otra móvil, adherida firme al barco, que permitan que una vez que se suelte el buque o embarcación, deslice hasta quedar flotando. Esta operación recibe más comúnmente el nombre de *botadura* o *lanzamiento* y es la forma que se ha venido utilizando para la construcción y puesta a flote de buques de cualquier tamaño, incluidos los de gran tamaño.

Sin embargo, en la segunda mitad del siglo XX se ha hecho normal, generalmente para la construcción de buques de gran tamaño, así como de plataformas semisumergibles y otros artefacto flotantes, el empleo de diques de construcción/reparación en los que el buque se deja en seco durante el período de trabajo, dotados de una *compuerta* que se cierra, o *barco puerta*, dentro de los cuales el buque queda flotando simplemente por *inundación del dique* y, al retirar la compuerta, se saca el buque o artefacto construido o reparado. Este método simplifica de forma notable las operaciones y gastos necesarios para la puesta a flote, la cual, aun así, no deja de tener sus dificultades y de requerir la puesta del buque en condiciones adecuadas de calado para reducir esfuerzos en los

apoyos, tener la adecuada estabilidad, etc. De todas formas, el poder tener un dique de las dimensiones adecuadas requiere disponer del espacio y lugar adecuados y de una considerable inversión. Por lo tanto, si ya se dispone de gradas inclinadas para construcción y lanzamiento, ha de considerarse y estudiar la conveniencia y forma adecuada de su utilización para construir y *botar* los barcos.

La dirección del lanzamiento suele ser longitudinal, en el sentido de proa a popa, y así se ha de disponer la grada y la construcción del buque, en dirección perpendicular a la línea de costa. No obstante, existe un buen número de astilleros en los que la construcción de los buques se hace en posición paralela a la línea de costa y en estos casos, finalizada la construcción, el lanzamiento de los mismos ha de realizarse por deslizamiento transversal, con o sin caída hacia el mar. Las gradas de deslizamiento se disponen transversalmente al buque y la botadura se denomina transversal o de costado.

Los citados no son los únicos sistemas de puesta a flote, como veremos más adelante. El traslado del buque o artefacto para colocarlo sobre una estructura, hasta una posición verticalmente sobre el mar, para ser puesto a flote cuando dicha estructura se hunda, como puede ser en caso de utilizar un dique flotante o una barcaza, puede hacerse por deslizamiento horizontal o sobre carretones, e incluso sobre colchones de aire. Estos métodos pueden ser también empleados para un cambio de posición horizontal del buque o artefacto durante su construcción.

Y no pueden dejar de relacionarse, en la lista de medios idóneos de puesta a flote, los tradicionales carros varaderos, utilizados para la botadura de embarcaciones, normalmente de menor tamaño, bajándolos a lo largo de una rampa; así como para su retirada del mar y puesta en seco, haciendo la operación inversa, para su reparación y mantenimiento. También, para los casos de embarcaciones y estructuras de dimensiones moderadas, la forma de ponerlas a flote puede ser simplemente por medio de una o de varias grúas, fijas o móviles, que conjunta y adecuadamente coordinadas sumen la capacidad necesaria de elevación y alcance, contando siempre con que el terreno sobre el que hayan de evolucionar para situarlas y realizar la operación de elevación del buque o artefacto disponga de la resistencia necesaria para su soportado.

12.2 Botadura en grada. Dispositivos de lanzamiento

El conjunto de los dispositivos que se utilizan temporalmente para efectuar la botadura en grada de los buques ha de cumplir los objetivos siguientes:

— *Soportar el peso del buque y las reacciones que se originen durante la operación de lanzamiento*. Primeramente, tomarán la carga a medida que se vayan retirando los picaderos, almohadas, puntales y escoras que han servido de apoyo durante la construcción. A continuación, durante el *deslizamiento*,

los dispositivos para la botadura estarán sometidos a las cargas y reacciones causadas a lo largo de la misma. En la fase final soportarán la carga y la reacción que se originan durante el *giro* cuando el buque, al flotar, se levante por popa, apoyando sólo en la proa.

— Debe disponer de un sistema de retenida (o retención) que impida el deslizamiento del buque hasta el momento en que se haya de iniciar, que pueda liberarse instantáneamente a voluntad.

— Ha de servir de superficie de deslizamiento.

— Debe tener medios de guía para evitar que el buque o unidad marina de que se trate (como puede ser una plataforma semisumergible, un dique flotante, una barcaza, etc.) puedan desviarse lateralmente durante la botadura, perdiendo su superficie de apoyo.

12.3 Dispositivo de zapata y corredera

Un dispositivo elemental, utilizado tradicionalmente, aunque para barcos de menor tamaño, consiste en una *zapata* que se coloca directamente, o con la interposición de tacos de madera, debajo de la quilla. Esta pieza única es central y forma el *patín de deslizamiento*. La estabilidad transversal se obtiene por la anchura de la zapata, disponiéndose además como seguridad unos patines ligeros laterales, debajo de uno y otro costado del buque, en correspondencia con correderas fijas sobre las que no llegan a apoyar más que en casos extremos, y que reciben el nombre de *almohadas muertas*.

La *zapata* se construye con piezas macizas de madera, de gran resistencia a la compresión, que se empernan transversalmente hasta lograr la anchura desead, que vendrá determinada por la presión media a lograr. Si la presión resultante fuera muy reducida, se puede vaciar la zapata en la parte central, reduciendo así la superficie de apoyo.

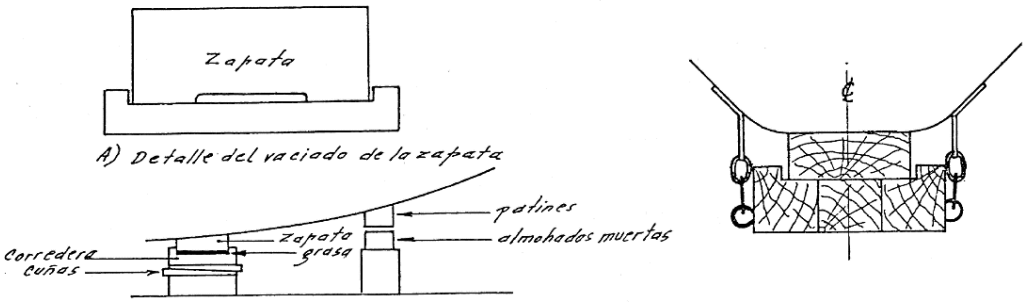


Fig. 12.1 Zapata y corredera.

Longitudinalmente, las distintas piezas que forman la zapata se solapan, evitando la coincidencia de los topes, que quedan escalonados para asegurar la resistencia a la tracción. Lateralmente se refuerzan con pletinas de acero que han de quedar bastante separadas de la superficie de deslizamiento. Para el arriostrado transversal suelen llevar unos dados que impiden el movimiento relativo entre las piezas, de un espesor que ha de ser suficiente para soportar el esfuerzo provocado por el posible desplazamiento de una pieza con respecto a la adyacente. La longitud de cada pieza es de unos 7 u 8 metros.

Para sujetar la zapata al casco se utilizan los angulares mostrados en la figura, que requieren una entrada en dique o varada para su posterior eliminación después de la botadura, o unas abrazaderas de cable que llegan hasta la cubierta donde se trincan. Esta última disposición simplifica la eliminación de la zapata después del lanzamiento y puede efectuarse a flote.

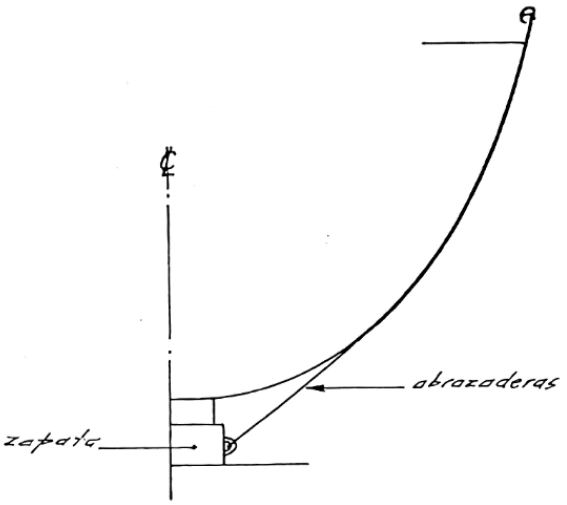


Fig. 12.2 Sujeción de zapatas mediante abrazaderas.

En Figs. 12.1, 12.2, así como en Figs. 12.3, 12.4, se observan los componentes del sistema de lanzamiento por zapata y corredera.

El mecanismo de retención final o *llave de retenida*, con cuyo disparo se inicia el deslizamiento, se sitúa en la pieza de proa de la zapata, por lo que antes de este momento, el propio peso del buque, y su tendencia a deslizar, estarán provocando una fuerza de tracción entre las distintas piezas de la zapata, por lo que éstas han de ligarse entre sí.

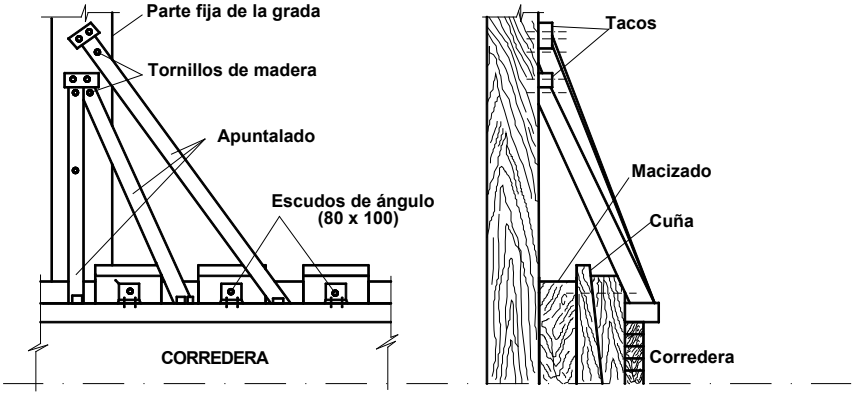


Fig. 12.3 Componentes del sistema de lanzamiento por zapata y corredera.

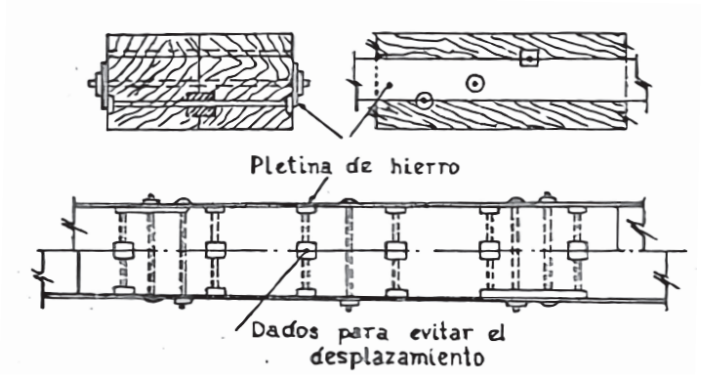


Fig. 12.4 Componentes del sistema de lanzamiento por zapata y corredera.

La pieza de proa ha de soportar la resultante durante el giro, por lo que ha de ser especialmente resistente y su parte inferior se redondea en el extremo, para evitar el pivotamiento sobre una arista.

La parte fija de la superficie de deslizamiento es la *corredera,* que se forma con piezas macizas apoyadas sobre picaderos con la interposición de pares de cuñas de poco ángulo que se denomina *lengüetas*, con cuyo apriete se le obliga a tomar la carga en la que se distribuye el peso del buque. Transversalmente se constituyen, al igual que las zapatas, con varias piezas, de las cuales las exteriores son más altas, sobresaliendo unos 5 cm sobre las superficies de deslizamiento para formar las *gualderas* cuya misión es servir de guía lateral a la zapata, evitando al mismo tiempo que la grasa que ha de lubricar el plano de deslizamiento escape por la presión. La anchura de la corredera viene determinada por la de la zapata, de forma que entre ésta y las gualderas quede un huelgo entre 3 y 5 cm. A mayor peso del buque, se precisan zapatas y correderas más anchas para mantener la presión media dentro de lo admisible. Esto da lugar

a que se tengan que unir transversalmente muchas piezas con el peligro de que la superficie de deslizamiento se arquee transversalmente por efecto del apriete, por lo que prácticamente este dispositivo está limitado a buques de poco peso.

Longitudinalmente se suelen utilizar piezas de dos longitudes: unas mayores y otras pequeñas, de 1 m aproximadamente de longitud, intercaladas con las anteriores. Las *correderas grandes* se colocan algunos días antes del lanzamiento, mientras la zapata queda todavía apoyada sobre picaderos situados en el lugar que han de ocupar las *correderas pequeñas*.

El día del lanzamiento se aprietan las lengüetas de las correderas grandes, haciéndoles tomar la carga antes de retirar los picaderos que se han de reemplazar por las correderas pequeñas, con excepción de algunos picaderos que se dejan ayudando a la retención. El ajuste entre correderas grandes y pequeñas se consigue mediante piezas en forma de cuña, de menor altura para evitar cualquier saliente. Esto reduce el huelgo entre correderas al dejar juntos y unidos todos los elementos del plano de deslizamiento, tal como se ve en la figura que sigue.

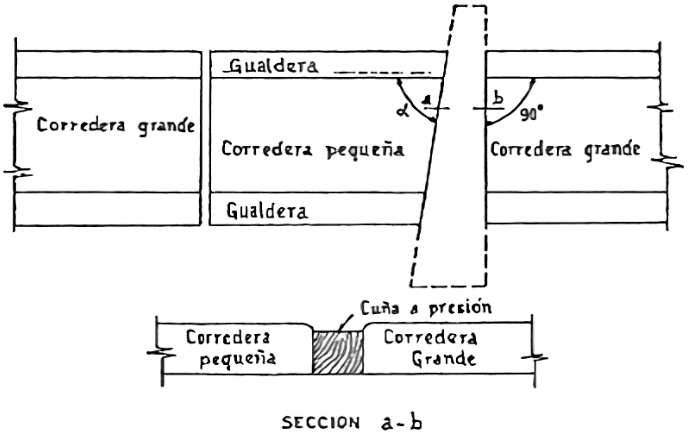


Fig. 12.5 Ajuste de correderas.

Una vez terminado el montaje de la corredera, hay que asegurarse de que constituye una superficie continua para el deslizamiento, sin resalte alguno y con la mínima separación entre piezas para evitar que la grasa pueda escapar bajo presión.

Para eliminar todo riesgo de atasco del tren de lanzamiento, la arista de proa de cada pieza de la corredera, los extremos de proa de las gualderas y la parte inferior de popa de cada pieza de zapata deben redondearse, matando las aristas vivas.

12.4 Dispositivo de doble imada

Actualmente es el que se utiliza de forma casi exclusiva para buques de cierta envergadura. En general, es apropiado para lanzamientos con poca pendiente y en los que se desea tener presiones medias reducidas. Proporciona mayor estabilidad transversal, y para buques grandes es indispensable, teniendo que recurrir a veces a una tercera, e incluso a una cuarta, imada.

El dispositivo que se prepara para el lanzamiento consiste en una estructura de madera o *cuna* adaptada a las formas del buque que se apoya en las dos *imadas* La cuna termina descansando sobre dos conjuntos longitudinales de piezas, cuya cara inferior está toda ella en un plano (o en una superficie cilíndrica si las imadas se disponen con curvatura longitudinalmente), que son las *anguilas*, o piezas deslizantes que, solidarias al buque, resbalarán sobre las *imadas*.

La *cuna* tiene por objeto el apoyo uniforme del buque sobre las anguilas y de éstas sobre las imadas, y está formada por una serie de piezas de madera adaptadas a la forma del casco. En el cuerpo cilíndrico estas piezas son relativamente pequeñas, pero a medida que nos acercamos a los finos del casco, estando las anguilas en un plano, las piezas de apoyo han de ser más altas, formando en los extremos de proa y popa verdaderas torres de pilares de madera que se denomina los *santos*, que en algunos sitios se conocen por *gigantones*.

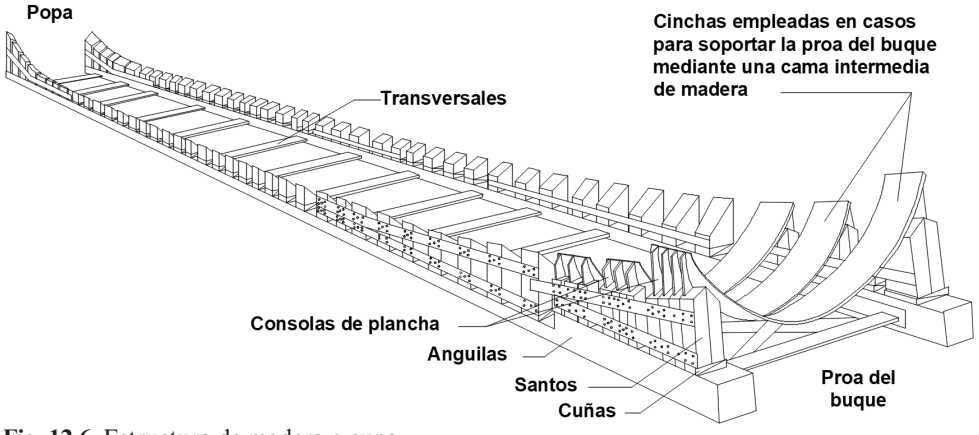


Fig. 12.6 Estructura de madera o cuna.

Todas estas piezas apoyan sobre las anguilas con la interposición de pares de cuñas de madera, con cuyo apriete hay que tomar el peso del buque antes de quitar los picaderos y almohadas utilizados durante la construcción.

Las dos mitades en que queda dividida la cuna han de ligarse transversalmente por medio de tirantes y contretes que las hace solidarias.

Las anguilas suelen disponerse con una separación de 1/3 de la manga máxima, siendo conveniente que se *sitúen debajo de mamparos, vagras o partes reforzadas de la estructura del casco*. Su longitud total varía de unos casos a otros y suele ser del orden del 80% de la eslora, teniendo especial importancia el estudiar el *reforzado de la estructura de la zona del casco que apoya sobre los santos de proa*, donde va a cargar la presión en el *giro*.

Las anguilas se construyen de varias piezas de madera macizas hasta darles la anchura necesaria para conseguir la presión media prevista. Estas piezas se empernan sólidamente entre sí y el corte de sus topes se da de forma escalonada.

Los calzos que se ajustan a la carena se construyen de madera de pino o encina. Cuando la cara de ajuste es inclinada, se fijan al casco para no ser expulsados por medio de casquillos de acero soldados al mismo.

Los santos se construyen de piezas macizas sólidamente empernadas y arriostradas entre sí. Se disponen verticalmente en el plano de las cuadernas y cuando las formas son finas se les da una inclinación acercándose al diametral en la parte superior, con el fin de reducir su altura. Para impedir el desplazamiento transversal del pie de los santos, se sujetan en su parte inferior por medio de espigas en una mortaja dispuesta sobre una pieza longitudinal. A veces se clavan sobre los tirantes transversales de la cuna, cuya importancia en esta zona es mucho mayor por efecto de la presión durante el giro, que tiende a separar las anguilas. Asimismo, *la estructura del casco en esta zona ha de dimensionarse de acuerdo con las cargas que se van a tener durante el lanzamiento.*

Para evitar la posibilidad de pandeo de los pilares que forman los santos y la de vuelco de los mismos, deben arriostrarse longitudinalmente con pletinas y darles varios puntos de fijación al casco por medio de tirantes.



Fig. 12.7 Cuna de proa.

En la parte alta los santos, especialmente en las formas finas de proa, han de sujetarse al casco lo que se consigue mediante consolas soldadas al forro o con el empleo de fajas de acero, sobre las que apoya el casco con la interposición de calzos de madera.

La unión entre las dos partes de la cuna se realiza de forma que se mantengan equidistantes en todo momento. Los elementos de unión son los *tirantes* para las tracciones, pudiendo estar construidos de angulares, redondos de acero, cadenas o cables, y los *contretes* que soportan las comprensiones, pudiendo estar éstos constituidos por puntales de madera.

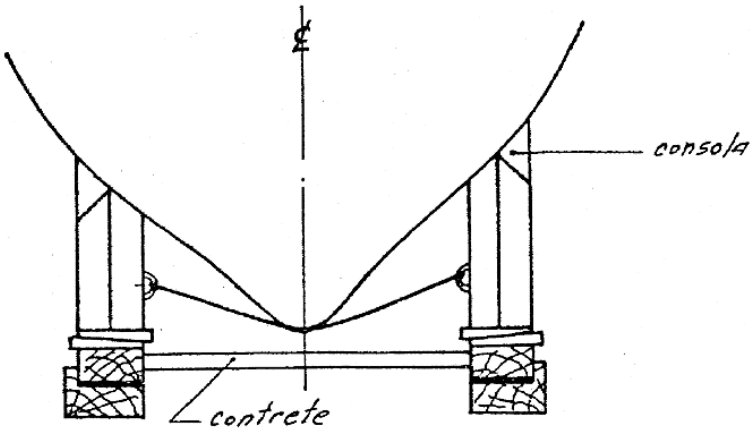


Fig. 12.8 Unión entre mitades longitudinales de la cuna.

La cuna puede fijarse al casco con tirantes firmes a casquillos soldados o por medio de cables más largos que se trincan en la cubierta o en la regala, y se liberan después de la botadura para desmontar y extraer la cuna sin necesidad de esperar a la entrada en dique. En este último caso quedan solamente sobre el casco las consolas soldadas de fijación de los santos que habrá que eliminar en dique.

Las imadas forman la superficie fija sobre la que deslizan las anguilas. Se construyen de varias piezas macizas de madera resistente, terminadas lateralmente con otra pieza de mayor altura que forma la *gualdera*, que sirve de guía a las anguilas impidiendo que salgan de la superficie de apoyo, con la diferencia de que, por ser dos imadas, basta con que tengan una gualdera cada una, en lugar de las dos que necesitaba la corredera.

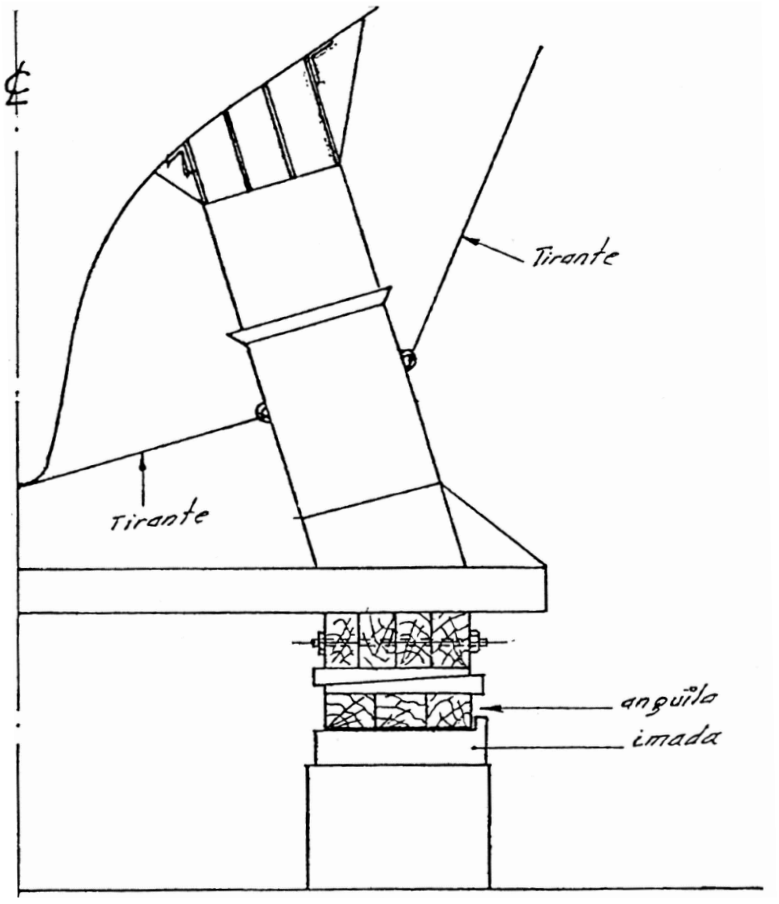


Fig. 12.9 Fijación de la cuna al casco.

Todas las piezas van sólidamente empernadas entre sí formando una sola superficie y se apoyan sobre picaderos o sobre bloques de hormigón dispuestos ya de antemano para este fin, con el consiguiente ahorro de madera. Si van sobre picaderos, las imadas deben trincarse a los picaderos con tornillos de cabeza embutida y han de ser fijadas transversalmente con puntales inclinados o escoras constituidas por sólidos rollizos. Para evitar todo deslizamiento longitudinal hay que completar la fijación de las imadas con escoras inclinadas en sentido longitudinal. El montaje sobre bloque de hormigón simplifica la fijación de las imadas, que se lleva a cabo sobre casquillos anclados en la masa del hormigón. Esta modalidad permitiría no tener que realizar el macizado que habría que aplicar debajo de las imadas en la zona del giro para recibir las grandes cargas que se producen durante el mismo.

Las imadas que quedan en la zona de la antegrada han de poder ser montadas con facilidad ya que parte de ellas, sobre todo en astilleros con poca variación de mareas,

las tendrán que colocar buzos. Para ello deben disponerse anclajes firmes adecuados en la solera de dicha zona.

Longitudinalmente, las imadas están formadas por piezas de la mayor longitud posible, que actualmente no se llegan a desmontar en muchos casos, debido al plazo tan breve en que se volverán a utilizar. Se exceptúan las de la antegrada que deben sacarse después de la botadura para ser secadas y para ser conservadas así, antes de ser preparadas con grasa para el próximo lanzamiento.

Al igual que con las zapatas, el canto superior de cada pieza debe redondearse para eludir toda posibilidad de atasco de las anguilas durante el deslizamiento.

Una vez montadas las anguilas, entre éstas y las gualderas de imadas debe dejarse un huelgo para evitar toda posibilidad de acuñamiento. Se acostumbra a dejar este huelgo creciente hacia popa desde unos 2 cm hasta unos 5 cm, lo que permitirá también un ligero desplazamiento lateral, con el que se absorbe el efecto de cualquier influencia de corriente o viento, sin forzar las gualderas ya que, si la corriente o el viento transversal a la dirección del lanzamiento tienen valores importantes, se corre el riesgo de rotura de gualderas, lo que haría peligrar el lanzamiento.

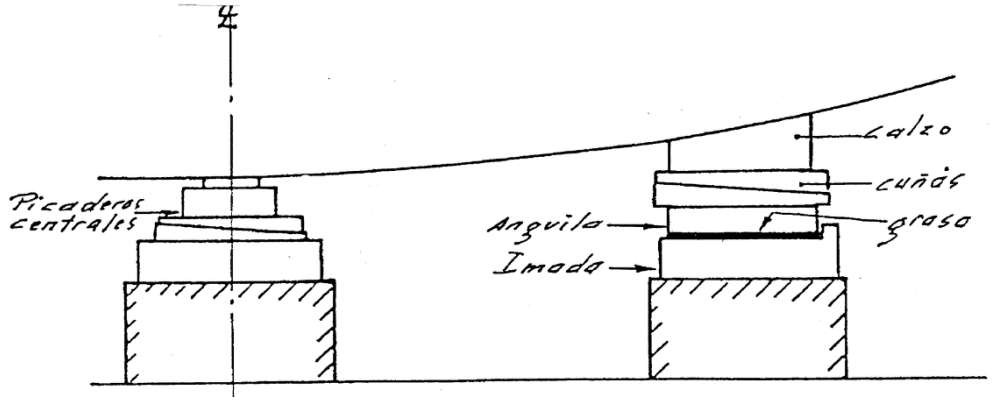


Fig. 12.10 Detalle de apoyos para construcción y para botadura.

12.5 Dispositivos de tres o más imadas. El patín

Con buques de grandes pesos, en los que es necesario absorber grandes cargas, se ha recurrido a utilizar tres y cuatro imadas, con sus correspondientes anguilas. Con tres anguilas, una se dispone realmente como una zapata debajo de la quilla, quedando las otras como dos imadas. Las tres anguilas deben arriostrarse entre sí, para formar una cuna rígida.

A pesar de la reducción de las presiones que se logra así, hay que tener presente que es más difícil lograr una distribución uniforme de las cargas sobre las tres vías de apoyo. En algunos casos, la anguila central se limita a las partes de la estructura del casco que han de sufrir las cargas más intensas, como en el caso de las empleadas en la botadura del AL ANDALUS en ASTANO, ver la figura que sigue. En ésta se aprecia la disposición de los santos de proa sobre patín cilíndrico, preparado de esta forma para facilitar el apoyo en el giro.

El patín, así denominado como uno de los dispositivos utilizados en las botaduras, que se disponen uno a proa de cada línea de anguilas, es un mecanismo formado cada uno por dos partes construidas en acero, que deslizan una sobre otra según la superficie cilíndrica de contacto entre ellas, favoreciendo el giro del buque en la botadura y evitando así daños estructurales. Los santos de proa reposan sobra la parte alta del patín correspondiente. Ver Figura 12.7 y Figura 12.11.

El patín, ahora utilizado en general universalmente, es un invento del prestigioso doctor ingeniero naval don José Deus López. Se empleó por primera vez en las botaduras de los grandes buques construidos en ASTANO S.A. a finales de la década de los años 60 y principios de los 70 y su empleo fue difundido por D. José Deus en astilleros europeos y norteamericanos.

El AL ANDALUS era un buque petrolero de aproximadamente 365.000 TPM, con un peso del casco en la botadura de alrededor de 63.000 Tm. La primera botadura en el mundo de un buque de este tamaño se realizó en ASTANO en el año 1971. Fue la del ARTEAGA, buque de la misma serie que el AL ANDALUS, aunque un poco menor, de 323.000 TPM, con un peso del casco en la botadura de unas 58.000 Tm.

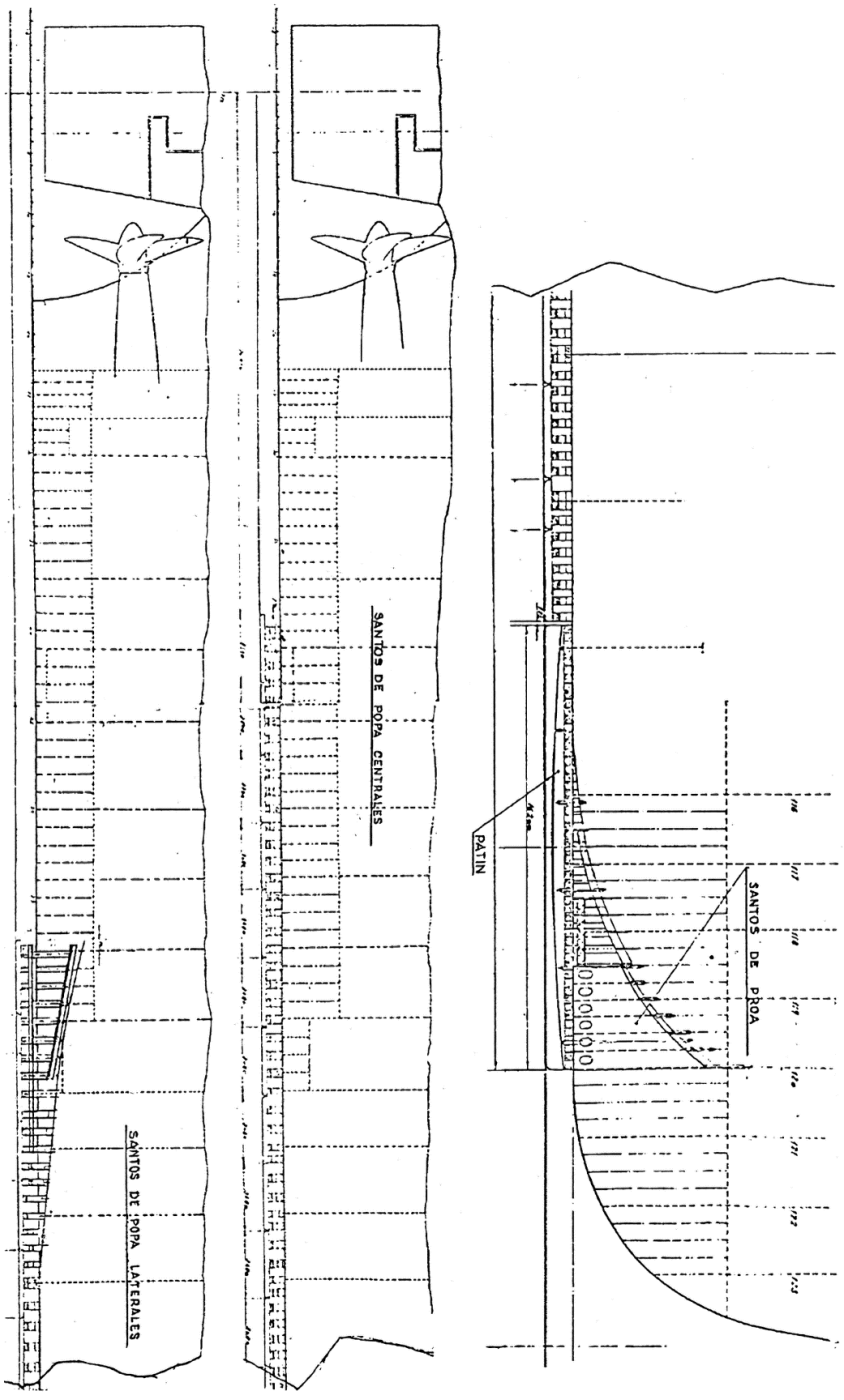


Fig. 12.11 Cuna de botadura del Al Andalus.

12.6 Botaduras sobre bolas de acero

Este dispositivo se ha utilizado en Japón. Es también un dispositivo de dos imadas aunque pueden utilizarse más. Se interponen bolas de acero en lugar de grasa entre la pieza deslizante y la fija. Las bolas, de unos 90 mm de diámetro y unos 3 kg de peso cada una, están construidas de aleación inoxidable de acero al cromo y se mantienen en posición por medio de posicionadores o carros a determinados intervalos.

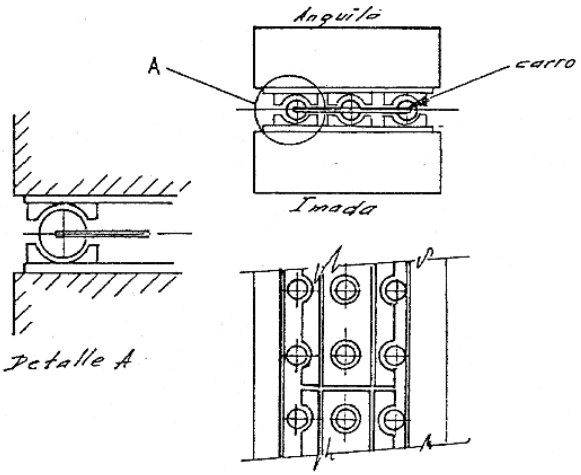


Fig. 12.12 Dispositivo de botadura por apoyo sobre bolas de acero.

El apoyo sobre las bolas y la carga de éstas sobre las imadas se hace por medio de carriles construidos con plancha de acero. Este sistema soslaya el problema de la influencia de la temperatura sobre las grasas.

Al igual que con bolas, puede efectuarse también un lanzamiento utilizando rodillos de acero. Hay varaderos que utilizan este sistema haciendo deslizar el carro apoyado sobre trenes de rodillos.

12.7 Dispositivos de retenida

Durante la construcción, el buque reposa sobre picaderos, almohadas y escoras. El rozamiento en estos apoyos es tan elevado que, a pesar de encontrarse ya con una pendiente, no hay peligro de que deslice sobre ellos y las únicas precauciones que hay que tomar son las de arriostrado entre picaderos para evitar su vuelco. Cuando, una vez montado el tren de lanzamiento, se va transfiriendo el peso del casco a la zapata o a las anguilas que están ya preparadas con las grasas deslizantes, suprimiendo los picaderos que han servido de apoyo hasta este momento, el buque, como es lógico, toma su tendencia a deslizar. Para impedir que esto ocurra antes del momento oportuno se

utilizan diversos dispositivos de retenida entre los que, a continuación, se describen los siguientes: picaderos secos, trinca de zapata, llaves y linguetes.

Todos estos dispositivos han de dimensionarse para que soporten ampliamente el esfuerzo que tiende a hacer a deslizar el buque.

a) *Picaderos secos.* Cuando se utiliza el sistema de zapata única, la corredera se dispone con unas interrupciones en las que posteriormente se instalarán las correderas cortas. En estos huecos, quedan mientras tanto, unos picaderos sobre los que apoya la zapata sin grasa alguna y que por esta razón se denomina "picaderos secos". Como el coeficiente de rozamiento directo de madera con madera es el orden de 0,25, estos picaderos, al tiempo que sirven de apoyo, impidiendo también la compresión de la grasa que ya exista entre las correderas largas y la zapata, proporcionan una retención al deslizamiento. Con unas horas de antelación al lanzamiento, se efectúa el apriete de las lengüetas de las correderas largas, con las que estas toman su carga relajando la presión sobre los picaderos secos para facilitar su extracción. En su lugar se colocarán las correderas cortas, ya engrasadas, y se completa el tren de lanzamiento con el apriete de sus lengüetas respectivas.

   Es difícil prever con exactitud el esfuerzo de retención que aportan estos picaderos secos mientras están montados. Para prever el número de ellos que es necesario en botaduras con zapata única, se supone arbitrariamente que el peso es uniforme por unidad de longitud de la eslora y que la totalidad del peso P se distribuye sobre las longitudes de zapata en que las está apoyado. Así, si "l" es la parte de la eslora de la zapata apoyada sobre picaderos secos y "L" la longitud total de la zapata, la parte de esta apoyada sobre correderas largas será L-l, las fracciones del peso que cargan serán respectivamente P l/L y P (L-l)/L sobre picaderos secos y sobre correderas y, siendo f´ y f los coeficientes de rozamiento para madera seca con madera y f el de las piezas ya engrasadas respectivamente, la condición de retención vendrá impuesta por:

$$P\frac{l}{L}f'\cos\theta + P\frac{L-l}{L}f\cos\theta > P\,\mathrm{sen}\,\theta$$

   De donde:

$$\frac{l}{L} > \frac{\tan\theta - f}{f' - f}$$

   Lo cual permite calcular el valor de "l". Conociendo la separación entre picaderos secos se puede deducir el número de ellos que es necesario y la carga de comprensión que han de soportar.

   Para facilitar el desmontaje rápido de los picaderos secos, éstos deben construirse intercalando en su composición cuñas de gran ángulo, con pendiente del orden

del 15%, que se puedan descomprimir a golpe de mandarria, considerando que el rozamiento que puede esperarse en las cuñas de madera será del orden de 0,30.

Cuando se utilizan dispositivos de dos imadas, no hay esta relación de longitud. Las anguilas y las imadas se montan en su totalidad con independencia de los picaderos que pueden seguir aplicados en la quilla sin ser obstáculo alguno para el montaje de la cuna. Sin embargo, todos los picaderos y almohadas que han de permanecer ayudando a soportar el peso del buque hasta breve tiempo antes del lanzamiento, han de poder ser desmontados con rapidez y hay que contar con dispositivos especiales para impedir que queden *clavados* bajo una carga excesiva, creando dificultades en momentos críticos que se programan al minuto. Con esta finalidad, son de gran eficacia las cajas de arena.

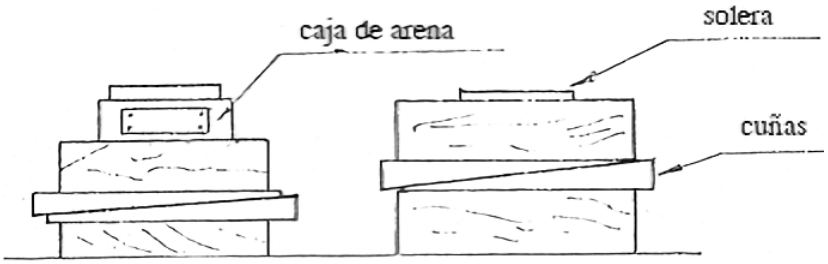


Fig. 12.13 Esquema de disposición de cajas de arena.

Son cajas metálicas que se llenan de arena, que distribuye muy bien la carga y sobre la que apoya una pieza de madera que ajusta en la caja paralelepipédica. La caja tiene un registro lateral cerrado con una tapa atornillada que impide que escape la arena. El picadero está normalmente ajustado y comprimido con sus cuñas, pero para liberar su carga basta con abrir el registro dejando salir la arena. Si se utilizan bajo picaderos secos en dispositivos de zapata, habrá que eliminar todo vestigio de arena que pueda introducirse en la superficie de deslizamiento. Con dos imadas, están tan separados los picaderos en las imadas que no existe este problema.

b) *Trinca de zapata.* El dispositivo de "picaderos secos" es tan sólo un medio de colaborar temporalmente a la retención. Cuando el buque está totalmente apoyado en las piezas deslizantes, aunque sea por un lapso de tiempo muy breve hemos de disponer la retención total sobre un dispositivo que se pueda liberar instantáneamente. En botaduras sobre zapata, el medio más simple consiste en prolongar la zapata por su proa y empernarla sólidamente a una plancha anclada en la estructura de la grada. Para liberar la retenida se corta la pieza de la zapata con soplete (o sierra) en una sección preparada al efecto.

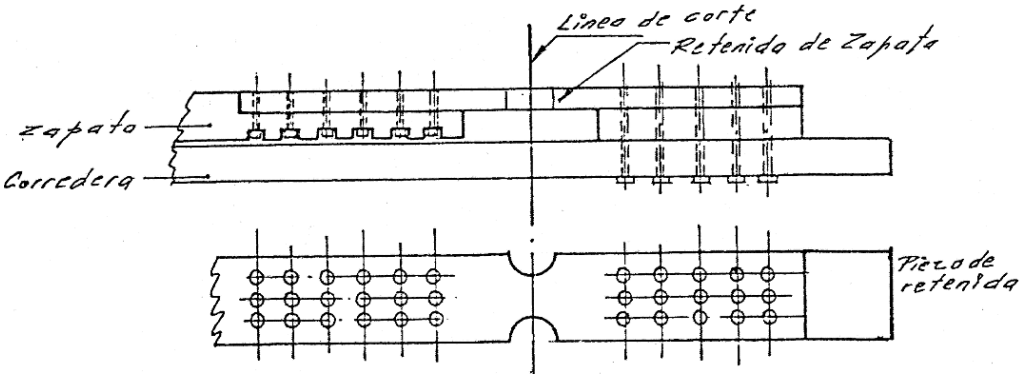


Fig. 12.14 Dispositivo de retenida en botadura sobre zapata.

Si se aplica este sencillo sistema, hay que asegurar que las retenidas de ambas imadas se liberen de forma totalmente simultánea.

En el astillero H. DE J. BARRERAS, con dos imadas, en el que se soldaba a la proa del buque una chapa en forma de llanta, fijada por el otro extremo a la grada y colocada en posición vertical, con una entalladura por arriba y otra por debajo y en la cual se practicaba el corte con soplete.

c) *Llaves y linguetes de retenida.* El nombre genérico de llaves se utiliza para una serie de mecanismos que, dispuestos convenientemente en las imadas, retienen el buque hasta el momento deseado y liberan instantáneamente dicha retención bajo la acción de un mando controlado, generalmente a distancia.

Las llaves más elementales están constituidas por contretes oblicuos que se sitúan entre topes firmes dispuestos por un lado en el firme de la grada y, por otro, en las piezas deslizantes del tren de lanzamiento, soportando de este modo toda tendencia del buque a deslizarse. Su efecto de retención se suprime en el momento deseado, zafándolos con un golpe.

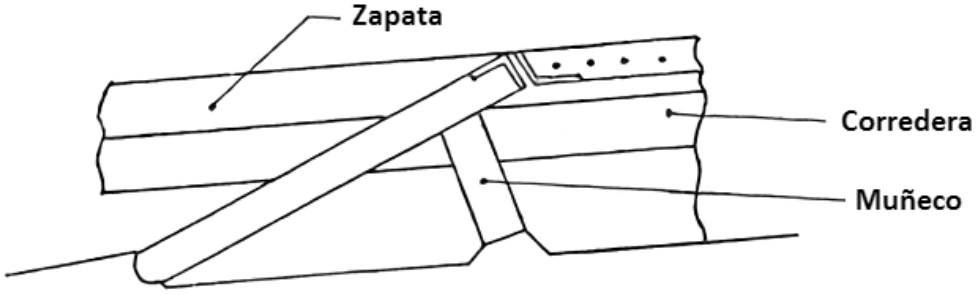


Fig. 12.15 Dispositivo de *retenida* mediante *contrete.*

Sus extremos en los puntos de apoyo deben ir protegidos con armaduras metálicas bien pulidas. El extremo superior debe llevar un ligero bisel destinado a facilitar el zafado. Un pequeño puntual que recibe el nombre de "muñeco", impide que el puntal pueda zafarse involuntariamente. A veces, la inclinación de la cabeza de apoyo se hace mayor para lograr un zafado automático en el momento de retirar el muñeco. Para mayor seguridad, conviene que este zafado no sea automático y la rapidez de la maniobra se asegura disponiendo sobre la llave una maza guiada de suficiente peso para asegurar la extracción del contrete en cuanto caiga sobre él.

En el lanzamiento con imada doble es necesario asegurar la simultaneidad en la liberación de las llaves de ambas anguilas.

Las mazas han de disponerse a bastante altura para que tomen en su caída la energía suficiente que asegure el escape de la llave. Esto obliga a disponerlas en la proa, único sitio en que se dispone de espacio libre sobre la llave para poder situarlas. Estando la retenida a proa, no podrá olvidarse la resistencia que debe tener la unión entre las piezas de las anguilas para resistir la tracción y evitar el peligro de que la botadura se precipite involuntariamente con las piezas restantes, por rotura de la ligazón con la primera pieza que es la que está retenida, lo que de hecho ha ocurrido ya alguna vez. Este peligro desaparece cuando se utilizan llaves situadas en la parte central de la eslora de las anguilas.

Un dispositivo muy seguro de retención lo constituye un linguete de escape, retenido a su vez por un émbolo hidráulico, llamado *prensa o gato de retenida*. El linguete tiene su eje de giro dispuesto horizontalmente, apoyando sobre cojinetes anclados en un armazón de acero unido sólidamente a la imada. El retén del linguete penetra en una mortaja hecha en la anguila y apoya sobre un tope de fundición.

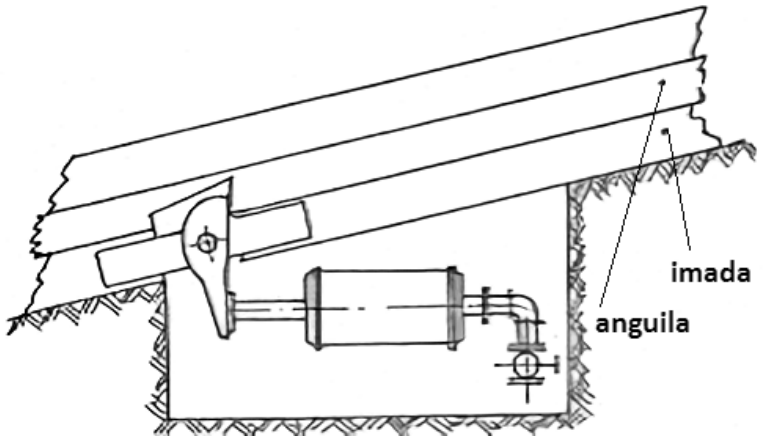


Fig. 12.16 Dispositivo de *retenida* mediante prensa o *gato.*

El brazo inferior del linguete apoya sobre el vástago de la prensa de retenida, cuyo cilindro está lleno de aceite. La prensa está anclada sólidamente en una fosa hecha al efecto en la grada. La liberación de la retenida se consigue abriendo la válvula de evacuación del cilindro y para acelerar el vaciado se puede inyectar aire comprimido en el lado opuesto del pistón. La simultaneidad de acción de varias llaves de este tipo se obtiene uniendo sus evacuaciones en un solo tubo con una sola válvula.

Las llaves más utilizadas por su eficacia, rapidez y seguridad son los dispositivos mecánicos con disparo eléctrico. El dispositivo mecánico más utilizado de este tipo consiste en varios juegos de palancas y camones articulados uno tras otro, que van reduciendo sucesivamente y de forma muy notable el empuje que la anguila está ejerciendo sobre la pestaña de la primera palanca, la que penetra en la mortaja dispuesta en la anguila con un tope metálico sobre el que apoya, hasta un valor tal que permite el zafado de la última palanca mediante el accionamiento de un sistema simple como puede ser un electroimán activado a distancia. En la Fig. 12.17 puede verse el juego típico de palancas de una llave de retenida.

Las palancas caen todas por su peso, favoreciendo su caída el propio empuje del buque, al faltar la retenida de la última. Esta se lastra con un peso y se mantiene en posición cerrada sujeta por una pieza giratoria en forma de horquilla. El paso de una corriente por un electroimán atrae una plaquita que hace girar la horquilla para liberar el gancho de la última palanca que caerá, liberando sucesivamente todas las demás. El gancho se trinca con un candado de seguridad que sólo se quita unos segundos antes del lanzamiento para evitar el riesgo de un disparo involuntario. El paso de la corriente que acciona el disparo se controla con un pulsador en la tribuna, garantizando así la simultaneidad de acción de todas las llaves que se hayan dispuesto y se alimenta con baterías para evitar posibles fallos. Además, se suele colocar junto al mecanismo una señal luminosa y acústica que avisa cuando se ha accionado el pulsador y un hombre situado junto al mismo, lo accionará a mano si, a pesar de todas las seguridades que se han tomado, viera que el disparo no se produce. Tanta precaución está justificada cuando se disponen varias llaves, ya que el fallo de una de ellas podría crear serias dificultades por la asimetría de la retención y la sobrecarga a que queda sometida la llave no disparada.

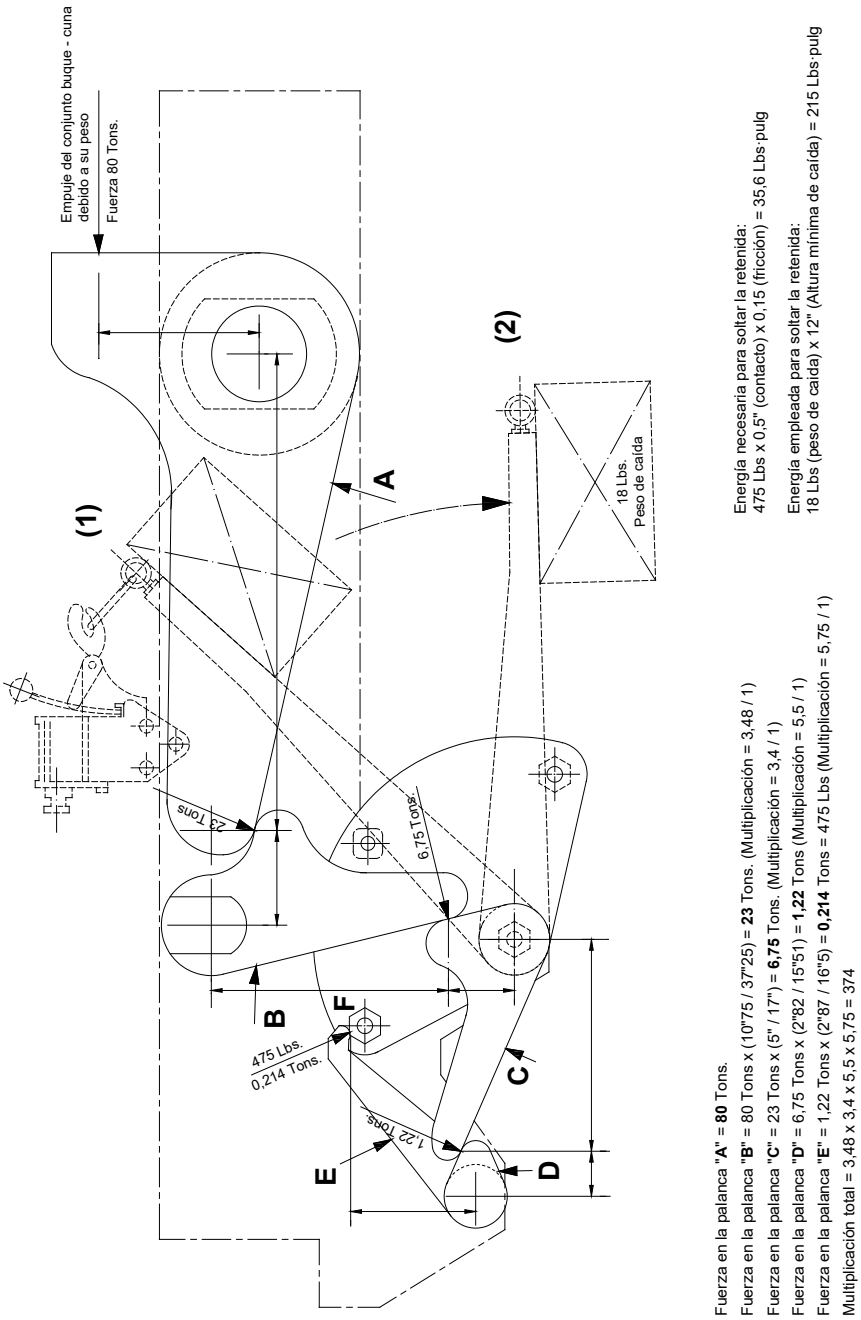


Fig. 12.17 Dispositivo de retenida mediante sistema mecánico.

12.8 Dispositivos de empuje

A la pendiente de la superficie de deslizamiento se le da un valor suficiente para que el lanzamiento se produzca por *gravedad*. Para determinar dicha pendiente se aplica el valor del coeficiente de rozamiento inicial f_0 que es algo mayor que el que tiene después de iniciado el deslizamiento. A pesar de ello, por aplastamiento de las grasas, la adherencia entre ellas puede resultar algo mayor que lo previsto y puede suceder que al disparar las llaves de retenida el buque no arranque, o lo haga muy lentamente.

Esta eventualidad debe preverse y para superarla se acostumbra a disponer sobre la proa de las imadas sendos gatos de empuje, consistentes en accionadores hidráulicos de émbolo que, firmemente anclados en la grada, están dispuestos para ejercer su fuerza sobre las cabezas de las anguilas en la dirección del movimiento.

Se trata tan sólo de vencer la resistencia existente a iniciar el movimiento, ya que una vez iniciado, desciende el coeficiente de rozamiento y el lanzamiento continuará por sí sólo. La fuerza de empuje de los émbolos conviene calcularla contando con un rozamiento inicial del orden de 0,15, y deben estar conectados a una tubería común por la que todos han de recibir simultáneamente el aceite a presión para que la acción sea simultánea.

Si al disparar las llaves no se produjera el arranque, se actúa inmediatamente el accionamiento de los gatos de empuje, pero si al terminar el recorrido de los émbolos el buque sigue detenido, no es recomendable insistir en nuevas aplicaciones de dichos gatos con la interposición de suplementos, debiéndose investigar la causa de la retención anormal

12.9 Dispositivos de guía

En la primera fase del deslizamiento las gualderas sirven de guía longitudinal a las anguilas, pero una vez iniciado el giro, cualquier influencia asimétrica en la resistencia en el agua, por una ligera corriente transversal o simplemente por efecto de una ola reflejada en un muelle muy próximo, o del viento, puede provocar una desviación angular y hacer peligrar su apoyo, por salirse de las imadas.

Para guiar el buque longitudinalmente en esta fase, en algún caso se han utilizado cables que se extienden en la dirección del movimiento y, firmemente anclados en los extremos, se pasan sobre la cubierta a través de gateras o guías. La libertad de los cables sobre cubierta se asegura con caballetes transversales de altura conveniente.

12.10 Lubricación del plano de deslizamiento

El coeficiente de rozamiento entre dos piezas de madera de fibras paralelas y recubiertas de una capa untuosa, puede oscilar entre 0,15 y 0,44 para iniciar el movimiento, y de 0,07 a 0,16 durante el movimiento. Con estos valores, un lanzamiento por gravedad sería impensable por las excesivas pendientes que esto implicaría.

Para reducir la pendiente necesaria se recurre al procedimiento de recubrir las caras rozantes con una capa de *grasa base* de relativa dureza, cuya misión es proporcionar sendas superficies lisas y resbaladizas, que evitan en todo momento el contacto de madera con madera y, entre éstas dos capas, se interpone además un componente untuoso y deslizante que reduce considerablemente el valor del coeficiente de rozamiento hasta del orden de *0,05*. Los productos que se utilizan para este fin han de reunir las siguientes características:

1. *No deben alterarse* por efecto de las condiciones atmosféricas, ni del agua de mar.
2. *Deben soportar sin ser rechazados las presiones* a que han de estar sometidos durante el lanzamiento, teniendo en cuenta la temperatura ambiente y el calor que se producirá por fricción.
3. *No deben reaccionar entre sí* durante el tiempo que están en contacto; ni siquiera bajo las condiciones de presión y temperatura que se van a desarrollar.
4. *La capa base deberá tener una buena adherencia con la madera* sin desprenderse ni cuartearse a la temperatura ambiental.

Los productos que se han utilizado tradicionalmente han sido los sebos como capa de base y el jaboncillo como elemento untuoso, con algunas variantes que se hicieron necesarias para vencer las dificultades debidas a las temperaturas tan diferentes con que habían de emplearse. Los sebos son productos muy sensibles a la temperatura, perdiendo consistencia con el calor y cuarteándose y perdiendo adherencia con el frío. La irregularidad en las características de los sebos, a pesar de los ensayos que se realizaban para determinarlas, fue siempre un factor de incertidumbre en las botaduras, algunas de las cuales llegaron a terminar en fracasos espectaculares.

Actualmente, estas dificultades están prácticamente superadas con el empleo de grasas sintéticas, derivadas del petróleo, de comportamiento mucho más uniforme en una gama de temperaturas muy amplia. La función del sebo se encomienda a una grasa consistente denominada *basecoat* (BASECOTE en la jerga del astillero), con la que se constituyen las capas de base y el jaboncillo se sustituye por otra grasa *slipcoat* (ESLICOTE en la misma jerga), más fluida, que forma la capa deslizante interpuesta entre las dos de base.

La capa de base es de gran adherencia a la madera, mayor resistencia a la compresión que el sebo y tiene una temperatura de fusión superior a la de éste. A bajas temperaturas es más duro que el sebo y no se cuartea, manteniendo su adherencia, mientras que el sebo se desprende a 0º. Como a temperaturas altas el "basecoat" también se mantiene más duro, su gama de temperaturas de aplicación es mucho mayor. A pesar de ello, los fabricantes suministran productos ligeramente distintos para uno u otro sitio, adecuados a las temperaturas del lugar en que se vayan a emplear.

	Penola basecoat				***Sebo***		
Presión aplicada (Kp/cm²)	4,10	6,04	6,07	18,16	4,76	7,60	17,06
Pérdida de espesor (mm)	0,79	1,19	1,19	1,38	2,-	2,77	5,55
Pérdida de peso (%)	0	0	0	-	0	0	22,80

Tabla 12.1 Resultados de las pruebas de laboratorio efectuadas sobre bloque de ensayo de 279,3 x 609,4 mm y de 7,9 mm de espesor, a la temperatura de 22º C.

Otro aspecto a tener en cuenta es la resistencia al agua de mar. En unas muestras que estuvieron sumergidas en agua de mar durante diez días después de haberles aplicado el producto de base citado antes, se comprobó que la adherencia seguía siendo completa, mientras que, sobre piezas preparadas con sebo, sometidas a la misma experiencia, se comprobó que el sebo se desprende con facilidad. Esto es de gran importancia para asegurar la permanencia de la capa de base que se aplica sobre las piezas de las imadas que han de quedar sumergidas en la antegrada.

El producto untuoso y deslizante, el *slipcoat,* proporciona un coeficiente de rozamiento muy bajo, especialmente en la arrancada, es muy resistente al agua de mar y se adhiere bien a la capa de base, teniendo la suficiente consistencia para evitar el aplastamiento y su consiguiente expulsión bajo las presiones que normalmente se aplican. No se endurece excesivamente por el frío ni se ablanda demasiado por efecto del calor y su homogeneidad permite utilizarlo con cierta confianza. Las casas comerciales presentan varios tipos de deslizantes *slipcoat* con ligeras variaciones de sus coeficientes de rozamiento, pudiéndose elegir en cada caso el que más convenga de acuerdo con las condiciones en que se vaya a efectuar el lanzamiento.

Un factor importante es el económico. Bajo este aspecto hay que considerar que, mientras que los sebos, por efecto del calor que se genera durante el lanzamiento, se funden y son escupidos, perdiéndose una parte importante de los mismos que no se puede recuperar para su aplicación a futuros lanzamientos, el *basecoat* soporta la fricción durante el lanzamiento sin apenas deteriorarse, hasta el extremo de que

la capa de base se puede conservar adherida sobre las piezas de madera después de desmontarlas, protegiéndolas debidamente. Su preparación posterior para utilizarla en el lanzamiento siguiente sólo requiere un retoque de las partes dañadas y el relleno de las juntas entre piezas para que la superficie quede en buenas condiciones.

Como características importantes de las grasas que se emplean en lanzamientos debemos mencionar: su temperatura de fusión, su resistencia al aplastamiento, su dureza y el coeficiente de rozamiento.

La temperatura de fusión de un sebo es lo que se ha llamado el "título de un sebo". Esta puede variar entre los 40 y 50º C según la composición química. En los productos minerales esta temperatura es más elevada. Tanto en un caso como en otro, su conocimiento es de importancia para determinar la temperatura que se ha de calentar para aplicarlo en estado de fusión sobre la madera según veremos más adelante.

La resistencia al aplastamiento depende de la temperatura y se determina por la pérdida de espesor y de peso de bloques de dimensiones determinadas sometidos a distintas presiones en cajas de madera preparadas al efecto. Los ensayos se repiten a diversas temperaturas y se obtiene cuadros de resultados semejantes al que hemos dado más arriba.

Valores del coeficiente de rozamiento. Para un conjunto de grasas de base aplicadas sobre madera, entre las que se ha interpuesto un producto deslizante determinado, aún con productos de gran homogeneidad, los valores que toma el coeficiente de rozamiento son variables y dependen de las condiciones siguientes:

a) *De la naturaleza del sebo o grasa de base* que se ha aplicado, creciendo en general con su dureza.

b) *De la temperatura a que se encuentra,* decreciendo cuando esta aumenta dentro de ciertos límites. Si el sebo llega a ablandarse demasiado alcanza un punto en que el coeficiente de fricción empieza a aumentar considerablemente.

c) *De la presión específica entre las dos piezas*, siendo inversamente proporcional a la raíz cuadrada de dicha presión.

d) *Del movimiento*, sabiendo que el coeficiente en el arranque, antes de iniciarse el movimiento entre las piezas fija y deslizante, es más elevado y desciende sensiblemente en cuanto la pieza deslizante se está moviendo y han quedado rotas las ligaduras de adherencia creadas por la presión estática.

e) *Del tiempo transcurrido desde que se aplicó la carga* que origina la presión entre las piezas hasta que se inicia el movimiento, creciendo con dicho tiempo el valor del coeficiente de rozamiento de arranque, por aumentar la adherencia entre las capas de grasa.

Como muchas de estas condiciones varían a lo largo del lanzamiento, la variación del coeficiente de rozamiento es semejante a la que se indica en el gráfico que sigue, en función del recorrido.

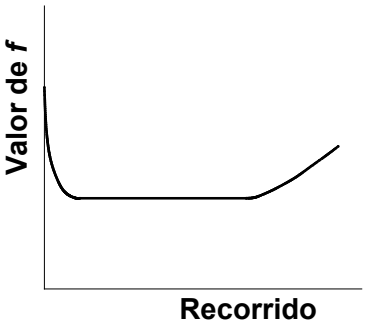


Fig. 12.18 Curva de representación del coeficiente de rozamiento en función del recorrido.

Tendremos primeramente un valor de arranque que desciende rápidamente después de iniciado el movimiento, tomando entonces un valor sensiblemente constante hasta que las condiciones de presión y temperatura le imprimen un suave descenso. Durante el giro, una presión excesiva puede provocar la expulsión de la grasa y un aumento sensible del coeficiente de rozamiento.

Para determinar prácticamente los valores que se pueden aplicar al coeficiente de rozamiento, existen fórmulas empíricas que deben suministrar los fabricantes después de realizar las experiencias necesarias, en las que se tienen en cuenta la presión y la temperatura.

12.11 Formación de la superficie de lanzamiento

Aunque hoy se preparan las superficies con gran uniformidad, la aplicación de las grasas ha variado considerablemente de unos astilleros a otros.

En general es importante hacerlo sobre madera bien seca, lo cual puede presentar dificultades en zonas lluviosas. En este caso puede lograrse la sequedad requerida mediante la aplicación previa sobre la madera de virutas impregnadas en alcohol que se hace arder, o secando la superficie con antorchas de keroseno, llevando buen cuidado de no quemar la madera.

Los sebos se aplican fundidos a 95º C, en capas gruesas de hasta 20 mm o finas de 2 o 3 mm, como era costumbre en Ferrol, tanto sobre las imadas como sobre las anguilas.

Para darle al sebo mayor consistencia, en lugares cálidos, se le han añadido productos como parafinas y estearinas.

La aplicación de las grasas minerales se debe hacer siguiendo rigurosamente las instrucciones del fabricante. La sequedad de la madera se logra como se indicó antes, y la capa de *basecoat* se aplica entonces fundida a una temperatura entre los 121 y los 132º C, extendiéndola por capas sucesivas hasta alcanzar espesores entre 6 y 13 mm, según las presiones a soportar. Las capas sucesivas se aplican cuando la anterior está todavía templada para conservar la adherencia. Golpeando suavemente con una madera se puede juzgar si la capa anterior está bien adherida. La capa final se alisa y debe quedar protegida de la acción directa del sol para evitar la formación de burbujas. Las imadas de la antegrada se recubren del mismo modo, pero su colocación conviene retrasarla hasta un par de días antes del lanzamiento. El *slipcoat* se aplica a mano, tomándolo de los recipientes que lo contienen y extendiéndolo sobre la superficie de la capa de base ya dispuesta sobre las imadas.

12.12 Dispositivos de frenado y parada

Una vez a flote el buque, está animado de una velocidad por efecto del lanzamiento que hay que neutralizar hasta que los remolcadores puedan efectuar la maniobra de conducirlo al muelle al que se ha de amarrar. La propia resistencia hidrodinámica es un medio de frenado, pero si el espacio de que se dispone en la dársena en que se ha efectuado la botadura no es muy amplio, hay que acudir a otros recursos con los que se absorbe la energía tan grande que supone la masa del buque lanzada, a las velocidades que normalmente se alcanzan.

Los dispositivos empleados para este fin pueden ser de los tipos siguientes:

1. *Anclas*. Aunque en el momento de su lanzamiento no se disponga de la planta de energía del buque, es costumbre tener preparado el o los molinetes con cadenas estibadas y anclas *a pendura*, con el fin de poderlas fondear por gravedad en el momento oportuno. Para fondear las anclas es conveniente que el buque tenga ya muy poca velocidad. No habiendo limitación de espacio, se espera a que esté prácticamente detenido y sólo se fondearán las anclas en caso de necesidad. Cuando el espacio está limitado hay que emplear uno o varios de los dispositivos que se explica a continuación y las anclas se fondean al final para conseguir la detención total.

   En cualquier caso, siempre que se fondeen las anclas, hay que contar con algún medio para levarlas después de que los remolcadores hayan tomado las amarras. Si los molinetes son eléctricos, se suele montar provisionalmente un grupo electrógeno autónomo de potencia suficiente para virar. Si son de vapor, y no está

disponible la planta, que es lo normal, se pueden utilizar compresores autónomos para virar con aire comprimido.

2. *Pantallas*. Un medio de aumentar la resistencia hidrodinámica de la carena, con el fin de acortar el espacio requerido para su detención, ha sido el empleo de pantallas constituidas por planos transversales a la dirección del movimiento, que se sitúan en los finos de popa, firmemente trincadas, generalmente apoyadas en el codaste y apuntaladas por ambos costados. De este modo se oponen al movimiento unos planos transversales de mucha mayor resistencia que las formas finas de popa de la carena.

   Su efecto no es controlable, ya que dependerá de la velocidad y será casi nulo a pequeñas velocidades. Por otra parte, absorben energía cuando están sumergidas y, si se sitúan muy bajas, el efecto de frenado se iniciará cuando la cuna esté todavía apoyada, corriendo el riesgo de que su acción sea prematura y ocasione dificultades en el giro. Si, por el contrario, se colocan muy altas tardarán más en entrar en acción. Una disposición más ventajosa puede obtenerse con el empleo de pantallas trapeciales, más anchas por la parte superior que por la inferior, o situando pantallas supletorias en los costados.

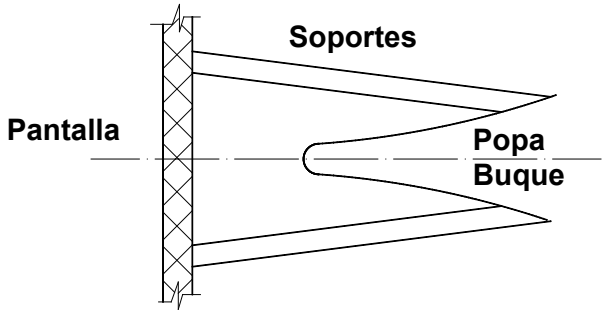


Fig. 12.19 Empleo de pantalla.

Con buques de dos timones simétricos se puede conseguir una buena pantalla de frenado atravesando las dos palas de ambos timones, que han de trincarse y apuntalarse firmemente para aliviar los fuertes pares que se producirían sobre las mechas respectivas.

Este dispositivo no puede aplicarse como base para lograr la detención del buque cuando se requiere gran precisión; pero su empleo puede ser de gran ayuda, utilizándolo conjuntamente con otros dispositivos de mayor eficacia.

Cuando existe un muelle paralelo a las imadas, y muy cercano a éstas, puede producirse un efecto de succión del buque por efecto Venturi debido a la alta velocidad alcanzada por el agua en el estrecho canal que queda entre la pared del muelle y el costado del buque, yéndose éste contra el muelle. Para evitarlo, se

pueden disponer pantallas colocadas asimétricamente, que compensen el efecto citado, tendiendo a separar el buque del muelle.

3. *Rastras*. Este sistema consiste en disponer a ambos costados del buque y sobre la grada, la antegrada, e incluso en el fondo del mar, dos series de rastras constituidas por grandes pesos, generalmente haces de cadenas, que serán arrastradas por el buque en su movimiento longitudinal, al estar ligadas a éste mediante cables trincados firmemente al casco, de longitudes calculadas para que el arrastre de cada una de las rastras se inicie en el punto previsto del recorrido. Las rastras pueden hacerse también con bandejas cargadas de lingotes y en la parte sumergida puede aumentarse su acción con el empleo de anclas enterradas.

   La tracción de frenado que proporcionan las rastras se debe al rozamiento de las mismas sobre el suelo, de forma que si el peso de la rastra es Q y f, el coeficiente de rozamiento, el esfuerzo de retención R que proporcionará es $R = Q \cdot f$

   El cable que tira de la rastra, de resistencia mucho mayor que la tracción que ha de soportar, se trinca al casco sobre anclajes soldados y, dado que su longitud ha de permitir el recorrido del buque hasta el punto en que ha de entrar en acción, para evitar toda posibilidad de que se enrede, se dispone como se aprecia en la figura que sigue:

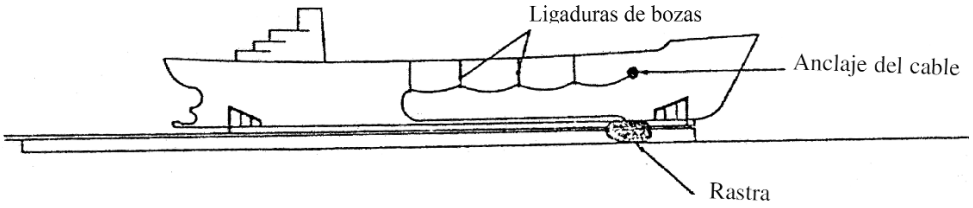


Fig. 12.20 Empleo de rastras.

   Este cable irá colgado del casco mediante una serie de ligaduras o *bozas* de pequeña resistencia, suficientes para soportarlo, que irán rompiendo una tras otra a medida que el buque se desplaza. Al romper la última, el cable queda extendido para tomar la tensión de la rastra.

   Alternativamente, las ligaduras pueden sujetarse a la grada, para ir también rompiendo sucesivamente a medida que el buque se desplaza. En este caso, la vuelta que forma el cable de rastras queda en sentido contrario, es decir, abierta hacia popa (tal como se hizo en ASTANO en 1997 en la botadura del buque de perforación *Discoverer Enterprise*).

   Las rastras se dividen en varios grupos para lograr un aumento progresivo de la tracción de frenado que haga menos brusco el tirón inicial. De todas formas, para suavizar a su vez la toma de tracción de cada rastra, cuando éstas son cadenas, se acostumbra a prepararlas como se indica en la figura, ligándolas con el cable por

la parte de proa. De este modo al ponerse el cable en tensión se produce el volteo de la rastra, con lo que empieza a absorber energía antes de alcanzar la fuerza de tracción requerida para el arrastre.

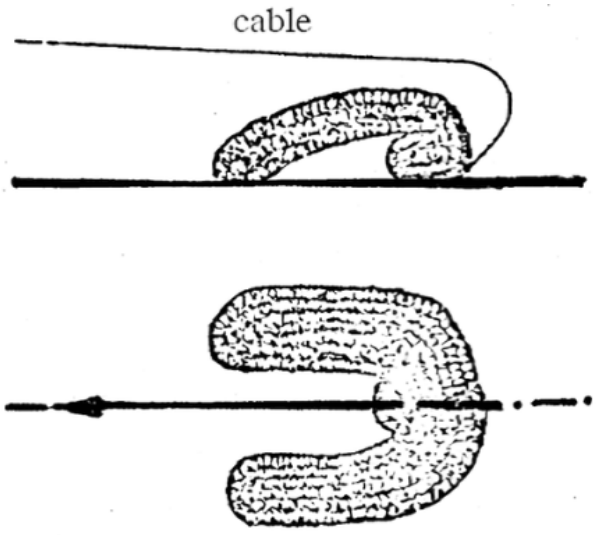


Fig. 12.21 Volteo de la rastra.

Para que el efecto de frenado sea simétrico, cuando el buque ha de penetrar en el agua en la dirección de su plano de simetría, los grupos de rastras se disponen de forma idéntica a ambos costados, ajustando las longitudes de los cables que las ligan al casco con el fin de que sean iguales a las de sus homólogos en el otro costado. Cuando además del frenado se pretende que el buque, una vez a flote, describa un giro para situarlo paralelamente al muelle, puede estudiarse una disposición de rastras por un solo costado. En este caso, el par de giro provocado por la tracción del cable puede aumentarse efectuando su anclaje sobre el extremo de una consola soldada al casco, con lo que se separa del costado el punto de aplicación y aumenta el brazo del par.

Si se tienen montadas una serie de rastra, con sus cables dispuestos para entrar en acción sucesivamente y se representan gráficamente los esfuerzos de retención

$$R = Q \cdot f$$

en función del recorrido del buque, se obtiene una curva escalonada como la de la figura que sigue, en la que cada escalón corresponde al tiro de un nuevo par de rastras que se suma a las que ya están actuando. El área comprendida entre la línea escalonada y el eje de las abscisas representa el trabajo absorbido por la acción de las rastras en el recorrido.

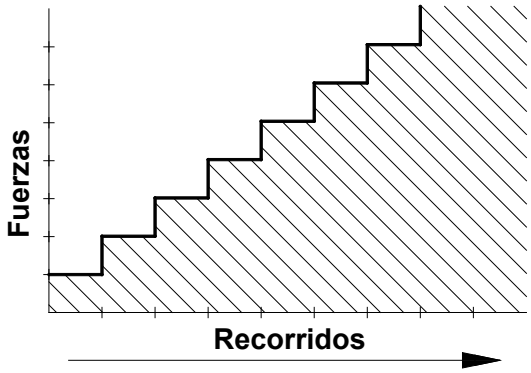


Fig. 12.22 Gráfico de fuerza de frenado de las rastras en función del recorrido.

En realidad, la resistencia de las rastras no se aplica instantáneamente, ya que se evita el tirón brusco con el volteo de la rastra, y cada escalón tendría en su iniciación una forma triangular hasta llegar a tomar, progresivamente, toda la carga.

El valor del coeficiente de rozamiento *"f"* es muy variable y depende del tipo de rastra empleado y de la naturaleza del terreno sobre el que se arrastra. Utilizando pilas de cadenas sobre tierra blanda, con el arrastre se forma un surco y se amontona gran cantidad de tierra delante de la rastra. Las pilas siguientes pasan por el mismo surco sobre tierra más blanda, haciéndolo más profundo. En este caso el coeficiente de rozamiento de las rastras irá aumentando sucesivamente, siendo mayor el de las últimas. Para conocer de antemano estos valores se han efectuado ensayos de pilas arrastradas por locomotoras, llevando buen cuidado de que la naturaleza del piso sobre el que se arrastran sea análogo al que han de tener en la botadura.

En experiencias efectuadas, se encontró, para pilas de cadenas arrastrando sobre barro duro cubierto con cenizas, un coeficiente de f=0,4 durante el volteo de la rastra y alrededor de 0,7 en el arrastre. Sobre piedra machacada y grava, el valor de f en el arrastre llegó casi a 1.

En otros ensayos se encontró f = 0,65. Sobre pisos de hormigón, como suelen ser los de la grada, lo más probable es que se tengan valores inferiores, de alrededor de 0,3.

En cada astillero, los valores más fiables del coeficiente de rozamiento se obtienen por experiencia, deducidos de las aceleraciones reales medidas en cada botadura, comparándolas con las deducidas por cálculo teórico, en el que se suponen unos valores previos de dichos coeficientes.

El peso y número de rastras que se han de utilizar, dado un valor de *f*, viene determinado por la distancia en que se ha de detener el buque, la cual será tal que el trabajo de rozamiento de las rastras y de la resistencia hidrodinámica sean suficientes para absorber la energía cinética alcanzada por el buque.

4. *Rotura de bozas*. Un dispositivo muy eficaz y preciso para el frenado del buque lo constituye el sistema de cables ligados a tierra firme o al buque por una serie de bozas calibradas que se van rompiendo sucesivamente. En el caso de que las bozas se sean trincadas al buque, pueden disponerse como se ve en la figura.

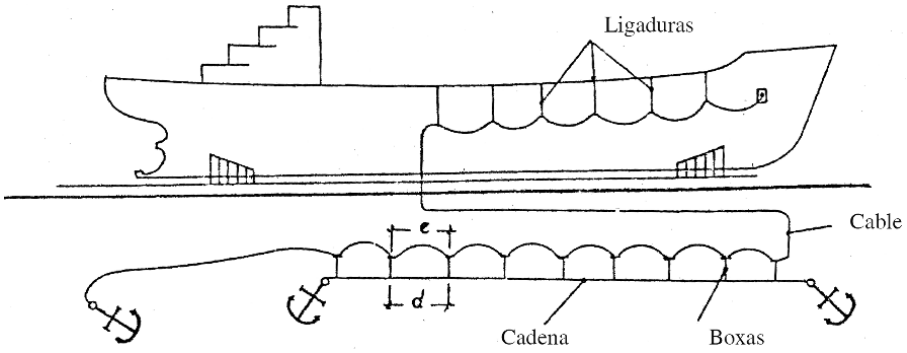


Fig. 12.23 Esquema de empleo de *bozas.*

El otro extremo del cable se fija a un ancla, con lo que su longitud total determina el máximo recorrido del buque. Si este cable así anclado tuviera que absorber la fuerza viva del buque, lo más probable es que se rompiera. La disipación de la energía del móvil se absorbe con el trabajo elástico del cable de retenida en aplicaciones sucesivas. Para ello conviene que estos cables sean estachas de materiales sintéticos de elevada resistencia a la rotura, gran alargamiento elástico y con cierta longitud del mismo que se liga a una serie de amarras o bozas cuya carga de rotura es muy inferior a la del cable de retenida. Estas bozas, a su vez, se fijan a una cadena o cable hecho firme a tierra sobre anclajes empotrados en el hormigón.

Durante el recorrido del buque en su lanzamiento, al alcanzar el punto previsto, los cables entrarán en tensión retenidos por el primer par de bozas. La tensión aumenta hasta romper estas bozas, relajando seguidamente las tracciones en los cables hasta que estos empiezan a tirar del segundo par de bozas. El fenómeno se repite así hasta llegar al último par de bozas y, en cada rotura, la fuerza viva del buque disminuirá en el trabajo absorbido por el alargamiento elástico de los cables, sometidos a la carga de rotura de las bozas y en el absorbido por esas mismas en su rotura. Las bozas tienen, pues, una doble misión: limitan el valor máximo del esfuerzo en el cable de retenida muy por debajo de su límite elástico, reduciendo el esfuerzo en los puntos de amarre a valores conocidos que no pueden producir avería alguna. En segundo lugar, al romperse, liberan al cable de su

tracción, permitiéndole que recupere su longitud, quedando sometido de nuevo a un alargamiento elástico por el tirón de la boza siguiente, multiplicando así el valor del trabajo absorbido en cada rotura, tantas veces como bozas se disponen.

La tensión del cable de la rastra va pasando sucesivamente de un valor nulo al de la carga de rotura de la boza (r). Estas deben ligarse con la separación conveniente para que una no pueda entrar en tensión hasta que haya roto la precedente. De este modo, la tracción en el cable no excederá nunca del valor de la carga de rotura de la boza. Para ello, en el instante en que rompe una boza, la distancia que ha de haber desde el punto de fijación del cable en el buque hasta la fijación de la boza siguiente ha de ser menor que la longitud de cable libre sin tensión.

Si se desea que la tracción de la boza se inicie en el mismo instante en que rompe la precedente y llamamos:

— r = a la carga de rotura de la boza.

— A = al alargamiento del cable por efecto de la carga r.

— L = a la longitud de cable hasta la boza antes de tomar la tensión.

— d = distancia entre las fijaciones de dos bozas consecutivas.

— e = longitud de cable entre sus ligaduras a dos bozas consecutivas.

Se tiene que, en el momento en que rompe una boza, si la distancia hasta el punto de fijación del cable en el buque a la boza es L + A – d, la longitud de cable que queda libre hasta la boza siguiente será L + e y la condición impuesta anteriormente vendrá dada por:

$$L + A - d = L + e;$$

Esto es:

$$d + e = A$$

De este modo, cada vez que se rompe una boza, el aumento en la longitud libre de cable debida a la separación entre bozas y a la que hay entre las ligaduras del cable a las mismas, se cancela exactamente con la recuperación del alargamiento por cese de la tensión. La próxima boza comienza su trabajo inmediatamente y el gráfico de fuerzas de retención/recorrido toma la forma de dientes de sierra con el valor de la carga de rotura de las bozas en las cimas, según se aprecia en la figura que sigue.

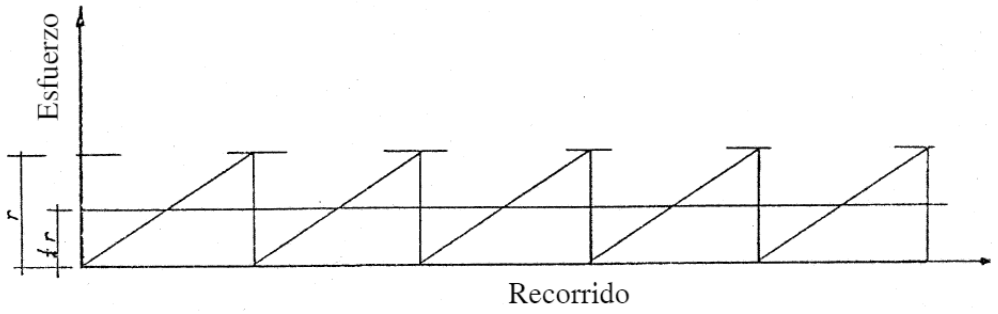


Fig. 12.24 Frenado por rotura de bozas.

12.13 Programación de las operaciones de lanzamiento. Madera mínima

Las operaciones que hay que realizar para llevar a cabo el lanzamiento deben estudiarse de forma cuidadosa y ser programadas minuciosamente. El cumplimiento del programa debe realizarse con todo rigor y, sólo así, la maniobra terminará felizmente sin incidentes.

Esta programación debe comprender con toda precisión y detalle los medios y el personal de que hay que disponer, así como los tiempos en que deben realizarse las distintas operaciones. La experiencia es muy útil en este caso y cada uno de los que intervienen en la preparación y ejecución del lanzamiento debe tener perfectamente definida su misión y responsabilidad, debiéndose prever el medio de verificar que cada acción se ha realizado a su debido tiempo. Todo ello debe practicarse además con facilidad y rapidez, sin posibilidad de que quede nada al azar. Estas operaciones pueden resumirse como sigue:

1. *Colocación de la zapata*. La zapata se prepara y se comprueba antes de su montaje. Si se ha utilizado en otros lanzamientos, antes de colocarla se recorren y se ajustan las distintas piezas que la forman, ensamblándolas a un lado de la grada para verificar su alineación y comprobar el conjunto completo que forma la totalidad de la zapata.

   Aproximadamente a un mes del lanzamiento, se procede al montaje de la zapata por partes. Para ello se sueltan las uniones entre las piezas. Se suele empezar por popa, desmontando los picaderos correspondientes al primer trozo de zapata, se coloca éste y debajo del mismo se deslizan las correderas correspondientes y los picaderos secos que se aprietan fuertemente, golpeando con arietes, para que el casco quede correctamente soportado en esta parte de la zapata.

Cuando el apoyo queda firme, se procede del mismo modo con los tramos siguientes: uniendo cada uno con el precedente ya colocado, hasta terminar por el de proa. Al quedar este último apretado, el buque descansa ya por completo sobre los picaderos secos a través de la zapata, con independencia de la contribución al apoyo que aporten almohadas y escoras, que no se habrán tocado por no interferir con la zapata.

2. *Presentación de las correderas*. Las correderas largas se han deslizado sin ensebar debajo de la zapata. Se sitúan en posición y se sujetan con un ligero apriete de las lengüetas sin acuñar. Esta simple presentación permite revisar su posición respecto a la zapata y preparar las piezas con que se han de apuntalar.

3. *Aplicación de la grasa*. Pocos días antes de la botadura se retiran las correderas para aplicarles la grasa de base, de la forma explicada, controlando su espesor con plantilla. La superficie se recubre después con la grasa deslizante o jaboncillo.

4. *Puesta en carga de la grasa*. Una vez ensebadas, las correderas se deslizan de nuevo debajo de la zapata, y se aprietan; primero con maza y a seguido, con ariete, procediendo a fijarlas longitudinalmente con la colocación de los puntales. La misma mañana del lanzamiento se procede al apriete de cuñas, atacando simultáneamente en un tramo de eslora que dependerá del tamaño del buque y del personal disponible. Las cuñas se golpean por parejas encontradas y los golpes de ambos lados han de ser simultáneos. Con auxilio de señales marcadas se comprueba el apriete.

   Unas horas antes del lanzamiento, después del apriete de correderas largas, se procede a extraer los picaderos secos, colocando en su lugar las correderas cortas y las cuñas que se aprietan. Previamente se habrán instalado y comprobado los dispositivos de *retenida* y los de *frenado*.

   Terminado el apriete de correderas cortas, gran parte del peso del buque estará ya gravitando sobre la superficie de deslizamiento, pero una parte del mismo queda todavía soportado por puntales y almohadones que se van descargando ahora progresivamente, cuidando la simultaneidad en ambos costados, para terminar minutos antes de la hora fijada para el lanzamiento, momento en que el buque queda totalmente apoyado sobre su tren de lanzamiento y la grasa sometida a su carga.

5. *Procedimiento con imadas y anguilas*. Con dos imadas, al no constituir éstas el apoyo central del buque, la preparación de la cuna se comienza, con mucha antelación, con la colocación o preparación de las imadas, anguilas y calzos de acoplamiento al casco. Las imadas, salvo las de antegrada, se afirman con puntales o de la forma que se haya previsto, en el caso de que no sean de hormigón empotradas al suelo.

   Se empieza también, con bastante antelación, a retirar gradualmente los picaderos de construcción, y a los pocos días antes de la botadura, queda el buque sólo sobre lo que se llama *madera mínima*, la cual se dispone en base a que los apoyos queden

bajo estructura reforzada del buque, a que la carga específica sobre la superficie de contacto con los picaderos sea < 20 kg/cm², y la carga sobre la placa de la grada, según permita su diseño. En ASTANO: < 3,5 kg/cm² sobre placa, y < 10 kg/cm² sobre las columnas. (Ver Fig. 12.24.).

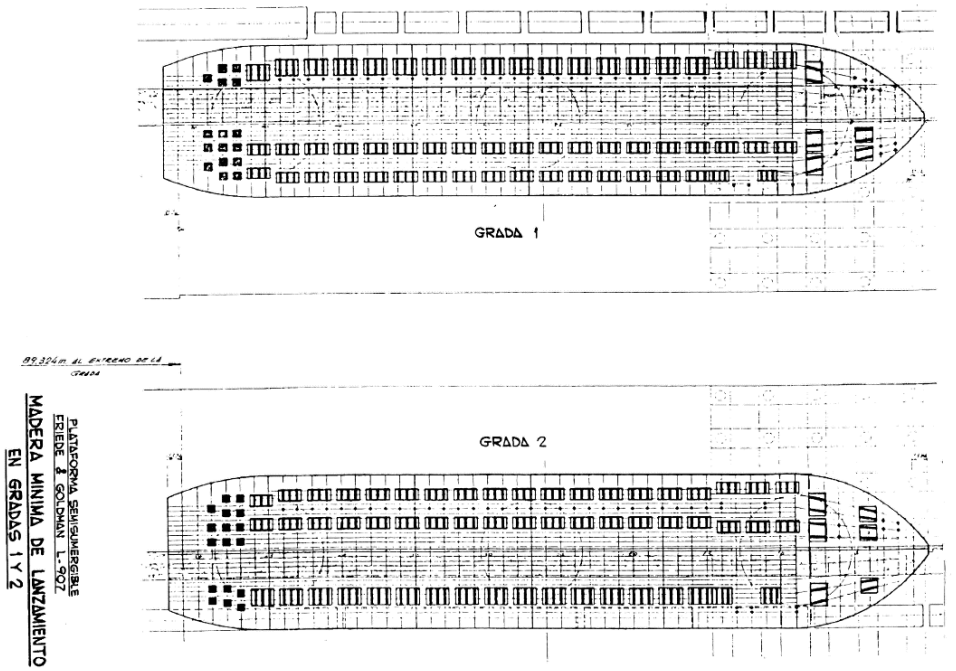


Fig. 12.25 Madera mínima botadura plataforma semisumergible de dos cascos construida sobre las dos gradas de ASTANO.

Con bastante antelación al lanzamiento, se extraen las anguilas, conservando la cuna en posición para proceder a la aplicación de la grasa base (*basecoat*) y por encima la grasa deslizante (*slipcoat*) o jaboncillo, como ya se ha explicado.

Al extraer las anguilas, la superficie de deslizamiento de las imadas queda al descubierto y sobre ella se aplica también la grasa base. En muchos casos conservará todavía la grasa de la botadura anterior y se procede a rellenar las rendijas, igualando la superficie. Sobre la capa de base se aplica entonces la grasa deslizante y se montan de nuevo las anguilas en su posición, se trincan entre sí y se presentan las cuñas de apriete. Horas antes de la botadura se comienza el apriete de cuñas de forma simultánea a ambos costados, del mismo modo que se hizo con la corredera, dando varios recorridos con golpes de ariete para tomar el peso con la cuna y hacer entrar la grasa progresivamente en carga. Efectuado el apriete, se van descargando grupos de picaderos distribuidos regularmente por el casco.

Del mismo modo se procede con grupos de almohadas laterales. Las últimas se suelen desmontar minutos antes del lanzamiento. En esta operación de desguazar picaderos y almohadas, que pueden estar fuertemente cargados, son de utilidad los dispositivos rápidos como las cajas de arena y las cuñas metálicas que saltan de un golpe de maza. La faena se programa rigurosamente por grupos cada cierto intervalo, para transferir progresivamente la carga de forma que el peso total sólo gravitará sobre la grasa durante unos instantes, desde que se termina el desguace de apoyos hasta que se efectúa el lanzamiento. Durante este lapso de tiempo el buque estará presto a escapar, impidiéndoselo tan sólo las *llaves de retenida*.

Con el fin de mantener las distancias entre anguilas y gualderas de las imadas, se habrán colocado unas cuñas o piezas de distancia que han de extraerse antes del lanzamiento. Para evitar que pueda olvidarse alguna, se lleva, un control sobre un tablero con marcas numeradas que ha de quedar lleno con todas las piezas. Teniendo en cuenta la peligrosidad que puede suponer cualquier obstrucción u objeto interpuesto en la cuna, deberá organizarse en estos momentos una inspección ocular meticulosa y sistemática, al término de la cual, habiendo sido satisfactoria, el jefe de botadura dará la señal convenida a la presidencia para que inicie la ceremonia que terminará con el accionamiento de las llaves.

6. *Después del lanzamiento*. Una vez el buque a flote, debe procederse a inspeccionarlo interiormente para verificar su estanqueidad y la ausencia de posibles deformaciones provocadas por presiones excesivas que no se han previsto, especialmente en los fondos donde se esperan las mayores presiones de las anguilas y en la zona de apoyo durante el giro. Se comprobarán los calados a proa, popa y centrales para verificar el posible quebranto a que está sometido el casco. Con buques de *estabilidad aquilatada,* convendrá realizar cuanto antes la experiencia *de estabilidad*.

12.14 Estudio del lanzamiento longitudinal en grada

A continuación, se estudian las magnitudes a tener en cuenta y los cálculos necesarios para poder realizar con éxito el lanzamiento o botadura longitudinal sobre gradas planas inclinadas. La construcción de buques y su botadura empleando este procedimiento ha sido tradicionalmente la forma más utilizada en la construcción naval y continúa siéndolo, tal como se ha ido mencionando en diferentes párrafos.

12.14.1 Magnitudes a tener en cuenta y comportamiento del buque en la botadura. Giro, arfada, contra arfada y saludo

El movimiento del buque se inicia al deslizar éste a lo largo de una superficie inclinada bajo la acción de las fuerzas que determinan el movimiento (Fig. 12.26), que son: 1) en primer lugar el peso del buque (P) en dirección vertical, en el que se ha de incluir el

peso de la cuna, aplicada la resultante *P* en el centro de gravedad del conjunto, punto que permanece fijo con respecto al propio buque que se está moviendo; 2) la reacción de las imadas R_I en dirección y sentido perpendiculares a su superficie (vamos a llamar *R* a su componente vertical); 3) la fuerza de rozamiento (*F*), opuesta al deslizamiento, de dirección y sentido paralelos a las imadas; aparte de otras fuerzas a las que se ha de prestar la debida atención, como es la del viento y las causadas por posibles corrientes de agua en la zona de la botadura.

Pero además hay que tener en cuenta que cuando el buque penetra en el agua empiezan a actuar otras dos fuerzas: 4) en sentido vertical el empuje (*V*) de la parte de carena sumergida, que va aumentando según el buque avanza (por simplificación le llamaremos *V*, realmente es $V = \Delta = \gamma v$, expresión en la que $V = \Delta$ es el desplazamiento de la parte sumergida, v el correspondiente volumen sumergido y γ el peso específico del agua). La fuerza *V* está aplicada en el centro de empuje o centro de carena, que es el centro de gravedad del volumen de la parte sumergida, que va cambiando de posición con respecto a la propia geometría del buque según el mismo avanza; y 5) en sentido prácticamente horizontal, la resistencia hidrodinámica al avance del buque en el agua.

Además, como se ha dicho, hay que considerar otras fuerzas a las que se ha de prestar la debida atención, como es la del viento y las causadas por posibles corrientes de agua en la zona de la botadura.

Es importante también tener en cuenta que la superficie de las anguilas apoyada en las imadas se va reduciendo a medida que éstas van saliendo del extremo K de las imadas.

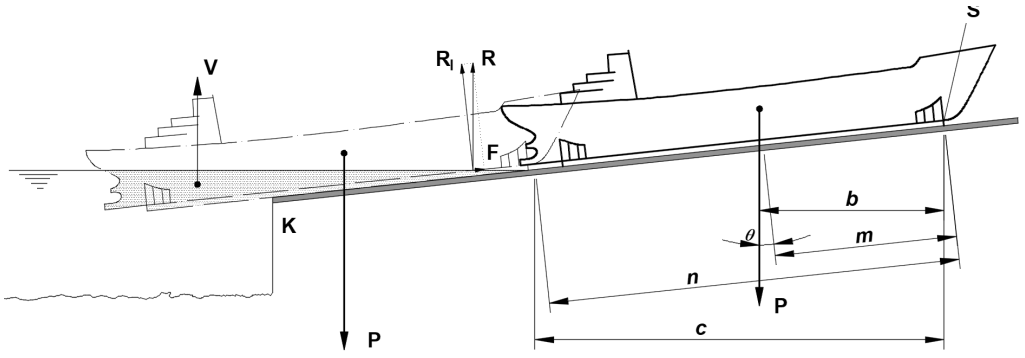


Fig. 12.26 Fuerzas sobre el buque durante su deslizamiento.

Mientras que el momento del peso con respecto al extremo de proa de las anguilas (S) permanece constante, el momento del empuje con respecto a dicho punto va aumentando, con lo que si llega a igualar al momento del peso, se producirá el inicio del levantamiento de la popa del barco o despegue de las imadas mediante un giro

alrededor de dicho extremo de proa de las anguilas (S), que es lo que comúnmente se denomina *giro del buque*.

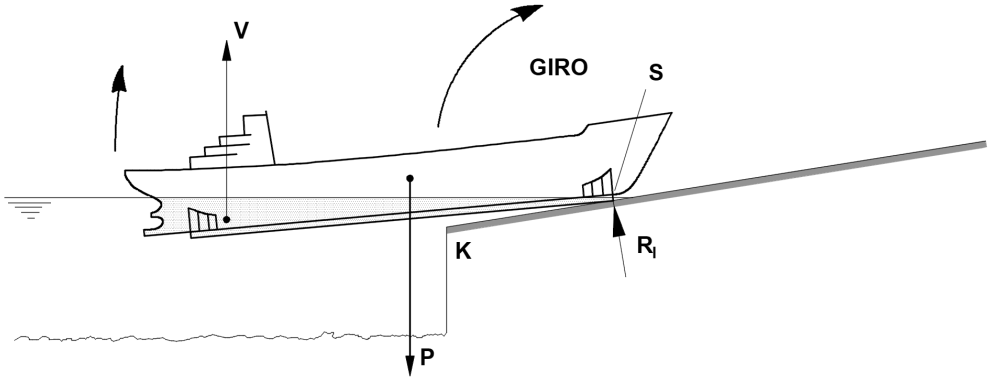


Fig. 12.27 Fuerzas sobre el buque que provocan su *giro.*

A partir de ese instante, lo normal es que el empuje V y también su momento MVS con respecto al punto S seguirán aumentando, con lo cual proseguirá el giro mientras el buque siga apoyado en la arista de proa de las anguilas, donde se concentra la reacción de las imadas, de la que su componente vertical es $R = P - V$. Esta reacción existirá durante el recorrido del buque en el que el valor del empuje (V) no haya llegado aún a igualar al del peso (P).

El valor de la reacción (R) concentrada puede producir esfuerzos considerables en la parte de proa de la cuna y en la estructura del buque que apoya sobre ella, en la zona de los finos de proa, en los que se disponen unos castilletes para apoyo especialmente reforzados denominados *santos de proa.* A su vez, el esfuerzo se está aplicando sobre una zona determinada de la grada, cuya subestructura debe ser suficientemente resistente para poder soportarlo.

Si antes de llegar a la situación que se ha descrito, la resultante del peso (P) hubiera traspasado el extremo de popa de las imadas (K) originando un momento con respecto a este punto que sea mayor que el momento del empuje con respecto a dicho punto, se producirá la caída de la popa, apoyándose el casco en dicho punto K con la consiguiente reacción y concentración de esfuerzo en dicha arista, y la proa se levantaría, fenómeno que se denomina *arfada*, que se prolonga hasta que, con la progresiva inmersión de la popa, vaya aumentando el empuje y su momento con respecto al punto K pudiendo superar al del peso, con lo que la proa caería sobre el extremo de la antegrada, fenómeno denominado *contra arfada*, con la cuna probablemente deshecha en el despegue producido antes, poniéndose en peligro la botadura con riesgo de fuertes averías en la estructura del casco.

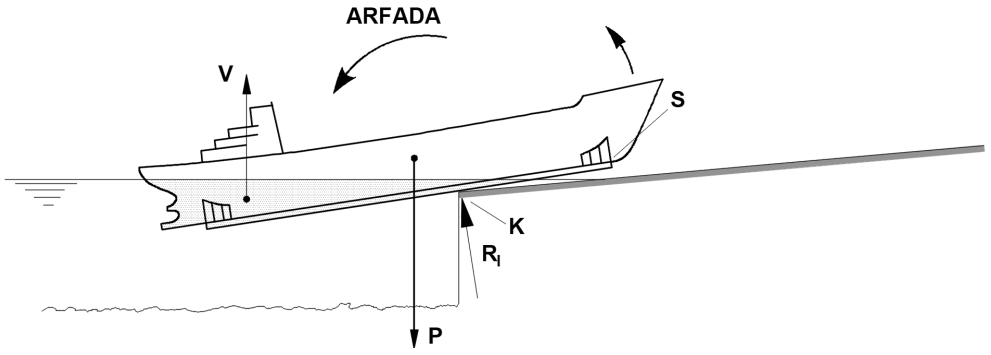


Fig. 12.28 Descripción gráfica del caso de *arfada.*

Si el lanzamiento transcurre sin que se produzca arfada, con un giro más o menos acentuado, puede suceder que cuando el extremo de proa de las anguilas (*S*) llegue al extremo inferior de las imadas (K), el valor del empuje (*V*) aún sea menor que el del peso (*P*) con lo que, al faltar el apoyo y la consecuente reacción de la imada $R = P - V$, la proa del buque caerá según se va deslizando, hasta que el empuje llegue a igualar al peso. Este fenómeno es conocido, cuando ocurre en las botaduras, como *saludo*. Debido a la energía cinética que se acumula en la citada caída de la proa, ésta se sumerge más que lo que exige la condición de equilibrio estático, por lo cual cuando éste se alcanza, suele observarse de forma bastante ostensible como la proa se levanta un poco, tras el saludo.

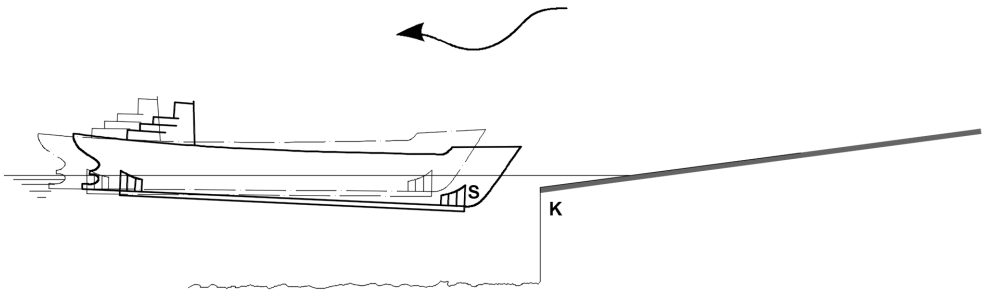


Fig. 12.29 Descripción gráfica del caso de saludo.

Si la reacción $R = P - V$ se anula antes de que el extremo de proa de las anguilas (S) alcance el extremo inferior de las imadas (K), debido a que el empuje (*V*) llegue a igualar al peso (*P*), el buque se despega de las imadas, quedando flotando libremente y con un asiento tal que coincidan en la misma vertical los punto de aplicación del peso (*P*) y del empuje (*V*).

12.14.2 Cálculos a realizar

Visto que existen diferentes situaciones que se pueden presentar, que deben conocerse de antemano con objeto de poder realizar el lanzamiento de forma satisfactoria y, en su caso, de poder modificar previamente lo que sea necesario, seguiremos el procedimiento que se indica a continuación:

a) Cálculo de las fuerzas verticales que se desarrollan a lo largo del deslizamiento con objeto de determinar las situaciones que se puedan presentar tales como giro, arfada y saludo y cálculo de los valores que se van a alcanzar en las reacciones en los apoyos, la distribución de presiones sobre la cuna, sobre el fondo del buque, sobre los santos en el giro y sobre las gradas.

b) Análisis de los movimientos del buque para asegurarnos de que durante el lanzamiento no va a tocar el fondo ni otros objetos sólidos presentes.

c) Estudio dinámico del lanzamiento con el objeto de poder conocer las condiciones de arranque y deslizamiento, las velocidades que tomará el buque y definir las medidas de retenida y frenado que han de establecerse para conseguir su parada después del lanzamiento en el espacio del que se dispone.

Se empezará por el análisis de las fuerzas verticales y de los momentos que intervienen durante el deslizamiento del buque con la cuna apoyada y durante el giro, si lo hay, hasta que flota libremente. Los datos que se han de conocer son:

1) *Estado de pesos*: comprende la totalidad de los pesos que van en el buque que se va a botar con la posición exacta de su centro de gravedad que se determina en función de los valores de los pesos y de las posiciones de los c. de g. de los componentes, los cuales consisten en:

   — *El peso del buque y su c. de g.* en la situación en la que se va a encontrar en el momento de la botadura incluyendo estructura, polines, máquinas, equipos y servicios que se hayan montado. El estado de pesos del buque depende del grado de terminación con que se vaya a botar. En general, se tiende a hacerlo con un estado muy avanzado de armamento, con la maquina auxiliar montada en gran parte y gran parte del equipo de propulsión, pero frecuentemente hay elementos que aún no se han recibido para la fecha de la botadura y, en ese caso, posiblemente nos veremos obligados a realizarla en la fecha programada sin incluir estos últimos. En todo caso, en las previsiones que se hubieran hecho para el armamento del buque, para la incorporación de los mayores pesos de equipo y maquinaria, incluidos módulos, deberían haberse tenido en cuenta las capacidades de elevación en grada o en dique, así como en los muelles de armamento, así como las zonas abiertas que hubieran de existir en el casco del buque, normalmente en las cubiertas.

— *Pesos extraños al buque pero que se encontrarán en él como son*: andamios, herramientas, equipos de soldar, puntales, personal que se encontrará a bordo, etc.

— *Peso de los lastres* con que se haya decidido llenar los tanques y si fuera el caso, lastres solidos que se haya decidido incluir, con las posiciones de sus c. de g. Si fuese necesario, con estos lastres distribuidos adecuadamente, han de evitarse situaciones próximas a la arfada o al saludo

— *Peso completo de la cuna de lanzamiento con la posición de su c. de g*. Debemos conocer a priori, una vez realizados los cálculos y analizados los resultados, si la botadura se puede efectuar sin peligro o si ha de modificarse la cantidad de pesos a incluir y la distribución de los lastres que fueran necesarios, llegando a un nuevo estado de pesos, para el que se han de rehacer los cálculos hasta llegar a unos resultados previstos satisfactorios.

Por supuesto que para el análisis de resultados, a fin determinar el estado aceptable de pesos en el momento de la botadura, hay que tener en cuenta los factores limitativos como son: cargas que pueden soportar las gradas, valores máximos admisibles de la reacción en el giro y presión que puede aceptablemente soportar la grasa deslizante entre imadas y anguilas.

2) *Geometría de la superficie de lanzamiento*: constituida por las imadas sobre las que se va a realizar el deslizamiento. Lo normal es que sea un plano inclinado cuya pendiente conviene que sea lo más reducida posible a fin de evitar que la proa del buque quede a una altura excesiva, pero dicha pendiente tiene que ser mayor que un valor mínimo para poder superar el rozamiento en el arranque y que la botadura pueda realizarse. También ha de tenerse en cuenta que, con pendientes reducidas, el buque toma menor velocidad y ha llegado a ocurrir que al fundirse la grasa por el calor del rozamiento, ésta fue escupida lateralmente, llegando a rozar madera contra madera, elevándose el coeficiente de rozamiento hasta llegar a parar el recorrido del buque antes de finalizar la operación ocasionando graves problemas, más graves aún, posiblemente, al descender la marea. Por otra parte, hay que tener en cuenta que una pendiente muy pequeña requiere una mayor longitud de la antegrada en que se apoya el buque antes de alcanzar la necesaria flotabilidad para que no se produzca arfada.

A fin de conseguir mayor pendiente en la antegrada y poder reducir así su longitud sin tener que elevar excesivamente la proa de la grada, se ha recurrido a gradas e imadas con la superficie superior cilíndrica de gran radio de curvatura, entre 12 y 22 km. Se tomarán las medidas para que la forma cilíndrica permita que se pueda realizar el acoplamiento entre imadas y anguilas en todo el recorrido.

Con esta geometría de las gradas e imadas, la pendiente va aumentando hasta el final de la antegrada y además la quilla del buque en los santos de proa quedará a

mayor altura sobre el plano de deslizamiento que con imadas planas. A su vez, la proa caería desde mayor altura al rebasar el apoyo de los santos de proa el extremo de popa las imadas, si todavía apoyaran las anguilas en las mismas, con lo cual el saludo sería más acentuado.

Asimismo, ocurre que al alcanzar una mayor flotabilidad, debido al mayor calado con imadas curvas, se reduce la reacción del extremo de popa de las imadas sobre el casco en comparación con lo que ocurriría con imadas planas.

3) *Situación de la línea de quilla*: la posición de la quilla con respecto a la grada viene condicionada por la distancia para poder trabajar cómodamente bajo el fondo del buque, que no debería ser menor de 1,5 m, y hay que tener en cuenta que cuanto más alto esté, mayor es la longitud por la que ha de deslizar para llegar al mismo desplazamiento (V) y por tanto se necesitará mayor longitud de antegrada. Partiendo de una altura media, hay que definir la pendiente del fondo del buque, que lo normal es que se coincida o se aproxime con la de la grada.

   La altura de la superficie de lanzamiento sobre el piso de la antegrada en la zona donde suele ocurrir el giro es pequeña, limitándose en casos a la altura de las imadas. Al producirse el giro, el extremo de los santos normalmente queda una cierta distancia a popa de la perpendicular de proa, por lo que el pie de la roda y, particularmente la parte inferior del bulbo en algunos buques, se aproximaría al suelo, por lo que debe comprobarse que durante el giro pasa con un cierto margen a distancia de éste.

   Si se elevara la proa, se reduce su calado en el momento que los santos abandonan las imadas, con lo que se aumenta la profundidad del saludo si lo hubiera, arriesgando que el extremo de proa pueda golpear el extremo de la antegrada entre las imadas, antes de salir.

4) *Situación del nivel del agua*: determina la inmersión del casco en cada punto de su recorrido mientras está todavía apoyado, pero al depender de las mareas, la situación del nivel varía con el tiempo, por lo que en los cálculos de lanzamiento hay que contar con una altura determinada que se marca en la grada de forma claramente visible, condicionando que la botadura se deba hacer cuando el nivel del agua sobrepase la señal marcada.

   La altura de marea varía de forma sinusoidal con el tiempo, con dos pleamares y dos bajamares por día. Además, la altura de agua en pleamar también varía según la fecha, siendo esta variación muy diferente según el sitio, considerablemente mayor en aguas oceánicas en comparación con las de mares casi cerrados como el Mediterráneo, por ejemplo, y alcanzándose sus valores máximos en las llamadas mareas vivas o equinocciales. Las horas de las pleamares y los coeficientes que definen los valores de la altura de las mareas figuran en los almanaques de mareas

publicados en España por el Instituto Hidrográfico de la Marina. De acuerdo con esta información, la botadura ha de ser programada para un día y hora determinados.

También hay que tener en cuenta que, en dársenas y rías, la marea influye sobre las corrientes que, si se cruzan con la dirección del lanzamiento, pueden forzar el casco a salirse del tren de lanzamiento antes de finalizar la botadura y dificultar la maniobra de atraque que sigue. Dichas corrientes suelen minimizarse en el repunte de las mareas que es el momento más adecuado, teniendo en cuenta además que se dispone del máximo nivel de agua. Hay otros factores como el viento que pueden alterar la precisión de las mareas tanto en hora como en altura máxima. Y es muy importante tener en cuenta el aumento de altura del nivel del mar originado por la bajada de presión atmosférica como consecuencia de un temporal.

Dada la complejidad de los trabajos preparatorios de la botadura, puede ser que acaben con algún retraso, por lo que conviene fijar la hora y prever que todo esté listo con algún margen de antelación a la pleamar, que puede ser de media a una hora, a fin de tener la opción de resolver algún imprevisto que pudiera surgir.

Las botaduras se programan normalmente a largo plazo. Así, cuando el margen de altura de agua del que se disponga para efectuar el lanzamiento con seguridad es reducido, hay que estudiar cuidadosamente los ciclos de las mareas y aprovechar preferiblemente las fechas de comienzo de un ciclo de mareas vivas, de forma que cualquier retraso imprevisto no obligue a una larga espera para poder tener la necesaria altura.

5) *Calados del buque a flote:* hay que determinar con toda precisión la flotación con que el buque va a quedar después de su botadura. Probablemente tendrá mucho asiento y habrá una diferencia de calados apreciable. Habrá que ajustar el cálculo por aproximaciones sucesivas.

   En función del peso y de la posición del c. de g. obtenemos el calado medio, la posición del centro de carena con la flotación isocarena de iguales calados y el trimado correspondiente con el que se obtendría una flotación inclinada próxima a la que buscamos.

   Para una mayor exactitud, se obtiene el desplazamiento correspondiente a la flotación inclinada obtenida, utilizando las curvas de Bonjean y se rectifica la flotación paralelamente hasta lograr el desplazamiento exacto. De modo análogo, se determina la posición del c. de c. y se rectifican los calados a proa y a popa hasta lograr el equilibrio perfecto de peso y desplazamiento.

   Para esta flotación se puede determinar el calado que tendrá, con el buque a flote, la parte inferior del extremo de proa de las anguilas. Si su valor es inferior a la profundidad de agua que existe en el extremo de proa de la antegrada, al llegar

la cuna al final de su recorrido, el buque ya estará flotando. Pero si es superior, la proa caerá al abandonar su apoyo, produciéndose el *saludo*. El valor estático de la caída será la diferencia entre el calado calculado y la profundidad de agua en el extremo de las imadas. La caída total puede estimarse, por efecto dinámico, como el doble de la caída estática calculada, y una de las condiciones que ha de estudiarse cuidadosamente es el margen de distancia del que se dispone después de la caída, tanto debajo de la quilla como en los costados de cuna y de pantoque, siendo conveniente tener 30 cm por lo menos.

Definidos los calados del buque a flote, debe calcularse su altura metacéntrica para poder determinar las condiciones de estabilidad.

6) *Determinación del empuje o desplazamiento en función del recorrido del buque*: Conocemos la situación de las imadas, supongamos en este caso que son planas, con respecto a la superficie del mar o nivel de agua, su ángulo de inclinación con respecto a la horizontal θ, la altura del talón del codaste del buque sobre el nivel del mar Q y la pendiente de la quilla del buque φ. En función del recorrido en horizontal del buque x, tomando como tal el recorrido del talón del codaste, podemos determinar el calado en la perpendicular de popa del buque, tal como sigue. Ver **Fig. 12.30**.

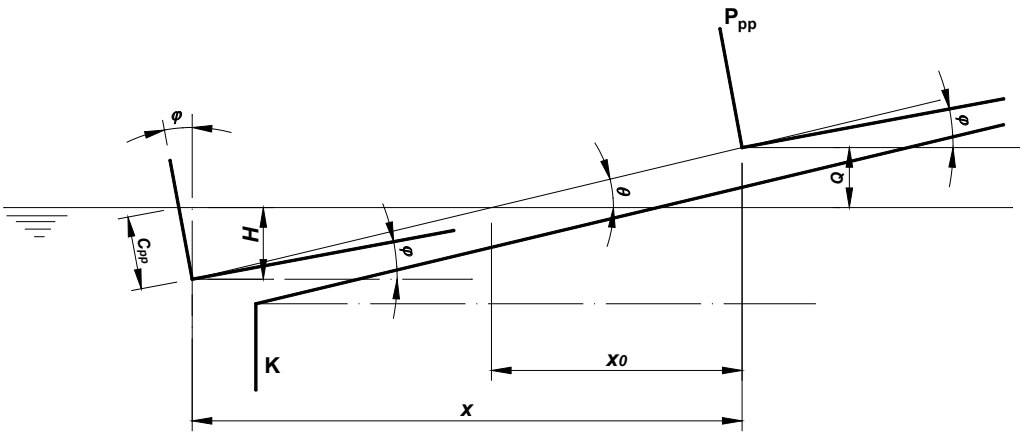


Fig. 12.30 Representación recorrido (x) del buque.

$$C_{pp} = (x\ tag\ \theta - Q) / cos\ \varphi$$

Si llamamos $tg\ \theta = a \Rightarrow C_{pp} = (a\ x - Q) / cos\ \varphi$

Siendo el recorrido del talón hasta que toca el agua

x_0: $Q = a\ x_0, \Rightarrow C_{pp} = a\ (x - x_0) / cos\ \varphi$

Si φ y θ son iguales, es decir la quilla del buque es paralela a las imadas:

$cos\ \varphi = cos\ \theta = 1/(1 + a^2)^{1/2} \quad \Rightarrow \quad C_{pp} = a\ (x - x_0)\ (1 + a^2)^{1/2}$

Al ser $(1 + a^2)^{1/2} \approx 1$, suele ser suficiente tomar $C_{pp} = a\ (x - x_0)$

Si llamamos *L* a la eslora, el calado a proa $C_{pr} = C_{pp} - L\ tg\ \phi =$

$= a\ (x - x_0)\ (1 + a^2)^{1/2} - L\ a = a\ ((x - x_0)\ (1 + a^2)^{½} - L)$

Tomando $(1 + a^2)^{1/2} \approx 1$

$$\Rightarrow \quad Cp = a\ ((x - x_0) - L)$$

Valor que resulta negativo mientras $x - x_0 < L$

Podemos también determinar el calado en cada cuaderna del buque en función de su posición longitudinal. Entrando con esos valores en las curvas de Bonjean, se puede obtener el volumen de la parte sumergida que, multiplicado por el peso específico del agua en el lugar correspondiente, nos dará el desplazamiento para cada punto del recorrido x. También obtendremos la abscisa del centro de carena (c.d.c.) con respecto a la perpendicular de popa para cada punto de dicho recorrido x.

Hay que tener en cuenta además que al desplazamiento para cada situación de recorrido del buque hay que sumarle el desplazamiento correspondiente a la parte sumergida de la cuna, que estaría aplicado en el centro de empuje de esa parte aunque, por aproximación, suele situarse en la misma vertical que la del centro de carena de la parte sumergida del buque. Ha de tenerse en cuenta además que la parte de las anguilas que, hasta que se liberan de las imadas, están apoyadas totalmente en la grasa, no producen empuje.

12.14.3 Disposición de los cálculos

El procedimiento utilizado, sencillo y fácilmente manejable para poder obtener conclusiones rápidas, conocido tradicionalmente como "método inglés", consiste en dibujar un gráfico, ver **Fig. 12.31**, en el que en las abscisas se representan los recorridos "*x*" del buque en sentido de derecha a izquierda, siguiendo lo indicado en la figura anterior para obtener los calados del buque en función de dicho recorrido y, como ordenadas se representan los valores que van tomando las magnitudes que a continuación se citan, para cada una de las cuales hay que utilizar las unidades y escala que correspondan a esa magnitud.

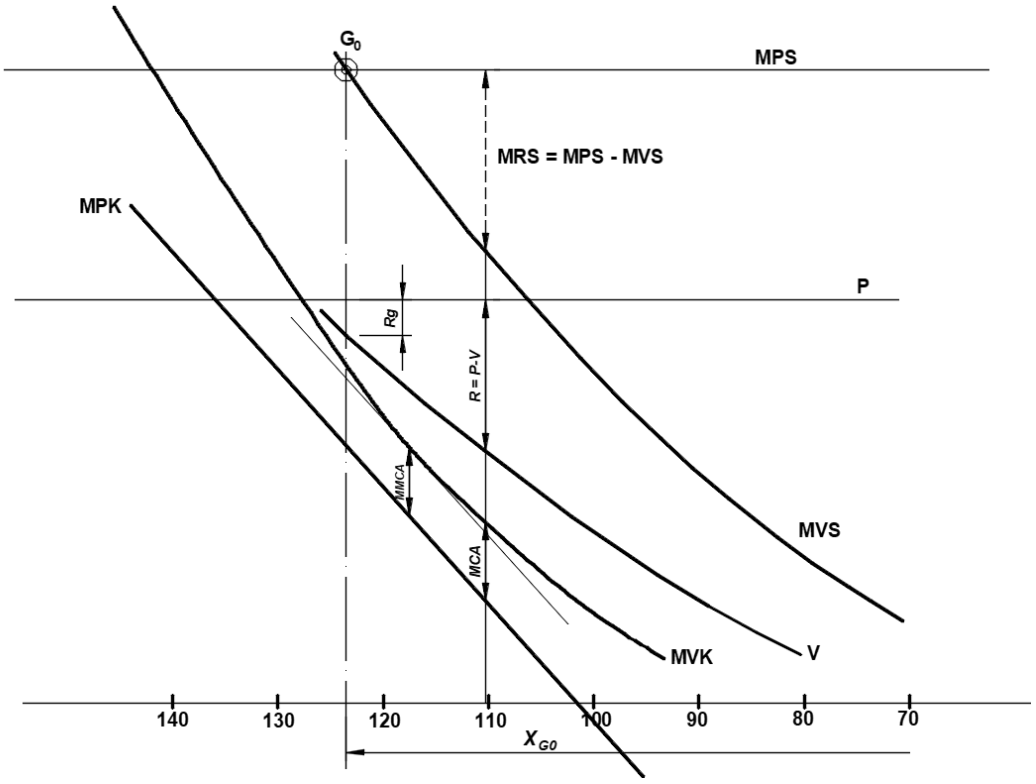


Fig. 12.31 Representación de fuerzas y momentos en función del recorrido (x) del buque.

Magnitudes a representar:

— P = Peso del buque o artefacto que se bota: vimos cómo se determina. Su valor es constante y por lo tanto su representación es una línea recta paralela al eje de abscisas y las unidades Tm.

— V = Desplazamiento de la parte sumergida. Vimos cómo se calculaba en función del recorrido horizontal "x" del buque. Unidades, también Tm, igual que el peso P. El valor de la ordenada 0 del desplazamiento corresponderá al punto del recorrido en que el talón del codaste toca en el agua $(x = x_0)$.

— MPS = Momento de peso P con respecto al extremo de proa de las anguilas.

— $MPS = b\ P$, siendo el brazo de palanca $b = (m + h_G\ tg\ \theta)\ cos\ \theta$, en la que m es la distancia desde del centro de gravedad c.d.g., a lo largo de la recta paralela a la quilla, al extremo de proa de la anguila y h_G la altura del c. de g. sobre la superficie de deslizamiento. En general es suficiente aproximación tomar $b = m$. El valor de dicho momento permanece constante y su representación, lo mismo que la del peso, es una recta paralela al eje de abscisas, siendo en esta caso las unidades m·Tm.

— *MVS* = Momento del desplazamiento con respecto al extremo de proa de las anguilas. Para cada uno de los puntos x del recorrido del buque para los que se obtuvo el desplazamiento, se obtiene también la abscisa del c.d.c. respecto a la perpendicular de popa, Pp, como vimos. En rigor, el brazo de palanca sería $(n - x_c + h_c\ tg\theta)\ cos\ \theta$, siendo n la distancia entre la Pp y el extremo de proa de las anguilas y h_C la altura del c.d.c. sobre la quilla, pero en general basta con tomarlo igual a $c - x_C$, siendo $c = n\ cos\theta$.

La curva que resulta, con las mismas unidades m·Tm y escala que el MPS, corta al eje de abscisas, ordenada 0, en el punto del recorrido $x = x_0$ para el que el talón del codaste se introduce o toca en el agua.

— *MPK* = Momento del peso respecto al punto K, extremo de popa de las imadas. Este punto, fijo en la grada, es el punto final de apoyo de la cuna. Al ser el peso constante, la línea que representa el momento del peso respecto a este punto es una recta inclinada cuya ordenada 0 corresponde al valor del recorrido "x" para el cual el c.d.g. pasa por justo por encima del punto K, es decir, un valor de "x" igual a la distancia en horizontal desde la vertical que pasa inicialmente por el c.d.g. hasta el punto K. La escala será igualmente en m·Tm.

— *MVK* = Momento del desplazamiento, V, también con respecto al punto K. Ya habíamos calculado los sucesivos valores del desplazamiento V en función del recorrido x, así como las distancias x_C de los correspondientes c.d.c. a la perpendicular de Pp medidos sobre una recta paralela a la quilla. Ahora hay que referir estas distancias al punto K para obtener el brazo correspondiente de V.

Siendo x_P la abscisa de la posición inicial de la Pp y x_K la abscisa inicial del talón del codaste con respecto al punto K, el valor del brazo de par del c.d.c., es decir de MVK, con respecto al punto K es

$$Brazo\ de\ par\ = x_P + x_C cos\theta - h_C\ tg\theta - x$$

Expresión en la que hay que ser cuidadoso con los signos de las diferentes abscisas según la posición relativa del talón del codaste y de la Pp con respecto al punto K. En la expresión anterior se ha supuesto el talón del codaste y la Pp a proa de K y los recorridos x, medidos sobre la abscisa, hacia la izquierda.

En general, se podría aceptar que $Brazo\ de\ par = x_P + x_C - x$

Las unidades de MVK son igualmente m·Tm.

Una vez dibujados los gráficos de las magnitudes indicadas en función del recorrido del buque en abscisas, se puede prever el comportamiento del buque en la primera fase del lanzamiento mientras desliza con la cuna apoyada en las imadas, según se ha ido relatando en el apartado "12.14.1. Magnitudes a tener en cuenta y comportamiento del buque en la botadura. Giro, arfada, contra arfada y saludo".

12.14.4 Reacción de las imadas

Es la diferencia entre el peso del buque y el empuje R = P – V. Se obtiene directamente en el gráfico para cada punto del recorrido x del buque por diferencia de las ordenadas correspondientes. Esta diferencia R es la resultante de la distribución de presiones que se ejercen en el apoyo entre las anguilas y las imadas entre las superficies que estén en contacto en cada momento del recorrido. El punto de aplicación de dicha resultante puede determinarse hallando su distancia al punto S o al punto K, ya que tenemos un sistema en equilibrio, por lo que:

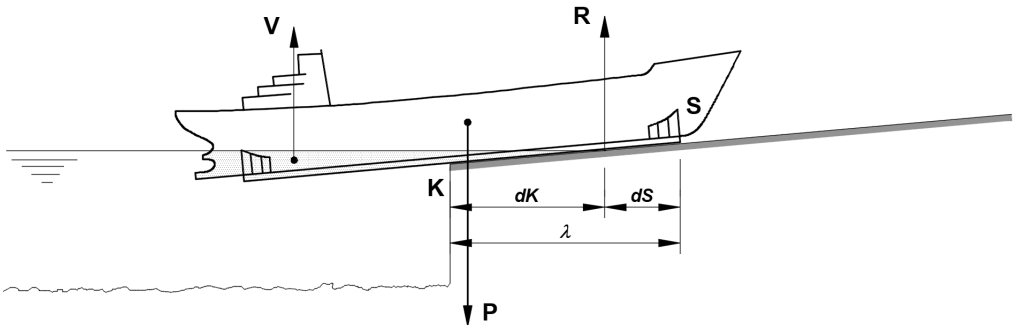


Fig. 12.32 Punto de aplicación de R.

Distancia de la resultante al punto S = $d_S = MRS / R = (MPS - MVS) / R$ y

Distancia de la resultante al punto $K = d_K = MCA / R = (MPK - MVK) / R$

Los valores de *MRS* y de *MCA* se pueden obtener directamente en el gráfico por diferencia de las ordenadas de los momentos correspondientes al peso y al empuje, ya sea con respecto al punto S o al punto K.

Es muy importante el conocer los valores que va tomando sucesivamente la reacción *R* y la situación de sus puntos de aplicación para poder determinar las presiones que se van a desarrollar sobre el fondo del buque y sobre la antegrada. Sus valores pueden resultar muy elevados, de forma que si no se prevé el reforzado necesario, pueden ocurrir daños considerables en la estructura del fondo del buque.

12.14.5 Arfada y momento de contra arfada

Según lo indicado en antes en el citado apartado 12.14.1, la condición para que se produzca arfada es que en un punto del recorrido *x*, con la cuna apoyada en la imada, se lleguen a cortar las líneas que representan a *MVK* y *MPK*, ya que en ese punto se igualarían los momentos de *P* y de *V* con respecto a K y, siguiendo el recorrido *x*,

MPK será mayor que *MVK*, ocasionando la caída de la popa con elevación de la parte de proa del buque.

La protección contra esta condición la da la separación entre estas dos líneas a lo largo del recorrido x del buque y la correspondiente diferencia en cada punto:

$$MCA = MVK - MPK = \text{ Momento de contra arfada}$$

Trazando una recta tangente a la curva *MVK* paralela a la recta que representa a *MPK*, obtendremos el valor mínimo del momento de contra arfada, *MMCA*, que es el valor de *MCA* justo en el punto de tangencia. El valor de *MMCA* ha de ser claramente positivo con amplio margen para cubrirnos de las aproximaciones e inexactitudes con que hayamos realizado el cálculo.

Si se cortan las dos líneas citadas o no hay un valor de *MCCA* lo suficiente amplio, hay que estudiar las condiciones necesarias para aumentarlo y replantear el lanzamiento modificando las que convengan. Pueden ser de dos tipos: las que tiendan a disminuir el momento de los pesos y las que tiendan a aumentar el del desplazamiento en el punto crítico. Entre las primeras se puede considerar la reducción de pesos a popa, el aumento de peso a proa o el traslado de pesos de popa hacia proa. Lo más asequible es jugar con lastres de agua. Si se hubiera tenido en cuenta con anterioridad, para aumentar el momento del empuje, se podría dar una mayor pendiente a las imadas o aumentar la profundidad de agua en el punto K. La primera alternativa tiene el inconveniente de aumentar de forma notable la altura de las gradas a proa. También se podría recurrir a imadas curvas. La alternativa de bajar el punto K, manteniendo la pendiente de la grada, obliga a alargar la antegrada, lo cual es costoso. Pudiera en algún caso existir otra alternativa que es programar, si es posible, la botadura para otra fecha si existiera una pleamar con mayor altura de marea.

12.14.6 Giro y reacción en los santos durante el mismo

Que se produzca giro y la posición en que ocurre vienen determinadas por el corte de las líneas que representan a *MPS* y *MVS*. Sea dicha posición el punto G_o en la zona de la antegrada. Llamemos x_{Go} al recorrido en horizontal del buque que corresponde al punto en el que se inicia el giro. El valor de la reacción en ese instante en ese punto se obtiene por la diferencia del valor de *P* y de *V* en dicho punto ($R_{(g)} = P - V$ para $x = x_{Go}$). A partir de ahí, si siguiera el recorrido del buque paralelo a la imada, *MVS* sería mayor que *MPS* por lo que, para que haya equilibrio se producirá la elevación de la popa y el buque se apoyará sólo sobre los santos de proa en los que se concentra la totalidad de la reacción $R = P - V$. A partir del punto G_o, debido al despegue del buque y variar la pendiente de la quilla, los valores representados hasta ahora de *V* y de *MVS* dejan de ser válidos.

Después del punto G_o, continuando el recorrido, el empuje V seguirá aumentando y la reacción R disminuyendo, pero no tanto como en la línea correspondiente a V antes trazada, ya que la popa se va levantando y el asiento del buque va disminuyendo mientras prosigue el giro. Mientras, la proa sigue descendiendo y deslizando a lo largo de su apoyo en la imada y simultáneamente el buque gira sobre ese punto. Si en el tramo que queda hasta el punto K del extremo de la antegrada se alcanza en algún punto una profundidad de agua mayor que el calado que tendrá el buque ya flotando libremente, la reacción en el punto de apoyo de proa se anula, al quedar el peso sustentado y en equilibrio con el empuje y, a partir de ese punto el buque ya queda flotando libremente. De no ocurrir esto, el extremo de proa de las anguilas llegará al final K del recorrido existiendo aún una reacción en el mismo y, al perder el soporte, el buque caerá de proa produciéndose el *saludo*.

Estudiaremos la fase comprendida entre el inicio del giro G_o y el momento en que finaliza, pasando el buque a flotar libremente, mediante el cálculo de la posición de equilibrio del buque varado por la proa (problema típico de estática del buque) en el punto que coincide con el extremo de proa de las anguilas S, cuyo calado podemos calcular en función de x, punto que va descendiendo y trasladándose horizontalmente según sigue el recorrido x. Para $x = x_{Go}$, $MVS = MPS$, $R = P - V$ en ese punto, el ángulo de la quilla del buque con la horizontal es el mismo que el de la grada θ, puesto que aún está apoyado a lo largo de ella. Cuando flote libremente $V = P$, el ángulo de asiento de equilibrio será $\gamma \leq \theta$; γ puede ser calculado para la condición en la que el buque flote en equilibrio en la condición de peso en la que se encuentre.

Para cada valor de $x_i > x_{Go}$, tenemos un calado a proa, función de x_i, y tomando ángulos de asiento intermedios $\beta_{ij} < \theta$ para ese calado a proa, tendremos en cada caso un calado a popa, así como los calados intermedios en las diferentes cuadernas, que podemos calcular, con lo que, mediante las curvas de Bonjean, podremos determinar MVS_{ij} en cada caso así como V_{ij}. Pues bien, cuando, llamémosle $MVS_{iE} = MPS$, tendremos el ángulo de asiento de equilibrio, llamémosle $\beta_{iE} < \theta$, correspondiente al equilibrio estático del buque para cada $x = x_i > x_{Go}$, así como V_{iE}. En ese punto tenemos $R_{iE} = P - V_{iE}$.

El buque seguirá aun deslizando y girando apoyado en S, hasta un valor de $x_i = x_F \leq x_K$ si no hay saludo y un ángulo de asiento β_{FJ} en el que $MVS_{FJ} = MPS$ y $V_{FJ} = P$. En ese punto x_F el buque se desprende flotando ya libremente. En ese momento el ángulo de asiento será $\beta_{FE} = \gamma < \theta$ (llamemos a FE flotación de equilibrio). En el caso en que $x_F \geq x_K$ y si el valor de V no llegara a igualar el de P en ningún momento durante el recorrido desde x_{Go} hasta x_K, seguiremos teniendo una reacción en los santos de proa R = P – V y se producirá el saludo en K.

No consideramos el caso en que pudiera ocurrir arfada, pues ya en principio hemos tratado de evitarla.

Con el calado a popa en cada caso, podemos determinar las diferentes posiciones del talón del codaste para comprobar sobre el perfil del fondo que dicho talón no toca en él, en el caso en que hubiera restricciones de calado por disminución del mismo en la dirección en la que se efectúa el lanzamiento.

Se debe comprobar también que hay espacio suficiente debajo de la proa para que ésta no toque en la antegrada, entre ambas imadas, durante el giro.

El valor de la reacción en los santos de proa en cada punto del recorrido entre el instante del giro $x = x_{Go}$ puede ser determinada ya que $R = P - V$, que lógicamente será menor que para $x = x_{Go}$.

Igual que vimos para evitar la arfada, si al estudiar el giro y calcular los esfuerzos en los santos, como se verá más adelante, se hallaran valores excesivos, se deben reducir estos por medio de la variación de pesos y de lastres. Incluso, con una adecuada disposición del lastre se ha podido realizar la botadura con éxito de buques por la proa, pese al gran giro que se produciría debido al asiento por popa que normalmente tienen los buques en rosca.

12.14.7 Análisis del saludo

Al abandonar los santos el punto K, si la profundidad del agua en ese punto es h_K y el calado calculado de equilibrio del buque a flote en ese punto es c_S, si $c_S > h_K$, la caída estática de la proa en el saludo es $c_e = c_S - h_K$.

Como se indicó, por efecto dinámico, se estima que la caída real sea $c_d = 2\,(c_S - h_K)$.

Esta es la distancia que debe haber en vertical, con un margen razonable de seguridad, entre la arista K de la antegrada y la parte de proa del buque a proa del patín (ojo con el bulbo si lo hay) para asegurar el abandono de las imadas sin colisión, debido a la caída de la proa.

Por lo tanto, la profundidad del fondo h_f para evitar que el buque toque en él, ha de ser en la inmediación del punto K: $h_f > h_K + 2\,(c_S - h_K)$, o bien:

$$h_f > 2\,c_S - h_K$$

Aconsejándose dejar un margen de al menos 30 cm, es decir:

$$h_f \geq 2\, c_S - h_K + 30 \text{ cm}$$

12.14.8 Posibles imprecisiones del cálculo y márgenes a considerar

Lo visto se basa en consideraciones estáticas, pero en la realidad diversos factores ocasionarían el cambio de posición del punto en que se inicia el giro y los valores que se han calculado para las fuerzas y los momentos. Habría que citar, por ejemplo, que no se han considerado o se han despreciado las fuerzas de inercia, ya que existen aceleraciones.

La velocidad con que el buque entra en el agua origina una ola en la popa que desplaza el c.d.c. hacia popa con lo que aumentan los valores de *MVS* y de *MVK* sobre los calculados de forma estática y proporciona un incremento de empuje por efecto hidrodinámico por las formas de popa. Este fenómeno provoca una anticipación en el momento del giro y proporciona una seguridad adicional en los valores que se han calculado del momento de contra arfada *MCA*. En cambio, al retirarse las aguas con la ola, puede disminuir peligrosamente la profundidad del agua h_K en K y la profundidad del fondo h_f justo en el momento en que los santos abandonan las imadas, ocasionando un saludo mayor que el previsto si lo hubiera.

Por otra parte, la propia inercia y la adherencia de la grasa tienden a retardar el giro.

Los diferentes efectos son muy variables y dependen además de factores como son la velocidad que toma el barco, las formas de popa y de los santos de popa, de los apéndices y pantallas que se dispongan para el frenado, de la profundidad y configuración del fondo de la dársena, de la proximidad y longitud de los muelles que puedan existir paralelos a la antegrada y su distancia a los mismos, de la amplitud y disposición de la dársena, por lo que han de tomarse unos márgenes de seguridad para poder compensar las inexactitudes debidas a estos efectos dinámicos y otros, márgenes que han de decidirse en función de la experiencia en cada caso particular.

12.14.9 Reacción de las imadas. Cálculo de la distribución de presiones en el fondo y en los apoyos

Se han calculado hasta aquí los valores que va tomando la resultante de la reacción de apoyo en las imadas y su punto de aplicación. Además, es necesario determinar las cargas concentradas que esta resultante origina en diferentes áreas para poder evitar que se desarrollen esfuerzos excesivos en la propia estructura del buque, en la cuna o sobre el terreno en que se apoya la grada y si es necesario disponer los reforzados que

sean precisos tanto en la estructura del buque como en la cuna y en el apuntalamiento de la grada y pilotaje del terreno si se diera el caso. Los puntos críticos suelen estar en partes del fondo del barco y en los santos de proa.

12.14.9.1 Cálculo de las presiones sobre el fondo

Desde que comienza el deslizamiento hasta que talón del codaste empieza a introducirse en el agua, la resultante de la reacción de las imadas es igual al peso del buque incluida la cuna y va viajando justo debajo del c.d.g. a medida que prosigue el deslizamiento. Dicha resultante es la suma de las presiones ejercidas a lo largo de la superficie de apoyo, que dependen en cada punto de la forma en que están distribuidos los pesos del buque. Aun así, al ser grande la superficie de apoyo y estar el peso bastante centrado y distribuido, las diferencias son pequeñas, excepto en las concentraciones grandes de pesos que puedan existir y que han de tratarse de forma aislada. Se acostumbra dar la presión media $p_m = R/A$, siendo R el valor de la reacción y A la superficie de apoyo de las anguilas. El valor de p_m suele ser de 2 a 3 kg/cm^2.

A medida que el casco entra en el agua, la resultante va disminuyendo, siendo su valor $R = P - V$, y su punto de aplicación se va desplazando. Como parte de las anguilas pierden el contacto con las imadas al sobrepasar en su deslizamiento el punto K, la superficie de apoyo se va reduciendo y las presiones pueden tomar valores mayores que hemos de estudiar con detalle.

El método tradicionalmente utilizado, que puede aplicarse en buques no muy grandes, se basa en suponer que, debido a la gran rigidez del casco, la quilla se mantiene recta y las anguilas e imadas siguen una deformación lineal, adaptándose a dicha recta. Como dichas deformaciones, bajo el efecto de la presión provocada por la carga vertical soportada, son proporcionales a las cargas por unidad de longitud, éstas seguirán igualmente una ley lineal, pudiendo dibujarse el gráfico de las mismas de forma trapecial como se indica en la figura.

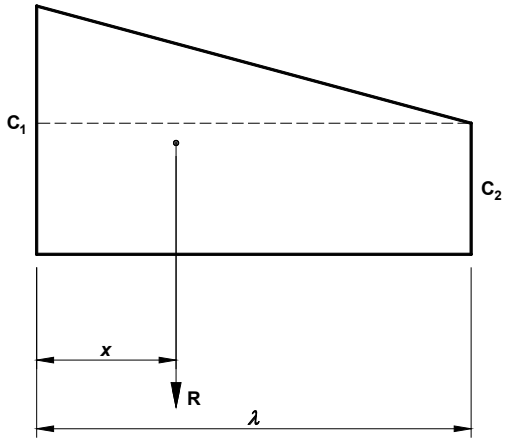


Fig. 12.33 Gráfico para cálculo de cargas sobre el fondo del buque.

Llamando λ a la longitud de las anguilas que todavía están apoyadas en las imadas, siguiendo el recorrido del buque en su deslizamiento, y siendo d_K la distancia de la resultante $R = P - V$ al punto K, valor calculado en el apartado 12.14.4, podemos expresar R como:

$$R = c_2 \lambda + (c_1 - c_2)\ \lambda/2$$

A su vez: $$R\, d_K = c_2 \lambda^2 /2 + (c_1 - c_2)\ \lambda^2 /6$$

Obteniéndose

$$c_1 = (2 - 3\, d_K/\lambda)\ 2R/\lambda$$

$$c_2 = (3\, d_K/\lambda - 1)\ 2R/\lambda$$

Si llamamos a a la anchura de cada una de las dos anguilas, la presión que produce la carga c_1 entre las anguilas y las imadas en el extremo de popa de las imadas es:

$$p_1 = (2 - 3\, d_K/\lambda)\ R/a\,\lambda$$

Y la presión p_2 que produce la carga c_2 en el extremo de proa S de los santos, o extremo de proa de las anguilas, es:

$$p_2 = (3\, d_K/\lambda - 1)\ R/a\,\lambda$$

En esta última expresión se ve que cuando $d_K / \lambda < 1/3$, los valores de p_2 y también de c_2 serían negativos, lo cual no puede suceder. Lo que se hace es distribuir la carga en forma triangular en una longitud $3\, d_K$,

Tomando c_1 en el extremo K el valor

$$c_1 = 2R/3\ d_K$$

Y la presión en ese punto será

$$p_1 = R/3a\ d_K$$

Si la posición de la resultante es muy próxima al punto K, la presión en este punto puede tomar valores muy altos y si el valor de d_K se aproxima a 0, que es aviso de arfada inminente, el valor de p_1 se haría infinito si fuera total la rigidez del casco y del conjunto de anguilas e imadas. Lo que realmente ocurre es una deformación plástica y las presiones, aunque alcanzan valores muy altos, se distribuyen en una cierta longitud.

Los valores obtenidos de estas presiones y sus posiciones respecto al punto S, extremo de proa de los santos, permiten obtener las fuerzas que se van a producir sobre el casco del buque y las zonas en que se van a aplicar, pudiendo así ser previsto el reforzado interior adicional que fuera necesario para distribuir los esfuerzos sobre zonas más amplias y así disminuirlos hasta valores seguros, evitando las deformaciones que pudieran producirse por colapso de la estructura del casco.

12.14.9.2 Estudio del lanzamiento en cama elástica

En la botadura de barcos de gran tamaño como son los superpetroleros y otros, la hipótesis de rigidez infinita del casco, que lleva a la conclusión de distribución lineal de las cargas, puede conducir a sorpresas desagradables. Realmente, el casco del buque se deforma elásticamente bajo la acción de los pesos, concentrados principalmente a popa en este tipo de buques. Los esfuerzos en la estructura se corresponden con las deformaciones de la misma, y éstas no son independientes de las deformaciones que se van sufriendo por compresión de la madera a lo largo de la cama de apoyo. Además, la gran ola que origina la entrada en el agua de estos cascos con gran coeficiente de bloque a gran velocidad, deja en su retirada un nivel de agua menor que el previsto y, por consiguiente, disminuye el empuje en esa zona. Resulta que el buque se curva de forma que ocasiona, en el extremo K de las imadas, presiones muy superiores a las calculadas por el método visto, suponiendo el buque totalmente rígido.

Si conociéramos la curva de distribución de pesos y de empujes y la distribución de las presiones de reacción de las imadas en cada situación, se podrían determinar las solicitaciones a lo largo del casco en cada momento a través del estudio del comportamiento del buque como viga continua sobre una cama elástica.

Mediante programas de ordenador y la aplicación del método "Diferencias finitas para el cálculo de vigas continuas" de Espinosa de los Monteros (ver además entre otros los

trabajos de D. José Deus López para buques botados en ASTANO), se pueden obtener los siguientes valores para cada extremo de los intervalos que se hayan definido para la estructura del buque:

— Deformación elástica.

— Momento flector.

— Esfuerzo cortante.

— Esfuerzo en cubierta.

— Esfuerzo en el fondo.

— Reacción y presión en la grada.

Pudiéndose hallar los valores máximos producidos durante el recorrido, en cada punto del buque y de la grada.

La precisión de los resultados mediante este método requiere un número muy grande de ecuaciones y de incógnitas, pero se podría llegar así a obtener valores de las presiones con un error menor del 5%, cuando con el método tradicional se podría llegar a errores mayores que el 100%.

Aplicando este método se ha llegado a la conclusión de que, dando una leve caída a las imadas en forma de curvatura parabólica, se produce una mejor distribución de cargas en el extremo inferior de las imadas, disminuyendo las presiones en esta zona.

12.14.10 Esfuerzos en los santos de proa

12.14.10.1 Reacción y presiones sobre los santos de proa

Estos tienen que soportar la reacción durante el giro que puede llegar al 25 y al 30% del peso del buque. Sea $R= P\text{-}V$ en el momento del giro, la cual se aplicará sobre la longitud correspondiente a los santos de proa, sea ésta $l_{S,}$ sobre las dos anguilas, de Br y de Er.

Tal como hicimos al estudiar la distribución trapezoidal de la reacción en el fondo, en el supuesto de que la viga-buque es recta y totalmente rígida y el apoyo en la imada una línea también recta, haremos ahora lo mismo en el extremo de proa sobre una longitud igual a la que abarcan los santos de proa l_S. El valor teórico de la carga que resulte por unidad de longitud, o el valor de la presión, se acercarían a infinito cuando el punto de aplicación de se aproxime a K o bien d_K se aproxime a 0. Recuérdese el valor

$$p_1 = R/3ad_K$$

Pero si se dispone debajo de los santos de proa una capa de madera más blanda, que se va a aplastar en el giro, las cargas se distribuyen y se admite que se reparten sobre la longitud de las piezas que soportan a los santos. Para la botadura de los grandes buques, lo que se hace para facilitar dicha distribución es disponer debajo de los santos de proa sendos patines, uno a Br. y otro a Er., de forma cilíndrica de gran radio y eje puesto perpendicularmente y de forma transversal a la grada, es decir, de sección longitudinal formando un arco de circunferencia, santos los cuales se apoyan sobre anguilas cuya superficie superior es también cilíndrica y del mismo radio, interponiéndose entre ambas superficies una capa de grasa para facilitar el deslizamiento de una sobre otra. Ver Fig. 12.7 (p. 472) y Fig. 12.11 (p. 477).

En el caso de haber supuesto un apoyo recto de los santos, no hubiera sido muy correcto suponer que la carga se distribuye uniformemente sobre la longitud correspondiente de las anguilas, y aunque el aplastamiento de la capa de madera blanda distribuiría la reacción del apoyo, conviene suponer una concentración de la carga en el extremo de proa.

Una forma práctica que se ha estado utilizando es suponer que la presión se distribuye de forma parabólica de forma que la presión en el extremo de proa tenga un valor doble que la presión media p_M que se obtendría al distribuir uniformemente el valor de la reacción R sobre la superficie de apoyo de los santos A_S, es decir:
$p_M = R/ A_S = R/2l_S a$, o bien:

$$R = 2l_S a\, p_M$$

Y el valor de la presión a una distancia *"x"* del extremo de popa de los santos sería

$$Y = p_M + p_M x^2 / l_S^2$$

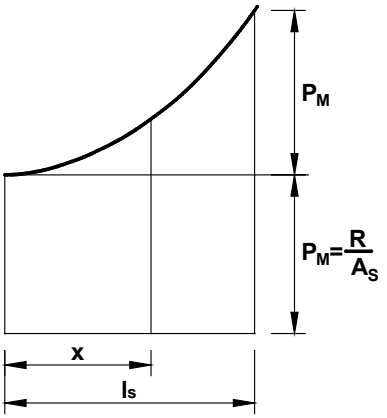


Fig. 12.34 Gráfico de cálculo de presiones sobre los santos de proa.

$$\text{Así, para } x = l_S, \quad Y = 2\,p_M$$

Si en la representación anterior, halláramos la integral $Y\,dx$ bajo el arco de parábola y multiplicáramos el resultado por 2a, obtendríamos un valor de la reacción

$$= (4/3).\ 2\,p_M\,l_S\,a = 4/3\ R$$

Como se ve, se obtiene un valor aparentemente mayor que el real, proporcionándonos un margen de seguridad conveniente en esta zona donde es difícil poder precisar el valor al que va a llegar la carga en el giro.

A partir de que se inicie el giro, R empieza a disminuir hasta que el buque ya queda flotando y el extremo de proa de las anguilas se desprende de las imadas. Simultáneamente, el ángulo entre la línea de la cuna y la de las imadas va aumentando hasta su valor final. Este giro provoca que la presión de las anguilas sobre las imadas se concentre en el extremo de proa de las anguilas, pero el aplastamiento de la madera blanda, que se interpuesto en varias filas de tablas entre las piezas de los santos, distribuye la carga sobre un área que depende en cada instante del ángulo girado y de la resistencia de la madera a su deformación.

12.14.10.2 Cálculo de los santos de proa

Los santos se calculan para que las presiones resultantes no superen los 12 kg/cm^2 que, aunque es superior a la presión que puede aguantar el "slipcoat", no debe importar demasiado por ser muy pequeño el tiempo del intervalo en que estas altas presiones se producen, aun expulsando totalmente la grasa por los lados, dada normalmente la gran velocidad e inercia del buque en ese momento, lo cual impide su detención.

Para una mayor precisión en el estudio de la distribución de las presiones se puede aplicar el método de las diferencias finitas citado antes.

El valor de la resultante R al iniciarse el giro ha de ser soportado a partes iguales por las dos estructuras que forman los santos, la de Br y la de Er. Distribuiremos ahora el valor $R/2$ entre el nº n de santos que se colocan a cada banda, es decir la carga a soportar por cada uno de los puntales, escoras o torres que forman los santos, ya sean de madera, de plancha y de angulares de acero, o combinación de madera y acero, será $Q = R/2n$, aunque por seguridad es mejor tomar para Q el valor obtenido en la supuesta distribución parabólica de las presiones citada antes, con lo que Q sería el doble del valor medio antes indicado, es decir $2\ R/2n = R/n$. Q es el valor de la carga vertical a soportar, pero si el puntal, escora, o torre citada forma un ángulo β con la vertical, la carga de compresión resultante a lo largo del eje del puntal será $Q/cos\ \beta$. El ángulo con la vertical es motivado en parte por la pendiente de la grada y también

consecuencia de que, a fin de reducir algo la altura de los santos en esta zona de formas finas, se les da una cierta oblicuidad.

Hay que estudiar ahora la acción de esta carga $Q/cos\ \beta$ sobre la plancha y sobre la estructura del buque. Dadas las formas del casco en esta zona, esta fuerza tendrá una componente normal a su superficie casco y otra tangencial. Hay que comprobar por ello si es necesario reforzar el casco internamente con puntales o consolas y para soportar la componente tangencial exteriormente en la cabeza del puntal, habrá que colocar consolas adecuadamente dimensionadas, que pueden ser soldadas al casco.

Las componentes transversales en la parte baja han de tenerse en cuenta para el dimensionado del atirantado que ha de sujetar a las anguilas entre sí.

Es muy importante también tener en cuenta que, durante el giro, el casco está apoyado sobre los santos, mientras que la parte inferior de estos está retenida por la fricción, por lo que, para evitar cualquier movimiento relativo, deben ser fijados al casco longitudinalmente por medio de soportes soldados y arriostrados con diagonales en el sentido de popa a proa.

12.14.11 Estabilidad del buque durante el lanzamiento

La estabilidad del buque a lo largo del lanzamiento longitudinal, usando dos o más imadas, no suele presentar problemas. Durante la fase de deslizamiento, con el buque guiado sobre dos imadas, no debe de existir peligro, salvo el debido a la fuerza de un viento lateral muy intenso, que ya obligaría de antemano a suspender la botadura.

Una vez que el buque flota libremente, tampoco deberían existir problemas de falta de estabilidad en el caso de buques convencionales ya que, al estar el buque en rosca, su altura metacéntrica es muy elevada; siempre que la botadura se realice sin lastres líquidos que pudieran producir grandes superficies libres interiores y sin grandes pesos colgados, si se diera el caso.

Puede existir riesgo, sin embargo, en el lanzamiento de un tipo de buque o artefacto especial, como puede ser el de un buque o artefacto con un centro de gravedad situado muy alto, en el que se incluyeran, por ejemplo, grandes pesos altos situados definitiva o provisionalmente a bordo, que pueden ser módulos de acomodación y otros como los de procesado de crudo y gas para buques para explotación de hidrocarburos, así como grandes grúas en diversos tipos de buques auxiliares para construcción y servicios off-shore.

Por ello, en casos en los que se prevea posible riesgo, o por falta de experiencia, debe hacerse un estudio previo de estabilidad durante el proceso de botadura.

Hay que tener en cuenta que, durante el deslizamiento y el giro, la reacción de los apoyos está produciendo un efecto equivalente a la supresión de un peso en el fondo igual al valor de la resultante *R*, aplicado en la posición justo de los apoyos, lo que tiene como consecuencia el mismo efecto que añadir un peso negativo situado en el fondo del buque igual a *R*, que equivale a la elevación virtual del centro de gravedad. *Esto puede resultar crítico en el caso de lanzamiento con corredera única*, por lo que comenzaremos con el análisis de la estabilidad transversal en este caso.

No se acostumbra a hacerlo cuando el buque, en su deslizamiento, se apoya totalmente en la corredera, ya que las almohadas y patines laterales subsanarían los efectos de una inclinación debida a causas imprevistas, como puede ser el efecto de una ola causada en popa al entrar el buque en el agua que sea disimétrica por la existencia de un muelle o por la presencia de cualquier obstáculo en uno de los costados.

Pero cuando se inicia el giro, al levantarse el buque se pierde el potencial apoyo de las almohadas laterales. Por ello, debe hacerse el cálculo de la estabilidad en este momento que puede ser crítico, para asegurar que existe un par de estabilidad o adrizante suficiente.

La determinación de la estabilidad de forma estática es similar a la que habría que realizar para un buque varado por proa, para lo que una primera y fundamental incógnita a determinar es el valor de *R*. Tenemos aquí la ventaja de que, al haber ya calculado y dibujado los gráficos de magnitudes diversas del lanzamiento en función de los recorridos "*x*" del buque, medidos según la horizontal, en su viaje de deslizamiento a lo largo de la grada, ya tenemos el valor del empuje V (en realidad hay que utilizar el valor de $\Delta = \gamma V$ como hemos dicho antes) y de la reacción $R = P - V$ para cada valor de "*x*". Conocemos también el punto G_o en que se inicia el giro, que corresponde al valor de $x = x_{Go}$ para el cual se igualan MVS y MPS.

Estudiaremos la fase comprendida entre el inicio del giro G_o y el momento en que finaliza pasando el buque a flotar libremente, mediante el cálculo de la posición de equilibrio del buque varado por la proa (problema típico de estática del buque, igual que mencionamos en el punto 12.14.6 para el *giro*) en el punto S que coincide con el extremo de proa de la zapata o, en su caso, de proa de los santos, cuyo calado calculamos en función de "*x*", punto que va descendiendo y trasladándose horizontalmente según sigue el recorrido x.

Para $x = x_{Go}$, $MVS = MPS$, $R = P - V$ en ese punto y el ángulo de la quilla del buque con la horizontal es el mismo que el de la grada θ, puesto que aún está apoyado a lo

largo de ella. Cuando flote libremente, el ángulo de asiento de equilibrio, será $\gamma \leq \theta$. γ puede ser calculado para la condición en la que el buque flote en equilibrio en la condición de peso en la que se encuentre.

Para cada valor de $x_i > x_{Go}$, tenemos un calado a proa, función de x_i, y tomando ángulos de asiento intermedios $\beta_{ij} < \theta$ para ese calado a proa, tendremos en cada caso un calado a popa, así como los calados intermedios en las diferentes cuadernas, que podemos calcular, con lo que, mediante las curvas de Bonjean, podremos determinar MVS_{ij} en cada caso así como V_{ij}. Pues bien, cuando, llamémosle $MVS_{iE} = MPS$, tendremos el ángulo de asiento de equilibrio, llamémosle $\beta_{iE} < \theta$, correspondiente al equilibrio estático del buque para cada $x = x_i > x_{Go}$, así como V_{iE}. En ese punto tenemos $R_{iE} = P - V_{iE}$.

El buque seguirá aún deslizando y girando apoyado en S, hasta un valor de $x_i = x_F \leq x_K$ y un ángulo de asiento β_{FJ} en el que $MVS_{FJ} = MPS$ y $V_{FJ} = P$. En ese punto x_F el buque se desprende flotando ya libremente. En ese momento el ángulo de asiento será $\beta_{FE} = \gamma < \theta$ (llamemos a FE flotación de equilibrio). En el caso en que $x_F \geq x_K$ y en todo este recorrido desde x_{Go} hasta K sea $V < P$ se producirá saludo en K.

Con los calados en popa y en proa y los calados intermedios en cada caso, calculados como se ha visto antes en función de x_i y de β_{iE} tanto en el punto de giro $x = x_{Go}$ como en otros que deseemos en sus proximidades, recurriendo a las curvas de Bonjean, podemos determinar las coordenadas del centro de carena C para cada uno de los puntos "x_i" que deseemos, para lo cual podemos auxiliarnos de un programa adicional. Ahora hallaremos el radio metacéntrico en cada caso $\rho = i / V = CM$, donde i es el momento de inercia de la flotación, llamémosle de equilibrio, correspondiente a cada recorrido x_i y su ángulo de asiento de equilibrio $\beta_{iE,}$, para lo cual también habría que preparar un programa adicional, y V el volumen de carena correspondiente a esa situación, llamémosle estado intermedio de equilibrio, obtenido con el auxilio de las curvas de Bonjean. Ahora podemos calcular también $R = P - V$ correspondiente a cada una de esas situaciones de equilibrio intermedias, hasta que el buque flote libremente en que $V = P$ y $R = 0$.

Ya tenemos ahora los datos necesarios para analizar la estabilidad tanto en el punto de inicio del giro $x = x_{Go}$ como en otros $x_i > x_{Go}$ antes de que finalice, si creemos necesario. Normalmente sólo habrá que hacerlo en el punto de inicio del giro para comprobar si existe un margen de estabilidad claramente suficiente, aunque también se puede confirmar como evolucionaría la tendencia siguiendo el recorrido.

Veamos la siguiente figura que representa el momento en que el buque en su botadura va justamente a iniciar el giro en torno al eje perpendicular al plano del dibujo, que pasa por el punto S, extremo de proa de la cuna.

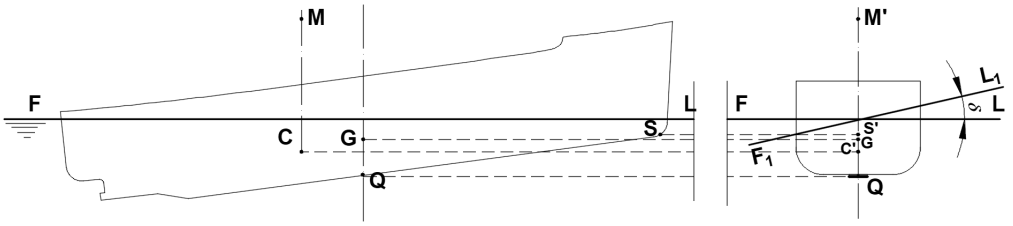


Fig. 12.35 Estabilidad transversal con corredera única.

Consideremos un plano vertical transversal que pasa por el centro de gravedad G del barco y proyectamos sobre él tanto el punto S como el C, centro de carena. Sean S' y C' las respectivas proyecciones. Igualmente, sea M' la proyección del metacentro transversal y sea Q la intersección del plano vertical que pasa por G con la intersección del plano de crujía con la superficie inferior de la cuna, bajo el fondo del buque.

Sean: Q S' = m ; Z_C = QC'; Z_G = QG y el radio metacéntrico de la carena sumergida

CM = $\rho = i / V$, o bien C'M' = ρ

Sea C'G = $Z_G - Z_C = a$

Las fuerzas verticales que intervienen son: el peso del buque $P = \Delta$ aplicado en G, el empuje de la carena sumergida aplicado en C, de valor γV, y la reacción del apoyo aplicada en S, $R = \Delta - \gamma V$, por lo que el valor del momento de dicha reacción R con respecto a cualquier eje que pase por dicho punto S es nulo.

Sea FL la flotación cuando comienza el giro y supongamos que se produce una pequeña escora δ, pasando la flotación a ser F_1L_1. Al existir la reacción R, ambas flotaciones no tienen por qué ser isocarenas, pero de la misma manera que para el caso de buques varados, la escora en torno a un eje que está situado paralelo y próximo al de la línea de flotación genera sólo una rebanada de inmersión o de emersión de altura diferencial de segundo orden (C. Godino Gil, Estática de Buque), por lo que, de forma muy aproximada, podemos considerar que el empuje γV de la parte sumergida está aplicado en la vertical del metacentro M correspondiente a la misma.

Hallaremos el par adrizante tomando momentos de la fuerza $P = \Delta$, aplicada en G y de γ V aplicada en el metacentro M con respecto a un eje horizontal que pasa por S y S', que es perpendicular al plano transversal que pasa por G, para el que el momento de la reacción R, como vimos antes, es nulo.

Par adrizante o par de estabilidad $= [\gamma V\,(C'M' - C'S') + \Delta.GS'] \operatorname{sen} \partial\ =$

$= [\gamma V\,(\rho - (QS' - QC'))\ + \Delta.GS'] \operatorname{sen} \partial = [\gamma V\,(\rho - (m - Z_{C'}))\ + \Delta.GS'] \operatorname{sen} \partial =$
$[\gamma V\,(Z_C + \rho - m)\ + \Delta.GS'] \operatorname{sen} \partial$

$GS' = QS' - Z_{G'} = m - Z_{G'}$

con lo que:

Par adrizante $= [\gamma V(Z_c + \rho - m)\ + \Delta(m - Z_G)] \operatorname{sen} \partial =$

$=\gamma V\,[(Z_C + \rho) - \Delta\, Z_G + (\Delta - \gamma V)\, m] \operatorname{sen} \delta =$

$=\Delta\,(\rho - a) \operatorname{sen} \delta \cdot [1/(\rho - a)] \cdot [(Z_C + \rho)\,\gamma V/\Delta - Z_G + (1 - \gamma V/\Delta)\, m] = k\,\Delta\,(\rho - a) \operatorname{sen} \delta$

siendo $k = [1/(\rho - a)] \cdot [(Z_C + \rho)\,\gamma V/\Delta - Z_G + (1 - \gamma V/\Delta)\, m]$

Para tener un cierto margen de seguridad, hay que procurar que el valor del producto $K \cdot (\rho - a) \geq 1{,}5\ m$

Si la botadura se hiciera con dos imadas, los extremos de proa de los santos, S_1 y S_2, determinan el eje en torno al cual se produce el giro, ver figura que sigue:

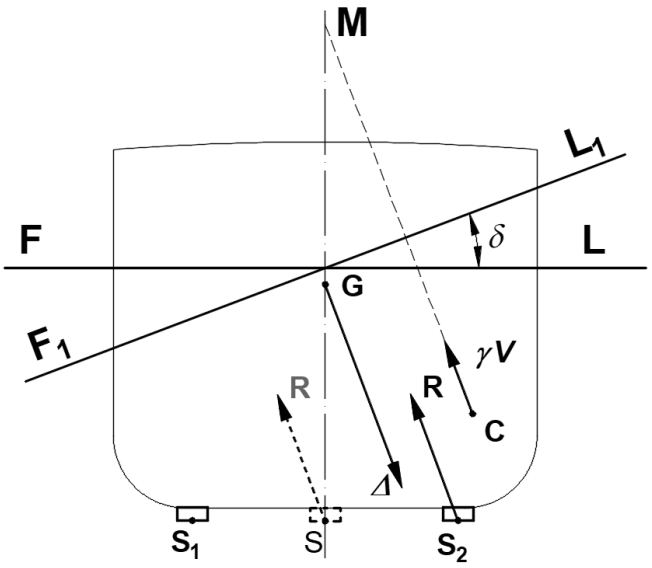


Fig. 12.36 Estabilidad transversal con dos imadas.

y en ellos estará aplicada en cada uno la mitad de la reacción, *1/2 R = 1/2 (Δ - γV)* en condiciones normales.

Si se produjera una pequeña escora δ como la indicada antes, toda la reacción R estaría aplicada en S_2. Si comparamos con el caso de la corredera única a crujía, esto equivale a un traslado de la fuerza vertical R desde S hasta S_2 una distancia en horizontal igual a $SS_2 = ½ S_1S_2$, es decir, la mitad de la separación entre las imadas o un sexto aproximadamente del ancho de la grada, produciendo un incremento del par estabilizador de gran importancia:
1/2 (Δ - γV). S_1S_2 cos δ, que habría que sumar al obtenido antes $k \Delta (\rho - a)$ sen δ obtenido para el caso de corredera única

Distinto y crítico sería el caso de pérdida del apoyo en una de las dos imadas por pérdida de la misma o por otra causa fortuita. Sea el caso que se pierda el apoyo en el mismo punto S_2 que consideramos antes, y consideremos el mismo ángulo pequeñísimo de escora *δ* hacia la misma banda. Entonces todo el apoyo y correspondiente reacción pasarían al punto S_1, produciendo un par escorante de gran importancia también, de valor:
1/2 (Δ - γV). S_1S_2 cos δ que habría que restar al par estabilizador ya citado $k \Delta (\rho - a)$ sen δ

12.14.12 Esfuerzos de flexión durante el lanzamiento

Durante diferentes etapas de la botadura, la estructura del buque puede estar expuesta a solicitaciones fuera de lo normal, que deben preverse. A lo largo del deslizamiento, la superficie de apoyo va disminuyendo y la carga se va concentrando en la zona que va quedando en el extremo de popa de las imadas y, en particular, en la superficie de apoyo de los santos de proa. En esta fase, al estar la popa sometida a su propio peso y siendo aún el empuje relativamente pequeño, la estructura del casco está sometida a quebranto.

A continuación, al iniciarse el giro, apoyado el buque sólo por la proa, los esfuerzos serán debidos al arrufo.

En función de la distribución de pesos y de empuje y agregando los valores de las reacciones de apoyo, ya sea con distribución trapecial o triangular, como se ha visto, se obtiene la distribución de cargas a lo largo de la eslora, la cual se puede obtener para los diversos puntos del recorrido, pudiendo así obtenerse los momentos flectores en cada momento en los diferentes puntos de la eslora, cuya envolvente nos dará el momento flector máximo al cual estará sometido el casco y su posición a lo largo de dicha eslora, y las tensiones correspondientes en función del módulo resistente de la

sección correspondiente, pudiendo también obtenerse los esfuerzos cortantes.

El cálculo de las presiones en las imadas por el método de diferencias finitas, método de la cama elástica visto anteriormente, permite también calcular los momentos flectores y los máximos esfuerzos en el fondo y en cubierta con mayor precisión.

12.14.13 Estudio dinámico del lanzamiento. Frenado del buque y distancia recorrida

Una vez que se han sacado todos apoyos provisionales, es decir, picaderos y escoras utilizados para la construcción del casco y el buque queda con su cuna, apoyado totalmente en las imadas o, en su caso, la corredera, tan pronto como se sueltan las retenidas o sistema de sujeción último, comienza a deslizar, acelerando hasta que su velocidad alcanza un valor máximo para luego ir frenando hasta la parada.

El estudio de la dinámica del lanzamiento analiza las fuerzas que actúan en el mismo y se calculan las velocidades que, como consecuencia, va a coger el buque en cada punto, con objeto de poder determinar las fuerzas de frenado que se han de aplicar utilizando diferentes sistemas de retenida, a fin de parar el buque en un espacio que, dependiendo del sitio, puede tener limitaciones muy estrictas. A lo largo del proceso hay que considerar diferentes etapas, que se corresponden con diferentes sistemas de fuerzas y condiciones del movimiento:

1. Inicio del movimiento.
2. Etapa de deslizamiento del buque apoyado hasta que toca el agua.
3. Desde que toca el agua hasta que se inicia el giro.
4. Durante el recorrido con giro simultáneo.
5. Movimiento flotando libremente sin retenidas de frenado.
6. Frenado a flote con retenidas de frenado.

1. *Inicio del movimiento.*

   El buque está apoyado sobre un plano inclinado de pendiente θ, suponiendo que las imadas son rectas. La fuerza inicialmente actuante es el peso P del buque, cuna incluida. Entre anguilas e imadas, existe una grasa cuyo coeficiente de rozamiento es f_0 provocando una resistencia al deslizamiento a lo largo de la imada proporcional a la componente normal del peso $P \cos \theta$ y de valor $f_0 P \cos \theta$. La fuerza que provoca el deslizamiento es la componente tangencial del peso: P sen θ. Por lo tanto, el arranque se producirá si $P \operatorname{sen} \theta > f_0 P \cos \theta$, lo que equivale a que necesariamente $tg\ \theta > f_0$.

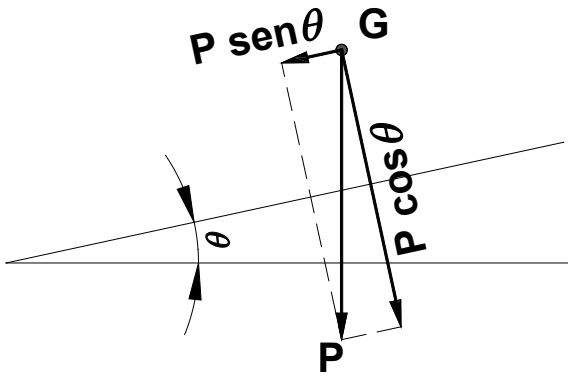


Fig. 12.37 Componentes del peso responsables del movimiento.

Es decir, la condición para que se inicie por sí misma la botadura sin necesidad de un impulso adicional es que la pendiente de las imadas sea mayor que el coeficiente de rozamiento de la grasa.

Si las imadas tuvieran curvatura, el cálculo resultaría más farragoso, pero podría tomarse en primera instancia la pendiente en el punto medio de la longitud de las anguilas.

De la consideración anterior, se deduce el valor mínimo de la fuerza que tienen que soportar las llaves de retenida o sistema de retención que se utilice, para sujetar el buque hasta el último momento, desde que ya se hayan retirado los demás medios de apoyo y retención:

$$B = P\ sen\ \theta - f_0\ P\ cos\ \theta$$

El valor del coeficiente de rozamiento f no es constante. El valor inicial f_0, antes de iniciar el movimiento es mayor que el que toma después, como ya se mencionó en otro punto, por lo que para el dimensionamiento de las llaves de retenida se debe tomar para la fuerza que tienen que soportar el valor de $P\ sen\ \theta$ o, al menos, $P\ sen\ \theta - f'\ P\ cos\ \theta$, siendo f' el valor que toma f después de iniciado el movimiento.

Experimentalmente se determinan los valores del coeficiente de rozamiento y, con los registros practicados en los lanzamientos, se verifican estos valores a través de las ecuaciones del movimiento, a partir de las velocidades reales registradas. Se ha comprobado que dichos valores dependen de la presión específica entre las superficies que rozan, viéndose también afectados por la temperatura, lo que explica las variaciones que sufren durante el lanzamiento.

La presión específica que se toma "*p*" es la media del peso *P* distribuido sobre la superficie de las anguilas *A*: p = *P*/*A* en kg/cm^2.

Se sugieren como valores empíricos f = 0,05/√p (Trogneux) a f = 0,07/√p (Callou). Otra estimación (Keith) sugiere tomar el valor de f a partir de los valores experimentales obtenidos en anteriores botaduras aplicando la expresión:

$$f = a/((t+100)\sqrt{p})$$

en la que *"a"* es un coeficiente obtenido experimentalmente en botaduras anteriores y *"t"* la temperatura en º Farenheit.

En la práctica, f_0 puede ser del orden de *0,04*, mientras que *f'*, después de iniciado el movimiento, puede variar entre *0,01* y *0,03*.

2. *Etapa de deslizamiento del buque apoyado hasta que toca el agua.*

En esta etapa, hasta que el buque comience a penetrar en el agua, la fuerza impulsora del movimiento es:

$$P\ sen\ \theta - f'\ P\ cos\ \theta$$

Se puede considerar *f'* constante a lo largo de esta etapa, con un valor calculado según las fórmulas vistas antes. En la práctica estará entre 0,02 y 0,03, conviniendo tomar por prudencia un valor preferentemente bajo.

Si *"e"* representa el espacio recorrido, la ecuación de movimiento es:

$$(P/g).(d^2e/dt^2) = P\ sen\ \theta - f'\ P\ cos\ \theta$$

De donde:

$$d^2e/dt^2 = g(sen\ \theta - f'\ cos\ \theta)$$

que también se puede escribir, siendo *"v"* la velocidad del buque:

$$d^2e/dt^2 = dv/dt = v.(dv/dt).(dt/de) = v.(dv/de)$$

por lo que: $v\,dv = g(sen\ \theta - f'\ cos\ \theta)\ de$

Integrando: $1/2\ v^2 = g\ (sen\ \theta - f'\ cos\ \theta)\ e$, o bien $v = \sqrt{2g(sen\ \theta - f'\ cos\ \theta)e}$

Al final del recorrido de esta etapa e_1 cuando la popa del buque entra justamente en el agua, su velocidad será:

$$v_1 = \sqrt{2g(sen\ \theta - f'\ cos\ \theta)e_1}$$

3. *Desde que toca el agua hasta que se inicia el giro.*

Empiezan a actuar dos nuevas fuerzas: el empuje γV de la carena sumergida y la resistencia hidrodinámica del agua. El empuje γV se resta al peso y por tanto a su componente tangencial paralela a las imadas como fuerza impulsora del movimiento, así como a la fuerza de rozamiento a través de la componente normal a la grada. La resistencia hidrodinámica *H* se opone al movimiento, dependiendo de la forma de la carena sumergida del buque, incluida la cuna, así como de su velocidad. Suponemos en primera aproximación que varía proporcionalmente al cuadrado de la misma, sea μv^2. Queda la ecuación del movimiento en esta etapa como:

$$(P/g).\ (d^2e/dt^2) = (P/g)\ v\ (dv/de) = (P - \gamma V)\ (sen\ \theta - f'\ cos\ \theta) - \mu\ v^2$$

O también: $$(P/g)\ v\ dv = [(P - \gamma V)\ (sen\ \theta - f'\ cos\ \theta) - \mu\ v^2]\ de$$

Ecuación en la que *V, f'* y μ varían por lo que se divide el recorrido en intervalos, lo bastante cortos para que se puedan tomar como constantes a lo largo de cada uno de ellos, los valores medios de estas magnitudes. Integrando la ecuación anterior, la ecuación de la energía, o de variación de la energía cinética en función de la energía potencial en cada intervalo e_i resulta:

$$1/2\ (P/g)\ (v_i^2 - v_{i-1}^2) = [(P - \gamma V_i)\ (sen\ \theta - f'i\ cos\ \theta) - \mu_i\ (v^2_i + v^2_{i-1})/2]\ e_i$$

$$(1/2)(P/g)\ v_i^2 + (1/2)\ \mu_i\ v^2_i\ e_i = (1/2)\ (P/g)\ v^2_{i-1} + [(P - \gamma V_i)\ (sen\ \theta - f'_i\ cos\ \theta) - (1/2)\ \mu i\ v^2_{i-1}]\ e_i$$

$$[(P/ge_i) + \mu_i]\ v^2_i = [(P/ge_i) - \mu_i]\ v^2_{i-1} + 2(P - \gamma V_i)\ (tg\ \theta - f'_i)\ cos\ \theta$$

Con lo que habiendo calculado v_{i-1} se puede calcular v_i. Partiendo de la velocidad inicial en esta fase v_1, se llega por cálculos sucesivos a determinar la velocidad en el punto final de cada uno de los intervalos e_i hasta llegar a la velocidad v_2 donde termina esta etapa y comienza el giro.

Llamemos v_2 a la velocidad alcanzada al final del último intervalo de esta etapa

Los valores de *V, f'* y μ en cada uno de los intervalos citados, *i,* se toman como sigue:

— γV_i es el valor del empuje correspondiente al punto central del intervalo *i.*

— f_i' se puede obtener de las fórmulas vistas antes, en función de la presión específica, o se puede suponer que crece de forma regular desde *0,025* al principio de la fase hasta *0,05* al final.

— μ_i: para valorar esta magnitud se han utilizado varias expresiones. Una es

$$\mu = k_1 M + k_2 N$$

donde *M* es la superficie en m^2 de la proyección sobre un plano perpendicular al de la flotación y al diametral del contorno aparente de la parte sumergida y N es el área de la pantalla de frenado también en m^2.

k_1 puede valer entre *5* y *6* $kg.s^2/m^4$ (s/Bahon) y *4* a *10* $kg.s^2/m^4$ (s/Callou). Lo más normal es tomar entre *4,5* y *7* $kg.s^2/m^4$ según sea la finura de las formas.

Para k_2 se puede tomar un valor de *60* $kg.s^2/m^4$ (s/Callou) sin considerar la oblicuidad de la pantalla, siendo lo normal tomar entre *55* y *60* $kg.s^2/m^4$.

Otra expresión es: $\mu = R' S + R'' S_m$

en la que *R'* y *R''* son los coeficientes de resistencia directa y de resistencia friccional, tomándose los valores de *R' = 33* y *R'' = 0,1445* $kg.s^2/m^4$.

S es la superficie en m^2 de la proyección de anguilas y cuna sobre un plano perpendicular al movimiento. S_m la superficie mojada total, también en m^2.

Puede resultar más simple tomar la resistencia hidrodinámica total como

$$R_H = \varphi' + \varphi''$$

Expresión en la que φ' es la resistencia friccional, tomándose como

$$\varphi' = 0,17\ S_m\ v^{1,825}$$

y φ'' es la resistencia residual, tomándose como $\varphi'' = 1,25\ \varphi'$, expresiones en las que se ha tomado la velocidad *v* con el exponente1,825 en lugar de 2 como con los anteriores criterios.

De todas formas, en cada astillero se suelen comprobar los valores obtenidos con las expresiones anteriores, mediante el replanteo con las velocidades reales medidas durante las botaduras, obteniendo así una experiencia real que va a resultar muy útil para utilizar en futuras ocasiones.

4. *Etapa durante el recorrido con giro simultáneo.*

En esta etapa siguen interviniendo el peso del buque incluido el de la cuna, el empuje de la parte sumergida, el rozamiento en las imadas o, en su caso, corredera y la resistencia hidrodinámica, por lo que se recurre al estudio de la variación de energía en cada uno de una serie de intervalos e_i igualmente espaciados, entre el punto de principio del giro hasta el final del mismo, punto en el cual el buque, con las anguilas incorporadas al mismo, se desprende de las imadas, quedando ya flotando libremente.

En cada intervalo e_i se toman como como uniformes a lo largo del intervalo los valores medios de la reacción en la proa, el empuje de la parte sumergida, la superficie mojada y la superficie de las secciones tomadas como maestras. Se puede hacer una aproximación tomando para cada intervalo los correspondientes valores por interpolación proporcional entre los que tienen al principio y al final del giro.

Como valor del coeficiente de rozamiento puede tomarse durante esta etapa $f = 0{,}16$, un poco más alto que el tomado anteriormente, a fin de tener en cuenta el efecto de expulsión de la grasa debido a las altas presiones en el extremo de proa causadas en el giro.

Ahora, al plantear la ecuación de la energía, hay que tener en cuenta que, mientras que la reacción en el apoyo, $R_i = P - \gamma V_i$, sigue la trayectoria de las imadas con su pendiente θ, el centro de gravedad, como consecuencia del giro, se eleva con respecto a la posición que ocuparía si siguiera una trayectoria paralela a la grada, así como los sucesivos centros de carena, por lo que en la ecuación de la energía hay que hacer, en el segundo término, la corrección correspondiente, deduciendo su relativo incremento de energía potencial. Si se toman las posiciones inicial y final en esta etapa de cada uno de estos centros, se puede suponer que ambos han seguido una trayectoria rectilínea entre dichos puntos. Tomando así estas trayectorias y siendo los ángulos de pendiente correspondientes a las mismas, respectivamente τ y ω, la deducción de energía potencial correspondiente a cada intervalo e_i será:

$$(P \operatorname{sen} \tau - \gamma V_i \operatorname{sen} \omega)\, e_i$$

Quedando ahora la ecuación de la energía para cada intervalo e_i como:

$$1/2\ (P/g)\ (v_i^2 - v^2_{i-1}) =$$

$$= [(P - \gamma V_i)\ (\operatorname{sen}\theta - f'_i \cos\theta) - (P \operatorname{sen} \tau - \gamma V_i \operatorname{sen} \omega) - \mu_i \cdot (v^2_i + v^2_{i-1})/2]\, e_i$$

Que se puede también escribir:

$$[(P/ge_i) + \mu_i]\, v^2_i = [(P/ge_i) - \mu_i]\, v^2_{i-1} + 2[(P - \gamma V_i)\,(tg\theta - f'_i)\,cos\theta - (P\,sen\,\tau - \gamma V_i sen\,\omega)]$$

En las expresiones anteriores, tanto los recorridos *''e''* totales en las etapas consideradas como los recorridos parciales e_i ,en los intervalos de éstas, se han tomado en la dirección de las imadas, pero si queremos utilizar en los cálculos recorridos en dirección horizontal x, habría que poner los correspondientes valores de la abscisa x, poniendo en la citadas expresiones $e = x/\cos\theta$ y $e_i = x_i /cos\ \theta$, lo que equivale a poner en estas expresiones *tg* θ en lugar de *sen* θ, e igualmente habría que poner *tg* τ y *tg* ω en lugar de *sen* τ y de *sen* ω respectivamente, aunque en la práctica la diferencia es apenas perceptible dado el pequeño valor de los ángulos, por lo que las diferencias entre los valores de *e* y de *x* son muy pequeñas.

La velocidad en las etapas en que el buque se mueve paralelo a las imadas sigue la dirección de éstas, pero cuando el buque gira adquiere una componente vertical hasta que la velocidad se hace horizontal. El centro de gravedad describe un arco de gran radio de curvatura que hemos supuesto rectilíneo, siendo la componente vertical de la velocidad absorbida o neutralizada por la flotabilidad del buque, pero la energía recibida gracias al trabajo de las fuerzas actuantes quedará acumulada como energía cinética del buque, con su velocidad ahora horizontal. Sea dicha velocidad, a partir del giro, v_3 y los recorridos serán en la etapa siguiente según el eje *x*.

5. *Movimiento en horizontal flotando libremente, sin retenidas de frenado.*

Sólo interviene ahora la resistencia hidrodinámica frenando al buque:

$$(P/g)\ \ (dv/dt) = -\mu\, v^2$$

Que se puede poner: $(P/g)\,(dv/dx).(dx/dt) = (P/g)\,v\,(dv/dx) = -\mu\, v^2$

O bien: $(P/g)\,d\,v/v = -\mu\, dx$, es decir: $dv/v = -(\mu g/P)\, dx$

Tomando μ de forma aproximada como contante, podemos integrarla en la etapa, llamémosla x_4, obteniendo:

$$v_4 = \frac{v_3}{e^{\left(\frac{\mu g x_4}{P}\right)}}$$

Con esta expresión se obtendría un valor de ∞ para x_4, para lograr la detención total del buque ya que, al disminuir la resistencia hidrodinámica con la velocidad, el valor de aquella se va reduciendo progresivamente. No obstante, con dicha expresión se puede obtener un valor de x_4 a fin de que v_4 sea lo suficientemente pequeño para que, por ejemplo, se puedan fondear las anclas.

También se podría en esta etapa aplicar la ecuación de la energía a los intervalos x_i, de la siguiente forma:

$$1/2\ (P/g)\ (v_i^2 - v^2_{i-1}) = -\ 1/2\ \mu_i\ (v_i^2 + v^2_{i-1})\ x_i$$

O bien: $$(P/gx_i + \mu_i)\ v_i^2 = (P/gx_i - \mu_i)\ v^2_{i-1}$$

Tomando un solo intervalo x_4 de recorrido para esta etapa en que μ se pudiera considerar constante, la velocidad v_4 al final del mismo sería:

$$v_4 = v_3 \sqrt{\frac{P - \mu g x_4}{P + \mu g x_4}}$$

Haciendo aquí $v_4 = 0$, se obtiene el valor aproximado de x_4 para la detención total del buque sólo por la acción del efecto de frenado por resistencia hidrodinámica, sin retenidas:

$$x_4 = P/\mu g$$

6. *Etapa de frenado a flote con retenidas de frenado.*

En esta etapa final, además de la resistencia hidrodinámica del agua, actuarán los sistemas de frenado adicionales que se hayan dispuesto, normalmente rastras de cadena que actúan por rozamiento sobre la superficie de la grada, como ya se explicó en un apartado anterior de este capítulo, amarradas al casco del buque por medio de cables, normalmente sujetos en parte al mismo por medio de bozas que, al romperse, la energía gastada en su rotura ayuda también a detener el buque. El punto inicial de actuación de los citados sistemas adicionales de frenado tiene que fijarse con precisión, disponiéndolos adecuadamente en las gradas y con las longitudes correctas de los cables de sujeción necesarios.

Si F es el valor de la fuerza de frenado, la ecuación de movimiento se puede escribir como:

$$(P/g)(dv/dt) = -\ \mu\ v^2 - F$$

F no suele tener un valor constante. Si se han dispuesto rastras, la tensión de los cables que las unen con el buque es igual a su peso Q multiplicado por el coeficiente de rozamiento, llamémosle f_r con el piso sobre el que se arrastran, normalmente el de las gradas.

Como se suelen disponer de forma que vayan entrando en acción sucesivamente, la fuerza total de frenado irá aumentando a saltos a lo largo del recorrido desde que comienza a actuar sólo la primera rastra hasta que ya estén actuando todas. Si entran en acción una tras otra con iguales intervalos e incrementos, puede tomarse para la fuerza de frenado un valor medio durante todo el recorrido. Ahora bien, si

el recorrido en que ya están actuando todas las rastras es mayor que el recorrido en que se van sumando gradualmente, hay que dividir el recorrido en dos partes: una en el que se toma el valor medio *F/2*, que es aquella parte del recorrido en el que las acciones van acumulándose paulatinamente hasta llegar a la fuerza total de frenado *F,* y otra parte en la que ya están actuando todas las rastras, en la que se toma el valor de la fuerza total de frenado *F*, que finalizará con la detención total del buque.

Cuando la acción de frenado es provocada por rotura de bozas, la tensión de los cables varía en forma de dientes de sierra. Se puede tomar un valor medio de esta tensión si las bozas se han dispuesto con la separación adecuada para que el alargamiento del cable sometido a la tensión de rotura de la boza sea igual a la separación entre los puntos de fijación de dos bozas consecutivas más la longitud de cable entre sus ligaduras a esas dos bozas, ya que de esta forma, al cesar la tensión máxima por rotura de la boza, pierda el cable su alargamiento y empiece a tirar sin interrupción de la siguiente boza.

Cualquiera que sea el sistema de frenado que se utilice, se puede prever de antemano como va a actuar y hacer un gráfico de la fuerza de frenado a lo largo del recorrido con objeto de poder adoptar un valor medio lo más aceptable posible para poder considerarlo como constante en todo o en partes del intervalo. Si además se toma μ como constante a lo largo de esta parte del recorrido, la ecuación anterior se puede escribir como:

$$(P/g)(dv/dx)(dx/dt) = -\mu v^2 - F$$

O bien:

$$(P/g)\, v\, (dv/dx) = -\mu v^2 - F$$

$$\frac{d(v^2)}{\mu v^2 + F} = -\left(\frac{2g}{P}\right) dx$$

Hecha la integración en función de *x*:

$$\left(\frac{1}{\mu}\right) ln\left(\frac{F + \mu {v_5}^2}{F + \mu {v_4}^2}\right) = -\left(\frac{2g}{P}\right) x_5$$

Haciendo $v_5 = 0$, resulta:

$$\frac{F}{F + \mu {v_4}^2} = e^{-\frac{2g\mu x_5}{P}}$$

Quedando:

$$F = \frac{\mu v_4^2}{e^{\frac{2g\mu x_5}{P}} - 1}$$

Lo que permite obtener el valor de la fuerza de retenida necesaria para lograr la parada del buque en una distancia x_5.

Si se dibuja la curva que da en ordenadas los valores de las fuerzas, tanto de la aceleración con sentido positivo como las de frenado con sentido negativo, a lo largo del camino recorrido, sea éste representado en horizontal, *"x"*, la integración de esta curva, es decir las áreas representadas bajo la misma, nos dan los trabajos realizados por las fuerzas tanto de aceleración, en sentido positivo, como las de frenado, en sentido negativo.

En la etapa de frenado, por ejemplo, podemos recurrir a la ecuación de variación de la energía en una serie de intervalos de longitud x_i a lo largo de los cuales se toman valores medios constantes para el coeficiente de resistencia hidrodinámica μ_i, pudiendo utilizar los valores reales de los trabajos que van ejerciendo las retenidas de frenado. Entre los dos extremos del intervalo *"i"* tendremos:

$$1/2(P/g)\ (v_i^2 - v_{i-1}^2) = -\ (\mu_i/2)\ (v_i^2 + v_{i-1}^2)\ x_i - T_i$$

Expresión en la que T_i es el trabajo absorbido por las retenidas en el intervalo *"i"*. De aquí se puede obtener la velocidad v_i que queda al final del intervalo *"i"* en función de la que existía al principio del mismo v_{i-1}^2.

$$(P/gx_i + \mu_i)\ v_i^2 = (P/gx_i - \mu_i)\ v_{i-1}^2 - 2T_i/x_i$$

Y se va repitiendo el proceso hasta que la velocidad final v_5 se anule. Si el recorrido total calculado, $X_5 = \Sigma\ x_i$, de esta última etapa, resultara excesivo para el espacio disponible a popa del buque para su total detención, hay que ir aumentando el tamaño de las rastras, su número, el de bozas u otros sistemas hasta llegar a un valor de X_5 menor de la distancia de la que físicamente se dispone.

La ecuación de variación de energía puede, en general, aplicarse a todas las etapas y sus intervalos, pudiendo así ir calculando los valores sucesivos que va tomado la velocidad al final de cada intervalo, dato que necesitaremos para calcular la resistencia hidrodinámica en el intervalo siguiente y así sucesivamente.

En la **Fig. 12.38** se representa esquemáticamente, a lo largo del recorrido en horizontal en m, para la botadura de un gran buque petrolero, la curva que da en toneladas métricas la fuerza causante de la aceleración $(P - \gamma V)\ sen\ \theta$, a la que se van deduciendo los valores que se indican de las fuerzas debidas a:

— rozamiento de las anguilas sobre las imadas: $f_i (P - \gamma V)\ cos\ \theta$,

— *resistencia hidrodinámica del casco incluida la de la cuna,*

— frenado de las rastras de retenida,

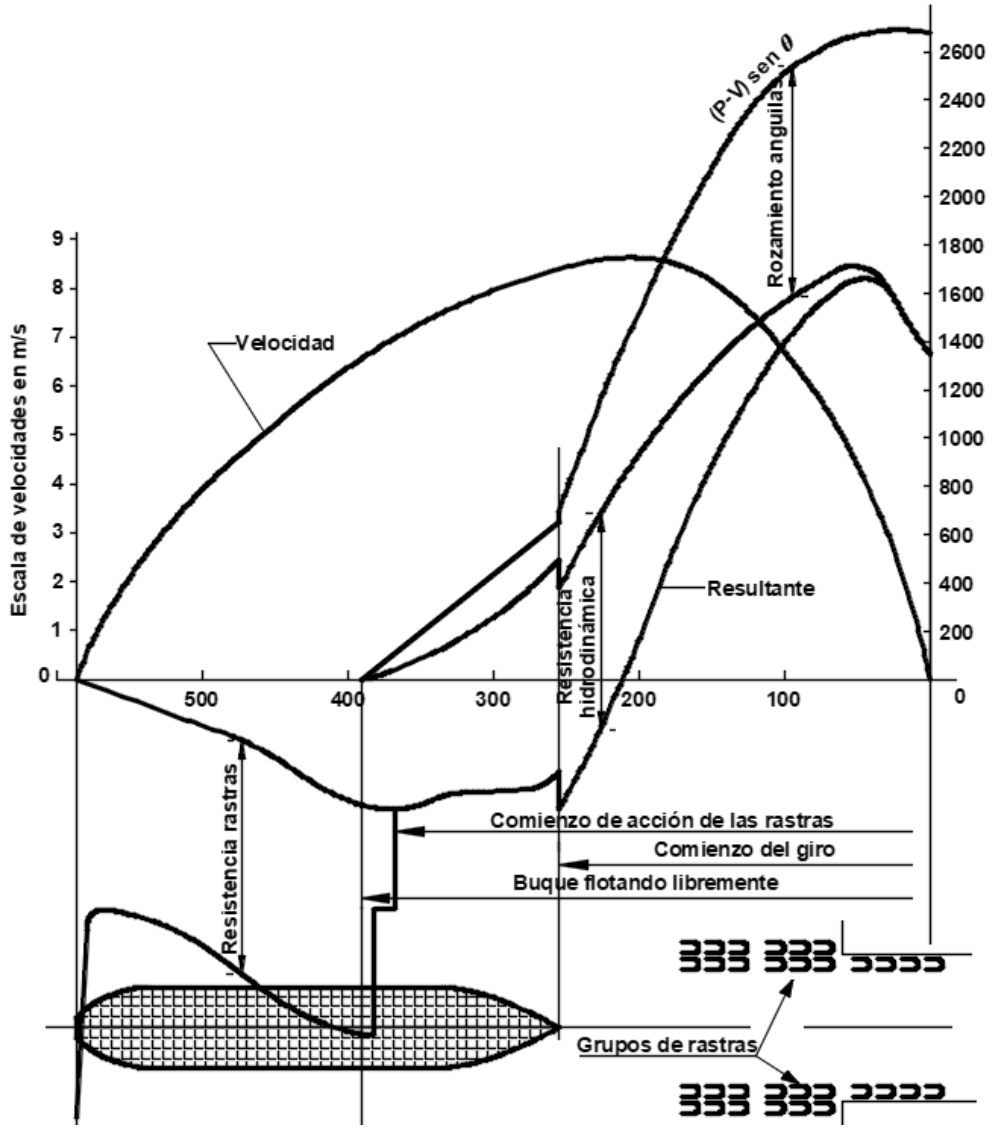


Fig. 12.38 Ejemplo de gráfico de fuerzas de aceleración y de frenado en función del recorrido. Id. de reacciones en los santos de proa. Id. de velocidad.

para obtener como resultado la curva de la Fig. 12.38, en la que se representa la fuerza final que produce la aceleración en la primera parte del recorrido y el frenado hasta la parada en la segunda.

Igualmente, se representan las velocidades alcanzadas en m/s.

12.14.14 Medidas durante el lanzamiento

De la experiencia se obtienen las bases de datos para poder aplicar los coeficientes necesarios para los cálculos, con un grado de confianza aceptable. Por ello es del máximo interés medir, registrar y analizar una serie de datos que se obtienen en las botaduras reales, de algunos de los cuales han de sacarse precisamente conclusiones que son particulares para un astillero determinado. Los datos que se acostumbra tomar son:

- relativos al movimiento longitudinal: recorridos, velocidades, aceleraciones y naturalmente tiempos;
- variaciones de asiento: giro, inclinaciones;
- balances y, en su caso, inclinaciones;
- y, en ocasiones, esfuerzos y deformaciones.

Dada la dificultad para la medida de alguna de las magnitudes citadas con cierto grado de precisión, tradicionalmente se precisaba un alto grado de ingenio. Hoy en día existe un amplio arsenal de aparellaje con sensores y complementos ópticos y electrónicos precisos, aplicable y adaptable a estas necesidades, debiendo poder disponer de profesionales o de empresas especializados para poder realizar estos registros y su análisis.

12.15 Lanzamiento de costado

12.15.1 Formas diversas. Descripción

Cuando las circunstancias lo hacen aconsejable, el lanzamiento puede efectuarse de costado, o sea, transversalmente al plano de simetría del buque. En este tipo de lanzamiento el recorrido es mucho más corto y la resistencia de la carena en la dirección del movimiento es tan grande que el buque se detiene en un espacio muy reducido, aun sin emplear dispositivos de frenado.

En la construcción de series de buques en posición paralela a la orilla del río, los cascos se trasladan horizontalmente sobre su cuna hasta ocupar el lugar del que ha sido botado el último, dejando un hueco en la parte interior sobre la que se comienza un nuevo casco; constituyendo así una cadena de producción.

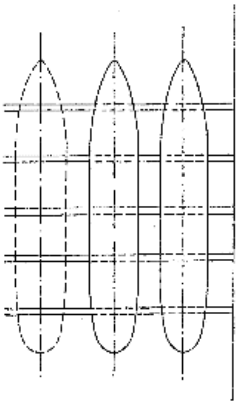


Fig. 12.39 Cadena de producción de series de buques en posición paralela a la orilla del río.

El lanzamiento de costado puede llevarse a cabo por uno de los sistemas siguientes:

a) *Por deslizamiento*. De la cuna sobre la que apoya el buque se transfiere el peso a una serie de anguilas transversales que deslizan sobre las correspondientes imadas, dispuestas con la inclinación conveniente, y soportadas en una corta antegrada, penetran en el agua. El sistema es semejante al de lanzamiento longitudinal, variando el número de imadas y su dirección respecto al buque. La antegrada ha de estar bien cimentada y el buque apoya en la cuna hasta flotar. La cuna se construye en forma de cuña para que el casco permanezca adrizado y deslice paralelamente a sí mismo. No obstante, dada la velocidad que toma, al penetrar en el agua y quedar sometido a la gran resistencia que se opone a la carena, y estando el c.d.g. a mayor altura, se establece un par que actúa sobre el casco, produciéndolo una inclinación transversal, de la que se recuperará por su propia estabilidad al flotar libremente.

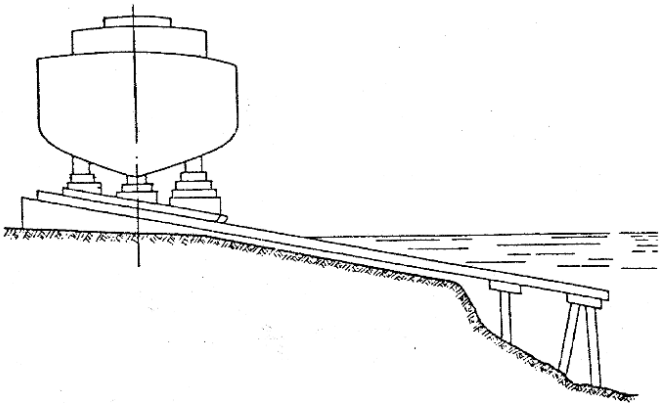


Fig. 12.40 Lanzamiento de un buque por deslizamiento.

Este sistema requiere una antegrada, con lo que no se consigue una de las mayores ventajas que, como se verá a continuación, ofrece la botadura transversal.

La pendiente del plano de deslizamiento ha de ser elevada, con el fin de asegurar el movimiento del buque hasta que flote libremente, venciendo la gran resistencia que el agua opone al avance transversal del casco. De otro modo, podría presentarse una detención prematura con los problemas consiguientes.

b) *Por giro sobre imadas fijas*. La cuna sobre la que asienta el buque puede terminarse inferiormente con juegos de anguilas longitudinales situadas paralelamente al plano diametral, que deslizarán apoyando cada tramo sobre dos o más imadas, o lo que es más frecuente, con anguilas transversales, cada una de las cuales desliza sobre la correspondiente imada. Estas imadas forman el camino fijo y en ambos casos se disponen en sentido transversal, terminando en la misma orilla de la grada a una altura sobre el nivel del agua que, generalmente, es inferior al metro, pero que en otros casos ha sido bastante mayor, alcanzando los tres o cuatro metros. Ambos sistemas se ven en la figura que sigue.

En este tipo de botadura no hay antegrada sumergida y el casco resbala apoyado sobre el camino de deslizamiento hasta que, al rebasar su c.d.g. la vertical de la arista formada por los extremos de las imadas, inicia un giro cayendo hacia el agua, al tiempo que sigue su deslizamiento, apoyado en dicha arista, en una gran arfada controlada. La entrada en el agua se efectúa con una inclinación transversal que se acentúa aún más por el choque, alcanzando escoras importantes del orden de los 50º y 60º, para las que el buque ha de estar preparado y de la que se recupera por su propia estabilidad, dando un fuerte balance hacia el interior en el que debe evitarse que pueda dañarse contra la grada. Las tres últimas fases pueden solaparse, e incluso no existir la tercera.

Siendo notables las cargas en la arista de apoyo durante el giro, el extremo de la grada debe estar especialmente reforzada para soportarlas.

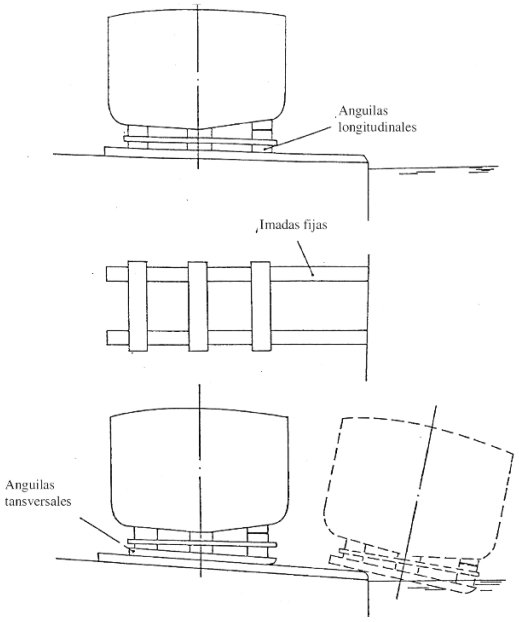


Fig. 12.41 Lanzamiento de un buque por giro sobre imadas fijas.

c) *Por giro sobre imadas basculantes.* Esta es una variante del sistema anterior, muy utilizada para botaduras de costado en los Grandes Lagos, y de particular utilidad cuando el extremo de la grada queda a bastante altura sobre el nivel del agua, con lo que se acentúa la caída del buque. Se practica prolongando las imadas por fuera de la orilla, en un tramo que queda sin apoyo. La última pieza de imadas no está trincada, de forma que, bajo la acción del peso del buque, actúan como balancines, basculando apoyadas en el borde la grada, proporcionando durante el giro una guía al casco, cuyas anguilas siguen deslizando sobre ellas. Al mismo tiempo ofrecen una protección contra posibles golpes en la caída y en el balance de retorno.

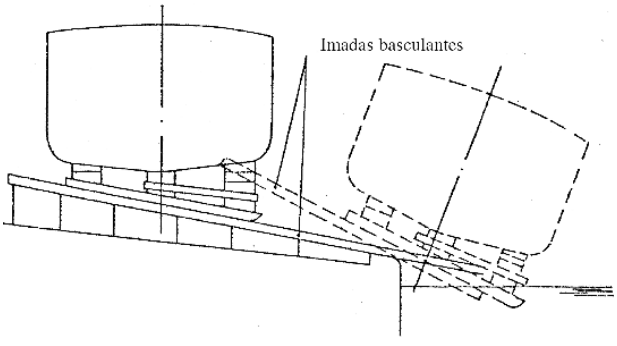


Fig. 12.42 Lanzamiento de un buque por giro sobre imadas basculantes.

Con este sistema el buque efectúa su recorrido por deslizamiento apoyado, bascula guiado sobre las imadas y cae en el agua con inclinaciones notables, según la altura, con efectos muy espectaculares.

12.15.2 Dispositivos de lanzamiento

Durante su construcción el buque apoya sobre picaderos y almohadas distribuidos de forma que dejen sitio para montar la cuna de lanzamiento.

En función del peso del buque y de las presiones unitarias tolerables por las grasas utilizadas en el lanzamiento, las imadas se disponen en la anchura y en número necesario para lograr la superficie de apoyo requerida. El número de ellas suele ser del orden de 15 a 25. Se construyen de grandes piezas de madera empernadas. En longitud se terminan de acuerdo con el sistema a emplear: si es por deslizamiento, prolongadas por la antegrada; si es por giro sobre imadas fijas, terminan en el borde de la grada y si es por basculamiento se prolongan en voladizo, debiéndose preparar el apoyo para el basculamiento. En este caso, las imadas de los extremos, en los que se sitúan las llaves de retenida, se montan de tipo fijo, terminándolas en el borde de la grada.

Como medio de guía se utilizan, asimismo, las gualderas que vimos en lanzamiento longitudinal. Estas pueden situarse sobre las imadas o sobre las anguilas. En este último caso se colocan sobresaliendo hacia abajo, guiando a éstas en su deslizamiento sobre las imadas.

Las anguilas se construyen con grandes piezas de madera empernadas entre sí y sobre ellas se apoyan las cuñas y piezas que forman la cuna. El peso del buque se toma, igualmente, por apriete de cuñas distribuidas uniformemente entre anguilas y calzos de cuna.

Como elementos de retenida se utilizan generalmente llaves de tipo mecánico, parecidas a las vistas en la botadura longitudinal. Habiendo varias de ellas y dada la longitud del buque, en este caso, más que en ninguno, es imprescindible lograr la simultaneidad de disparo.

El proyecto de las llaves y cálculo de su número se efectúa basándose en la componente del peso en la dirección del movimiento, teniendo en cuenta la pendiente, que suele ser mayor que las empleadas en lanzamientos longitudinales, y prescindiendo de la componente de rozamiento.

Siendo importante que el buque se desplace paralelamente a sí mismo, arrancando simultáneamente y con la misma aceleración, tanto por su parte de proa como por

popa, algunos astilleros ayudan al arranque con medios activos de empuje, tales como gatos hidráulicos o neumáticos, semejantes a los que se prevén para la botadura longitudinal, situándolos en ambos extremos, y aplicándoles la presión en el instante que precede al disparo de las llaves de retenida.

Los elementos de frenado pueden ser también necesarios. En una botadura de costado, aunque ya se ha señalado que la resistencia hidrodinámica es muy grande, habrá casos, no obstante, en que el espacio disponible es tan reducido que será preciso el empleo de retenidas de frenado. En este caso, aunque la energía a absorber será proporcionalmente menor que en un lanzamiento longitudinal, el recorrido en que se han de aplicar será, en cambio, mucho más corto que en aquel y la fuerza de frenado podrá tomar valores importantes.

Se han utilizado con este fin sistemas muy diversos, recurriéndose con frecuencia a las rastras o rotura de bozas, debidamente adaptadas. Una disposición posible es la que se indica en la figura que sigue, que se explica por sí misma.

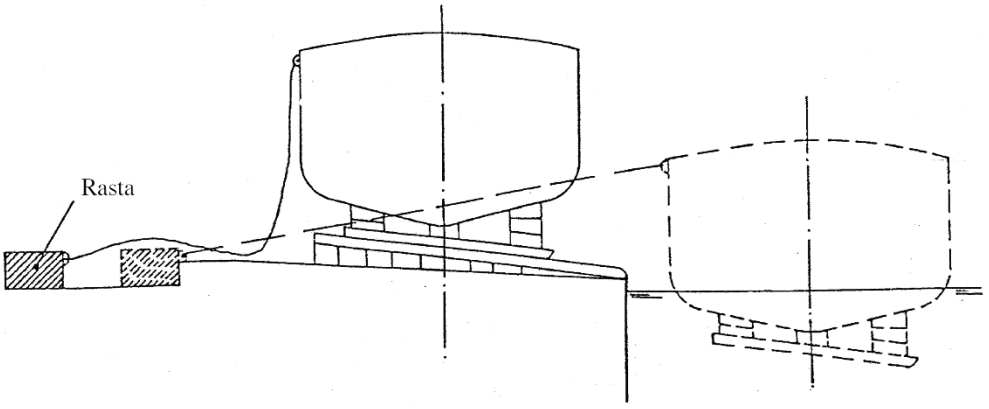


Fig. 12.43 Empleo de sistema de frenado mediante rastras.

12.15.3 Estudio de las botaduras de costado

Toda botadura de costado comienza por una fase en la que el buque se desliza apoyado sobre las imadas, la trayectoria de su c.d.g. es rectilínea y el casco debe desplazarse paralelamente a sí mismo. El cálculo de las velocidades en función del recorrido se obtiene aplicando la misma filosofía que en la botadura longitudinal, es decir, dado que la fuerza que origina el deslizamiento del buque es $F = \Delta\ (sen\ \theta\ - f\ cos\ \theta\ )$ al iniciarse éste y durante el recorrido $F = \Delta\ (sen\ \theta - f\ 'cos\ \theta\ )$

resulta $Vi = \sqrt{2g(sen\ \theta - f'\ cos\ \theta)e_i}$

siendo v_i la velocidad de deslizamiento del buque al final de cada tramo *i* en que se haya dividido la longitud de las imadas sobre la que desliza el buque, y f y f' los valores del coeficiente de rozamiento estático y dinámico, respectivamente, de la grasa, siendo el último de un valor que puede ser un 25% inferior.

Para conseguir que el casco se deslice por igual, sin que se adelante más por un extremo que por el otro, con independencia del empleo de los gatos de empuje y, puesto que la distribución natural de pesos no será uniforme, conviene que, al menos, sea lo más simétrica posible respecto al plano de la maestra. La asimetría de pesos dará lugar a diferencias importantes en la distribución de la carga sobre las imadas. Para acercar el c.d.g. a la maestra puede recurrirse, si es preciso, al lastrado de tanques.

En botaduras por deslizamiento, comienza la segunda fase cuando el casco penetra en el agua. El estudio teórico de esta segunda fase es análogo también al del lanzamiento longitudinal y particularmente en lo que se refiere a la resistencia hidrodinámica, con la aplicación de coeficientes deducidos de la experiencia en otras botaduras semejantes. Desde el punto de vista de la estabilidad, estos cálculos serán quizá más sencillos, pues si el buque está preparado para flotar adrizado y durante el lanzamiento se desliza paralelamente, las distintas posiciones de su c.d.c. estarán prácticamente en el plano vertical del c.d.g. y la resultante estará, igualmente, en el mismo plano. No obstante, hay que considerar un factor nuevo que es la inclinación transversal.

En los métodos de lanzamiento por giro o basculamiento, la primera fase termina al rebasar el c.d.g. la vertical del extremo de la grada. A partir de este punto, la reacción permanece en la arista de apoyo y el par que se origina con las fuerzas que intervienen imprime al casco un movimiento de giro que se combina con el de deslizamiento. Seguidamente, al abandonar las anguilas todo apoyo, queda como única fuerza el peso y el c.d.g. seguirá una trayectoria parabólica de caída, al tiempo que el casco sigue girando. Por último, al entrar el casco en el agua, entrarán en juego las fuerzas hidrodinámicas que se analizan por sus componentes vertical y horizontal; la primera oponiéndose al giro del casco y la segunda favoreciéndolo. La inclinación máxima que tomará el buque puede ser muy grande y cabe destacar la importancia de poderla prever. En su estudio serán de gran utilidad los datos experimentales obtenidos en botaduras anteriores, pero lo más práctico es efectuar un análisis del movimiento por medio de ensayos sobre modelos. La seguridad del buque dependerá de que esta inclinación no sobrepase los valores límites que pueden determinar su inundación e, incluso, su vuelco.

Con un análisis cinemático del movimiento se debe comprobar que, durante el giro, el pantoque o quilla de balance no tocará en el muelle. Esto dependerá en gran manera de la velocidad que haya adquirido el buque en el instante de abandonar su apoyo; razón por la que también se suelen aplicar en estos lanzamientos pendientes mayores que las

utilizadas en lanzamientos longitudinales. Lo común son valores comprendidos entre el 8% y el 16%. Finalmente, la propia reacción de buque en el balance con que responde a la gran inclinación que ha tomado, puede dar lugar a que el costado interior toque en el muelle, extremo que debe comprobarse por cálculo para evitarlo.

En general, el estudio se realizaba por el procedimiento estático, sin embargo, debe estudiarse también el efecto dinámico ya que, en algunos casos, los buques han llegado a escoras mayores que las previstas por cálculo puramente estático.

El procedimiento de cálculo que sigue se aplicaría al método de *botadura transversal por giro sobre imadas fijas*, *con anguilas longitudinales* o *paralelas al diametral*, con caída libre, ya que éste es el más peligroso por las averías que pudieran ocasionarse tanto en las imadas como en el casco del buque, si éste en su caída, no libra el borde del muelle.

Los primeros cálculos a realizar son la comprobación de la estabilidad al caer el buque al agua y la estimación de la velocidad máxima de deslizamiento del mismo cuando la anguila central rebasa justamente el extremo de la imada. En el caso de la **Fig. 12.44** sería:

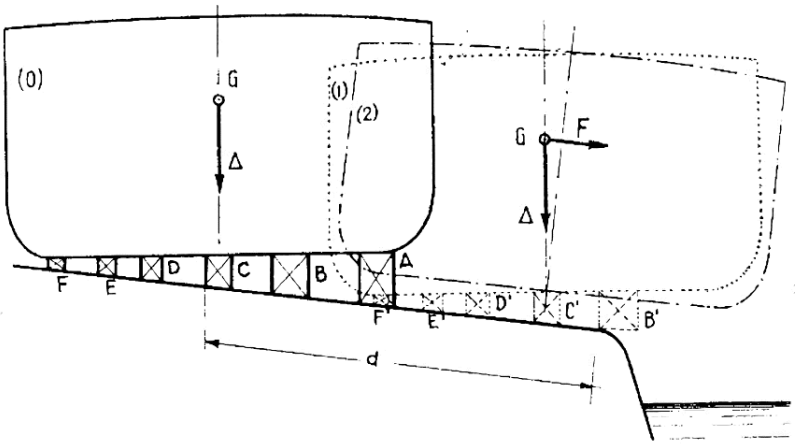


Fig. 12.44.

$$V = \sqrt{2g(sen\,\theta - f'\,cos\,\theta)d}$$

Se calcularía también la aceleración del buque en ese instante.

El cálculo de la inclinación se haría por comparación con los resultados obtenidos en lanzamientos anteriores, siguiéndose métodos puramente empíricos.

El *primer período*, es decir, *el del deslizamiento*, puede estudiarse utilizando las expresiones anteriores correspondientes a la fuerza F y a la velocidad v, pero teniendo en cuenta que los valores que se utilicen para el coeficiente de rozamiento f, en el arranque, y f´, ya cuando ha comenzado el deslizamiento, serán distintos a lo largo de la eslora del buque, ya que dependen de la presión real que se ejerce sobre las imadas, que es distinta a lo largo de dicha eslora, acusando un aumento en la mitad central, con un máximo muy cerca de la cuaderna maestra.

En el estudio del *segundo período*, es decir, *desde que el canto de la anguila central rebasa el extremo de la imada*, deben tenerse en cuenta las fuerzas que intervienen en el movimiento y los pares originados por éstas.

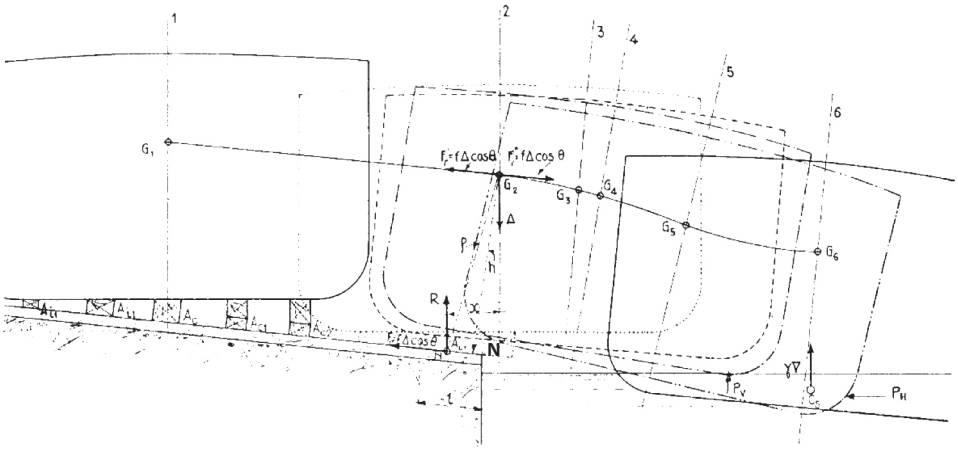


Fig. 12.45 Análisis dinámico de un lanzamiento de costado.

En Fig. 12.45 puede verse que las fuerzas exteriores que actúan son: el peso Δ del buque incluida la cuna, aplicado en el c. de g. del conjunto; la reacción R, igual y de signo contrario a Δ, aplicada en el borde de la primera anguila más próxima al diametral, que todavía se apoya en las imadas; y por último, la fuerza de rozamiento

$$F_r = f'.\ \Delta\ cos\theta$$

El peso Δ y la reacción R originan un par escorante de valor $M'_e = \Delta.x$

Si suponemos aplicadas en G dos fuerzas iguales a la de rozamiento y contrarias entre sí (F'_r y F''_r), se tiene como consecuencia una fuerza $F'_r = f'\ \Delta\ cos\theta$ contraria al movimiento, aplicada en G, y un par escorante producido por las otras dos fuerzas F_r y F''_r, de valor

$$M''_e = f' \Delta\, h \cos\theta$$

En la que *h* es la distancia desde G a las imadas.

El momento escorante que resulta es la suma de los dos anteriores, es decir:

$$M_e = M'_e + M''_e = \Delta x + f' \Delta\, h \cos\theta$$

Este par hace girar al buque alrededor de la arista representada por el punto N provocando una aceleración angular $\frac{dw}{dt}$ de valor $\frac{dw}{dt} = \frac{Me}{I}$

Siendo *I* el momento de inercia del buque con respecto a la arista antes indicada, representada por N.

La aceleración de rotación del C. de G., G, como consecuencia de este movimiento de giro es

$$a_g = \rho \frac{dw}{dt}$$

en la que ρ es la distancia de G a N.

Y la aceleración lineal del movimiento debida a la fuerza *F* es

$$a_G = \frac{F}{m} = \frac{Fg}{\Delta},$$

siendo $F = \Delta \operatorname{sen}\theta - f'\ \Delta \cos\theta$; combinada con la de rotación, antes calculada, hace que el centro de gravedad G del buque, incluida su cuna, describa una trayectoria curvilínea G_2 , G_3 , …, hasta que la última anguila, la situada más cercana al costado, rebase el extremo de la imada.

A partir de ese momento, en el *tercer período*, el movimiento del centro de gravedad del buque hasta que toque en el agua, es decir, la trayectoria $G_3\, G_4$, será aproximadamente parabólica y, además, el buque girará alrededor de G con un movimiento prácticamente uniforme debido al último valor del par M_e que actúa un instante antes de llegar a la posición 3.

A partir del momento en que el buque toca el agua, posición 4, o *cuarto período*, comienzan a actuar tres nuevas fuerzas: el empuje $\gamma.\nabla$ de la parte de carena que se sumerge, aplicada en la vertical de su centro de carena, que tratará de *adrizarlo*; la componente vertical de la resistencia hidrodinámica, V_H, a la entrada del buque en el agua, que también es *adrizante*; y la componente horizontal, H_H , de dicha resistencia hidrodinámica , que actuará como fuerza *escorante.*

Para el cálculo de la trayectoria del centro de gravedad del buque en la parte $G_2\ G_3$, o *segundo período*, se puede suponer dividida la distancia *l* recorrida por la imada A_{i1} en cierto número de partes o intervalos, y suponer que, en cada uno, el momento escorante M_e es constante e igual al promedio entre los valores correspondientes a cada una de las posiciones extremas del intervalo. Para ello, por tanteo se determina la nueva posición de G y se comprueba que, aplicando el momento promedio de los dos pares extremos del intervalo considerado, la nueva posición del centro de gravedad coincida con la prevista por tanteo.

Para evitar los tanteos, puede seguirse un procedimiento análogo al utilizado en el estudio dinámico del lanzamiento longitudinal, estableciendo que el incremento de la energía cinética en cada intervalo considerado es igual al trabajo de las fuerzas exteriores, es decir:

$$1/2\ m\ (v_p^2 - v_{p-1}^2) + 1/2\ I\ (\omega_p^2 - \omega_{p-1}^2) = \Delta\ (sen\theta - f' \cos\theta)\ e + \Delta .\ \Delta\ (Z_G)$$

Expresión en la que el primer término corresponde al deslizamiento sobre las imadas y el segundo al movimiento de giro alrededor de N.

Estableciendo por tanteo la nueva posición del centro de gravedad, se puede determinar el par de rotación promedio entre las dos posiciones que se consideran y comprobar si el valor ω_p satisface la ecuación. El de v_p se determina como en el lanzamiento longitudinal, por la expresión anterior.

Cuando el buque ya gira libremente, la ecuación anterior queda reducida a:

$$1/2\ I\ (\omega_p^2 - \omega_{p-1}^2) = \Delta .\ \Delta\ (Z_G)$$

Expresión en la que I es el momento de inercia del buque con respecto al eje que pasa por su centro de gravedad, paralelo al eje de crujía.

Dado lo corto que es este período, basta suponer un solo intervalo angular y comprobar que el valor de ω_p, deducido del movimiento angular, satisface la ecuación.

En el *cuarto período*, *desde que el buque toca el agua*, aparecen las *fuerzas de empuje* sobre la carena, que sucesivamente se van incrementando y que pueden determinarse por medio de curvas de Bonjean correspondientes a secciones longitudinales inclinadas, así como las posiciones de los correspondientes centros de carena. Además, existe la *resistencia hidrodinámica* a la penetración del barco en el agua, que se descompone en un fuerza vertical V_H, que se añade al empuje, y otra horizontal H_H, que se opone al movimiento del barco en horizontal tratando de separarse del muelle.

Los coeficientes de resistencia hidrodinámica en el caso de buques mercantes pueden suponerse de aproximadamente igual a 4 para la resistencia horizontal, y de 20 para la vertical, aunque en un barco fino, éste debe tomarse entre 15 y 10.

La relación de estos coeficientes con las componentes vertical y horizontal de la resistencia hidrodinámica son:

$$C_{DH} = \frac{H_H}{\frac{1}{2}\rho . A_V \cdot V_H^2}$$

Expresión en la que H_H es la componente horizontal de la fuerza hidrodinámica, ρ la densidad o masa específica del agua, A_V es el área del plano de deriva que se opone al movimiento (por debajo del nivel de agua), y V_H la componente horizontal de la velocidad del centro de gravedad del barco.

$$C_{DV} = \frac{H_V}{\frac{1}{2}\rho . A_H \cdot V_V^2}$$

Expresión en la que H_V es la componente vertical de la fuerza hidrodinámica, ρ la densidad o masa específica del agua, A_H es el área de la flotación en aguas tranquilas y V_V la componente vertical de la velocidad del centro de gravedad del barco.

12.16 Ensayos con modelos

Para estudiar las botaduras de buques de tipos con los que no se tiene experiencia, y de otras unidades, como puede ser para las botaduras de plataformas off-shore, aparte de los cálculos que normalmente se hacen, se recurre normalmente al ensayo con modelos construidos a escala en los que se observan los efectos de las distintas variables. De los valores obtenidos en los ensayos se deducen los de botadura real por la ley de semejanza, según la cual, las velocidades varían con la raíz cuadrada de la escala.

En estos ensayos es necesario que el modelo se adapte a las condiciones del original, no sólo en sus formas, que han de estar fielmente reproducidas a escala, sino también sus características de peso, estabilidad y radio de giro. Incluso se utilizan tanques en los que se reproducen los contornos del lugar de lanzamiento y el fondo del canal o río.

La estabilidad del modelo se verifica sometiéndolo a una experiencia de estabilidad. Deben comprobarse los pares adrizantes a las inclinaciones grandes que ha de tomar el buque en el lanzamiento. La posición del c.d.g. se rectifica, si es preciso, variando en el modelo la posición de los plomos de lastrado.

12.17 Flotadura o botadura en dique seco

La simplificación que supone la maniobra de puesta a flote de un buque construido en un dique seco (ver punto 12.18, que sigue) es evidente, y es tanto más importante cuanto mayor es el tamaño del buque. Actualmente son numerosos los grandes diques disponibles en el mundo para la construcción de VLCCs (Very Large Crude Carriers) y otros tipos de buques de gran porte como los bulkcarriers, portacontenedores, gaseros, ferries, transatlánticos, plataformas, etc.

La botadura se realiza por el sencillo procedimiento de inundar el dique hasta igualar el nivel interior del agua con el exterior del mar. Durante este proceso el buque habrá quedado flotando. Después de retirar la puerta del dique, se remolca hasta atracarlo al muelle en que ha de quedar amarrado.

No obstante, no se deben dejar de considerar los riesgos que puede acarrear la maniobra. Cargas excesivas o asimétricas sobre apoyos y picaderos, corrimiento y vuelco de picaderos y otras contingencias podrían ser la causa de problemas mayores y provocar, incluso, daños en el casco.

Una etapa crítica para la estabilidad del buque es la que corresponde al período de inundación que precede al despegue del buque, por el hecho de estar apoyado y no tener aún flotabilidad suficiente para mantenerse adrizado. Si el trimado que ha de tener el buque a flote no es cero, lo cual en ciertos buques es difícil de lograr sin abusar del lastre, con posibles dificultades de calado, y tampoco es conveniente por el riesgo de que por error de cálculo resulte negativo, habrá un momento durante la inundación en que la proa empieza a despegar y la reacción resultante de la diferencia de peso y empuje se concentra en el picadero de popa sobre el que se efectúa un giro.

Los cálculos necesarios para realizar la operación con seguridad no son tan complejos como en un lanzamiento, sin embargo deben realizarse con la debida precisión para evitar que se produzcan cargas anormales en algún picadero, debido a los asientos e inclinaciones que puede tomar el buque a flotar. Han de incluir la determinación del peso del buque y de la posición de su c.d.g., tanto en altura sobre la base como su posición longitudinal. Igualmente, se ha de disponer de las curvas de desplazamiento y la posición del c.d.c. tanto longitudinalmente como en altura en función del calado del buque y con relación al nivel de agua en el dique.

Con estos datos, se traza la curva de momento del desplazamiento con respecto al último punto de apoyo en la popa, en función del nivel de agua en el dique, y el valor del momento del peso con respecto a dicho punto, que será una recta horizontal. El punto en que se cruzan señala el nivel de agua en el dique en que el buque empieza a despegarse levantando la proa, quedando sólo apoyado en la popa. La diferencia entre el peso del buque y el desplazamiento del mismo que corresponde a cada nivel

de agua en el dique, nos da el valor de la reacción vertical total en los apoyos, siendo particularmente interesante el valor de la reacción en el apoyo de popa, cuando comienza el giro y el buque se levanta por proa.

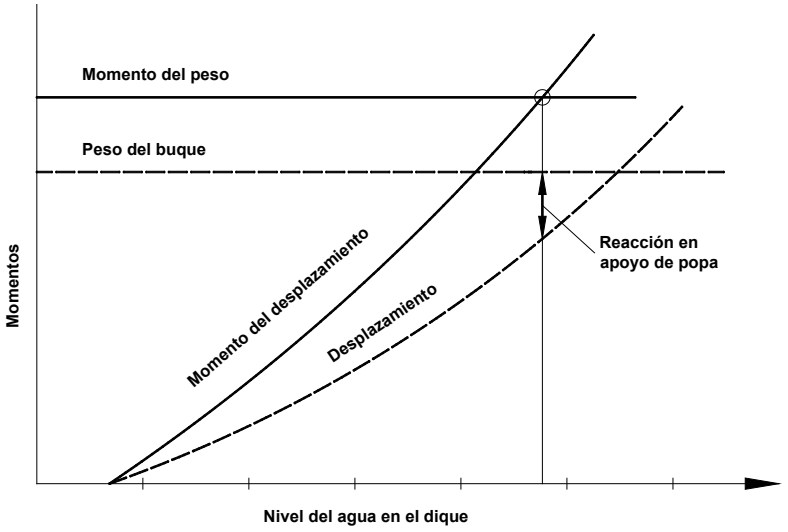


Fig. 12.46 Momento del peso del buque y momento del empuje respecto a apoyo en popa en función del nivel de agua en el dique. Id. valor del peso y valor del empuje en función nivel llenado.

Se dispondrá también de la curva de alturas metacéntricas transversales en función de los niveles en el dique, y con el valor de la reacción puntual en popa, se determina la altura metacéntrica transversal virtual en el momento del despegue y se comprueba si la estabilidad es adecuada.

Será conveniente, en general, que el trimado por la popa que vaya a tener el buque al flotar no sea muy acentuado, con el fin de reducir la carga sobre el último picadero de popa sobre el que se va a apoyar durante el giro. En buques con talón de codaste conviene evitar que este apoyo se haga sobre dicho talón, por el riesgo que implica de deformarlo e, incluso, de rotura. Para conseguir el trimado adecuado se estudia una distribución apropiada de lastre que debe comprobarse por resistencia longitudinal para que no pueda originar esfuerzos superiores a las tolerancias admisibles.

Para hacer la operación inversa, es decir, para varar o meter en dique seco un buque, debe disponerse el buque con la quilla a nivel antes de entrar, con el auxilio de una adecuada distribución del lastre en los tanques, y se guiará para su correcta situación y centrado con respecto a las paredes del dique con la ayuda de los carros guía laterales de este último. Los picaderos y almohadas para apoyo del buque en el fondo del dique deben situarse de acuerdo con el llamado *plano de varada del buque*, preparado al efecto para este cometido, donde se señala la posición de los elementos estructurales y

de reforzado más fuertes, bajo los cuales han de estar situados los apoyos, a fin de que no se produzcan deformaciones ni se dañe la integridad estructural del casco. Una vez situados los picaderos, se dispondrán marcas y testigos para llevar a cabo, de acuerdo con ellos, la situación exacta del buque por medio de los carros guía citados, antes de proceder a achicar el agua para el apoyo del buque en el fondo.

En caso de que el buque tenga el fondo con forma especial habrá de construirse, previamente a la varada, una cama especial adaptada a las formas y reforzado estructural del fondo del barco.

12.18 Descripción y equipamiento de los diques secos para la construcción y reparación

Un dique se puede definir como una dársena provista de puerta, donde, aparte de poderlos reparar, se pueden montar y armar los buques.

Las partes fundamentales del dique son: *solera o piso*, *cajeros o paredes laterales*, *frente o pared frontal* y la *compuerta o puerta de entrada/salida*, también llamada *barco puerta* cuando se abre/cierra respectivamente por flotación/inundación de la misma. Como equipamiento anexo de gran importancia se dispone de la cámara o caseta de bombas destinadas al achique o inundación del dique.

12.18.1 Clasificación de los diques secos

Según la disposición del piso o solera:

a) De solera simple:

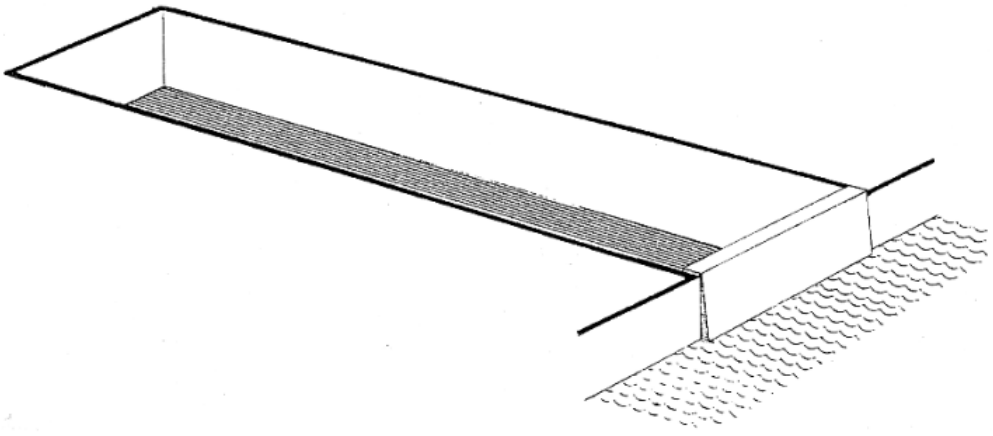


Fig. 12.47 Dique de solera simple (con una puerta).

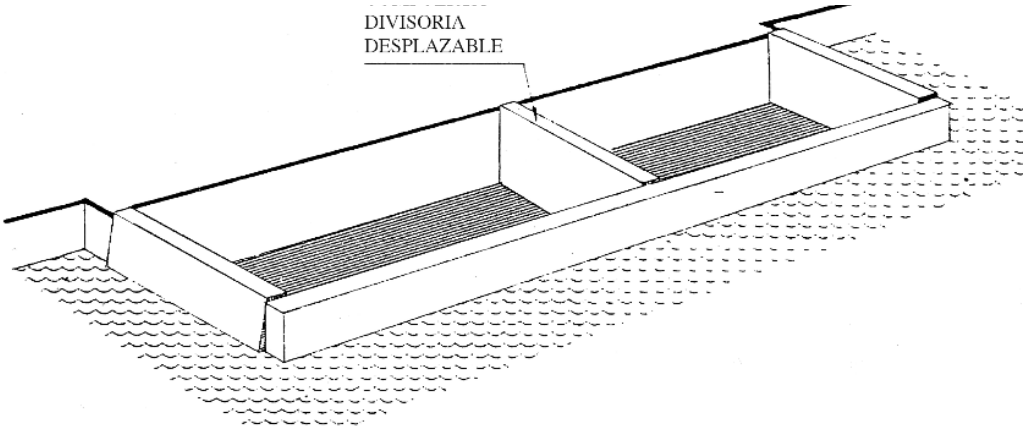


Fig. 12.48 Dique de solera simple (con dos puertas).

Esta solera tiene que soportar la presión del buque y la presión del nivel freático.

b) De dársena intermedia:

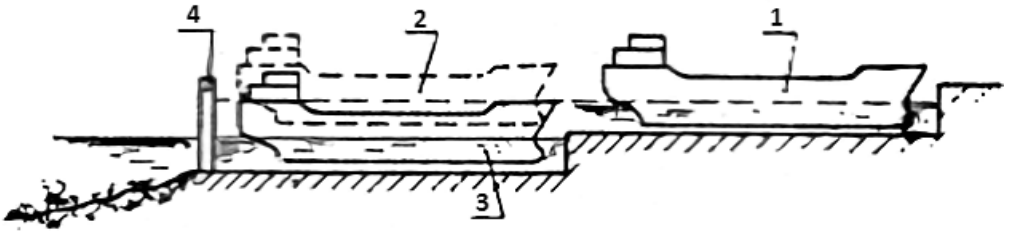


Fig. 12.49 Fases de puesta a flote en dique con dársena: 1. Buque a flote en dique. 2. Buque trasladado a la dársena. 3. Buque en dársena después de achicado el agua. 4. Puerta estanca de la dársena.

El objeto de esta disposición es reducir el coste de construcción de la solera, para lo cual la ésta se dispone por encima del nivel del mar, siendo las presiones mucho menores. En definitiva, lo que se hace es subir la superficie de apoyo del buque. Para flotarlo es necesario bombear agua a puerta cerrada hasta conseguir un nivel que lo haga flotar.

Después se traslada el buque a la dársena, y se achica hasta igualar niveles en la mar y dársena, luego se abre la puerta y se saca el buque.

Por un lado, se abarata la solera pero es necesario construir dique y dársena anteriores.

Según el número de puertas:

a) De una sola puerta:

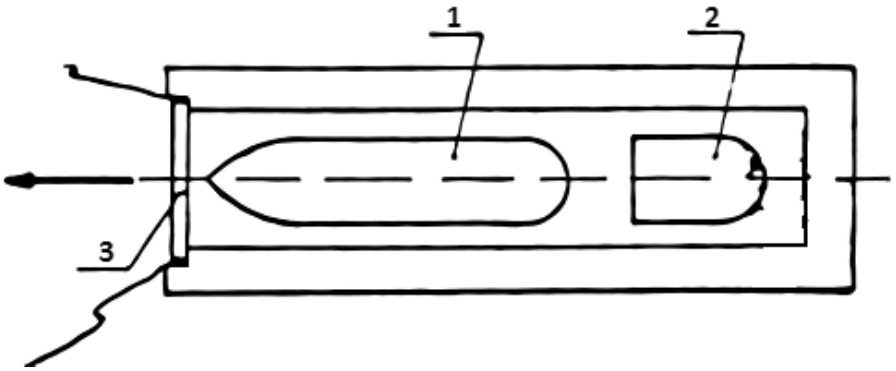


Fig. 12.50 Dique para construcción en tándem: 1. Buque núm. 1; 2. popa del segundo buque 3. Puerta estanca.

Son los más usuales. Se puede construir buques de uno en uno, un buque y parte de otro. Esto obliga a flotar el trozo de buque o a inundarlo si no es flotable. Se saca el buque 1 y se deja el trozo 2 en la posición se haya previsto. Se pueden también construir varios buques a la vez.

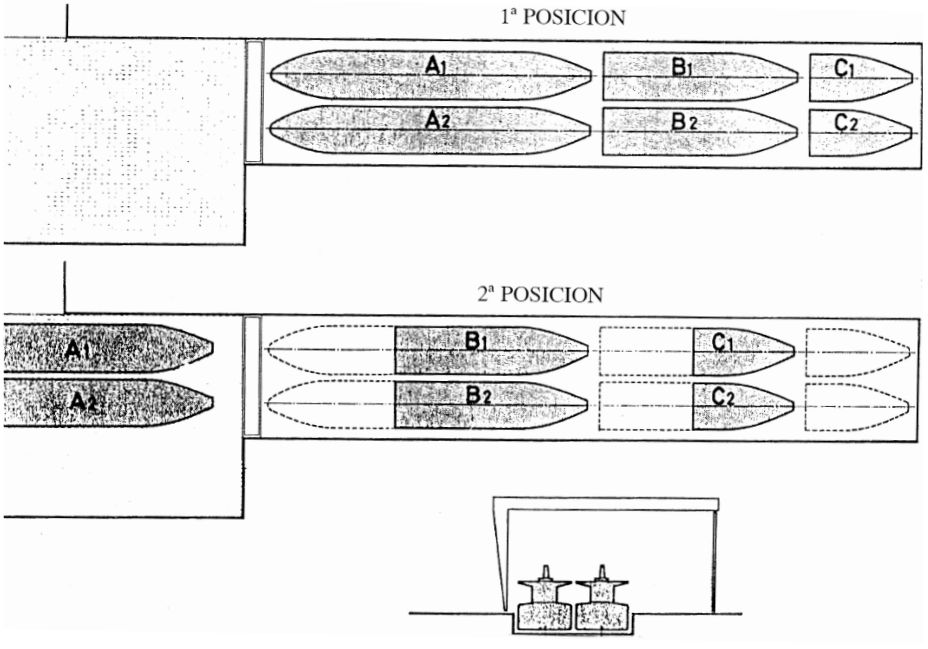


Fig. 12.51 Construcción de varios buques a la vez.

b) De tres puertas:

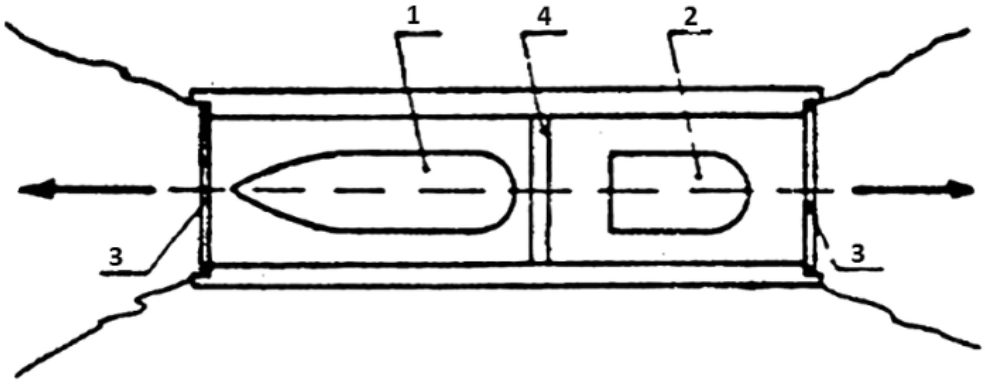


Fig. 12.52 Dique con dos puertas de salida: 1. Buque núm. 1; 2. Popa del segundo buque; 3. Puerta estanca; 4. Puerta estanca trasladable.

Las puertas sirven para la salida independiente de cada buque o trozo. La puerta intermedia sirve de separación de los buques es trasladable.

— *Ventajas:* Independencia en la construcción.

— *Desventaja:* Mantenimiento y maniobra más complicada.

Según el tipo de puertas:

Las más usuales son de los tres tipos que siguen:

1. De dos hojas con eje de giro vertical. Se alojan en las paredes laterales del dique, se abren ayudadas por chigres y cables.
2. De una hoja, articulada en su parte inferior que abre hacia afuera hacia el foso en la ante entrada. Se mueven con chigre y cable y son ayudadas por tanques de inundación y de achique. Tienen el inconveniente de la necesidad de dragados e inspecciones periódicas del fondo de asiento de la puerta. Se le suelen poner dados de apoyo por afuera.
3. Barco puerta: Se hunde para cerrar y se pone a flote para abrir como se indicó antes.

En todos los casos las aperturas y cierres de las puertas están condicionadas por las mareas que pueden ayudar a estas maniobras.

12.18.2 Casa o cámara de bombas

Es un recinto donde se disponen las bombas de servicio del dique.

a) *Las principales son las de achique*, destinadas a vaciar el dique y conseguir la varada del buque. Suelen disponerse dobles por seguridad y alcanzan gran capacidad en grandes diques del orden de hasta 30.000 m³/hora.

b) *Bombas de solera*: en algunos diques es más rentable poner la solera flotante, es decir, sin pilotar y disponer de bombas que vayan disminuyendo y manteniendo el nivel freático controlado. Deben trabajar ininterrumpidamente.

c) *Bombas de achique (menores)*: nos referimos a las pluviales y a las de mantenimiento en seco del dique.

d) *Bombas de lastre*: para lastrar los buques para pruebas o salida del dique.

e) *Bombas de contraincendios*: aunque no es imprescindible a veces se dispone en esta cámara.

Para facilitar el cebado se disponen en recintos bajo el nivel del mar. Deben tener grupos electrógenos como seguridad.

12.18.3 Servicios

Son similares a los de las gradas, siendo las particularidades de los servicios de los diques las siguientes:

a) *Grúas*: es muy corriente disponer de grandes pórticos que se trasladan a lo largo de la eslora. Algunos, de mayor manga que el dique, suelen tener 3 ganchos y auto volteo.

   Disponen de otras grúas de distintas capacidades que algunas pueden ser trasladables.

b) *Conducción de servicios*: los servicios de energía eléctrica, aire comprimido, agua, gases, etc., sueles ir dispuestos en galerías en los cajeros.

c) *Carros guía para maniobra de los buques*: Para la maniobra de los buques en las flotaduras o de los trozos de buques se utilizan carros guía movidos por cables y reenvíos movidos por una maquinilla. Estos carros guías discurren a lo largo del dique por ambas bandas. También se utilizan maquinillas instaladas a bordo, contando asimismo con el auxilio de remolcadores.

12.18.4 Dársena

Generalmente los diques disponen a su salida de una dársena donde los buques son atracados a los muelles, son terminados de armamento y realizadas las pruebas sobre amarras.

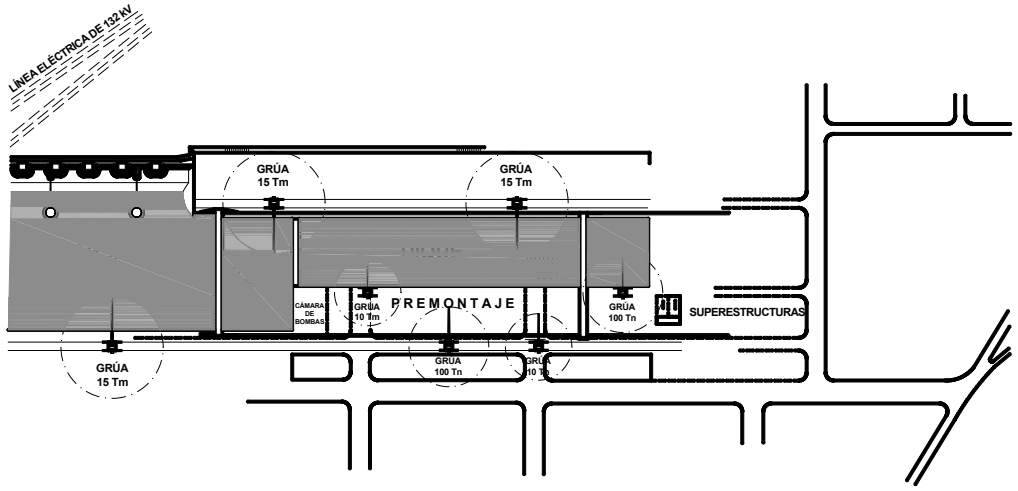


Fig. 12.53 Dique y dársena. Factoría de Matagorda.

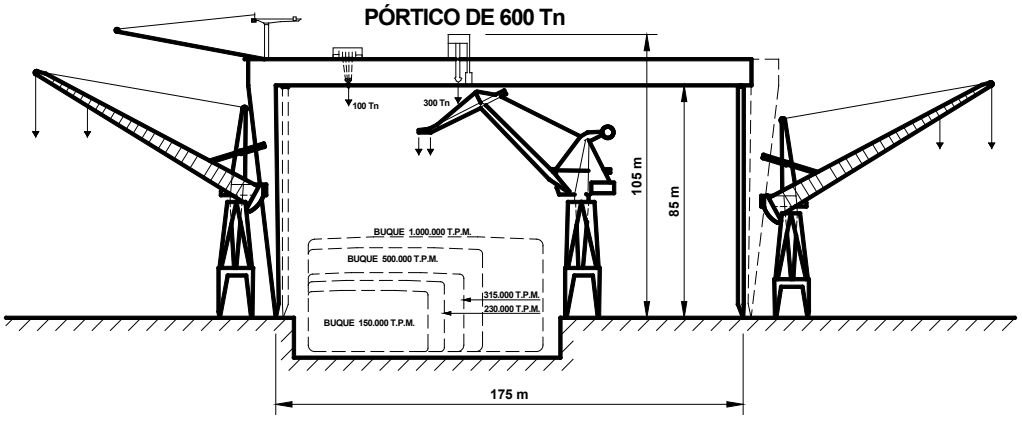


Fig. 12.54 Dique de Matagorda (Cádiz).

Grúas de la dársena: dispone de grúas pequeñas para armamento y en algunos astilleros los pórticos salen hasta la dársena con lo que pueden montarse grandes pesos a flote.

Servicios: Dispone de los mismos del dique.

12.19 Listado resumen de procedimientos de puesta a flote de buques y estructuras marinas

En los párrafos anteriores se han descrito los procedimientos convencionales, si se quiere más importantes y espectaculares, de botadura y puesta a flote, pero no son los únicos.

A continuación, se exponen una lista resumen de diversos procedimientos utilizados, que no son los únicos, y entre los que se incluyen los anteriores:

— Carro varadero: para puesta a flote o puesta en seco de pequeños buques y embarcaciones.

— Grúas, normalmente locomóviles: se pueden utilizar para lo mismo.

— Construcción/reparación en dique seco: para buques, plataformas semisumergibles, *jack-up* y barcazas.

— Botadura dinámica:

  - Longitudinal: para buques, plataformas semisumergibles, *jack-ups* y barcazas.
  - Transversal (de costado): *idem*.

— Transferencia horizontal:

  - Dique flotante: para buques.
  - "Heavy lift": para semisumergibles, *jack-ups*, submarinos.
  - Sincrolift: para buques.
  - Barcaza: para *jackets*, módulos (*top sides*), *jack-ups*, semisumergibles.
  - Vigas de transferencia apoyadas en el fondo: para *jack-ups*.

— Puesta a flote de estructuras marinas construidas en playa:

  - Sobre imadas móviles: *jackets*.
  - Sobre rodillos: buques de menor tamaño.
  - Movimiento por pivoteamiento sobre montones de arena desplazables: *jack-ups* (Golfo de México).

— Puesta a flote aprovechando las variaciones de marea: bateas mejilloneras, etc.

— Puesta a flote por inundación de espacios cerrados previamente con tablestacas: Estructuras off-shore de hormigón (Mar del Norte).

Capítulo 13

Habilitación y decoración del buque

13.1 General

La habilitación de un buque o unidad marina depende del número de camarotes y de los diversos locales que necesite, siendo todos ellos a su vez función del número de tripulantes, trabajadores y pasajeros, así como del estándar del diseño y, por supuesto, de otras condiciones del proyecto del buque o unidad marina de que se trate como son sus fines específicos, duración de los viajes o estancia en la mar u off-shore, lugar y época del año, así como las exigencias particulares del país de abanderamiento y otras reglamentaciones y normas internacionales, como son el SEVIMAR (o SOLAS), etc.

13.2 Tripulación y espacios de tripulación

En buques de carga los factores determinantes del número de tripulantes son:

— Los reglamentos en vigor.

— La implantación de sistemas de automatización (como es con *Cámara de Máquinas Desatendida*, etc.)

En buques de pasaje el número de tripulantes lo determina el armador en función de las necesidades de atención al pasajero, según el estándar que se exija del buque de pasaje o de recreo.

En otros tipos de buque como: remolcadores (6 a 10 tripulantes), pesqueros (de 12 a 35), etc., el número de tripulantes dependerá del tamaño del barco, de la finalidad para que esté construido, del destino al que se dedique, etc.

En otro tipo de unidades como plataformas petrolíferas, buques para tendido de tuberías ("pipe-lines"), unidades auxiliares para trabajos off-shore diversos, el número de tripulantes, depende también del fin específico de la unidad.

En los buques, los espacios de habilitación de la tripulación no deben estar situados más a proa del plano vertical situado a una distancia del 5% de la eslora hacia popa de la perpendicular de proa, ni debajo de la línea de carga situada más baja (salvo algunas excepciones). También deben estar separados del pasaje en los buques destinados a este efecto.

Las acomodaciones deben estar construidas con materiales resistentes al fuego y con sistemas de protección contra incendios, así como con aislamientos contra calor, frío, condensaciones, ruidos, etc.

Deben tener especiales protecciones contra incendios los pasillos, escaleras y medios de escape.

No se permiten más de 4 tripulantes por camarote y se exige un mínimo de m^2 por persona que varía en función del tipo de buque y dentro de éste, de su tonelaje. La altura libre mínima de techos es de 1,9 m. Al menos debe haber un aseo completo por cada 8 tripulantes, aunque cada vez se tiende más a uno por cada tripulante, si el tamaño del buque lo admite.

Los comedores y salas de estar deben situarse próximas a la cocina, y ser de suficientes dimensiones para atender a todo el personal de cada turno.

Habrá un hospital cuando el número de tripulantes exceda de 12 y los viajes sean superiores a 3 días. Ese local no puede ser utilizado para otro menester y tendrá una cama para cada 12 tripulantes, teniendo que estar equipado con un aseo completo. Si el buque dispone de camarotes individuales con aseo, no se requiere un hospital, aunque sí una enfermería.

Para la tripulación debe preverse zona de lavado y planchado de ropa, así como locales de esparcimiento.

Los camarotes del capitán y de jefe de máquinas suelen incluir una oficina además del dormitorio y aseo.

Es práctica frecuente separar los oficiales de los otros tripulantes, situándolos en cubiertas de superestructura diferentes, estando los primeros y sobre todo el capitán, el jefe de máquinas y, si lo hubiera, el telegrafista, lo más cerca del puente de gobierno que sea posible.

Hay que hacer notar que la habilitación de un buque influye en el rendimiento psíquico de la tripulación y por tanto en su salud, motivación, y en su trabajo diario. Es por ello que deben cuidarse las localizaciones, mobiliario, colores, iluminación, nivel de ruidos,

temperatura, humedad, vibraciones, etc., intentando ejecutarlas de manera que sean lo más placenteras posible, incluyendo locales como gimnasio, zonas de juego, etc. en aquellos buques de, relativamente, cortas estancias en puerto.

13.3 Espacios de pasaje

Para definir la distribución de los camarotes en un buque de pasaje es imprescindible conocer el número de pasajeros, las distintas clases de pasaje, los diferentes tipos de locales y los espacios públicos, datos que suministra el armador.

Con estos datos hay que definir los mamparos principales, así como los mamparos, contra incendios, aunque normalmente suelen coincidir ambos. Es importante reseñar que en esta etapa inicial hay que situar las escaleras que vienen definidas por las zonas de escape contra incendios.

Hay que prever las zonas de ventilación, aire acondicionado, paso de cables, tuberías de servicio sanitario, tronco de ascensores, etc., así como tener en cuenta en la etapa inicial de proyecto la situación de los montacargas y montaplatos para unir cocina con comedores, oficios, bares u otros servicios de hostelería, salidas de residuos sólidos, etc.

Los camarotes de pasaje deben ser confortables, lo más amplios posible y de aspecto grato. Generalmente van situados en una o dos cubiertas en los buques de línea y en cuatro o más cubiertas en los grandes cruceros, con varios estándares de habitabilidad que se reflejan en decoración, mobiliario, amplitud del camarote, tipo de aseo, camas fijas o de tipo rebatible, etc. En ciertos tipos de buques de pasaje, como los usados por los peregrinos, puede haber camarotes con camas similares a las de los departamentos de literas de los trenes, en los en los que los aseos van situados en zonas próximas a ellos, pero tales que uno solo sirva para atender aproximadamente a unas 12 personas. En los *ferries* concebidos para travesías cortas se disponen salas con butacas, también con aseos en su proximidad.

13.4 Espacios públicos de pasaje

Los comedores se sitúan próximos a la posición de la cocina, bien sea en la misma cubierta o en la inmediata superior o inferior, conectándose mediante montacargas. Además, en buques de crucero, los comedores se sitúan en zonas panorámicas y, en muchos casos hacia popa, con alturas superiores a los 2,7 m normales entre cubiertas para evitar posibles sensaciones de agobio. Determinados detalles deberán cuidarse en los comedores, como el que los pasajeros no deben sentarse de cara a los mamparos o zonas de casco cerradas. La mayoría de las mesas deben ser para 4 personas, combinándose con las de 2 o de 6 personas.

Los espacios públicos, generalmente ruidosos, deben estar separados de la zona de camarotes, o bien aislados acústicamente. En la parte de proa de la cubierta a la intemperie puede colocarse una zona acristalada de observación y relax, protegida del viento, que puede dedicarse a solárium, cafetería, zona de juegos, etc.

Las zonas de recepción a la entrada del buque deben ser suficientemente amplias para permitir entradas y salidas de multitud de pasajeros En ellas deben situare las escaleras principales de acceso a camarotes, ya que son el centro neurálgico del buque. También hay que situar en ellas el mostrador u oficina de recepción con una disposición similar a la de la una recepción de hotel.

Podrá haber, además de zonas de esparcimiento, un local habilitado para lectura y escritura. Caso de llevar teatro o cine (generalmente cuando el número de pasajeros excede de 250), es deseable que vaya situado a popa de la superestructura para evitar problemas de tráfico cruzado.

En muchos cruceros es común situar una veranda para el paseo del pasaje, así como zonas de fumadores, juegos de cartas, etc. También es común una zona de cocktail y una sala de baile con un palco para los músicos. El café bar suele situarse en las proximidades de la piscina, desde la que se podrá, normalmente, acceder al mismo. En caso de existir guardería, debe estar dotada de juguetes o elementos de entretenimiento para niños, y siempre bajo la vigilancia de un miembro de la tripulación.

La piscina debe ir situada preferentemente con su mayor dimensión en el sentido de la eslora para evitar mermas innecesarias en la estabilidad del buque, por disminución de su altura metacéntrica, y con zonas anexas de cambio de ropa, duchas y aseos. También se instalan piscinas en buques mercantes, si así lo exige la especificación. Hay que tener presente que el fondo de la piscina penetrará en la cubierta inmediata inferior y que las bombas, para el servicio de la piscina, deben estar en un local anexo. Suelen ser de fibra de vidrio, en color azul claro.

Además de la veranda, las zonas de paseo permiten a los pasajeros pasear al resguardo de la brisa o condicionantes atmosféricos, defendidos por pantallas transparentes o translúcidas y, en muchos casos, con hamacas y sillas de cubierta. Estas zonas pueden estar en la cubierta de embarque a botes.

Deben preverse las zonas destinadas a tiendas, peluquería, librería, estanco, fotografía, etc.

En lo referente a la decoración interior, fundamentalmente de zonas comunes, es bastante común contratar a especialistas en estos campos para sacar el máximo

partido de estos locales, y sus bocetos o propuestas deberán tenerse en cuenta desde las primeras etapas del proyecto, a fin de evitar cambios muy costosos en las últimas etapas.

13.5 Espacios de navegación

El puente de navegación se sitúa en la parte de proa de la cubierta más alta, donde también van los locales de radio y derrota. La visibilidad desde el puente no debe ser interrumpida por obstáculo alguno hasta una distancia de, al menos 2 esloras contadas a partir de la proa del buque, estando éste en la situación de lastre. Unidos al puente, hacia el exterior y hacia los costados (caso de que la caseta del puente no llegue hasta los costados del buque), se encuentran los alerones que deben permitir la visibilidad de dichos costados a cualquier persona situada en su extremo. Por delante del puente se coloca muchas veces una pasarela que une los alerones y que permite, entre otras, la limpieza de las ventanas de visión panorámica. Las puertas de acceso a los alerones desde el puente suelen ser de corredera. La derrota suele situarse a popa y a estribor del puente de gobierno y sus dimensiones deberán permitir disponer una mesa grande donde poder extender las cartas náuticas y trabajar en ellas. Éstas se guardan en diferentes cajones de grandes dimensiones situados en las mesas de derrota. Es frecuente separar la derrota del puente por medio de un mamparo plegable o cortina. Simétricamente, en la banda de babor es donde se suele situar el cuarto de radio, separado del puente por un mamparo fijo, con una ventana de comunicación entre ellos.

En el caso de buques de "un solo hombre en el puente de gobierno" se requiere que la visión desde éste sea de 360º. La consola del puente incorpora el gobierno del timón, el telégrafo de órdenes, pulsadores, repetidores, la giroscópica, etc. así como las pantallas de los radares en sus extremos.

Los repetidores de ángulo del timón y la observación del rumbo desde la magistral, van situadas en el techo y enfrente de la posición del timonel.

13.6 Cocina, comedores, gambuza

Tanto los buques mercantes como los de pasaje deben estar provistos de los necesarios servicios de hotel o de fonda.

La cocina debe situarse de manera que pueda atender directamente o a través de un distribuidor *(pantry)* a los comedores. Desde la cocina se debe poder acceder directamente a la gambuza, aunque los alimentos pueden llevarse hasta ella por montacargas si están en otra cubierta.

En el caso de buques de pasaje puede haber dos o más cocinas, o una sola con dos partes diferenciadas: una para la tripulación y otra para el pasaje.

Deberá contener cuantos elementos sean necesarios para preparar los alimentos de forma eficaz para la tripulación y para el pasaje, estar constituida por materiales que permitan o faciliten su limpieza (acero inoxidable en muchos buques de pasaje) y tener una holgada ventilación e iluminación. El piso estará constituido normalmente de baldosas cerámicas antideslizantes con puntos de drenaje de aguas. (Debe cuidarse el no abusar de cementos pesados bajo estas baldosas). Los filtros de grasas en las exhaustaciones deben ser fácilmente practicables para su fácil desmontaje y limpieza. Los conductos estarán aislados y forrados, y con detectores de incendios. En muchos buques se dispone de un incinerador de basuras y en ese caso ha de cuidarse que los flujos de víveres y de deshechos no se crucen nunca.

Los comedores y zonas de estar suelen estar, como se indicó antes, próximos a la cocina. La normativa es situar dos comedores: uno para oficiales y otro para tripulación, en los que dos tercios al menos de cada colectivo puedan tener un asiento cómodo, el tercio restante estaría de guardia. Los salones de estar van junto a cada comedor o en la prolongación del mismo y debe tener suficiente confort para hacer agradable la estancia en ellos. Lo usual es dotarlos de TV, vídeo, bar, biblioteca, etc.

En la gambuza deben habilitarse dos zonas conexas: la gambuza seca y la refrigerada. La conexión con la cocina se hace por la primera mediante escaleras, y algunas veces también con montacargas. También debe cuidarse la posición de la gambuza para que la carga de alimentos desde el muelle, con grúa o con el pescante de provisiones, sea lo más sencillamente posible.

La gambuza seca estará dotada de estanterías y armarios para almacenar los víveres. En la refrigerada la disposición clásica es que hay un recinto de entrada que da acceso a tres cámaras (todas ellas aisladas térmicamente): una para carne, otra para pescado y otra para vegetales.

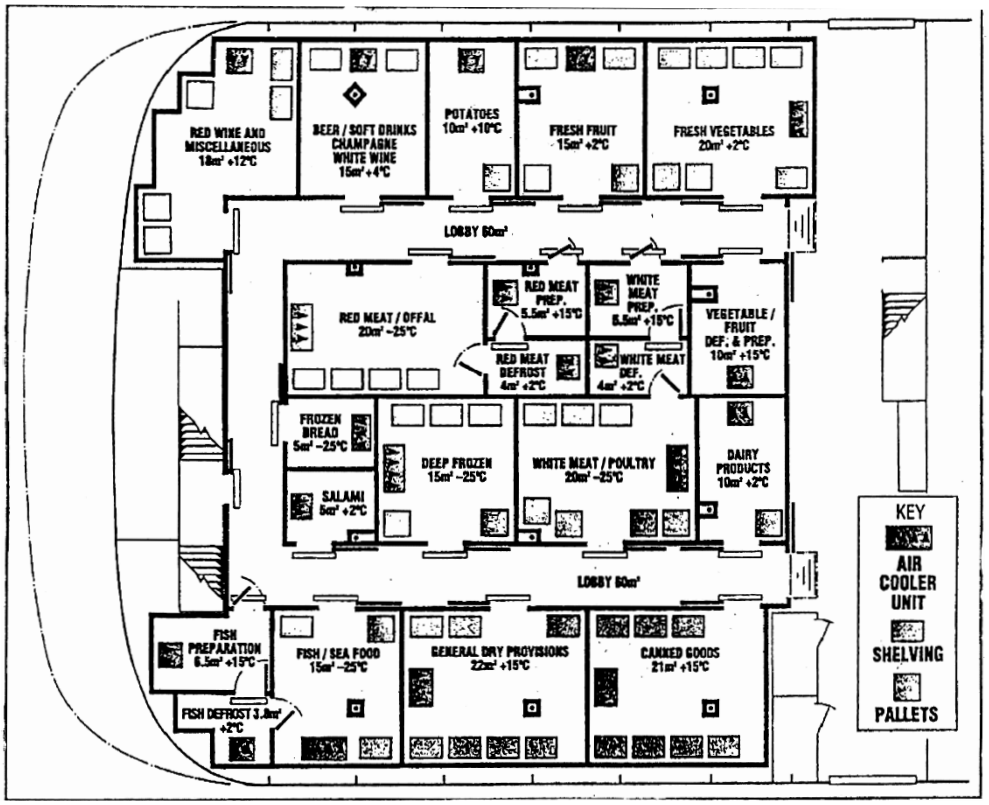


Fig. 13.1 Temperaturas típicas en las gambuzas.

En la actualidad, muchos barcos, con la aprobación del armador, sustituyen estas cámaras por arcones frigoríficos industriales, más baratos y de una instalación mucho más fácil. Las temperaturas de estas zonas son de -25º C para el caso de carnes pasando a +2º C para vegetales y fruta fresca. Y a poder ser, para evitar la entrada de calor, la gambuza refrigerada se suele instalar alejada del casco exterior del buque.

13.7 Situación de camarotes y accesos

En buques de pasaje o mixtos carga-pasaje, las acomodaciones deben adaptarse a diversas exigencias como son: número de pasajeros, número de tripulantes, diferentes zonas con distintos grados de acabado, varias categorías de pasaje, zonas de esparcimiento, tipo de ruta a realizar y tiempo atmosférico previsto, etc.

Las acomodaciones se sitúan en la superestructura y salvo circunstancias especiales, no deberán ir bajo la cubierta de francobordo. La cocina puede ir en una zona central del buque para procurar un reparto aceptable a los comedores, autoservicios (si los

lleva) o salones. Un dato a tener en cuenta es el escape de humos del incinerador de basura que, de ser posible, se llevará por el guardacalor.

En buques del tipo de petroleros, transportes de productos químicos, etc., para prevenir el efecto de un incendio, las habilitaciones se sitúan a popa de los espacios de carga, sobre la cámara de máquinas, lo que facilita el acceso de la tripulación a este espacio.

El mamparo frontal de la superestructura, debe ser de acero, tipo A 60, y si lleva ventanas o portillos, estos tendrán cierres metálicos interiores. Como ya se indicó anteriormente, la superestructura debe tener la altura necesaria para conseguir la visibilidad mínima requerida desde el puente de gobierno. Cada una de las cubiertas de habilitación albergará espacios diferenciados empezando por la cocina, la gambuza, comedores y salones, cambio de ropa, oficinas, etc., en las cubiertas inferiores, hasta los destinados al capitán, jefe de máquinas y primeros oficiales en la más próxima al puente de navegación. Todas las cubiertas estarán comunicadas por un tronco de escaleras y algunas veces también por un ascensor. La superestructura deberá llevar, adicionalmente, escaleras exteriores para escape y servicio. Es aconsejable colocar, anexo al tronco de escaleras interior, un tronco adicional o varios, expresamente dedicados para que puedan discurrir, desde máquinas hasta el puente de gobierno, los cables, tuberías, conductos, etc., con lo cual se evitan múltiples problemas de interferencias e innecesarias perforaciones de cubiertas.

La interconexión entre accesos y habilitación es fundamental, en particular en los buques de pasaje y ante una emergencia. En estos buques hay que procurar que la circulación de la tripulación sea independiente de los movimientos del pasaje y no haya cruces entre unos y otros, así como que no se acumule y agolpe un excesivo número de pasajeros en pasillos o escaleras en caso de una alarma.

Debe procurarse que la tripulación de máquinas puede acceder a ésta con la mayor facilidad, rapidez y comodidad.

En los pasillos y escaleras deben situarse flechas que indiquen la dirección a seguir para el embarque a botes, así como planos de situación que clarifiquen dónde se encuentra el tripulante o pasajero que los consulte.

En el capítulo II-2 de SEVIMAR se indican las medidas de seguridad que deben cumplirse en los buques de carga y pasaje, entre los que se puede destacar:

— Debe haber dos medios de escape independientes en cualquier zona contra incendios, uno de los cuales no será a través de una puerta estanca.

— Los medios de escape deben estar tan alejados como sea posible.

— Las puertas de acero a los escapes no pueden estar cerradas con medios de difícil apertura.

— Zonas de reunión pasillos y escaleras deben tener suficiente área y anchura como para soportar la afluencia de gente en una emergencia (los ascensores no se consideran medios de escape).

— El pasillo o parte del pasillo desde el cual solo haya una vía de escape no medirá más de 13 m de longitud en buques de más de 36 pasajeros ni más de 7 m en buques de menos de 36 pasajeros.

Las cubiertas exteriores deben estar comunicadas por escalas inclinadas con un ángulo máximo aconsejable de 50º.

En caso de bodegas, se recomienda que las escalas verticales estén protegidas con quitamiedos.

Escalas y escaleras deben situarse en crujía o en sus proximidades para evitar las fuerzas creadas por los balances. Deben estar construidas de acero o material incombustible y con elementos antideslizantes en sus pisaderas.

Unos datos orientativos podrían ser:

	Altura entre peldaños (mm)		**Pisadera (mm)**		**Inclinación**	
	Mín.	**Máx.**	**Mín.**	**Máx.**	**Mín.**	**Máx.**
Escaleras de pasaje	152	197	279	381	30º	40º
Escalera de tripulación	152	216	203	279	45º	50º
Escalas		216	165			50º

Tabla 13.1 Dimensiones típicas de peldaños

Las puertas deben tener anchos mínimos para cumplir sus funciones con comodidad y oscilarán entre 66 cm en camarotes y 91 cm en el hospital. Las puertas contra incendios podrán ser de mayores anchos y de doble hoja.

13.8 Protección contra incendios

Deben seguirse las reglas del capítulo II-2 del SEVIMAR 74, protocolo del 78 y enmiendas del 81, 83 y posteriores según vayan entrando en vigor.

Los siguientes mamparos serán construidos de acero:

- Los mamparos de superestructura y los de subdivisión de zonas contra incendios, y estos últimos no tendrán una separación mayor de 40 m entre dos consecutivos.
- Los mamparos que delimitan escaleras y ascensores.
- Los que delimitan la cabina de control.
- Zonas de embarque a botes.
- Espacios públicos superiores a 46 m^2 con elementos combustibles en ellos (como son revistas y periódicos, manteles, cortinas, etc.).
- Cocinas y distribuidores.
- Pañoles de más de 2 m^2 y talleres.
- Salas de proyección.
- Cámaras de máquinas.
- Tanques de agua, combustible, etc.

Con estos medios, se pretende confinar el fuego únicamente al espacio donde se produce.

Para la lucha contra incendios, básicamente se puede utilizar:

- CO_2 en cámara de máquinas y bodegas.
- Aguas y extintores de espuma en habilitaciones.
- Gas inerte en tanques de carga.

Las líneas de agua del sistema contraincendios deben ser circuitos independientes y, en muchos casos, se utilizan rociadores que producen niebla de agua.

13.9 Conductos de ventilación y aire acondicionado

Todos los espacios del buque deben estar provistos de ventilación, por lo que los respectivos conductos deben haberse previsto desde las primeras fases de diseño.

En cada zona principal contra incendios de un buque debe de ir una unidad de aire acondicionado.

Como dato orientativo, el área del local de la maquinaria para el aire acondicionado que debe considerarse en el proyecto, estará comprendida entre el 4% y 5% del área

total que se va a condicionar. Las tomas de aire acondicionado estarán en el exterior y se efectuarán desde la cubierta más alta que se posible. Otro dato a tener en cuenta es que estos equipos deben suministrar aire fresco en una cantidad aproximada de 0,4 m^3 por persona y minuto.

13.10 Superestructura. Consideraciones generales: resistencia, peso, alturas

Los mamparos de superestructuras deben ser capaces de soportar los esfuerzos producidos por las olas que incidan contra ellos. Las esquinas de ventanas, puertas o aberturas deben redondearse para evitar la formación de grietas. Debe cuidarse no incrementar los pesos en estas zonas de forma incontrolada ya que afectan muy negativamente a la estabilidad al ser pesos altos. En este sentido, en buques con alturas considerables de superestructura, se puede recurrir a la utilización de aluminio para las casetas más altas con objeto de disminuir su peso, aunque han de tenerse en cuenta otros problemas que conlleva el uso del aluminio:

— El coeficiente de expansión térmica es doble del acero.

— Resiste mal a altas temperaturas (caso de un incendio).

— Debe aislarse del acero para que nunca estén en contacto por los problemas de corrosión electrolítica que entraña.

De las características, empleo y forma de trabajo del aluminio en la Construcción Naval se trata en el Capítulo 17.

En las zonas de habilitación, las alturas libres siempre serán superiores a 1,9 m y los entrepuentes tendrán una separación mínimo de 2,3 m, aunque la normal es de 2,6 m en buques de pasaje y 2,7 m en los de carga.

En las zonas de cocina, lavandería, aseos y repostería suelen ponerse pisos cerámicos o materiales duros que sean resistentes a los líquidos.

13.11 Recubrimientos de cubiertas

Las cubiertas de habilitación están recubiertas de materiales que hacen más confortable el entorno. Estos elementos son a su vez, aislantes y generalmente, salvo excepciones, no combustibles. Entre los más importantes se pueden citar:

— *Madera*. Como recubrimiento de cubiertas de paseo y de intemperie, se empezó a usar en buques de pasaje. Hoy, a pesar de su alto precio, sigue siendo preferida por los armadores para múltiples zonas de intemperie. El sistema de afianzar la

madera a la cubierta es generalmente el de soldar pernos a la chapa con tuercas en su extremo superior. En el tablón de madera se hace un barreno de diámetro ligeramente superior al espigo, para introducir éste, roscándose una tuerca en su extremo que queda embutida en la madera. El remate final consiste en un tapín sobre la tuerca, tapando el agujero. Las rendijas entre las tablas se calafatean con cuerdas de algodón y estopa, sellándose al final con brea u otro componente similar resistente al ambiente marino.

La madera no se deja sobre la cubierta de acero desnudo, sino que previamente se trata dicha cubierta con una pintura bitumástica anticorrosiva.

— *Terrazo*. Se puede usar en múltiples zonas por su sencillez y economía de mantenimiento. Es muy resistente al fuego y suele colocarse en zonas tan variadas como cocinas, piscinas, aseos, etc.

— *Baldosas cerámicas*. Pueden usarse conjuntamente con el terrazo para zonas en las que es primordial la decoración, o en rodapiés. En las zonas donde hay posibilidad de baldeo se colocan con una ligera pendiente hacia los desagües y con ligera rugosidad para hacerlos antideslizantes. Debe vigilarse que la capa de cemento que se aplica bajo las baldosas como igualador no tenga mucho espesor (generalmente no debe ser mayor de 10 mm) para evitar pesos altos indeseables. En las piscinas actualmente suelen usarse pinturas con base de resina en lugar de baldosas.

— *Baldosas plásticas o de goma*. Resisten bien la acción del agua, son de alta duración y son antideslizantes. Pueden usarse en amplios espacios públicos por su facilidad de instalación y ser relativamente baratas, así como en los hospitales. Suelen tener espesores próximos a los 3 mm Además de presentarse comercialmente en forma de baldosas, también se encuentran en rollos de diferentes anchos.

— *Moquetas*. Se ponen sobre un subpavimento elástico. Suelen colocarse habitualmente en espacios públicos, comedores, escaleras y pasillos y están compuestas por materiales resistentes al fuego.

En muchos casos, sobre todo en cubiertas de intemperie, el único recubrimiento es la pintura antideslizante. *Hay que reseñar que los subpavimentos necesitarán más volumen cuanto peor enderezada se encuentre la cubierta, por lo que es importante que ésta se monte con la máxima planitud*. Existen distintos tipos de subpavimentos: desde los más pesados (tipo cemento) a otros muy ligeros, con compuestos de tipo elástico y elementos muy porosos en su interior.

13.12 Revestimientos y techos

El revestimiento consiste en un material de recubrimiento que se aplica sobre la cara vista de un mamparo, hacia la zona habilitada.

Los techos son todos aquellos materiales que se colocan para cerrar un espacio o evitar la visión directa de una cubierta o el armamento (tuberías, conductos, cables, etc.) que bajo ésta se puede encontrar.

Ambos se usan para cubrir y proteger, y para aislar térmica y acústicamente los espacios de habilitación. Deben de estar constituidos por materiales no combustibles, todos ellos aprobados por las correspondientes Sociedades de Clasificación como clases A o B.

Los revestimientos suelen estar constituidos por paneles que se ajustan entre sí por medio de juntas separadoras, con un formato adecuado en su cara vista para mantener un ambiente de confort. Los paneles deben estar separados del casco, mamparo o refuerzos metálicos de tal manera que entre ambos se sitúen: el aislamiento, el cableado y las posibles tuberías o conductos. Además, es normal que exista una canaleta para recoger las posibles condensaciones entre el acero del casco y el mamparo de revestimiento y prevenir que puedan ir al espacio de habilitación correspondiente. Estos mamparos deben cumplir con lo indicado en el Capítulo II-2 del SEVIMAR en lo relativo a su integridad al fuego.

Cuando los techos forman parte de un aislamiento contra incendios, no deben estar soportados por tornillería ya que en esa zona los paneles se podrían desprender en un incendio. Lo normal es soportarlos de juntas colgadas de la cubierta por medio de soportes verticales metálicos soldados a ellas.

En todos los casos, tanto en el revestimiento como en techos, debe buscarse una armonía en todo el conjunto.

13.13 Aislamiento

Su instalación tiene como objeto uno o varios de los siguientes cometidos: protección contra el fuego y confort por acondicionamiento térmico o por acondicionamiento acústico.

— *Aislamiento contra el fuego*. Los aislamientos situados sobre mamparos o cubiertas de "Clase A" están generalmente constituidos por lana de roca o fibra de vidrio sujetos a ellos por elementos resistentes al fuego como son pinchos soldados al mamparo o cubierta, y tela de gallinero, que soportan el total del conjunto. Su aplicación comercial se suministra en forma de "mantas" (rollos de material), tiras o "mosaicos" rectangulares.

  El espesor del material dependerá de la zona a aislar y de las prestaciones que se pretendan. En algunos casos la cara vista de estos aislamientos va forrada con

"papel estañado" (papel de plata) de hasta 1mm de espesor, para mejorar las condiciones de aislamiento, aunque es sensiblemente más caro. Además del espesor, la masa o densidad del material es otro dato a considerar en cada zona.

— *Aislamiento térmico*. Es aquel aislamiento que se utiliza para revestir las zonas de habitabilidad o de trabajo, así como las gambuzas, tanto del calor como del frío de los espacios contiguos, o bien, del ambiente exterior. Asimismo, los espacios con aire acondicionado deben aislarse de los que no lo tienen. Los tipos de aislantes y los elementos de fijación son esencialmente los mismos que los del punto anterior pero con mayor densidad. Es importante evitar que haya fugas térmicas por quedar sin aislar refuerzos, cubiertas o zonas de mamparas de acero, por lo que ha de esmerarse que el forrado de protección recubra todas estas partes totalmente. El espeso del aislante en cada zona dependerá de las diferencias térmicas entre espacios adyacentes. Unos valores de tipo medio pueden ser: alrededor de 50 mm (como espesor mínimo) en forros, cubiertas y costados de superestructura y 75 mm en zonas colindantes con espacios de máquinas o cocina.

— *Aislamiento acústico*. Los aislamientos actuales contra el fuego y/o térmicos son también buenos aislantes acústicos puesto que absorben bien el sonido debido a su porosidad y celdas interiores. Este aislamiento tiene por objeto disminuir o anular la transmisión de ruidos debidos a la máquina, hélice, aire acondicionado, ventiladores, etc. Los paneles vistos, utilizando como aislantes acústicos, están formados por chapas perforadas para que absorban las ondas sonoras, estando internamente revestidos por aislante de aproximadamente 25 mm de espesor. Estos suelen ir situados en locales públicos, evitando la reverberación. Generalmente los materiales aislantes utilizados son lana mineral o fibra de vidrio alcanzando en zonas de ruidosidad elevada espesores de 50 mm. Si se trata de aislar acústicamente una zona de ruidos transmitidos a través de la estructura, se necesitan aislantes como los descritos, fijados por medio de elementos elásticos tales como muelles, goma o fieltro.

  Es importante que la fuente transmisora (máquinas, ventiladores, etc.) esté también soportada por elementos elásticos, lo cual disminuirá de manera muy importante la transmisión de ruido.

  Otros elementos muy utilizados como aislantes de ruidos son las alfombras y moquetas. Y los conductos de aire acondicionado deben diseñarse de modo que no produzcan ruidos que se transmitirán directamente a los locales acondicionados.

13.14 Mobiliario

Los muebles utilizados en la habilitación de los buques son generalmente de acero, aluminio o madera con remates de acero inoxidable, bronce, latón o aluminio anodizado. Todos los muebles deben ser afirmados a cubiertas o mamparos, y los

elementos que puedan ir sueltos, como las sillas, deben disponer de dispositivos de sujeción (como por ejemplo una rabiza en el suelo en caso de las sillas). Los cajones también deben tener dispositivos para que no se puedan abrir ante condiciones de mala mar. Es bastante habitual el recubrir con láminas resistentes o barnices lacados contra arañazos, quemaduras o ataques líquidos, las superficies de muebles como mesas, escritorios, etc.

En camarotes de pasaje y de oficiales, los muebles suelen ser de madera y la decoración interior se suele encargar a un decorador. En el caso de la tripulación, el mobiliario puede ser metálico, de madera o similar, según se defina en la especificación.

Las camas tienen dimensiones normalizadas de 1,9 m de largo por 80 cm de ancho, salvo los casos del capitán y del jefe de máquinas en que generalmente son de 1,35 m.

En todos los camarotes se sitúa, además, un armario o taquilla para guardar los efectos personales de cada tripulante, así como una estantería para libros, una silla y un pupitre o escritorio. En los casos del capitán y del jefe de máquinas, y de los primeros oficiales en algunos barcos, se dispone además, para cada uno, una sala o despacho en donde puede colocarse un sofá, una mesita, una nevera pequeña, además de los habituales elementos de un despacho: mesa, sillas, etc. En el resto de espacios públicos (comedores, salas de estar, sala de recreo, biblioteca, oficinas, etc.) el mobiliario será el adecuado para cada uno de estos servicios, incluyendo aparatos de música, TV y vídeo en los lugares de esparcimiento.

Los tapizados de sillas, sillones y sofás serán acordes con la decoración de los lugares donde se encuentre, así como las cortinas de las ventanas o portillos y las moquetas o alfombras. En todos los casos, los materiales deben ser resistentes al fuego o tratados con sustancias ignífugas.

13.15 Protección contra ruidos

La transmisión de ruidos puede ser aérea o estructural.

— *Transmisión aérea.* Se realiza por medio de ondas de presión como suma de dos trenes de ondas: el directo más el indirecto, reflejado en distintas superficies, o reverberaciones.

— *Transmisión estructural.* Es la que se propaga a través de las estructuras del buque, emitiéndose finalmente en forma de ruido. Los focos productores de la vibración original suelen ser la hélice, maquinaria, etc. El tipo de ondas por el que se propaga este ruido es muy variado y comprende longitudinales y transversales. La emisión al aire de esta vibración suele realizarse a través de los paneles, tanto

los estructurales como los de habilitación. Por esto, si los paneles están fijos a la estructura, emitirán toda la vibración recibida, mientras que si su conexión es de tipo elástico, se amortiguará en un elevado porcentaje. Desde el punto de vista del ruido, el transmitido por la estructura es el más importante.

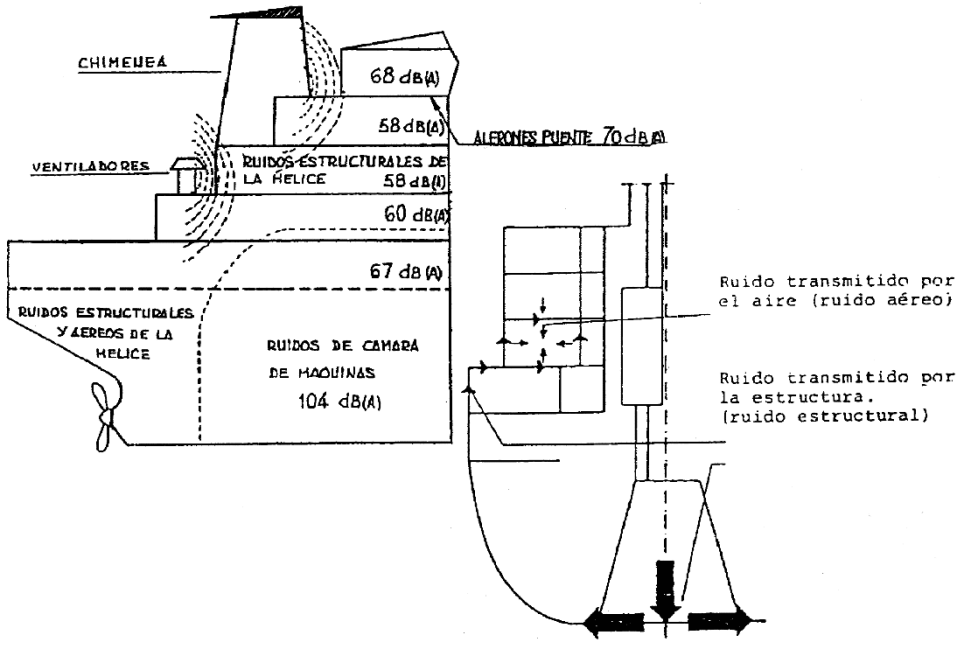


Fig. 13.2 Transmisión del ruido en buques.

A fin de reducir el nivel de ruidos en los buques pueden considerarse efectivos tres sistemas:

— Anular el ruido en las propias fuentes.

— Evitar que éste se pueda transmitir.

— Ambos a la vez.

Esto último se hará en los casos en los que actuando únicamente en uno de los dos anteriores no se consigue la atenuación de ruido que se busca. Las soluciones posibles en cada caso serán:

a) *Reducción del ruido en las propias fuentes*.

Puede actuarse de dos maneras: disminuyendo el ruido que las fuentes generan o disminuyendo la transmisión de la vibración al aire o la estructura. Las

recomendaciones a seguir en cada uno de los apartados antes estudiados para conseguir esta reducción, pueden ser:

— *Hélice*: se puede reducir sensiblemente con un proyecto bien estudiado de las formas del buque, sobre todo en la zona de popa y bovedilla, así como de la hélice. Deben mantenerse amplios vanos entre el codaste, bovedilla y el extremo de pala (mayores que los recomendados por las sociedades de clasificación) y haciendo estudios de cavitación, vorticidad, etc. en un canal de experiencias hidrodinámicas para mejorar las prestaciones y disminuir la generación del ruido.

— *Motores diésel*: en el caso de motores lentos deben buscarse aquellos que suministren la potencia necesaria al menor número posible de RPMs y que, además, incorporen silenciosos en las aspiraciones de aire, que la turbosoplante y sus conductos estén forrados, que las tuberías de exhaustación estén suspendidas elásticamente, y que posea silenciosos para los gases de escape.

Si los motores fueran rápidos o semirrápidos, el sistema más general es apoyar el motor elásticamente sobre la bancada y aislarlos acústicamente, rodeándolos de pantallas absorbentes del ruido, o dentro de un recinto configurado por cortinas aislantes que rodeen al propio motor.

Tipo de motor	**LENTOS**	**MEDIOS / SEMIRRÁPIDOS**			**RÁPIDOS**
		GRUPO 1	**GRUPO 2**	**GRUPO 3**	
R.P.M.	110-200	200-400	400-600	600-1000	1000-1800
Valor máx	95-110	95-110	98-115	99-117	105-122
Valor med	89-100	90-107	95-110	97-112	97-113
Valor en CC*	69-80	70-80	74-80	80-86	87-88
*CC : Cabina de control					

Tabla 13.2 Campos de niveles de ruido (dB) con motores diésel.

— *Turbinas de vapor y reductores:* en estos elementos de propulsión, la principal Fuente de ruido es el engranaje reductor, disminuyendo el nivel de ruido, relativamente, con el aumento de potencia de la instalación. Los valores medios, en comparación con los del cuadro anterior, serían:

Valores máximos……..…….91 a 108 dB.

Valores medios……..….81 a 101 dB.

Valores en cabina de control…...69 a 85 dB.

Los rozamientos y golpeteos entre los engranajes son los principales productores de ruido, producido por el desajuste entre los piñones tanto en su configuración como en el contacto entre las ruedas dentadas, irregularidades de éstas, etc. Se puede conseguir la reducción de ruido a partir de la propia fabricación del reductor, aumentando al máximo la precisión de las ruedas y sus dientes, así como haciendo la carcasa de forma circular y forrada con material aislante, y ajustando en el taller los engranajes de la turbina al máximo posible. Igualmente, por el lado de la instalación de vapor, montando válvulas de vapor silenciosas y aisladas acústicamente y colocando las tuberías sobre apoyos elásticos.

— *Turbinas de gas:* son muy ruidosas por culpa de la velocidad que adquiere el gas en la admisión y en el escape, así como a través de la carcasa de protección. Además, hay que contar también con el ruido originados por los reductores. Su utilización más común como elemento de propulsión y de generación de energía es en buques de guerra, así como en plataformas petrolíferas de producción, donde se emplean para impulsar los turbo compresores de inyección de gas en los pozos.

— *Otros elementos de máquinas*: existe variedad de elementos productores de ruido. A continuación, se presenta un cuadro de valores medios de ruido producido por los principales:

ELEMENTO	**NIVEL DE RUIDO (dB)**
Diésel generadores	87 – 110
Turbo generadores	85 – 108
Calderas principales	86 – 103
Calderas auxiliares	69 – 103
Compresores	83 – 96
Bombas	90 – 105
Bombas de carga.	115
Motores eléctricos	89 – 95

Además de la suspensión de estos elementos sobre soportes elásticos, siempre aconsejable, se pueden cubrir con una capa aislante o rodear de pantallas antisonoras similares a las usadas en el caso de los motores. Por otro lado, han de calcularse adecuadamente los elementos para que no creen problemas de cavitación (caso de bombas), excesiva velocidad de líquidos (caso de tuberías), etc.

— *Ventilación y aire acondicionado*: deberían instalarse ventiladores de las menores revoluciones y del mayor diámetro que se pueda, así como con la adecuada inclinación de las paletas, dejando los mayores huelgos posibles entre los extremos y la carcasa. La velocidad del aire en los conductos no debe ser superior a 2,5 m/s y los codos deben ser los más suaves posible y con direccionadores de flujo en el interior. También es deseable que los conductos estén aislados con material *anti ruido.*

	NIVELES DE RUIDOS MEDIDOS EN dB									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Med**	**Máx**	**Mín**
1. Puente	67	68	68	70	65	68	70	68	70	65
2. Voladizos	75	73	79	-	71	77	75	75	79	71
3. Radio	69	65	-	-	-	68	62	66	69	62
4. Camarote en 4ª cubierta (2)	59	58	60	57	-	58	59	58	60	57
5. Camarote en 4ª cubierta (2)	57	60	60	58	57	57	59	58	60	57
6. Camarote en 3ª cubierta Pr	56	55	60	62	61	56	-	58	60	55
7. Camarote en 3ª cubierta Pr	58	54	56	61	59	57	56	57	61	54
8. Camarote en 3ª cubierta Pp	60	62	58	60	60	60	60	60	62	58
9. Camarote en 3ª cubierta Pp	60	62	58	-	65	64	-	62	65	58
10. Hospital 2ª ó 3ª cubierta (3)	58	61	61	64	58	62	59	60	64	58
11. Camarote en 2ª cubierta Pr	60	62	63	63	58	58	-	60	63	58
12. Comedor en 2ª cubierta Pr	65	65	66	66	66	65	64	65	66	64
13. Cocina en 2ª cubierta (4)	72	74	72	70	71	72	75	72	75	70
14. Cocina en 2ª cubierta (5)	81	86	83	83	86	88	84	84	88	81
15. Camarote en 1ª cubierta Pr	60	63	63	62	62	-	64	62	64	60
16. Camarote en 1ª cubierta Pr	64	62	61	60	60	64	63	62	64	60
17. Camarote en 1ª cubierta Pp	68	70	68	68	65	66	67	67	70	65
18. Camarote en 1ª cubierta Pp	64	65	65	64	68	64	67	65	68	64
19. Motor parte alta	101	102	103	104	101	102	102	108	104	101
20. Cabina de control	75	79	81	80	82	80	78	79	82	75
21. Grupos	103	103	103	105	104	105	108	105	108	103
22. Taller	97	98	99	99	96	98	-	98	99	96
23. Servo	91	93	96	92	93	94	-	93	96	91
24. Puesto de control	-	-	-	-	98	99	-	99	99	98
25. Turbo	-	103	103	108	102	104	103	104	108	102
26. Popa C.M. (piso inferior)	-	-	99	100	98	99	103	100	103	98

(1) Valores máximo y mínimo registrados en cada espacio de los siete buques
(2) Primera bajo el puente de gobierno
(3) En algunos buques el hospital va en la 2ª cubierta y en otros en la 3ª cubierta
(4) Con ventilación y extracción parados
(5) Con ventilación y extracción en marcha

Tabla 13.3 Medidas de ruido en los diferentes buques de una serie de siete iguales.

El ruido se genera fundamentalmente en las zonas de entrada y de salida de aire en lo que afecta a los locales o en las partes móviles de la maquinaria impulsora (ventiladores). Suelen constituir espectros sonoros de banda ancha, ocasionados por turbulencias del aire en los lugares citados o bien en los codos de los conductos debido a la velocidad del aire. Por ello se aconseja en ellos una velocidad no mayor de 2,5 m/s.

Algunos países y organismos internacionales han establecido niveles de ruido aceptables para distintas partes del buque (Tabla 13.4) Se trata de valores recomendados, a excepción de los casos de Rusia y Noruega, que son preceptivos.

	ISO	**Canadá**	**Alemania**	**Dinamarca**	**Noruega**	**Suecia**	**Rusia**	**Israel**
Cra. Máqs. (con cra. Ctrl)	110	-	110	110	110	100	95	-
Cra. Máqs. (sin cra. Ctrl)	90	-	90	90	90	85	80	85
Cra. de ctrl.	75	-	80	75	75	70	65	70
Talleres máquinas	90	-	90	85	85	75	65	75
Alerones puente	-	-	65	70	70	70	-	-
Puente gobierno	-	-	60	65	65	65	55	60
Local radio	-	-	60	65	65	65	50	60
Camarotes	-	70	60	60	60	55	50	55
Comedores y salones	-	74	65	65	65	65	55	65
Cocinas y oficios	-	-	-	70	65	65	-	-
Cubiertas y bodegas	-	-	-	-	70	65	-	-
Puestos de vigía	-	-	-	70	-	-	-	-

Tabla 13.4 Niveles de ruido aceptables en buques.

b) *Reducción del ruido en la transmisión*.

Las recomendaciones para las zonas más representativas del buque, son:

— *Máquinas:* la vibración de los distintos componentes móviles de la cámara de máquinas es la forma más importante de transmisión de ruido por lo que, para evitarla, como ya se indicó, deben sustentarse elásticamente la mayor cantidad de elementos posibles. No obstante, en la cámara de máquinas debe haber siempre alguien de guardia, rodeado de los distintos focos de ruido existentes en ella, por lo que la única defensa real para este personal es la colocación de una cabina de control insonorizada, donde el ruido disminuye sensiblemente hasta valores no problemáticos durante largas estancias. La mejor disposición de una cabina de control, al objeto de evitar al máximo el ruido por transmisión es la indicada en la figura aunque es una solución cara, pero efectiva.

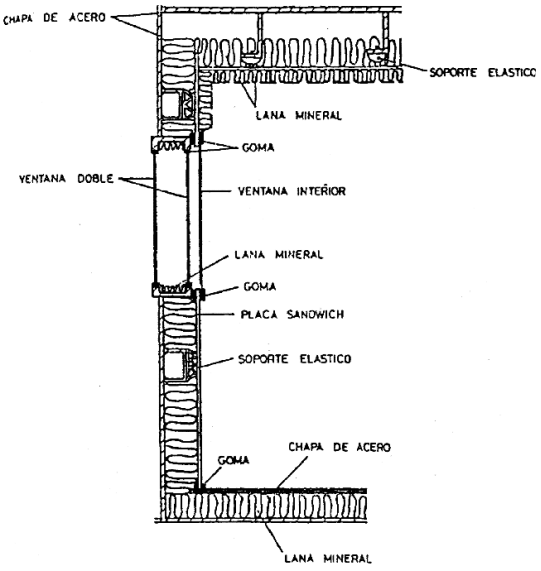


Fig. 13.3 Aislamiento Cabina Control Cra. Máquinas.

Para disminuir costes, las sustentaciones elásticas del suelo y del mamparo de la cabina se eliminan, dejando únicamente una capa de lana de roca u otro aislante similar apoyado sobre la chapa de la plataforma donde se apoya la cabina, bajo el piso inferior de ésta, formado por chapa estriada.

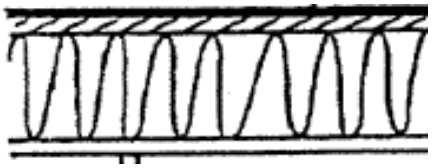
También los talleres de máquinas, donde pasan muchas horas algunos miembros de la tripulación, deberían ser aislados de un modo similar a las cabinas de control.

— *Habilitación*: en general, lo ideal es montar los pisos, techos y mamparos, sobre elementos elásticos. También es muy recomendable que el tronco del guardacalor se separe de la caseta de habilitación para evitar ruidos procedentes de máquinas y, si esto no fuera posible, conviene rodearlo por pasillos, pañoles, etc. para separarlo de camarotes, comedores, etc.

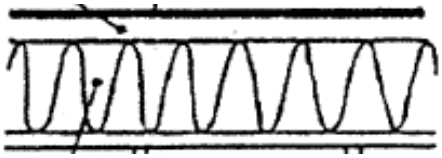
Las diferentes recomendaciones para los elementos primordiales de la habitación son:

— *Pisos.* Lo deseable es colocarlos sobre materiales elásticos lo más ligero posibles (con el fin de evitar problemas posteriores de estabilidad), que sirvan de amortiguador de vibraciones y de ruido, evitando cualquier tipo de anclajes metálicos que los unan a las cubiertas. Esta solución es muy recomendable en aquellos espacios situados inmediatamente encima de la cámara de máquinas.

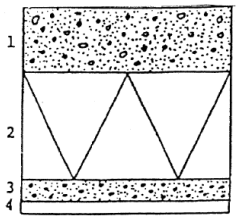
Hay que tener en cuenta que la colocación de pisos flotantes puede necesitar que en el proyecto se tengan que incrementar las alturas entre cubiertas para poder mantener la misma altura libre, ya que el piso flotante tiene un espesor entre 50 y 100 mm por encima de la plancha de cubierta.



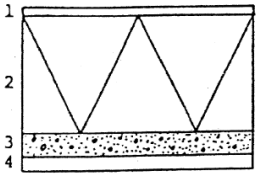
1. Vinilo adhesivo de 1 mm.
2. Plancha de acero de 5 mm.
3. Lana mineral de 50 mm de espesor (150 Kg/m^3).



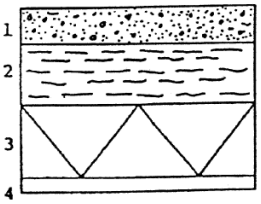
1. Piso
2. Capa de litosilo de 10 mm de espesor (1600 Kg/m^3).
3. Lana mineral de 50 mm de espesor (150 Kg/m^3).



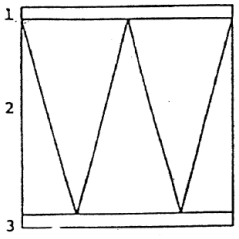
1. Losetas de cemento de 30 mm.
2. Lana mineral de 50 mm de espesor (150 Kg/m^3).
3. Compuesto nivelador.
4. Cubierta de acero.



1. Hoja de acero de 3 mm.
2. Lana mineral de 50 mm de espesor (150 Kg/m^3).
3. Compuesto nivelador.
4. Cubierta de acero.



1. Capa de 15 mm de cemento.
2. Capa de 25 mm de asfalto reforzado.
3. Lana de fibra de vidrio de 30 mm.
4. Cubierta de acero.



1. Hoja de acero.
2. Lana mineral de 90 mm.
3. Cubierta de acero.

Fig. 13.4 Pisos flotantes.

— *Mamparos.* Al objeto de que sean efectivos contra el ruido, su característica esencial es que tengan la mayor densidad posible así como que su montaje sea, tanto en la parte alta como en la baja, sobre goma o material elástico. En el caso de ser mamparos autosoportados, solo llevarían material elástico en su parte baja.

Los hay de dos tipos:

a) Simples, cuando están constituidos por un material homogéneo.

b) Dobles, cuando entre dos placas anterior y posterior, existe o no un material del tipo de lana de roca o fibra de vidrio.

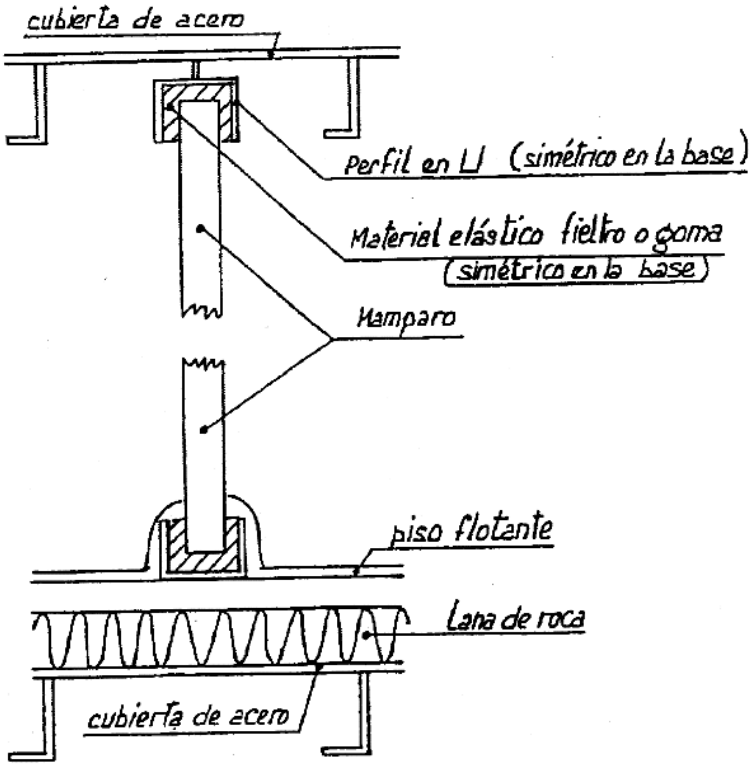


Fig. 13.5 Detalle soportado de mamparos habilitación.

— *Techos*. Es usual colocar paneles de material absorbente del ruido (con múltiples poros o cavidades) colocados sobre ligeros perfiles, en cuyas alas se apoyan por sus lados extremos. Normalmente se cuelgan de la cubierta inmediata superior por medio de elementos elásticos. Entre cubierta y techo, y bajo la cubierta, se suele colocar aislamiento del tipo fibra de vidrio o lana de roca.

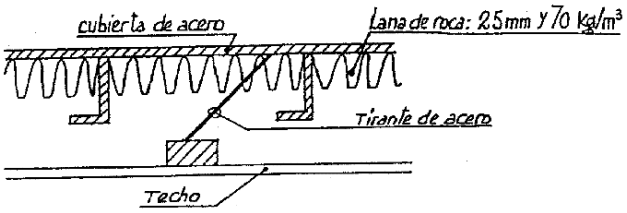
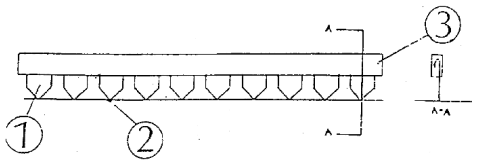


Fig. 13.6 Aislamiento ruido techos.

Otro sistema de absorción de ruidos es el de las celdas acústicas. Estas celdas pueden dimensionarse en función de las longitudes de onda que se quieran absorber. Constan de unas patillas que se sueldan a la cubierta que está sometida a vibración. Estas patillas sujetan un faldón que lleva el material atenuante. El sistema es como el del dibujo:



1. Patillas soldables
2. Soldadura a la zona metálica principal
3. Cubierta soporte de las patillas con material aislante

Fig. 13.7 Sujeción celdas acústicas.

— *Puertas y ventanas*. El material y tipo de puertas debe ser similar al de los mamparos antes descritos, con suficiente densidad y con un alto grado de ajuste al marco, cerrando sobre tacos de material elástico para evitar la vibración y maximizar el ajuste. En su posición de abiertas, deben tener un elemento de soporte en la pared que las mantenga fijas, evitando que cierren de golpe ante un bandazo.

Las ventanas, portillos, ojos de buey, etc., lo mismo que las puertas, deben conseguir un total ajuste mediante un elemento elástico entre cristal y moldura para evitar las molestas vibraciones que pueden llegar, incluso, a producir roturas.

Además de los sistemas hasta ahora citados, es importante mencionar que el caso en que las exigencias del armador sean muy altas en relación con el nivel de ruidos, cabe una solución ya adoptada en algunos buques, como es la de soportar elásticamente la totalidad de la superestructura, como se indica en la figura 13.8.

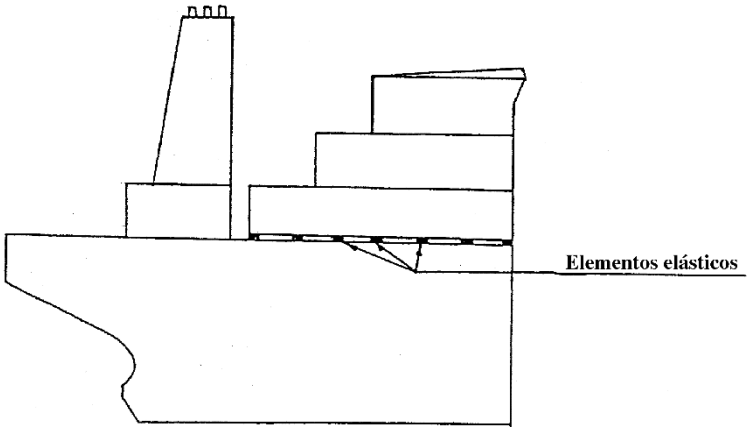


Fig. 13.8 Superestructura sobre soportes elásticos.

13.16 Protección contra la transmisión de calor

Hay que conseguir el mínimo intercambio de calor a través de forros, cubiertas y mamparos para que el consumo de energía en calefacción o aire acondicionado sea el menor posible.

El acondicionamiento térmico es una necesidad absoluta para el confort de los tripulantes y pasajeros, así como para determinados locales como cabinas de control, almacenes, etc.

Aislamiento térmico

Si el aislamiento de un buque no es completo o si no está bien realizado, el aire acondicionado no conseguirá los objetivos propuestos, aunque esté bien calculado. El aislamiento reduce las pérdidas o ganancias de calor y previene daños por condensaciones o incendios.

Si se considera la influencia de la humedad sobre el aislamiento térmico, hay que tener en cuenta que si el aislamiento contiene humedad, la capacidad de aislamiento se ve reducida de forma considerable. Si el aislamiento se sitúa contra una pared fría, la humedad se condensará sobre la pared creando serios problemas. Por lo tanto, debe evitarse dicha humedad o, en caso de imposibilidad, el aislamiento debe ser auto drenante. En el caso de techos, el goteo no debe caer sobre la superficie horizontal, debiendo usarse tipos de aislamiento que no puedan ser afectados el agua condensada.

Material	Corcho expandido	Lana de roca	Fibra de vidrio	Espuma de poliestireno	Cemento poroso
Coef. cond. term. (kCal/h.m.ºC)	0,04	0,04	0,04	0,035	0,14
Resistencia a la convección	Bueno	Poco	Poco	Bueno	Bueno
Generación de olor	Con mucha humedad	No	No	No	No
Resistencia a la putrefacción	Buena	Total	Total	Buena	Total
Resistencia a los roedores	Poca	Muy buena	Muy buena	Buena	Muy Buena
Riesgo de incendios	Considerable	No	No	Considerable	No
Absorción y aislam. de sonido	Poca	Bueno	Bueno	Poco	Poco
Coste de material	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Coste de instalación	Alto	Medio	Medio	Medio	Alto

Tabla 13.5 Características aislamiento térmico diferentes materiales.

Un ejemplo de aislamiento en la habilitación de un buque es el que se representa en la figura que sigue:

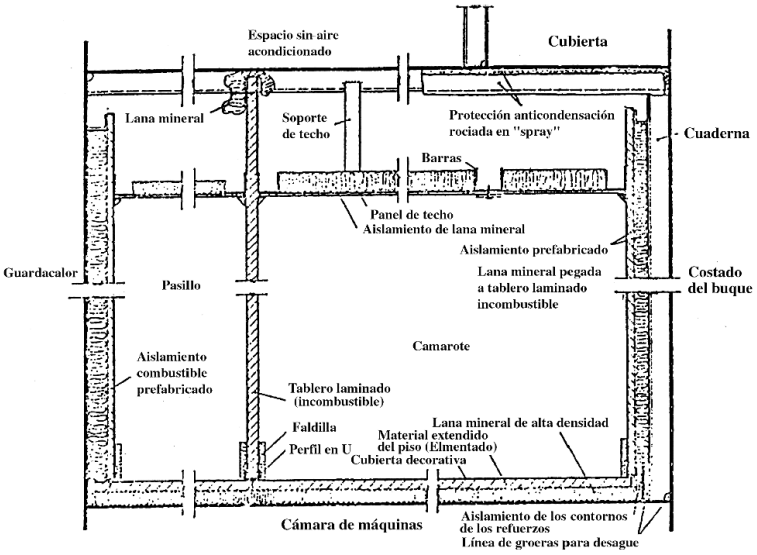


Fig. 13.9.1 Aislamiento térmico de la habilitación de un buque (1).

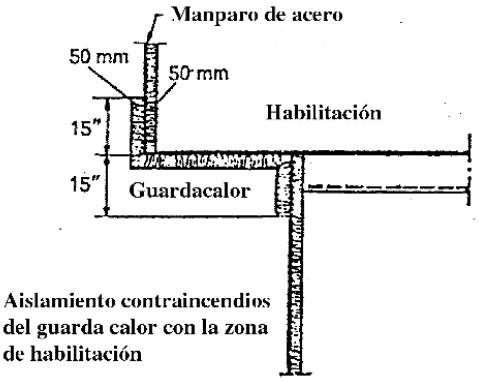


Fig. 13.9.2 Aislamiento térmico de la habilitación de un buque (2).

El aislamiento contra el fuego es otro factor esencial a tener en cuenta y debe basarse esencialmente en todas las normas, reglas y recomendaciones dadas en el SOLAS.

13.17 Estandarización y modulación de las habilitaciones

El concepto de las habilitaciones ha variado a lo largo del tiempo, convergiendo en los últimos años en las habilitaciones modulares hasta llegar finalmente a los módulos completos autoportantes.

Las costumbres en la construcción naval solían ser muy conservadoras. Así, hasta los años de la década de 1970 era frecuente que en las habilitaciones se situaran los pasillos interiores en forma de "H", colocando los camarotes a Pr y Pp de cada cubierta y situando los espacios públicos y de servicios en la zona central, estando estos locales delimitados por mamparos de acero. Se colocaba en cada banda un tronco de servicios y otro central con puertas, tecles, etc. en cada uno de ellos, y cada tronco alimentaba a su propio costado de habilitación (tuberías sanitarias, conductos de aire, servicios de C.I., canalizaciones eléctricas, etc.). Durante la construcción del buque no se practicaban las aberturas de las puertas (sólo pasos de hombre) ni las ventanas, y los aseos no se disponían, como costumbre de buen diseño, alineados verticalmente en columna.

A finales de la citada década de 1970 y a principios de la de 1980 se varían determinados conceptos de los señalados: se sitúa únicamente un pasillo en el sentido transversal de la superestructura, o en forma de U, se colocan verticalmente los módulos de aseo, y se conexionan las habilitaciones y descargas de Br y de Er a un solo colector vertical, ahorrándose con ésta modificación un 50% de la longitud de tubería y un 30% de la de los conductos de aire acondicionado. Análogamente se hace con los servicios

eléctricos por medio de una canalización que va por el techo del pasillo, ramificándose hacia cada local.

Los colectores de C.I. se llevan por el exterior de la superestructura, verticalmente por las dos bandas, en las proximidades de las puertas de acceso. Se suprimen los troncos laterales por dos pequeños centrales que permanecen abiertos durante toda la construcción, cerrándose al final con puertas embisagradas y registros para permitir posteriores inspecciones y mantenimiento. Se colocan las ventanas y se practican las aberturas de las puertas durante la construcción con, prácticamente, las medidas definitivas.

Desde mediados de la década de1980, aprovechando la experiencia obtenida con las modificaciones citadas en los párrafos anteriores, se incluye un nuevo concepto que es el de las cabinas modulares autoportantes, con lo que, además de otras ventajas para la construcción, se obtienen importantes reducciones en la transmisión del sonido entre camarotes, entre pasillos y camarotes, etc.

13.18 Consideraciones a tener en cuenta en el diseño para facilitar la construcción de la habilitación de los buques

Se tratará de conseguir esencialmente:

a) *Racionalizar la estructura del edificio que forma la habilitación*, con el fin de reducir el tiempo empleado y abaratar su construcción con la distribución de espacios, servicios e instalaciones con el objeto de reducir canalizaciones y tuberías y simplificar su montaje.

b) *Reducir interferencias entre servicios y canalizaciones*.

c) *Conseguir la normalización y modulación de espacios, muebles, etc*.

d) *Montar las habilitaciones y sus elementos* con el mayor grado de acabado posible.

e) *La limitación de altura entre cubiertas*, las situaciones de mamparos estancos y contrafuegos, etc. complican la ubicación y trazado de los conductos y requiere una estrecha coordinación con todos los departamentos implicados al objeto de evitar interferencias.

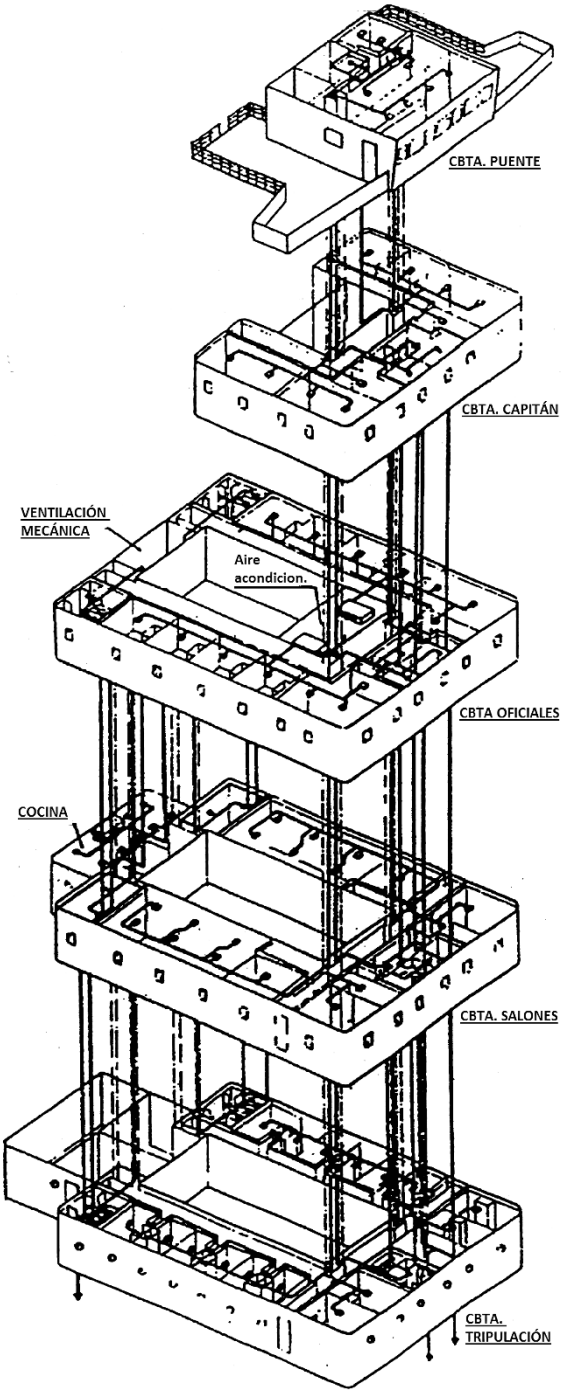


Fig. 13.10 Disposición superestructura habilitación, Tuberías y conducciones verticales.

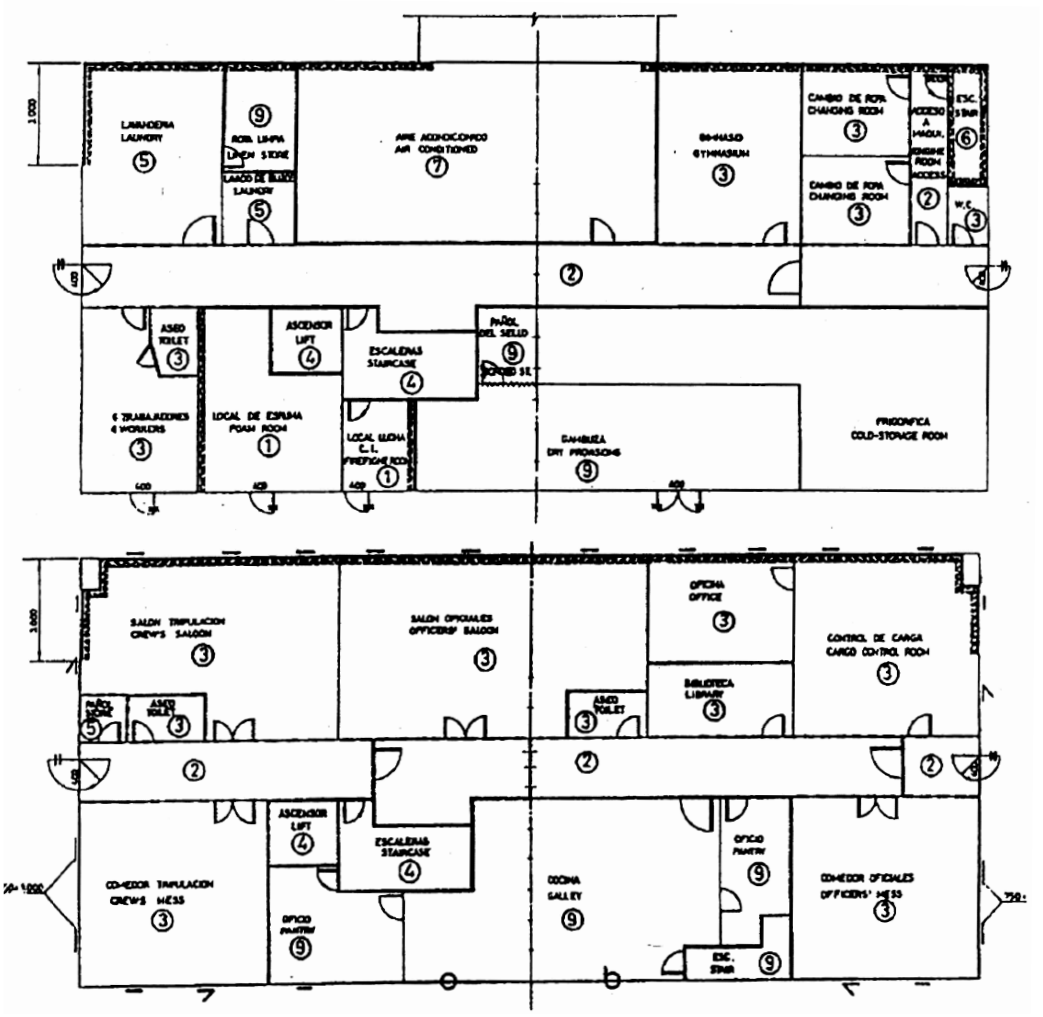


Fig. 13.11.1 Distribución racional en planta (4 cubiertas) de camarotes y locales de habilitación.

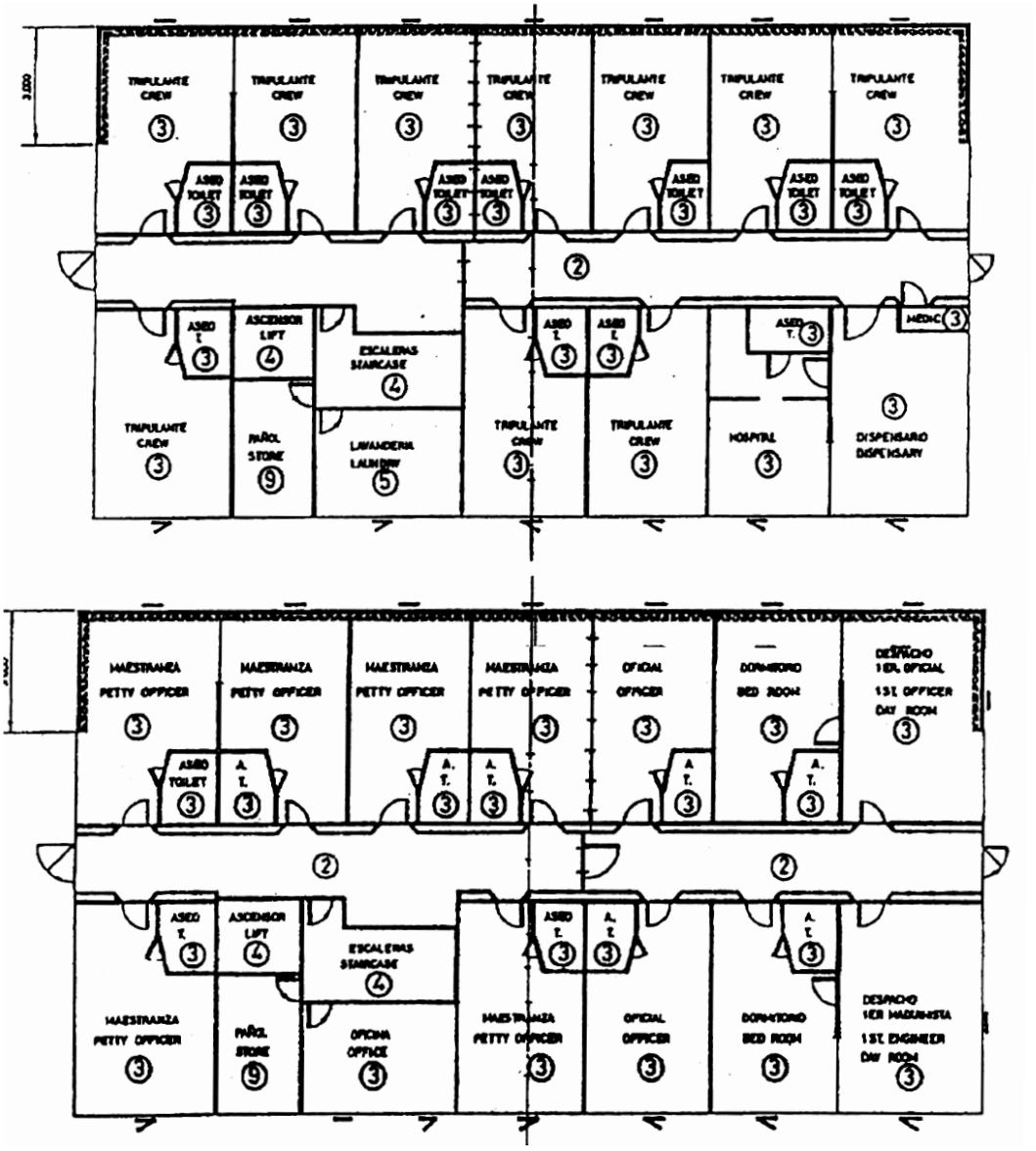


Fig. 13.11.2 Distribución racional en planta (4 cubiertas) de camarotes y locales de habilitación (2).

13.19 Módulos de la acomodación. Construcción en tierra y ensamblaje a bordo. Módulos autosoportantes

Un módulo debe estar compuesto por mamparos, embonos, techos, puertas, pisos, muebles, cortinas, sanitarios, aislamientos, servicios, instalación eléctrica y los correspondientes elementos del sistema de aire acondicionado

Las dimensiones principales de los módulos deben cumplir con los siguientes requerimientos:

— Su altura debe ser función del puntal del entrepuente.

— La anchura debe ser la mayor posible. La longitud estará directamente ligada con la eslora de la superestructura y de los medios disponibles del astillero para su movimiento sin que se produzcan deformaciones.

Hay que señalar que en las habilitaciones los mamparos interiores de acero, frecuentemente se elaboran como mamparos corrugados, por tener un peso menor, para la misma rigidez, que los mamparos planos con refuerzos soldados. También hay que señalar que las dimensiones de las casetas metálicas de habilitación deben ser configuradas en función de los módulos que van a englobar en su interior, los cuales estarán realizados de acuerdo con su destino: tripulación, oficiales, capitán, jefe de máquinas, comedores, salones, y otros posibles locales como son la cocina, oficios, lavandería, cámaras de control, que también conviene disponer como módulos, etc., proyectándose cada uno totalmente equipado.

Una secuencia para el montaje de módulos, en general, pero sin pretender que sea la única ni la más aconsejable para alguno de los diferentes tipos en particular que pueden existir, sería:

— Posicionamiento de los diferentes elementos de acero que configuran la estructura.

— Montaje de las tuberías principales de los servicios sanitarios.

— Montajes de las bandejas y tendidos de cables.

— Montaje de las ventanas, luces y elementos sanitarios.

— Montaje de los conductos de aire acondicionado.

— Conexión de tuberías sanitarias a los diferentes sanitarios.

— Tendido de cables y conexión a luces, enchufes e interruptores.

— Colocación de puertas, paneles y techos.

— Colocación del suelo.

— Colocación de muebles.

— Colocación de cortinas.

Todo este trabajo puede y debe ser realizado en tierra, con lo cual ya se está presuponiendo que un porcentaje muy grande del trabajo de la habilitación se está realizando como armamento anticipado.

Por ello, hay que estudiar cuidadosamente el transporte del módulo completo para evitar deformaciones, por lo que éste debe diseñarse y arriostrarse de forma que sea autosoportante, de tal manera que su propio piso y estructura lo soporten en su traslado e izado con todo el peso que lleva incorporado, que, prácticamente es el mismo que va a tener después en servicio a bordo. Previamente a su montaje habrá que almacenarlo protegiéndolo de las inclemencias atmosféricas.

Para realizar el montaje a bordo, o en la caseta o edificio de la superestructura, cuya estructura de acero posiblemente se está ensamblando en tierra para, a su vez, izarla toda como un conjunto para su montaje en el buque si los medios de elevación lo permiten, se debe comenzar por las cubiertas inferiores, e ir subiendo hasta el puente de gobierno, estudiando todos los movimientos para que su número sea el menor posible.

Las conexiones entre tuberías y conductos de módulos adyacentes, montadas previamente en éstos durante su armamento anticipado, se realizan en el conjunto completo por medio de acoplamientos rápidos.

Para una mayor facilidad en la construcción es conveniente que entre cubiertas exista un tronco con amplitud suficiente de modo que pueda contener las tuberías de alimentación y de descarga, buscando la mínima longitud posible de tubería.

Análogamente a las tuberías, las conexiones eléctricas entre módulos se efectúan por cajas de empalmes, teniendo en cuenta que cada módulo debe llevar completa su instalación eléctrica.

La altura de los tableros comerciales suele ser de 2,2 m y su anchura de 1,2 m. Los espesores son aquellos que suministren suficiente resistencia al panel, de modo que el peso no sea excesivo y permita un fácil manejo. Asimismo, cumplirán los requerimientos exigidos con relación a la incombustibilidad, y especificaciones de aislamiento térmico y acústico y su color estará en armonía con el resto de la habilitación. También ha de tenerse en cuenta que todas las piezas, tanto de mamparos como de embonos, tienen que ser intercambiables.

Por supuesto que los módulos de habilitación deben cumplir aparte del SEVIMAR (SOLAS), con la normativa en vigor que se exija según el país de abanderamiento y

otras particulares, ya sean españolas o del DOT (U.K.), COAST GUARD (USA), NMD (Noruega), etc., así como con los requerimientos específicos de la Sociedad de Clasificación del buque.

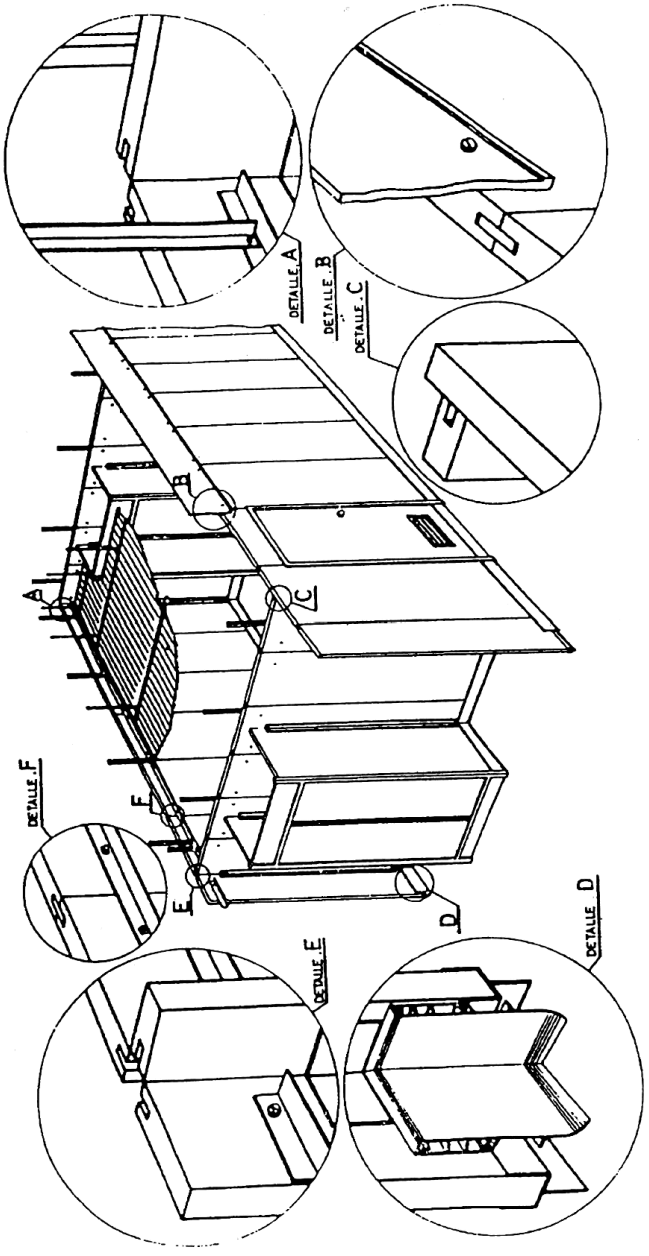


Fig. 13.12 Detalles de un módulo de habilitación.

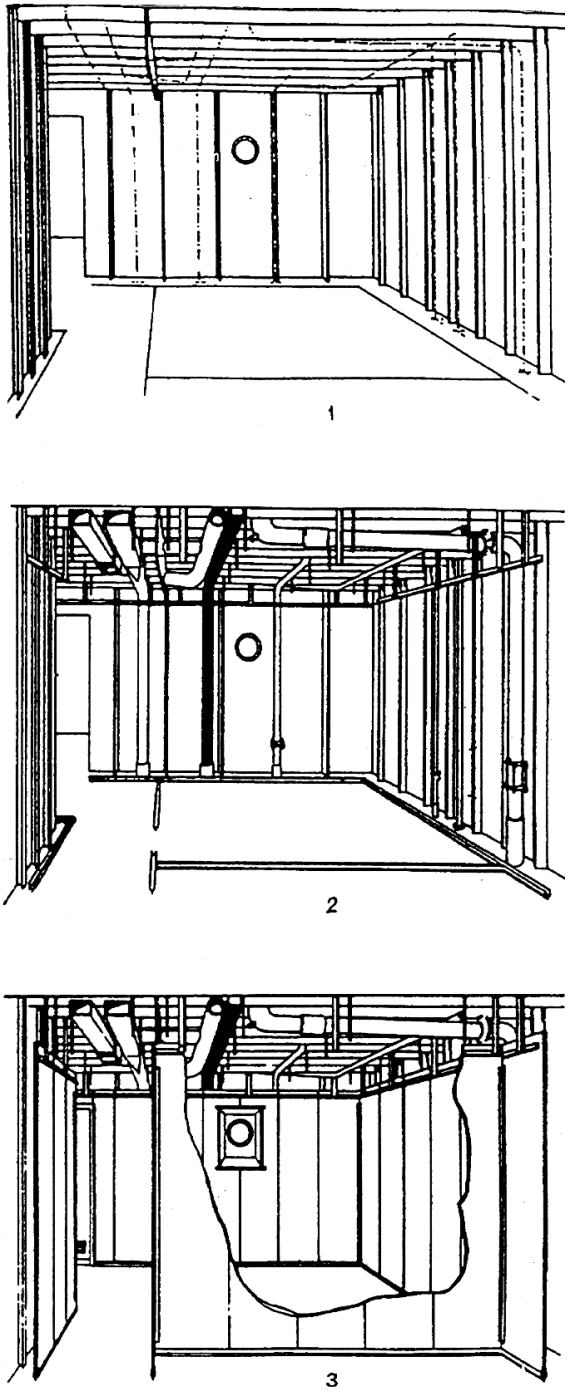


Fig. 13.13 Fases de montaje de un módulo de habilitación.

13.20 Aseos modulares

Al módulo del camarote en una determinada fase se le incorporará el módulo del aseo. Éste generalmente consta de partes diferentes: parte inferior o cubeta, partes laterales y techos.

La parte inferior o cubeta es resistente y estanca. Normalmente está constituida de acero de una sola pieza, de unos 4 mm de espesor y rebordeada por una cenefa soldada de unos 100 mm de altura. En su interior lleva una brazola estructural que delimita el espacio destinado a la ducha. Estos elementos rigidizan el fondo de manera que se puede desplazar el módulo hasta posicionarlo en el camarote sin riesgo de roturas o deformaciones.

Los laterales se fijan sobre el borde superior de la cubeta y se construyen de chapa de acero galvanizado de 0,7 mm, así como los techos. Por la parte exterior del módulo van soldados refuerzos para dar rigidez. As su vez las paredes van aisladas con lana de roca o fibra de vidrio y revestidas con acabados decorativos de PVC en sus caras vistas.

Sobre la cubeta se sitúan su subpavimento de unos 25 mm de espesor sobre el que se colocan las losetas cerámicas antideslizantes.

El módulo de aseo lleva incorporados los elementos propios de un aseo y totalmente instalados, como son: lavabo, inodoro, ducha o baño (según el tipo), tubería, grifería, armario sanitario, perchas, toalleros, asideras, parte eléctrica, etc.

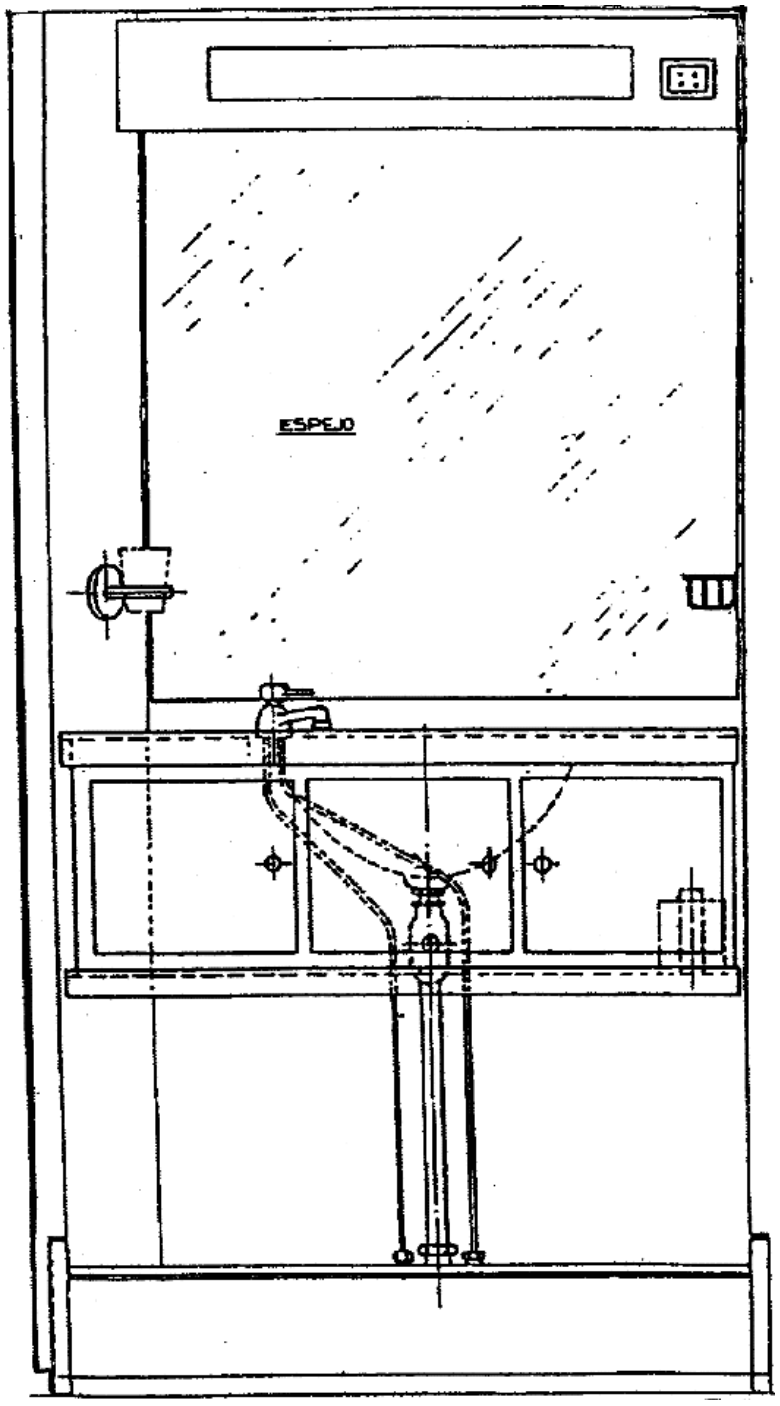


Fig. 13.14.1 Detalles aseo modular. Alzado en la zona de lavabo.

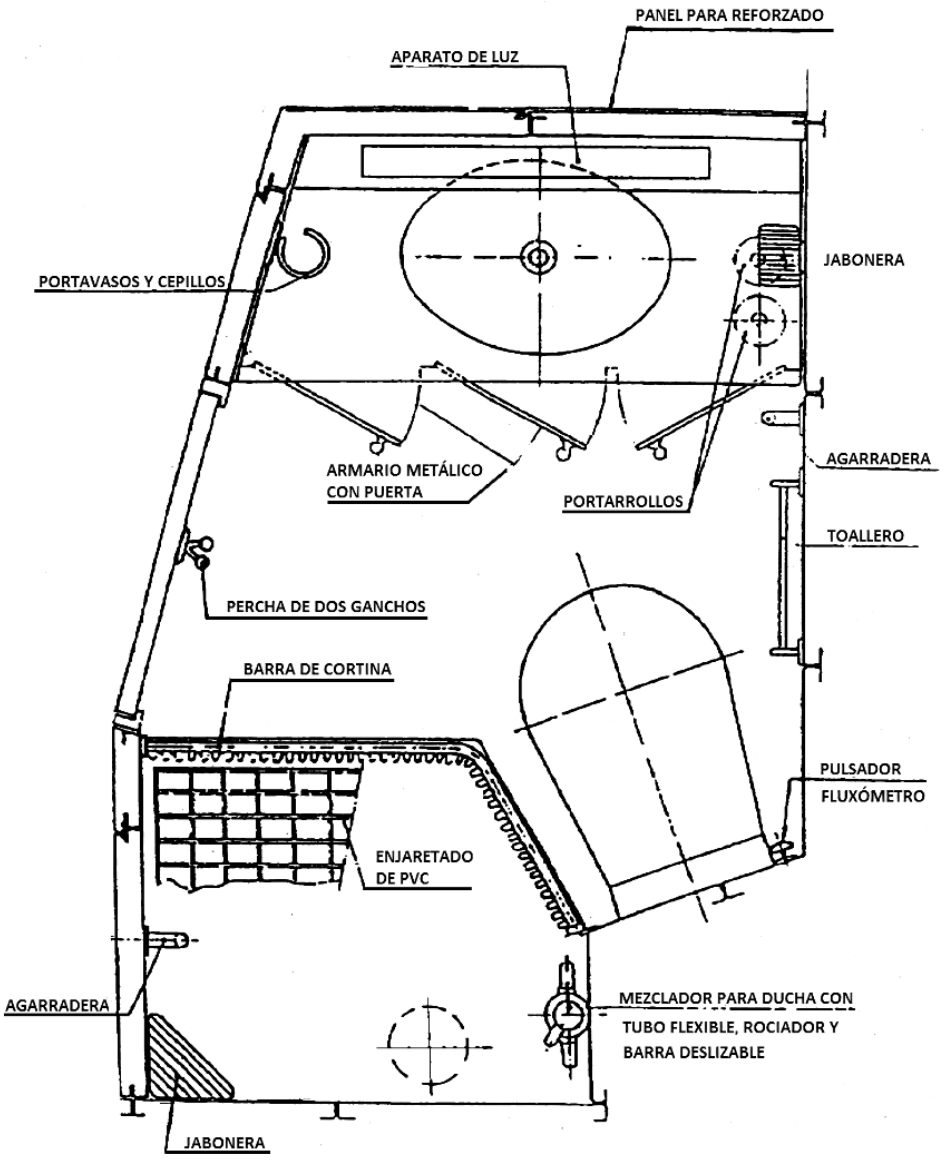


Fig. 13.14.2 Detalles aseo modular. Disposición en planta.

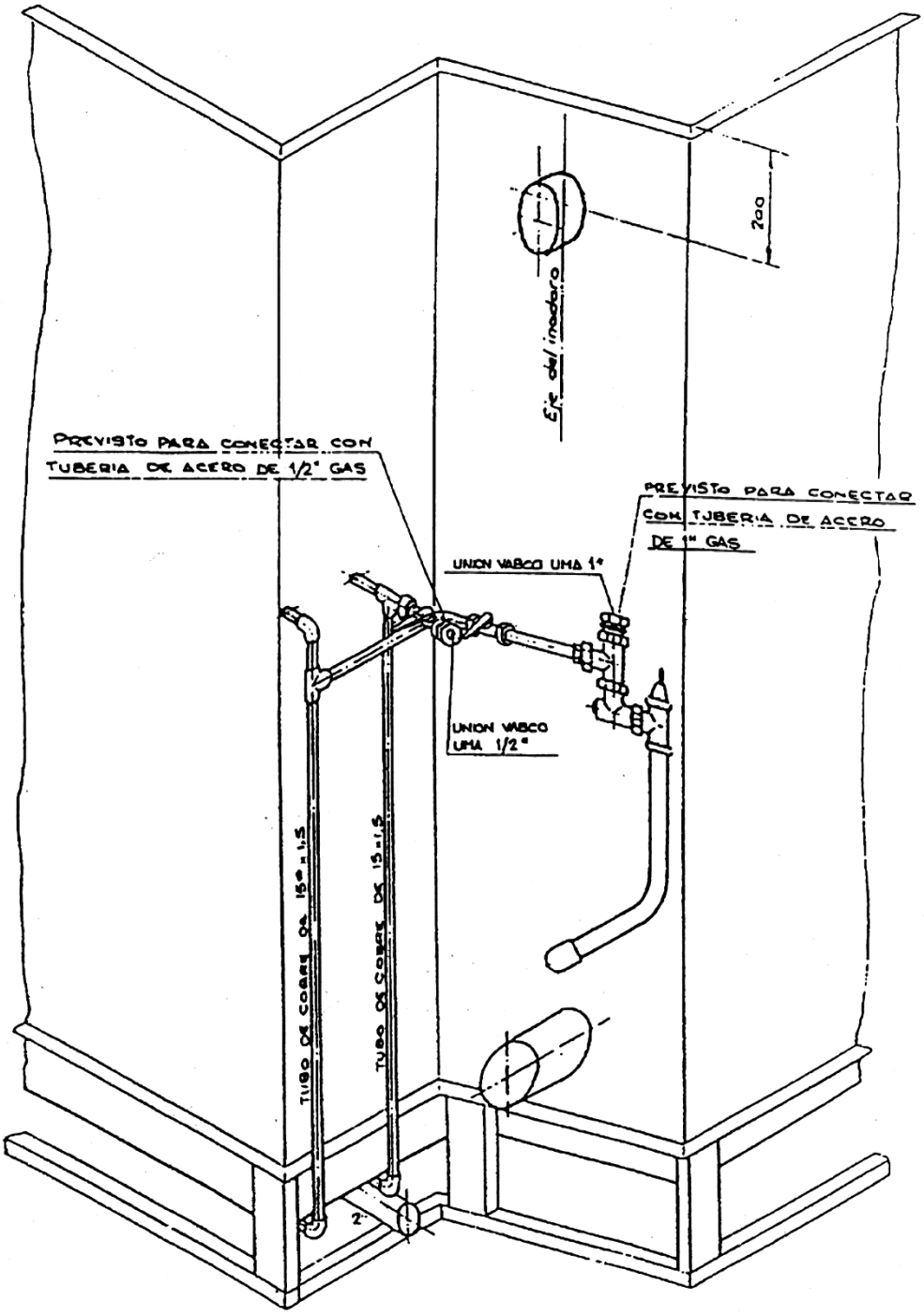


Fig. 13.15 Detalles tubería aseo modular.

13.21 Otros elementos de la habilitación para ser instalados en módulos

La habilitación se completará con otros elementos, para parte de los cuales puede ser también conveniente su instalación en los módulos, dependiendo de varias circunstancias. Dichos elementos son:

- Muebles de madera.
- Estanterías y taquillas metálicas.
- Pavimentos y alfombras:
  - Pavimentos vinílicos.
  - Pavimentos de moquetas.
  - Pavimentos cerámicos.
  - Alfombras.
- *Muebles metálicos de cocina, oficios, lavandería, gambuza, etc.*:
  - Fregaderos.
  - Muebles bajos.
  - Armarios y estanterías de colgar.
- *Equipo de lavandería:*
  - Lavadora automática.
  - Secadora de tipo industrial.
  - Planchadora de tipo eléctrico.
- *Equipo de cocina:*
  - Cocina.
  - Horno eléctrico.
  - Marmita
  - Amasadora.
  - Picadora de carne.
  - Pasapurés.
  - Molinillo de café.
  - Batidora.
  - Paleta y mezclador, etc.
  - Lavavajillas.
  - Frigorífico industrial.
  - Ollas, sartenes, vajilla, cubertería, etc.

Capítulo 14

Preparación de las superficies metálicas y su protección con pintura

14.1 Importancia de la preparación de la superficie a pintar

La preparación de la superficie metálica a pintar tiene tanta importancia o más que la correcta elección del tipo de pintura. Se puede afirmar que, con una pintura de calidad mediocre, aplicada sobre una superficie bien preparada, se alcanzarán mejores resultados que con una pintura de alta calidad aplicada sobre una superficie cuya preparación no se ha cuidado en el grado necesario.

Aunque hoy en día se dispone de algunos tipos de pintura de un carácter muy general para aplicar sobre varios tipos de superficie, existen casos, como cuando se aplica sobre hierro cincado, aluminio, etc., en que los fracasos son totales debido al desconocimiento del sistema adecuado sobre estas superficies.

Un acero ordinario, perfectamente limpio y liso, expuesto a una atmósfera de aire muy seco, prácticamente no se corroe porque se corroe sobre su superficie una fina película de óxido muy adherente y compacta que protege de la oxidación al resto del metal.

Ahora bien, si el aire está húmedo, el resultado es distinto, porque se forma una capa de óxidos-hidratos muy porosa y muy poco adherente y la oxidación sigue su curso hacia el interior del hierro, consumiéndose el metal a velocidad elevada. (Se calcula que un acero sin proteger y en una atmósfera industrial normal, pierde como término medio 0,1 mm de espesor, aproximadamente, al año).

Pero además del aire húmedo, los gases industriales y demás contaminantes, hay que tener en cuenta que el ataque del hierro se verifica también mediante procesos electroquímicos. Dada la heterogeneidad de los materiales férreos industriales, y en presencia de humedad, se forman una serie de pilas muy numerosas de tipo local sobre toda la superficie. Estos miles de micropilas que se forman dan lugar a la rápida destrucción del hierro, que se disuelve y oxida.

La mayoría del material de hierro que forma parte de una estructura procede, en general, de laminados en caliente, y las elevadas temperaturas a que son sometidas las piezas, hacen que el hierro se oxide fuertemente, formándose una capa de óxido de diferente composición, llamada *costra de laminación.* Esta película de óxido es casi siempre dura y adherente y no puede separarse fácilmente del metal. Dicha película podría constituir un revestimiento magnífico si fuese homogénea, uniforme y regular, pero en la práctica nunca es así porque existen una serie de irregularidades mecánicas, grietas, poros, etc. que hacen que queden al descubierto pequeñísimas zonas de hierro, con el agravante de que las costras de laminado actúan como zonas catódicas respecto a este hierro, produciéndose la corrosión muy rápidamente.

Es por todo ello fundamental eliminar la costra de laminación y cualquier otra impureza que se encuentre sobre la superficie del hierro, tales como grasa, aceites, etc.

El mejor procedimiento, y uno de los más empleados en la industria, es el chorreado de las superficies. Actualmente se dispone de una serie de especificaciones para realizar la preparación de superficies. Entre las más empleadas, se recomiendan las siguientes:

— STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL, SSPC (USA).

— NORMAS SIS 055900-1967, del Comité de Corrosión de la Real Academia de Ciencias Técnicas de Suecia.

— Serie UNE-EN ISO 8501.

En cualquier sistema de pintado, ya se trate del pintado del casco de un buque, de la protección de unos tanques de crudo o de lastre, o del pintado de unas tuberías resistentes al calor, etc. es completamente necesario especificar muy claramente la preparación que se ha de aplicar a la superficie antes de pintar.

14.2 Consideraciones generales a tener en cuenta antes de pintar

Antes de pintar una estructura metálica es necesario dar una serie de normas, que afectarán al comportamiento de la pintura.

Las más importantes son:

1. Se especificará muy claramente, tal como se indicó, la preparación de superficie en cada zona a pintar: así, por ejemplo, para el pintado interior de tanques que vayan a contener productos refinados se dirá: Chorreado de la superficie hasta el grado Sa 3 de la norma SIS 055900.
2. Se dirá también la rugosidad que debe tener la superficie una vez chorreada. Como medida no se tendrán diferencias de alturas del perfil, entre las crestas y los valles, mayores de 50-60 micras.

3. Todas las pinturas se aplicarán *de acuerdo con las recomendaciones y condiciones del fabricante*.
4. No es recomendable efectuar el trabajo de pintado cuando la temperatura ambiente, o la del acero, sea inferior a 3º C o superior a 50º C.
5. Se parará la operación de pintado cuando la humedad relativa sea igual o superior al 90%.
6. Debe existir una vigilancia continua, mientras dura el pintado, de la instalación en la que se está aplicando y de las condiciones en que se realiza el trabajo.
7. Es recomendable planificar toda obra de pintado cuando sea de envergadura: zonas pintadas, número de capas aplicadas, espesores, incidencias, etc.
8. En la especificación del sistema de pintado para cada zona, es conveniente dar los siguientes datos
   - — Número de capas a aplicar.
   - — Tiempos de secado entre cada capa.
   - — Tiempo mínimo y máximo de repintado entre cada capa.
   - — Sólidos en volumen.
   - — Rendimientos teóricos.
   - — Espesores de película seca y película húmeda.

Si las pinturas son de dos componentes, además de todos los datos anteriores es necesario dar también:

- — Porcentaje en peso y en volumen de la pasta base y del catalizador.
- — Vida de la mezcla de los dos componentes.

14.3 Esquemas tipo capa normal y tipo capa gruesa. Diferencias

La necesidad de aplicación de las pinturas de capa gruesa viene como consecuencia del ahorro de tiempo, mano de obra y, consecuentemente, de dinero, ya que aproximadamente un 80% del presupuesto total del esquema de pintado (preparación de superficie más aplicación) corresponde a la mano de obra, siendo el otro 20%, aproximadamente, el coste de la pintura.

Una idea del número de capas y espesores totales de un esquema tipo capa normal y tipo capa gruesa puede verse en el siguiente cuadro:

ESQUEMA TIPO CAPA NORMAL	ESQUEMA TIPO ALTO ESPESOR
Dos manos de imprimación..... 80 micras Una mano intermedia..... 40 micras Una mano de acabado..... 30 micras	Una mano de imprimación..... 40 micras Una mano intermedia..... 100 micras Una mano de acabado..... 40 micras
Número de manos..... 4 Espesor total ..... 150 micras	Número de manos ..... 3 Espesor total..... 180 micras

Tabla 14.1 Ejemplos de esquema de pintado.

Generalmente, en toda formulación se emplea el mismo tipo de resina (aunque no siempre) y los mismos disolventes, pero no los mismos pigmentos ni los mismos aditivos. En la capa gruesa se suelen emplear espesantes y estabilizantes que no se emplean en la capa normal y, en vez de emplear pigmentos anticorrosivos, se suelen usar cargas o extendedores.

Hoy en día cada vez se tiende más a usar esquemas de pintado basados en capa gruesa. Son los siguientes:

— Recubrimiento de capa gruesa alquitrán-epoxi.

— Recubrimiento de capa gruesa epoxi-puro.

— Recubrimiento de capa gruesa clorocaucho.

— Recubrimiento de capa gruesa vinílica.

14.4 Recubrimiento de capa gruesa alquitrán-epoxi

Este tipo de recubrimientos consiste en combinaciones de alquitrán con resina epoxi, catalizados esencialmente con versamidas o amidas. A veces, llevan una pequeña proporción de endurecedores (tipo amínico) para dar mayor dureza a la película.

Las Características principales que debe reunir este tipo de pinturas son las siguientes:

— *Buena adherencia, tanto sobre el "shop primer" como sobre el acero y entre capas*. Como este método suelo ser problemático se suelen marcar unos tiempos mínimos y máximos de repintado entre capas de 24 horas y de 96 horas respectivamente.

— Buena dureza y resistencia a la abrasión.

— Buena resistencia química*, tanto en medios ácidos como alcalinos.*

— Baja permeabilidad *al agua y a vapores acuosos.*

— Baja conductividad eléctrica.

— Facilidad de aplicación a pistola *airless, consiguiendo fácilmente esquemas de 125 micras de película seca.*

— No suelen llevar pigmentos anticorrosivos, la protección la dan por "efecto barrera"*, por el* alto espesor *que se consigue. De aquí que sea muy importante controlar muy bien el espesor de película seca de cada capa.*

— *Solamente se obtienen colores oscuros o marrones*, lo que produce *el sangrado* de la capa siguiente.

— *Nunca se deben emplear en pintados a la intemperie*, en cambio son muy aptos para el interior de tanques o tuberías enterradas.

— *Entre las pinturas epoxi de alto espesor suelen ser las más baratas.*

— *Puede conseguirse con este tipo de pinturas alto contenido de* sólidos en volumen con rendimientos prácticos muy aceptables.

— Aunque hay formulaciones especiales, hoy en día para aplicar en sistemas *monocapa de hasta 300 micras de película seca, se recomienda aplicar en 2 manos.*

— *Son pinturas muy influenciadas por la temperatura y la humedad* ya que, a bajas temperaturas, por ejemplo, el tiempo de endurecimiento se alarga, sobre todo con espesores altos.

14.5 Recubrimiento de capa gruesa epoxi puro

Esencialmente están formados por una resina epoxi, catalizada con mezclas de aminas y/o poliamidas.

Las características de los epoxis puros suelen ser similares a las anteriores, excepto en los siguientes puntos:

1. La película es más permeable.
2. Se pueden formular en varios colores.
3. No tienen el sangrado como las breas epoxi.
4. Dependiendo del tipo de catalización, se pueden hacer más flexibles, más o menos duras, pero siempre entre ciertos límites. El problema de repintado existe.

14.6 Recubrimiento de capa gruesa cloro caucho

Este tipo de recubrimiento suele ser de los más empleados tanto en mantenimiento industrial como en el campo naval.

La formulación es totalmente diferente a la de los casos anteriores. Las principales diferencias se basan en:

— *Los espesores que se consiguen son más bajos: entre 100 a 125 micras de película seca*. Para ello no es fácil pero es necesario obtener una reología especial a base de tixotropizantes del tipo aceite de ricino hidrogenado, para que no haya descolgamientos.

— *El contenido de* sólidos en volumen suele ser más bajos, con lo cual los rendimientos prácticos también.

— *Son pinturas de un componente*, por lo tanto, no hay problemas de mezclas y/o errores en las catalizaciones.

— *Su resistencia química es menor.*

— *Menor resistencia a la abrasión que los anteriores*.

— *Preparación de superficie menos problemática*.

— *Secan por evaporación, por lo tanto, no son tan sensibles a las condiciones ambientales.*

— *No hay problemas de repintado.*

— *Adherencia entre capas muy buena.*

14.7 Recubrimientos de capa gruesa vinílica

Las características y propiedades son parecidas a las de los clorocauchos, pero mucho menos utilizados debido a que son:

— *Pinturas más caras.*

— *Sólidos en volumen iguales o menores*. Por lo tanto, alcanzar espesores de película seca de 100 micras no es fácil, lo normal aquí es aplicar 70 a 80 micras.

— *Disolventes muy volátiles*. Su formulación tiene que estar muy conseguida para que no haya ni retención de disolventes ni problemas de espesamiento (gelificación).

14.8 Métodos de aplicación de las pinturas: Brocha, rodillo, pistola sin aire

a. Brocha.

En general se considera la aplicación de la primera mano a brocha para pequeñas superficies, ya que así el brocheado introduce la pintura en todos los huecos, ángulos, etc. La aplicación a brocha resulta también necesaria para zonas estrechas (tubos, barandillas, etc.) o cuando es de gran importancia no manchar los alrededores. La aplicación a brocha es lenta y, por tanto, más cara que la aplicación a rodillo.

b. Rodillo.

El rodillo en sus múltiples versiones ha venido a desplazar a la brocha. Con el rodillo no se puede conseguir el acabado que se consigue a pistola, pero en un pintado naval no es la perfecta homogeneidad de la superficie lo que más importa.

c. Pistola airless o sin aire.

Consiste en una bomba de alta presión que envía la pintura a la pistola.

La bomba, normalmente, se mueve con aire y en este tipo de equipo hay una relación entre la presión de aire que la mueve y la presión de la pintura de salida, esta relación se denomina relación de comprensión.

Para el caso de mantenimiento industrial y en Marina se utilizan normalmente pistolas con una relación de 40:1.

14.9 Diferentes formas de preparación de las superficies para el pintado

La mayoría del acero que se usa para la construcción industrial o naval procede, en su mayor parte, de laminados en caliente, y como ya se citó al principio, esto hace que el acero se oxide fuertemente, formándose una capa de óxido de diferente composición llamada costra de laminación. Esta película de óxido es casi siempre dura y adherente y no puede separarse fácilmente del metal. Dicha película podría constituir un revestimiento magnífico si fuese homogénea, uniforme y regular, pero en la práctica nunca es así, porque existen una serie de irregularidades mecánicas, grietas, poros, etc., que hace quedar al descubierto pequeñísimas zonas de hierro, con el agravante de que las costras de laminado actúan como zonas catódicas respecto al hierro, produciéndose la corrosión muy rápidamente.

Es por ello necesario eliminar la costra de laminación y cualquier otra impureza que se encuentre sobre la superficie del acero, tales como grasas, aceites, etc.

Entre las distintas variantes de preparación de superficie podemos destacar como las principales y más comunes usadas en los campos naval e industrial, las siguientes:

— Limpieza con disolventes.

— Limpieza manual.

— Limpieza mecánica.

— Limpieza con abrasivos.

14.10 Limpieza con disolventes, norma SSPC-SP-1-63

La limpieza con disolvente es un procedimiento para eliminar de la superficie de acero materias extrañas, tales como grasa, aceite, suciedad, compuestos de trazado y cortado y otros contaminantes superficiales mediante el uso de disolventes.

Este método es ineficaz cuando se utiliza sólo, ya que no produce la necesaria rugosidad que garantice la adherencia de la primera capa de pintura.

14.11 Limpieza manual, norma SSPC-SP-2-63

La limpieza manual es un método de preparación de superficies metálicas para eliminar el óxido suelto, la costra de laminación suelta y los restos de pintura mal adherida mediante cepillado, lijado, resecado, picado o con cualquier otro procedimiento manual.

14.12 Limpieza mecánica, norma SSPC-SP-3-63

La limpieza mecánica es un método para la preparación de superficies metálicas que vayan a ser pintadas, por eliminación de la costra de laminación suelta, óxido suelto y los restos de pintura mal adherida, mediante el empleo de cepillos mecánicos, piquetas mecánicas, lijadoras y pulidoras mecánicas. Con este procedimiento no se pretende eliminar completamente el óxido, la costra de laminación o la pintura.

14.13 Limpieza con abrasivos

La limpieza con abrasivos puede definirse como la limpieza producida por el impacto de partículas abrasivas impulsadas a gran velocidad contra la superficie que se va a limpiar.

La limpieza por chorreado abrasivo es uno de los pocos métodos que elimina eficazmente todos los restos de impurezas que hay sobre el metal; además produce una rugosidad muy deseable que ayuda a la adherencia de las pinturas que se van a aplicar.

El grado de preparación de la superficie con chorro abrasivo puede variar en un amplio ámbito, según se desee. La Steel Structure Painting Council ha desarrollado estándares de preparación de superficie que han sido reconocidos y aceptados por organizaciones y profesionales, y de los que nos ocupamos a continuación.

14.13.1 Chorreado a metal blanco, norma SSPC-SP-5-63

El chorreado a metal blanco es un método para la preparación de superficies que vayan a ser pintadas o revestidas, por la eliminación o de óxido, óxidos, pintura y materiales extraños, mediante el uso de abrasivos impulsados a través de boquillas o de discos centrífugos.

La superficie será chorreada hasta el grado de metal blanco mediante alguno de los procedimientos siguientes:

— Chorreado con arena húmeda o con vapor de agua, utilizando boquillas de aire comprimido, agua y arena de una granulometría inferior al tamiz de 16 mallas de la serie normalizada en EE.UU.

— Chorreado con granalla, utilizando boquillas de aire comprimido y granalla machacada de hierro fundido, hierro forjado, acero u otras granallas sintéticas.

La superficie chorreada será tratada o imprimida a continuación, tal como se haya establecido en la especificación de contrato, preferiblemente dentro de las veinticuatro horas siguientes al chorreado, pero en todo caso antes de que aparezca alguna huella visible o perjudicial de oxidación.

14.13.2 Chorreado comercial, norma SSPC-SP-6-63

Una superficie limpiada mediante chorreado en grado comercial se define como aquella de las que se ha eliminado completamente el aceite, la grasa, la suciedad, las costras de óxido y materiales extraños, así como el óxido superficial, la costra de laminación y las pinturas viejas, excepto ligeras sombras.

14.13.3 Chorreado casi a metal blanco, norma SSPC-10-63T

La superficie limpiada hasta el grado *casi a metal blanco* se define como aquélla de la que se ha eliminado todo el aceite, grasa, suciedad, costra de laminación, óxidos,

productos corrosivos, pinturas u otros materiales extraños, excepto muy ligeras sombras, muy pequeñas rayas o ligeras decoloraciones producidas por manchas de óxido, de calamina o de pintura compacta, las cuales pueden permanecer sobre la superficie.

14.13.4 Soplado con abrasivos, norma SSPC-SP-7-63

Con este procedimiento no se trata de que la superficie haya que quedar totalmente libre de costras de laminación, óxidos o pinturas. Sin embargo, los restos de calamina, óxido o pintura que pueden permanecer adheridos deberán ser firmes y compactos y la superficie quedará suficientemente rugosa para asegurar la buena adherencia de la pintura.

SSPC (USA)	SIS 5.59.00 (Suecia)	BRITISH STANDARD
SP-2	St 2	2.ª calidad
SP-3	St 3	3.ª calidad
SP-5	Sa 3	1.ª calidad
SP-10	Sa 2 1/2	2.ª calidad
SP-6	Sa 2	3.ª calidad
SP-7	Sa 1	--

Tabla 14.2 Equivalencia de Normas Chorro de arena y Manual.

14.14 Preparación de superficie de acuerdo con los tipos de pintura a emplear. Influencia en la rugosidad

La preparación de la superficie metálica a pintar tiene tanta importancia o más que la correcta elección del tipo de pintura. Se puede afirmar que, con una pintura de calidad mediocre, aplicada sobre una superficie bien preparada, se alcanzará mejor resultado que con una pintura de alta calidad aplicada sobre una superficie cuya preparación no se ha cuidado el grado necesario.

En todo esquema de pintado se suelen especificar una serie de datos tales como número de capas a aplicar, espesor de la película seca, tiempos mínimos de repintados entre cada capa, sólidos en volumen, preparación de superficie para cada zona a pintar, etc. También debería especificarse la rugosidad de la superficie de la chapa una vez chorreada, ya que influye en la adherencia de la pintura.

La tabla siguiente nos dará una idea de lo que se acaba de exponer:

Sistema de pintado	Mínima preparación superficie		
	SSPC	**SIS 055900**	**B.S.**
1. Pinturas de aceite.	SP-2	St 2	2ª calidad
2. Pinturas base alquidica:			
2.1. Para el interior.	SP-3	St 3	3ªcalidad- manual.
2.2. Para el exterior.	SP 6-7	Sa 1- Sa 2	3ªcalidad- chorro.
3. Pinturas al clorocaucho alto espesor:			
3.1. Exterior (no inmersión)	SP-6	Sa 2	3ª calidad- chorro
3.2. Inmersión (fondos, tanques)	SP-10	Sa 2 1/2	2ª calidad- chorro.
4. Breas epoxi, epoxi en general.	SP-10	Sa 2 1/2	2ª calidad- chorro.
5. Silicatos.	SP-10 SP-5	Sa 2 1/2 Sa 3	2ª calidad. 1ª calidad.
6. Pinturas de poliuretano.	SP-10	Sa 2 1/2	2ª calidad- chorro.

Tabla 14.3 Preparación mínima de superficie requerida para diferentes sistemas de pintado.

14.15 Conceptos básicos de la tecnología de pinturas. Generalidades

Toda pintura, bien se trate de una imprimación o un esmalte, se compone fundamentalmente de tres partes principales:

— Pigmento.

— Vehículo fijo o ligante.

— Vehículo volátil o disolvente.

El pigmento y el vehículo fijo son los componentes que permanecen en la película de pintura una vez seca y el vehículo volátil, utilizado exclusivamente para hacer posible la aplicación de la pintura, se pierde totalmente por evaporación durante el secado.

14.15.1 Pigmentos

Los pigmentos que se utilizan para la fabricación de pinturas pueden clasificarse en los siguientes tipos:

— Pigmentos anticorrosivos.

— Pigmentos cubrientes.

— Pigmentos con alguna acción específica.

— Cargas o extendedores.

1. *Pigmentos anticorrosivos*

   Se conoce bajo la denominación de pigmentos anticorrosivos a todos aquellos compuestos químicos en forma de polvo impalpable que, dispersos en un vehículo fijo apropiado, son capaces de evitar o inhibir la corrosión del hierro:

   — Mediante pasivación anódica o catódica de la pila electroquímica que se origina en todo proceso de corrosión.

   — Por protección catódica del acero con un elemento menos noble que el hierro.

   Pertenecen al primer tipo de productos aquellos pigmentos anticorrosivos, tales como el Minio de Plomo, Cromato de Zinc, Plumbato Cálcico, Cianamida de Plomo, etc.

   Al segundo tipo de protección anticorrosiva pertenecen los pigmentos metálicos, tales como el Zinc, Magnesio, etc. que por su carácter electroquímico, menos noble que el hierro, ejercen una protección sacrificial del pigmento, al comunicarle carácter catódico (negativo).

2. *Pigmentos cubrientes*

   Se denominan pigmentos cubrientes aquellos productos químicos opacos que, dispersos en un vehículo fijo adecuado, son capaces de cubrir un fondo por opacidad.

   Estos pigmentos se utilizan para la formulación de las pinturas de fondo y de acabado.

3. *Pigmentos con alguna acción específica*

   Son una serie de productos químicos que se utilizan en la formulación de pinturas, al objeto de comunicar a éstas alguna acción específica contra determinados agentes.

   Por ejemplo, la utilización de productos químicos tóxicos en la formulación de pinturas anti incrustantes para fondos de barcos, tiene por finalidad proporcionar a este tipo de pinturas, propiedades tóxicas capaces de producir la muerte de las larvas de los organismos incrustantes. Análogamente, las pinturas con acción fungicida para la decoración interior, llevan incorporados productos químicos tóxicos para los hongos y bacterias.

   Las pinturas ignífugas, independientemente de la composición química especial del vehículo fijo utilizado, llevan incorporados productos químicos sólidos que comunican a este tipo de pinturas propiedades ignífugas o retardadoras del fuego.

   Son clásicos dentro de este grupo de pigmentos con acción específica: el óxido de cobre en las pinturas anti incrustantes, los compuestos órgano-metálicos por sus propiedades fungicidas, el óxido de antimonio por su carácter ignífugo, etc.

4. *Cargas o extendedores*

   Se denominan como cargas o extendedores aquellos pigmentos no cubrientes, es decir, incapaces por sí solos de comunicar opacidad a una pintura, que se utilizan normalmente para *enmatecer* o rellenar las imprimaciones y capas de fondo principalmente.

14.15.2 Vehículo fijo

El vehículo fijo de una pintura es la parte sólida que, junto con el pigmento, permanece en la película una vez seca. Es decir, se trata del formador de película.

Las propiedades y clasificación de los diversos tipos de pintura se basan precisamente en el vehículo fijo utilizado en su formulación. De esta forma, se habla de:

— Pinturas al aceite.

— Pinturas gliceroftálicas.

— Pinturas fenólicas.

— Pinturas de clorocaucho, etc.

14.15.3 Vehículo volátil

El vehículo volátil constituyente de una pintura líquida, tiene como única misión permitir su aplicación. Tanto las resinas o aceites, como los productos exentos de disolvente, forman en general materiales sólidos o semisólidos, que no podrían ser aplicados por cualquiera de los procedimientos normalmente utilizados tales como brocha, rodillo o pistola.

14.16 Clasificación de los diversos tipos de pinturas

a) *De secado exclusivo por evaporación.*

   Pertenecen a este tipo de vehículos fijos los siguientes productos:

   — Resinas de clorocaucho.

   — Resinas vinílicas.

   — Resinas acrílicas termoplásticas.

   — Resinas nitrocelulósicas.

   — Alquitranes y breas.

b) *De secado por reacción con el oxígeno del aire.*

Pertenecen a este tipo de productos aquellas pinturas formadas con vehículos fijos, cuyo secado y endurecimiento están sujetos a dos procesos consecutivos:

1. Evaporación del disolvente o vehículo volátil.

2. Absorción del oxígeno del aire en las cadenas grasas, que forman siempre parte de este tipo de resinas.

Dentro de este grupo de pinturas se consideran principalmente:

— Pinturas grasas o al aceite.

— Pinturas gliceroftálicas de secado al aire.

— Pinturas fenólicas modificadas.

c) *De secado por acción de la temperatura.*

Los tipos de aceites utilizados en la fabricación de estas resinas, se caracterizan por poseer en muy pequeña medida enlaces no saturados en su molécula y capaces de polimerizar por la acción de la temperatura.

d) *De secado por reacción química entre dos componentes*.

Pertenecen a este tipo de pinturas aquellas cuyo vehículo fijo está formado por una resina sintética, capaz de reaccionar con un producto químico denominado catalizador o endurecedor. De esta forma, el vehículo fijo de la pintura no está constituido exclusivamente por la resina contenida en uno de los componentes, sino por la mezcla de ésta más el endurecedor o catalizador.

Las resinas reactivas utilizadas normalmente en este tipo de pintura, son:

— Resinas epoxi.

— Resinas de poliuretano.

— Pinturas de silicato de zinc.

14.17 Propiedades de los diversos tipos de pintura

Como se mencionaba anteriormente, las propiedades de cada tipo de pintura y, por tanto, su adaptación a un determinado uso, vienen fijadas fundamentalmente por las resistencias químicas y físicas del vehículo fijo constituyente de la propia pintura. Y dado que estas resistencias se traducen en la facilidad o dificultad de ataque que el medio ambiente pueda ejercer sobre la naturaleza química de este vehículo fijo, se

detalla a continuación en qué medida los diversos grupos funcionales presentes son más o menos sensibles a la diversidad de ambientes con que pueden estar en contacto las pinturas.

1. *Resistencia a los disolventes.*

   Las pinturas de secado exclusivo por evaporación del disolvente, no son resistentes a los disolventes propios de tales pinturas.

   Las pinturas de secado por reacción con el oxígeno del aire, no muestran en general buena resistencia a los disolventes.

2. *Adherencia entre capas.*

   Como norma general, se dice que la adherencia entre varias capas de pintura ha de ser considerada desde dos puntos de vista fundamentales: anclaje físico y fusión química de las diferentes capas.

3. *Resistencia al agua.*

   Las resistencias químicas de las pinturas de secado exclusivo por evaporación, habrán de ser exactamente las que muestre la resina original.

4. *Resistencia a productos químicos orgánicos.*

   La resistencia a los productos químicos orgánicos está íntimamente ligada con lo indicado en el apartado sobre la resistencia a los disolventes, tratado en primer lugar.

14.18 "Control de corrosión". Sociedades de Clasificación

El concepto de "Control de Corrosión", utilizado por las Sociedades de Clasificación, consiste en que éstas admiten reducciones en el espesor de la chapa del casco cuando se aplican revestimientos protectores especiales a las superficies externas del mismo.

Por citar un ejemplo, el ABS cita en el punto 15.7 del Reglamento:

> "Cuando revestimientos protectores especiales se aplican a las superficies externas del casco sobre la línea de flotación en servicio más profunda, como un medio de control de la corrosión (de acuerdo con el punto 3.3.2), y siempre que todos los espesores, tal como sean requeridos en los puntos 15.3, 15.5 y 15.15, y que los requerimientos de resistencia especificados en la sección 6, hayan sido cumplimentados, el espesor de la chapa del forro puede ser reducido en un 10%, aunque la reducción no podrá ser superior a 3 mm".

Entre otras medidas se puede proponer el uso de ánodos para suplementar la protección ejercida por las capas de pintura.

En todo caso, la reducción de espesores que permitiría el "Control de Corrosión" mencionado, tiene que ser solicitada y aprobada por la Sociedad de Clasificación por la que se vaya a clasificar el buque.

Capítulo 15

Construcción de embarcaciones de plástico reforzado con fibra

15.1 Introducción

Las propiedades de las resinas de poliéster y epoxi reforzadas con fibra de vidrio (GRP), las han acreditado como material muy adecuado para su aplicación en la construcción de cierto tipo de embarcaciones.

Por su reducida densidad (1,5-2,2 gr/cm^3), su resistencia a la tracción (700 a 1.750 gr/cm^2) y su resistencia al impacto, el GRP resulta adecuado para la construcción naval, tal como se ha comprobado en numerosos ensayos y después de accidentes casuales ocurridos en la práctica.

Los plásticos reforzados, como material estructural en construcciones marinas, se empezaron a introducir a partir de la segunda guerra mundial, con la fabricación de una serie de embarcaciones de GRP de 28 pies de eslora para la marina norteamericana. Desde esta fecha, el crecimiento en cantidad y tamaño ha sido significativo.

Posteriormente se demostró la posibilidad de construcción de pesqueros de GRP de 110 pies de eslora y, actualmente, con los conocimientos y tecnología alcanzados para este tipo de material, se podrían construir buques de hasta 250 pies de eslora.

15.2 Ventajas e inconvenientes

Se describen brevemente las ventajas e inconvenientes de la aplicación del GRP en construcción de barcos:

1. Ventajas.
   a) *Resistencia al ambiente marino.*

      El GRP no se corroe o deteriora cuando se expone durante largos períodos a la sal, aire o agua, si se han empleado formulaciones adecuadas.

b) *Peso ligero.*

Con un diseño correcto y un control eficiente en la producción, las estructuras de GRP pueden construirse con un peso mitad que las estructuras en acero o madera y, en líneas generales, de un peso aproximado a las equivalentes de aluminio.

c) *Alta resistencia.*

La resistencia inherente del GRP es relativamente alta en relación con su peso, y los períodos de exposición prolongados al agua de mar tienen un efecto reducido en sus propiedades.

d) *Construcción sin costuras.*

Los cascos de GRP se fabrican, generalmente, de una pieza sin solapas ni costuras, aunque en caso de barcos de esloras superiores a 130 pies puedan utilizarse sistemas combinados, sobre todo para algunas zonas.

		Plancha con malla compacta **Contenido vidrio bajo**	**Plancha 50-50%** **Contenido vidrio medio**	**Plancha malla estirada** **Contenido vidrio alto**
Porcentaje de vidrio por unidad y peso		25-30	30-40	40-55
Peso específico		1,40-1,50	1,50-1,65	1,65-1,80
Máxima tensión en flexión	(MPa) (ksi)	124-172 (148-25)	172-207 (25-30)	207-241 (30-35)
Módulo de flexión	(MPa) (ksi x 10^3)	5,516-8,274 (0,8-1,2)	7,584-10,342 (1,1-1,5)	10,342-15,168 (1,5-2,2)
Máxima fuerza de estiramiento	(MPa) (ksi)	76-103 (11-15)	124-172 (18-25)	193-221 (28-32)
Máxima fuerza de compresión	(MPa) (ksi)	117-145 (17-21)	117-145 (17-21)	117-152 (17-22)
Módulo de compresión	(MPa) (ksi x 10^3)	6,205-8,963 (0,9-,3)	6,894-11,031 (1,0-1,6)	11,721-16,547 (1,7-2,4)
Máxima fuerza de cizalla perpendicular a las fibras	(MPa) (ksi)	69-90 (10-13)	76-97 (11-14)	90-103 (13-15)
Máxima fuerza de cizalla paralela a las fibras	(MPa) (ksi)	69-83 (10-12)	62-83 (9-12)	55-76 (8-11)
Módulo de cizalla paralela a las fibras	(MPa) (ksi x 10^3)	2,758 (0,4)	3,103 (0,45)	3,447 (0,50)
Fatiga: Carga de rotura después de 10^8 ciclos reversibles	(MPa) (ksi)		48,3 (7)	

Tabla 15.1 Propiedades físicas y mecánicas de planchas de PRF.

e) *Posibilidad de orientación de la resistencia de las fibras.*

Por la forma en que pueden laminarse los plásticos reforzados, el proyectista puede aprovechar direcciones determinadas para aumentar la resistencia.

f) *Posibilidad de moldear formas complicadas.*

El problema de construcción de formas se resuelve con facilidad en el GRP, ya que dichas formas quedan incorporadas en el molde.

g) *Flexibilidad.*

El bajo módulo de elasticidad del GRP es beneficioso para absorber la energía de cargas de impacto. Sin embargo, puede tener su contrapartida negativa por otras razones.

h) *Coste competitivo.*

Aunque el coste de los materiales de GRP es más alto que el de la madera y el del acero, el coste total de una embarcación de GRP resulta equivalente a la similar en madera o en acero, siempre que el número de unidades construidas iguales sea suficiente para poder amortizar el modelo, los moldes y útiles específicamente necesarios para ese tipo y tamaño de barco en concreto. Igualmente, la construcción de cascos de GRP resulta competitiva con los de aluminio para series de producción grandes.

i) *Bajo mantenimiento.*

Por su naturaleza anticorrosiva, el GRP tiene un bajo coste de mantenimiento para embarcaciones pequeñas. Los ahorros pueden ser menores en buques grandes, puesto que hay que aplicar pinturas anti incrustantes como en los buques de acero, y los pequeños desperfectos que tienen lugar en las superficies del *gel coat* y otras zonas necesitan reparaciones que no son necesarias en los buques de acero.

j) *Larga duración.*

Recientes investigaciones indican que las propiedades de ciertos plásticos reforzados pueden mantenerse durante más de veinte años sin degradación apreciable.

2. Como inconvenientes, se tienen que considerar:

   a) *Menor rigidez.*

      El módulo de elasticidad de laminados normales de GRP no excede de 2,5x106 psi (0,175x106 kg/cm^2 aproximadamente), aunque en algunos tipos especiales puede llegar a 7x106 psi (0,5x10 kg/cm^2). Esto representa, para un espesor equivalente, una flexión mucho mayor que la de un casco de acero. Para un peso equivalente, aunque sea con la más adecuada distribución de la sección transversal para conseguir el mayor módulo, la flexión de un casco de GRP es del orden de 3 veces la de un casco de acero. Y aunque no exista un criterio firme en cuanto a flexiones máximas en buques de carga, es obvio que una flexión excesiva puede originar problemas en la alineación de ejes, tuberías, etc.

   b) *Resistencia del casco.*

      Aunque la resistencia básica del GRP es satisfactoria, su resistencia límite de fatiga suele ser del orden de 25% de su carga de rotura en condiciones atmosféricas normales, variando con el tipo de carga alternativa. Si bien la carga de rotura del material debe tomarse en consideración para diseñar el buque, mayor interés hay que prestar a la rotura por fatiga en las uniones de estructuras realizadas con GRP.

   c) *Fluencia.*

      El GRP tiene tendencia a prolongar su deformación si está sometido a una carga de larga duración y si las fatigas en el laminado son altas.

   d) *Vibraciones.*

      El bajo módulo de elasticidad del GRP puede originar problemas con las frecuencias naturales y la potencial resonancia (RPM críticas) en las vibraciones forzadas del sistema de propulsión.

   e) *Abrasión.*

      La resistencia a abrasión del GRP no es generalmente satisfactoria para las cubiertas de cargueros y otros tipos de barcos. No obstante, se puede incrementar la resistencia a la abrasión con aditivos especiales.

   f) *Resistencia de las uniones.*

      La realización de la unión de dos partes, curadas con anterioridad, crea dudas en cuanto a la bondad de la misma y, aunque existen métodos para llevar a efecto la unión con resultados plenamente satisfactorios con resinas epoxi, el procedimiento resulta caro.

g) *Vulnerabilidad al fuego.*

Las resinas de poliéster de uso general son combustibles y los laminados pierden rápidamente su resistencia en caso de incendio cuando incorporan este tipo de resinas.

15.3 Materiales de núcleo. Paneles tipo sándwich

Los materiales de núcleo se utilizan para proporcionar rigidez, aislamiento térmico y ligereza de peso en estructuras compuestas. Puesto que la densidad del plástico reforzado es superior a la del agua, *la utilización de materiales ligeros de núcleo representa una disminución de peso considerable en las embarcaciones*, utilizándose también muy comúnmente para la fabricación de elementos de flotabilidad como recurso en caso de inundación.

Se suelen emplear como materiales de núcleo espumas de poliuretano, PVC, etc. Las espumas de uretano se pueden obtener mezclando dos o más líquidos que se expanden para formar una estructura celular. Según la proporción y la composición química se pueden obtener densidades muy diferentes que pueden variar desde 10 hasta 900 kg/m^3.

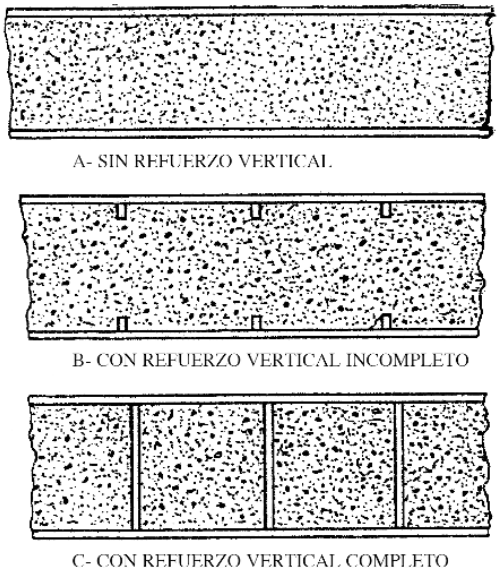


Fig. 15.1 Paneles tipo sándwich.

Un aspecto que ha contribuido a la difusión de los uretanos es su facilidad de obtención. A partir de la mezcla de los componentes líquidos se obtiene la espuma, que se deposita con facilidad en un molde especialmente preparado.

Existen espumas de uretano de estructura flexible, con celdas abiertas, y estructuras con celdas cerradas que tienden a ser rígidas; habiendo dos tipos de espumas de uretano, según se obtengan a partir de poliéteres o de poliésteres, pudiendo producirse espumas flexibles y espumas rígidas a partir de cualquiera de los dos tipos.

Las espumas estructurales entran en la formación de núcleos de *paneles tipo sándwich*. En la fabricación de *compuestos sándwich*, se utilizan tiras o bloques de poliuretano libres de polvo y con las celdas cerradas. Si se utilizaran celdas abiertas, éstas deben taparse con resina tixotrópica.

15.4 Diseño y detalles constructivos de las embarcaciones de GRP

La determinación de escantillones de embarcaciones y yates de plástico reforzado se debe efectuar siguiendo las Reglas específicas de las Sociedades de Clasificación de Buques. Estas Reglas permiten determinar los espesores del casco y cubierta, así como los refuerzos estructurales necesarios. Las soluciones constructivas normales se pueden ver en las figuras que siguen en las que, de arriba abajo y de izquierda a derecha, se aprecian: *varias formas de refuerzos de quilla, reforzamiento en la zona de unión del fondo y del costado en una embarcación, cuando se tiene una arista viva, una forma posible de unión de un mamparo reforzado con el casco, tres detalles de posibles uniones de casco con cubierta y cinco diferentes tipos de refuerzos utilizados en construcción de barcos de PRF.*

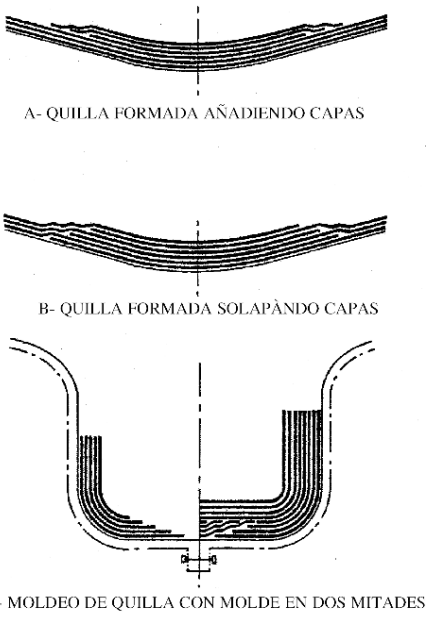


Fig. 15.2 Detalles de varias formas de quilla.

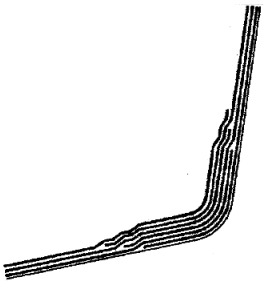


Fig. 15.3 Reforzado de la zona de unión del fondo de la embarcación y el costado.

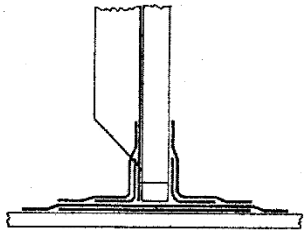


Fig. 15.4 Unión de mamparo y casco.

Las figuras 15.7 y 15.8 muestran la forma de la sección transversal y los refuerzos longitudinales del de un dragaminas ("H.M.S. Wilton") construido en GRP, ya en 1972, de 46 m de eslora, 8,5 m de manga y 4,6 m de puntal, así como un mamparo transversal y su reforzado vertical.

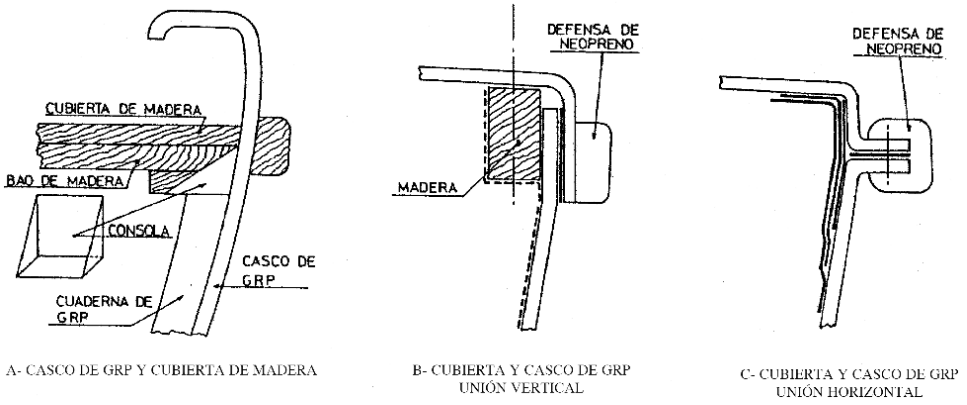


Fig. 15.5 Uniones de casco y cubierta.

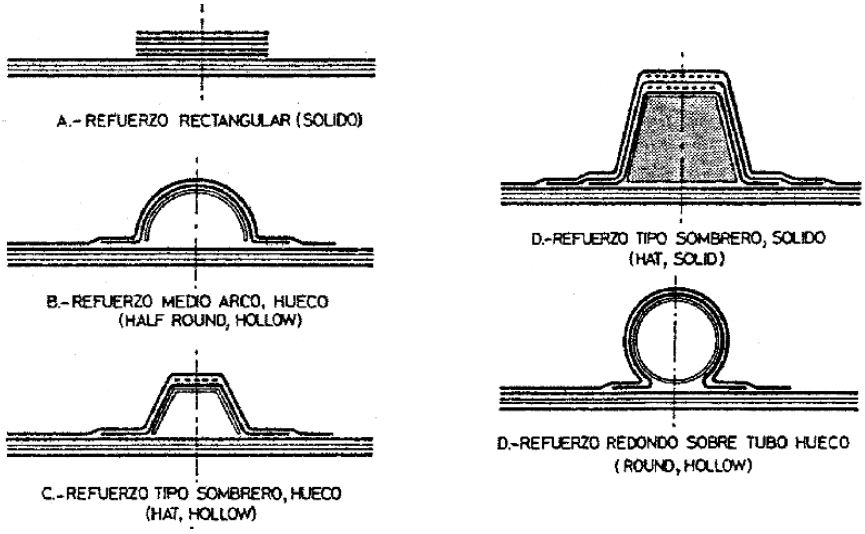


Fig. 15.6 Refuerzos de varios tipos.

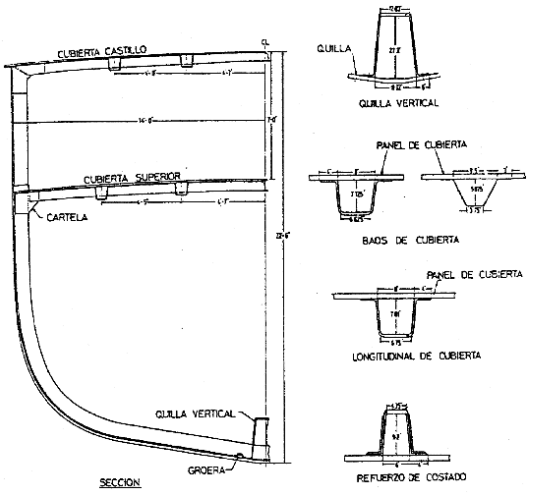


Fig. 15.7 Sección transversal del HMS Wilton.

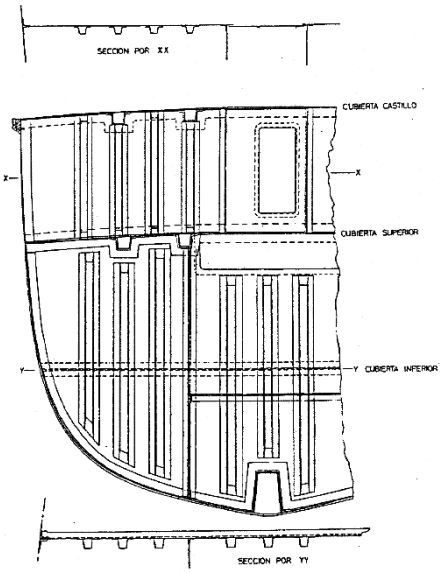


Fig. 15.8 Mamparo con refuerzos.

Comparación con buques de acero y de madera en el caso de buques pesqueros.

En las siguientes figuras se muestran, para comparación, las cuadernas maestras de un buque pesquero de 110 pies de eslora, construido alternativamente en madera, en acero, con paneles simples de fibra de vidrio, o con paneles de fibra de vidrio tipo sándwich y, al final, una tabla resumen comparativa.

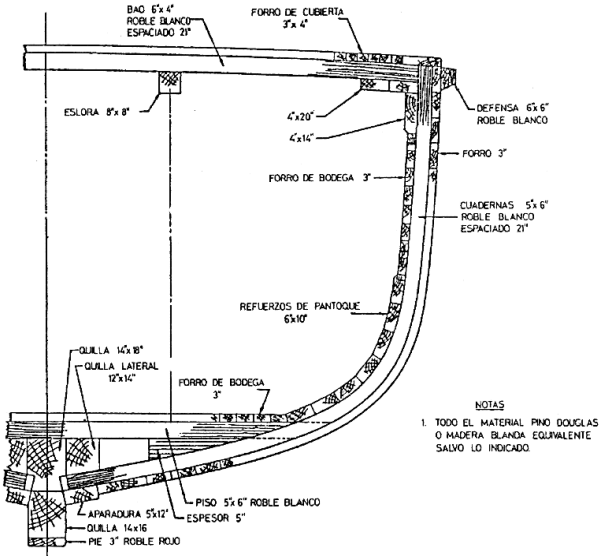


Fig. 15.9 Cuaderna maestra de un pesquero de madera de 110 pies.

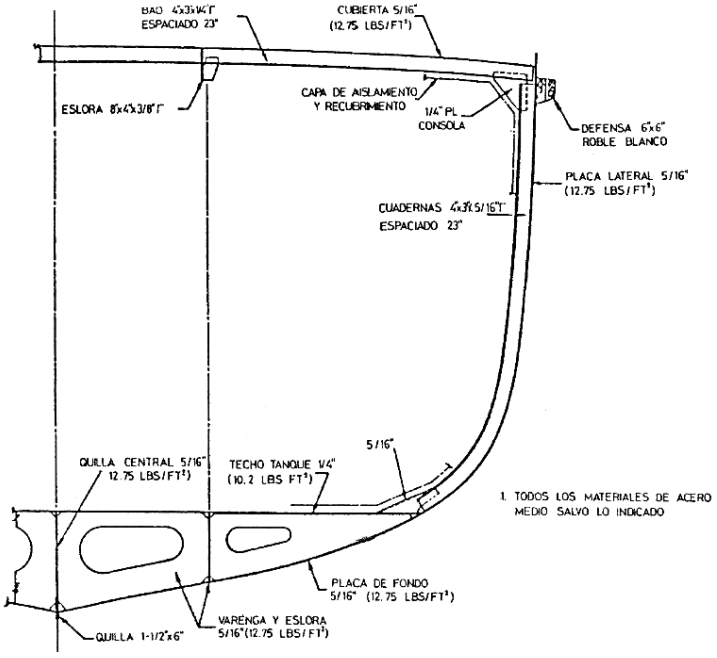


Fig. 15.10 Cuaderna maestra de un pesquero de acero de 110 pies.

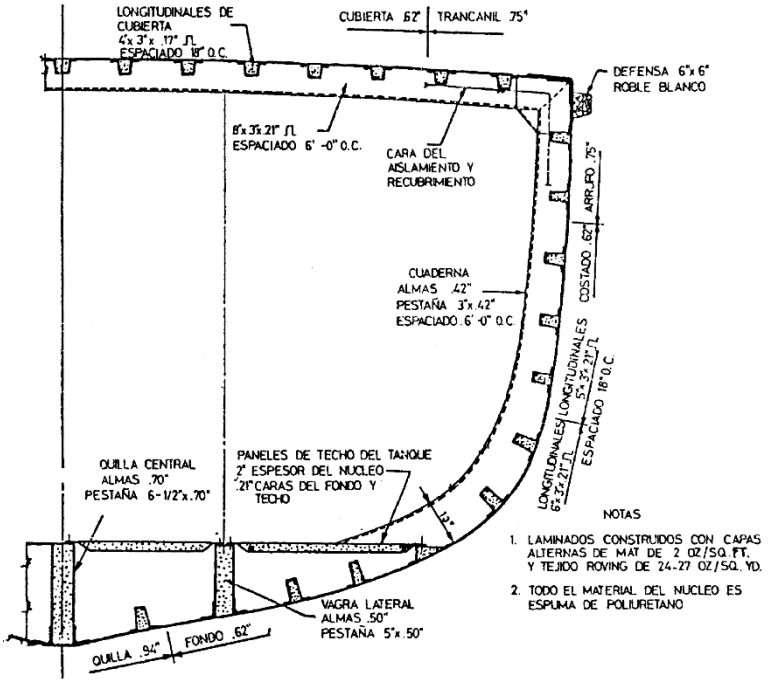


Fig. 15.11 Cuaderna maestra de un pesquero de plástico reforzado de 110 pies (construcción simple).

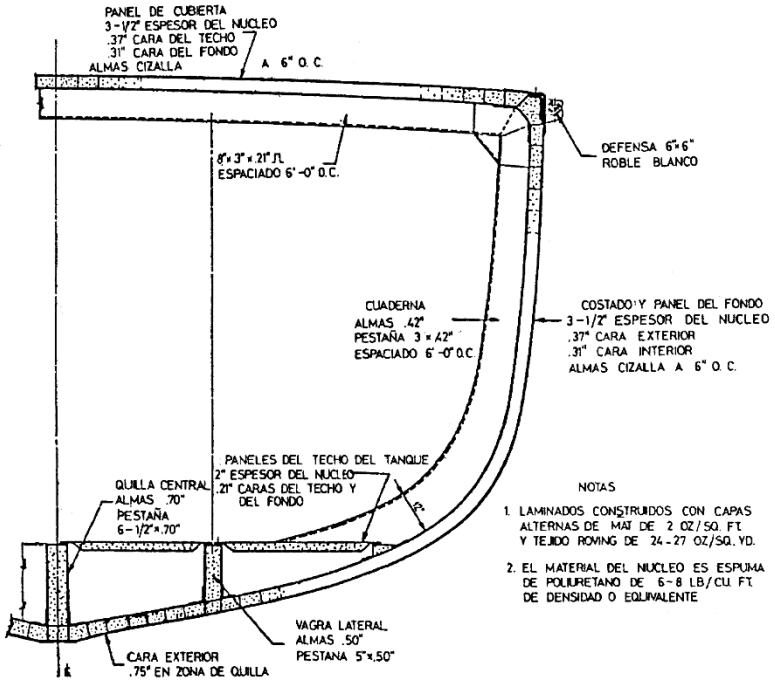


Fig. 15.12 Cuaderna maestra de un pesquero de plástico reforzado de 110 pies (construcción sándwich).

				Tipo simple		Tipo sandwich	
		Madera	**Acero**	**Mat**	**Mat-rovig**	**Mat**	**Mat-rovig**
Peso / ft maestra (1)	Lb (Kg)	1500 (680)	1510 (685)	760 (345)	700 (318)	850 (386)	770 (349)
Peso / ft relativo a la madera		–	1,00	0,51	0,47	0,57	0,52
Area de bodega interior a recubrimiento	ft^2 (m^2)	200 (18,6)	220 (20,4)	230 (21,4)	230 (21,4)	234 (21,7)	234 (21,7)
Area de bodega relativa a madera		–	1,10	1,15	1,15	1,17	1,17
Momento de inercia, I (2)	$in^4 \times 10^3$ ($cm^4 \times 10^3$)	16660 (686730)	1242 (51230)	4173 (171990)	3641 (150140)	4285 (176680)	3590 (148000)
Módulo de elasticidad, E	$lb/in^2 \times 10^6$ ($Kg/cm^2 \times 10^6$)	0,85 (3) (0,060)	30 (2,1)	0,95 (0,067)	1,2 (0,085)	0,95 (0,067)	1,2 (0,085)
EI	$lb/in^2 \times 10^{12}$ ($Kg/cm^2 \times 10^{12}$)	14,1 (41,3)	37,3 (109)	4,0 (11,7)	4,3 (12,6)	4,0 (11,7)	4,3 (12,6)
Rigidez relativa a madera		–	2,6	0,29	0,31	0,29	0,31
Módulo de la sección	$in^3 \times 10^3$ ($cm^3 \times 10^3$)	190,4 (3121)	13,6 (242)	46,2 (757)	40,4 (663)	47,9 (785)	40,2 (659)
Fatiga para Mom. 2,7 x 10^6 lb ft	lb/in^2 (Kg/cm^2)	170 (11,9)	2190 (154)	700 (49,3)	800 (56,3)	680 (47,9)	810 (57,1)
Resistencia a rotura	lb/in^2 (Kg/cm^2)	6500 (4) (458)	60000 (4227)	14000 (5) (986)	17000 (6) (1197)	14000 (5) (986)	17000 (6) (1197)
Factor de seguridad (último)		38	27	20	21	21	21

(1) Incluye techo de tanque, pero desprecia el aislamiento o recubrimiento
(2) Desprecia el techo de tanques, forro interior de madera
(3) Módulo actual para madera 1,7 x 10^6 lb/in^2, reducido en 50% por desalineamiento de juntas
(4) Resistencia de rotura a compresión del pino Douglas
(5) Resistencia de rotura a tracción de mat (SNAME, 1965)
(6) Resistencia de rotura a compresión de laminados compuestos de mat-roving (SNAME, 1965)

Tabla 15.2 Comparación de características de las cuadernas maestras de un pesquero de 110 ft.

15.5 Moldeo. Modelos y moldes

La fabricación de embarcaciones de plástico reforzado requiere el empleo de un molde con preparación superficial adecuada. El molde puede ser de plástico reforzado con fibra o bien de otros materiales. Pero para la construcción del molde de plástico reforzado ha sido preciso previamente disponer de un modelo.

15.6 El modelo

El elemento primario para la realización de una pieza de plástico reforzado es el modelo. Este útil básico puede ser realizado en madera, metal, barro, escayola, cemento, cera, vidrio, piezas de poliéster ensambladas, etc. Por supuesto que cuando la construcción ha de realizarse con un diseño original, lo primero que ha de realizarse es un estudiado y detallado proyecto del modelo.

En algunos casos el modelo se realiza con una máquina que recoge los datos de su trazado. Este proceso se sigue en algunos talleres especializados para la realización de modelos en cera, madera y espuma de poliuretano, como se hace por ejemplo en algunos canales de experiencia hidrodinámica.

15.6.1 Modelos de madera

Quizás convenga acudir a un modelista especializado en este tipo de trabajos, ya que en otro caso el coste puede resultar más elevado. El proyectista debe conocer el grado de exactitud requerido y el número de piezas a realizar y en base a esto elegir el modelista más capacitado.

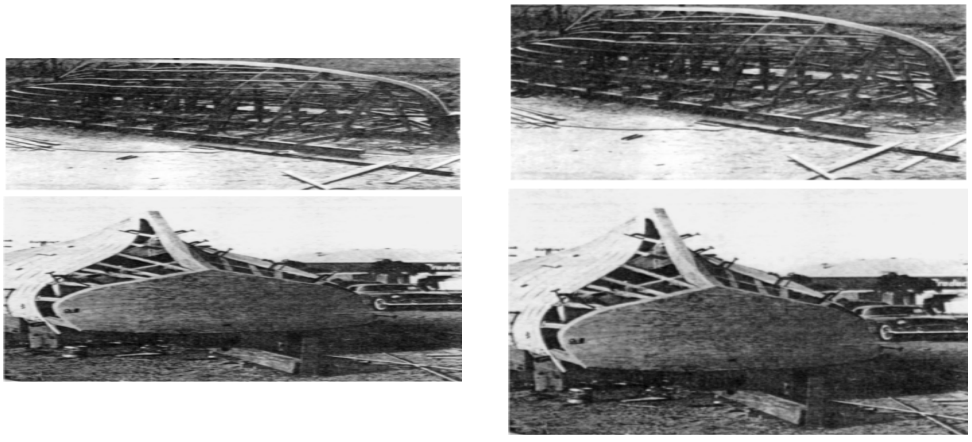


Fig. 15.13 Construcción de un modelo de madera de una embarcación.

Como material se puede utilizar contrachapado marino o bien maderas que presenten débil absorción de humedad, ya que el gran defecto de la madera es que no puede soportar variaciones de humedad sin experimentar cambios de forma, lo que obliga a trabajar en ambiente acondicionado.

15.6.2 Modelos metálicos (acero y aluminio)

Normalmente se utilizan como moldes de producción, pero en algunos casos en que el coste puede resultar elevado y se precisan varios moldes, se procede a la construcción de un modelo metálico para después sacar los moldes de poliéster requeridos por el programa de fabricación; esto siempre y cuando el proceso no exija necesariamente moldes de metal, como sucede en caso de prensado en máquinas, inyección, etc.

Si el modelo se realiza con chapa y la terminación de la superficie no es lo suficientemente correcta, debe procederse a un pulido y pintado posterior o un tratamiento especial de emplastecido y resina de poliéster.

15.7 El molde

Para distinguir*, se considera como molde el elemento en que se conforma la pieza de plástico reforzado, siendo el modelo el elemento del cual se obtiene el molde.* A veces se llama *molde patrón* al modelo *y molde de producción* al molde propiamente ducho.

15.7.1 Moldes de madera

En general es de aplicación todo lo dicho en el caso de modelos de madera, con la diferencia que, en lugar de obtener el molde de plástico reforzado a partir del modelo, aquí se lamina directamente la pieza a partir del molde. Se utilizan moldes de madera para pequeñas series, menores de 20 piezas. Estos moldes requieren un repasado después de cada operación de moldeo.

15.7.2 Moldes de metal

Los moldes metálicos se emplean para producción de series importantes, pero sobre todo para grandes piezas, pesadas y voluminosas. Los metales utilizados son: acero, cromo, níquel, aluminio, compuestos pulverulentos de bajo punto de fusión, etc.

Su cualidad esencial es su resistencia mecánica y la posibilidad de reducir, hasta casi hacerle innecesario en algunos casos, el papel del agente separador.

a) Moldes de acero.

   Presentan como ventajas su facilidad de elaboración para piezas con grandes superficies planas o una sola curvatura, pero su peso, su deformabilidad térmica (del orden de la mitad de la de la resina reforzada) y en algunos casos su precio les hace limitativos. Sin embargo, para moldes de prensa, inyección y premix son insustituibles

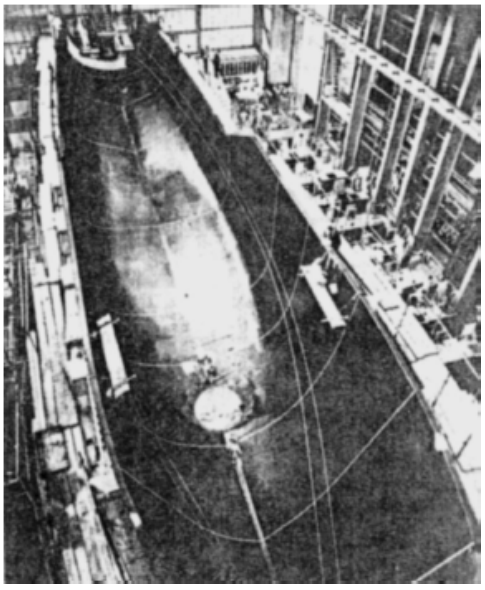


Fig. 15.14. Molde de acero.

b) Moldes de aluminio fundido.

Presentan las siguientes ventajas:

— Peso reducido.

— Buena conductividad térmica.

— Bajo coste.

— Fácil mecanización.

— Resistencia a corrosión.

Sus inconvenientes son:

— Superficie blanda.

— Posible porosidad.

La deformabilidad térmica del aluminio es muy similar a la de los compuestos laminados y por ello ofrece ventajas durante el proceso de curado, si bien en el momento de desmoldear puede representar problemas.

15.7.3 Moldes de plástico reforzado

Una vez obtenido el modelo y preparada su superficie para la operación de laminación, se comienza con la aplicación de una primera capa de resina (*gel coat*) de un espesor de

0,50-0,63 mm. Después se prosigue el trabajo añadiendo sucesivas capas de refuerzo y resinas.

Cuando el molde se va a utilizar para grandes series de piezas y durante largos períodos de tiempo, conviene escoger la resina de forma que el molde presente una superficie dura y resistente, sin excesiva fragilidad, ya que a la larga produciría agrietamientos. Se emplean resinas resistentes al calor.

Como norma general se puede decir que el espesor de los moldes pequeños será del orden del doble del de la pieza a laminar.

Cuando se ha terminado la estratificación del molde se procede a reforzarlo con tubos y otros refuerzos por el lado contrario a la superficie que apoya sobre el modelo, es decir, la cara rugosa. Una vez curado se desmoldea del modelo y se repasa y pule la superficie, dejándola preparada para el moldeo de las piezas.

15.7.4 Moldes de plástico colado

Pueden hacerse moldes de resinas fenólicas y epoxi coladas, que son lo suficientemente fuertes para moldeos a presión de pequeñas series.

15.8 Desmoldeantes

El agente utilizado para conseguir la separación del molde y la pieza recibe el nombre de desmoldeante. Se deben considerar fundamentalmente los siguientes parámetros:

— La calidad del molde.

— La calidad de la resina.

— La presión de la operación.

— La temperatura de polimerización.

— La frecuencia de moldeo.

— Las condiciones de ejecución del trabajo.

— El método de moldeo utilizado.

— Las cualidades intrínsecas del desmoldeante escogido.

Los principales agentes separadores son:

— Las ceras.

— Los cuerpos grasos.

— Las siliconas.

— Las materias plásticas (resinas fluidas o en lámina).

— Diversos: papeles parafinados, agentes metálicos anticorrosión, pinturas, alcohol polivinilo, etc.

Los desmoldeantes más utilizados en los laminados manuales de resina de poliéster con fibra de vidrio son el alcohol polivinilo, las ceras y las siliconas.

15.9 Método de moldeo. Moldeo por contacto

El moldeo por contacto es la técnica más utilizada en la fabricación de plásticos reforzados. Es el único método de producción que aprovecha las dos ventajas más importantes de las resinas de poliéster en su procedimiento de curado: efectuar la polimerización completa en ausencia de calor exterior y de alta presión. El moldeo por contacto puede hacerse por aplicación manual y por spray.

1. *Proceso de laminación.*

   Con frecuencia los moldes de poliéster suelen deteriorarse durante el moldeo, sobre todo si han sido utilizados en numerosas ocasiones con anterioridad. Así pues, antes de comenzar el proceso de laminación, debe comprobarse el estado de los moldes y, en caso de ser necesario, deberán reparase las grietas y desperfectos.

   El proceso de laminación manual comienza una vez dispuesto el molde con desmoldeante, con la aplicación del *gel coat*, y se completa con la posterior laminación de *sucesivas capas de fibra impregnada de resina.*

   Para la aplicación de los refuerzos de fibra de vidrio impregnados de resina, el *gel coat* debe estar en estado de gel, lo que se interpreta por la ligera adherencia pegajosa del dedo a la capa de *gel coat*.

   El tejido y el mat han sido cortados con anterioridad y la resina a emplear se encuentra preparada con *el activador*, habiéndose determinado su peso teniendo en cuenta las consideraciones de proyecto.

   El laminado puede admitir relaciones másicas de resina/mat de vidrio, que varían de 3/1 a 1.5/1. Cuando se utilizan tejidos en lugar de *mat* esta relación se reduce.

   Para la aplicación de la primera capa de refuerzo conviene extender sobre el *gel coat* una capa de resina, y después se coloca el refuerzo que vuelve a impregnarse con resina nuevamente, mediante brocha o rodillo, procurando que quede completamente cubierto.

   La operación de impregnación con brocha se efectúa mediante un movimiento de picado sobre el refuerzo de fibra de vidrio, sin realizar movimientos de lamido de la superficie.

La consolidación del laminado se consigue más rápidamente con un rodillo que con una brocha. Existen varios tipos de rodillos especialmente diseñados para el moldeo a mano. Se agrupan según dos tipos de funciones: rodillos de aplicación de resina y rodillos de consolidación. Los primeros pueden ser de piel de cordero, pelo de camello, forro de nylon, etc. Llevan estrías o están compuestos de una o varias piezas dentadas que giran libremente sobre el eje del rodillo.

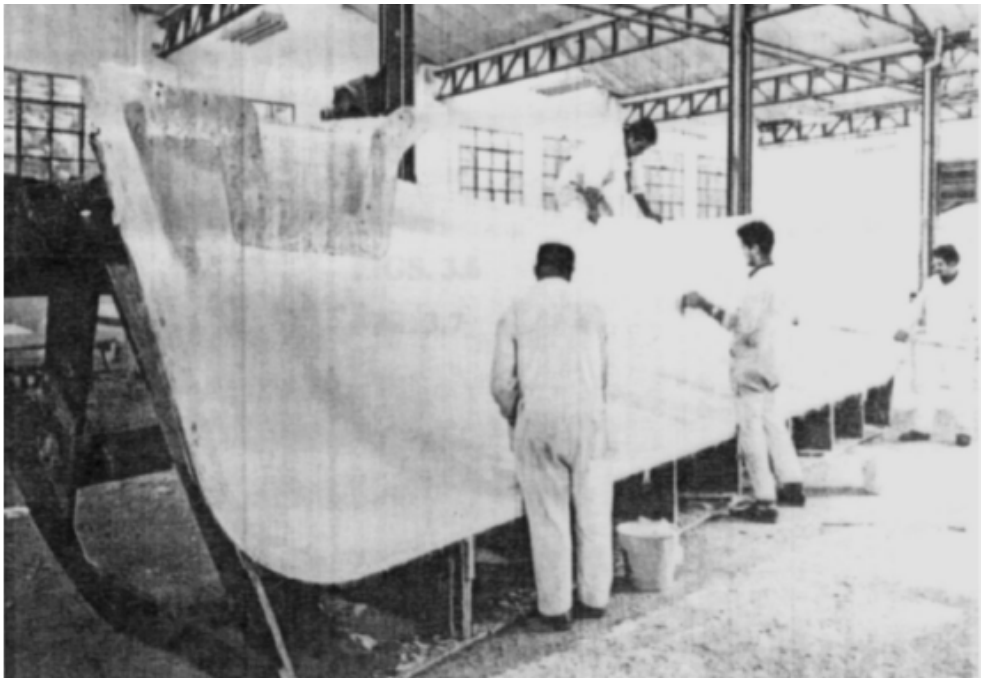


Fig. 15.15 Estratificación de un medio casco de un bote salvavidas.

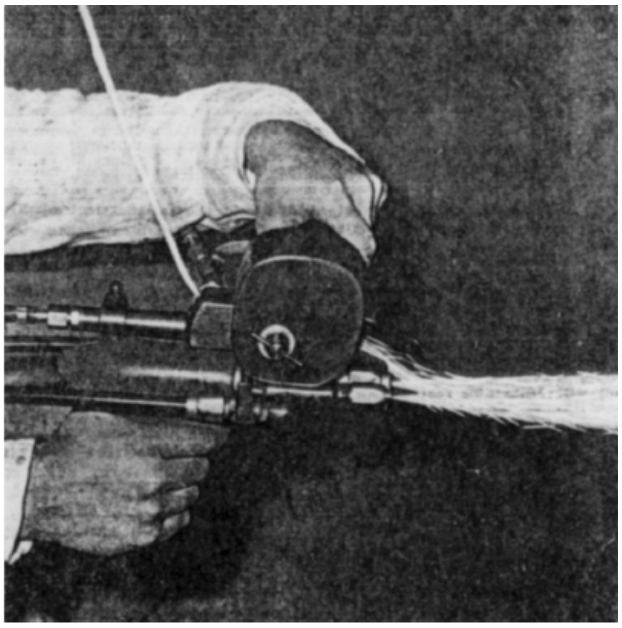


Fig. 15.16 Aplicación mecánica de la fibra.

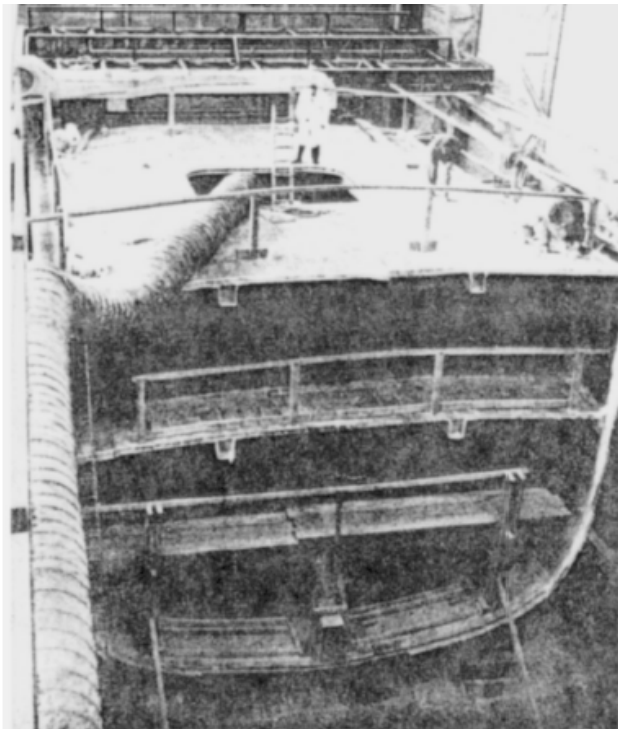


Fig. 15.17 Estructuras del casco.

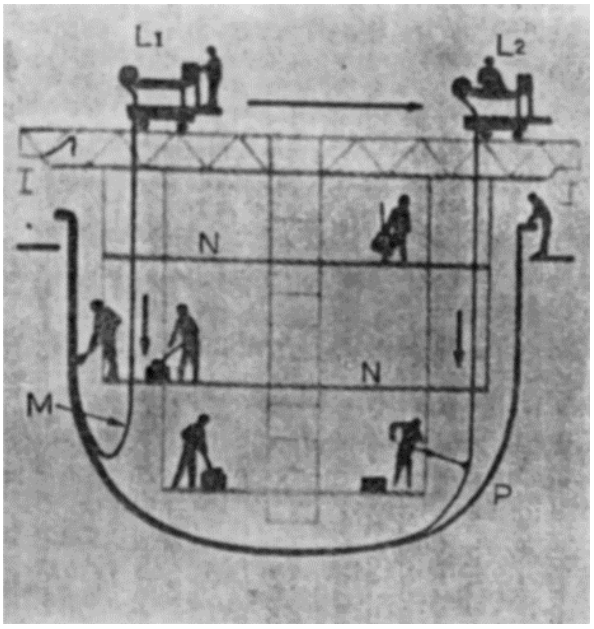


Fig. 15.18 Proceso de laminación. Sección transversal.

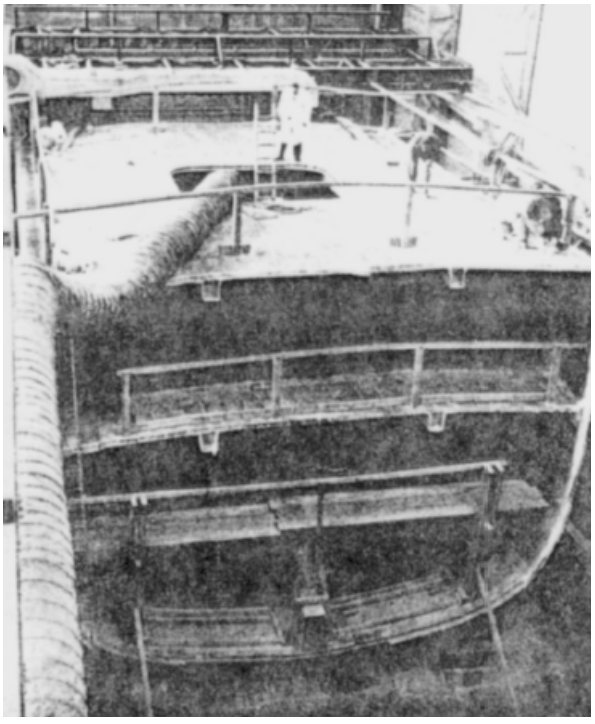


Fig. 15.19 Sección de barco para pruebas.

Realizada la operación correspondiente a la aplicación de la primera capa de refuerzo, se procede a efectuar una segunda aplicación de igual forma y así sucesivamente hasta llegar al espesor requerido.

Como, durante la estratificación, los tejidos de cada capa no son enteros, al colocarlos deben solaparse como mínimo 20 mm con objeto de que no se formen discontinuidades vacías en el laminado. Desde luego deben guardarse ciertas normas de distancia entre costuras de una misma capa y entre las costuras de capas diferentes.

Normalmente es preciso reforzar la pieza en determinadas zonas y, por ello, se colocan en los lugares deseados capas de refuerzo o bien se adaptan nervios mediante formas que han sido preparadas con anterioridad. Las formas citadas son tubos, trozos de poliuretano, nervios de poliéster, nervios de cartón, etc. Sobre estos elementos se depositan las sucesivas capas de refuerzo de vidrio impregnados de resina.

Cuando se necesita introducir un *inserto de metal* sobre el que posteriormente se acoplará una determinada pieza, aquél debe ser introducido durante la laminación y después cubrirse con las capas siguientes. A veces debe considerarse si es preferible introducir la inserción al final de la laminación y recubrir después con un reforzado en varias capas. Deben reforzarse las zonas que tengan que soportar inserciones que sean a su vez soportes de piezas que estén sometidas a esfuerzos. Para que los insertos queden bien sujetos deben someterse a determinadas operaciones como, por ejemplo, el taladrado de los mismos para que la resina penetre dentro y quede atrapada formando un todo

Cuando la pieza puede ser atacada por las condiciones ambientales a través de la parte externa del laminado (cara rugosa), se procede a la impregnación de la pieza con una última capa de resina especial, el *top coat*, que evita el ataque al laminado por ese lado.

Con objeto de que la terminación de la superficie rugosa mejore su apariencia se aconseja la utilización de un *mat* o tejido de superficie.

En algunos casos se proyecta mediante pistola una capa de resina denominada *web coat* sobre la capa de *top coat* y, variando el tanto por ciento de acetona, se pueden lograr efectos vistosos.

El moldeo de contorno entretejido es una variación de la laminación manual. El refuerzo se entreteje en este caso sobre una especie de telar especialmente adaptado a la forma del objeto. Después se coloca sobre el molde y se impregna con resina mediante brocha o pulverización.

2. *Curado.*

   Cuando se utilizan las resinas de curado en frío, la polimerización continúa lentamente durante un largo tiempo después de endurecer la resina. Con la *adición de catalizador y activador* a una resina se origina una reacción que genera calor y se produce el curado de la resina. A veces conviene que el curado sea lento con objeto de poder estratificar los refuerzos del laminado. Si una vez terminadas las operaciones de laminación, la pieza quedara sin curar debidamente, se debe proceder a un curado posterior. Una pieza mal curada tiene inferiores propiedades que una que está completamente polimerizada.

   Una pieza debe estar por lo menos 24 horas en el molde y, aún después, debe dejarse curar a temperatura ambiente (20º C) durante dos semanas por lo menos. El curado en frío puede acelerarse mediante la aplicación de un calor moderado.

   Para producir este calentamiento pueden disponerse radiadores eléctricos, ventiladores con resistencias eléctricas, rayos infrarrojos, vapor, o bien hornos de curado.

   La temperatura debe elevarse ligeramente para evitar la evaporación del estireno. Antes de la gelificación no se debe pasar de 35º C. Una vez endurecida la resina, el calor puede ir incrementándose gradualmente.

   Después, como alternativa, se puede aplicar un poscurado de acuerdo con los datos que se indican a continuación:

Temperatura (º C)	30	40	50	60	70	80
Tiempo (Horas)	30	16	10	6	4	3

   Si los curados acelerados se efectúan con variaciones muy bruscas de temperatura se pueden originar grandes tensiones internas. Es conveniente que el calentamiento se efectúe estando la pieza introducida en el molde.

   Existen resinas con formulaciones adecuadas que permiten ciclos de moldeo muy rápidos, con lo cual se evita el largo proceso de curado. Para que el moldeo pueda resistir las condiciones anteriores es preciso tener en cuenta que las resinas que entren en su composición sean resistentes al calor. A veces, el tratamiento de poscurado se hace con las piezas en útiles o plantillas, después de haber sido desmoldeadas.

3. *Liberación del molde.*

   No suele presentar problemas la separación de la pieza del molde cuando éste se ha hecho con un criterio correcto, con las salidas y uniones convenientes de partes del molde. Se puede desmoldear con cuñas de madera, agua a presión, aire a presión, por vacío, con empleo de una polea, etc.

   Después del desmoldeo se repasa la superficie por si fuera necesaria su reparación en algunas zonas.

15.10 Pinturas

Las piezas realizadas en plástico reforzado no necesitan en muchas ocasiones pintura ya que el *gel coat* puede incorporar el color.

Admiten pinturas sintéticas, siendo preferidas, por sus propiedades inherentes y su adhesión a la pieza, las pinturas de poliuretano y epoxi. En cualquiera de los casos, la superficie necesita un tratamiento previo.

15.11 Distribución de una factoría para fabricación de embarcaciones de PRF

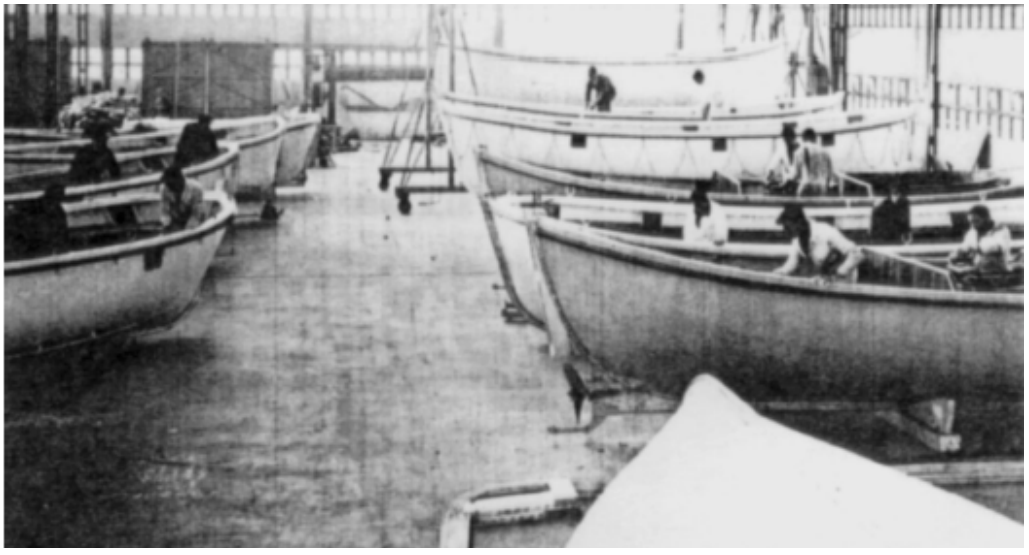


Fig. 15.20 Fabricación de embarcaciones seriadas de PRF.

En las fábricas modernas, dedicadas a la construcción de embarcaciones en serie, se emplea un sistema a modo de tren de producción para el transporte de los moldes, proyección del laminado, y operaciones relacionadas con el montaje, reduciéndose así tiempos muertos.

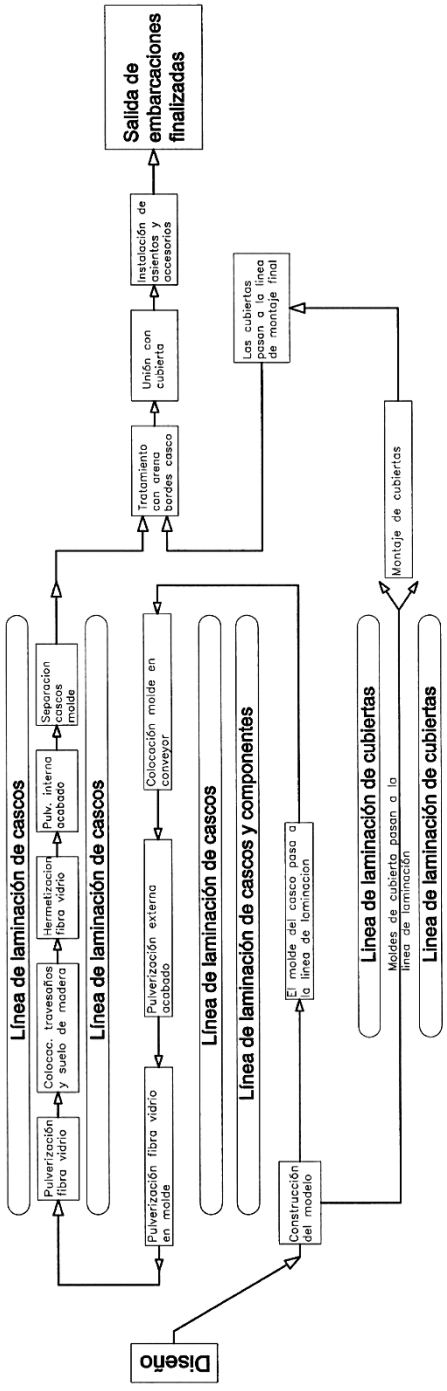


Fig. 15.21 Disposición de una factoría para la construcción de embarcaciones de resina reforzada con fibra de vidrio.

A veces se modifica la temperatura ambiente para el curado de los cascos de las embarcaciones y otras piezas de plástico reforzado, estando toda la zona perfectamente controlada. Las variaciones de temperatura en cualquier punto de la fábrica son inmediatamente señaladas en un panel central de alarmas. En algunas instalaciones, las resinas son conducidas a los puntos de trabajo por tuberías de acero inoxidable y se mantienen a una temperatura constante.

El procedimiento de curado de los cascos en algunas factorías de embarcaciones de PRF se efectúa por medio de estufa. Después de pasar por la estufa de curado las embarcaciones se mantienen durante un período de enfriamiento a 21° C, lo cual facilita el desmoldeo. Con mezclas de espumas de poliuretano y sistemas de distribución se aplica una capa de espuma en el fondo del casco para obtener flotación y aumentar la rigidez estructural. Finalmente, las embarcaciones son envueltas en una cubierta protectora para evitar posibles desperfectos durante el transporte y almacenaje.

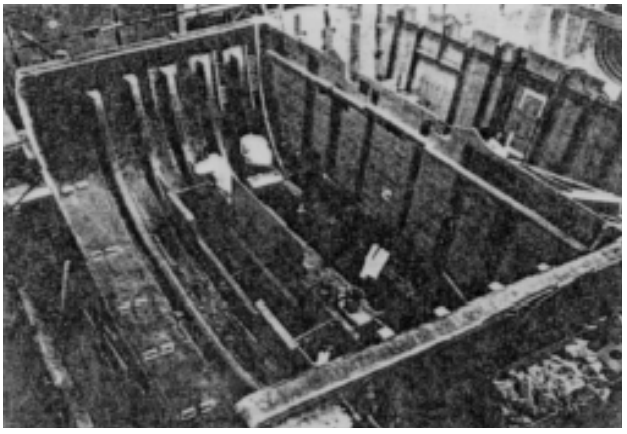


Fig. 15.22 Laminación de paneles.

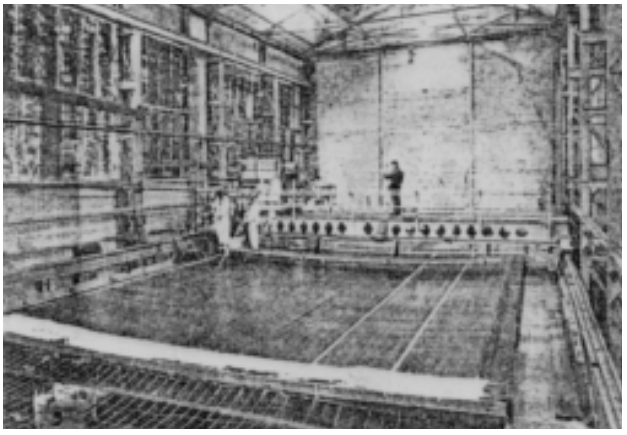


Fig. 15.23 Detalle del casco y mamparos.

Capítulo 16

Construcción de barcos de madera

16.1 Características de la madera

La madera es una sustancia dura y fibrosa generada por los árboles en su proceso natural de crecimiento que, junto con la corteza, forma parte del tronco y las ramas de los mismos.

A nivel celular e histiológico, la madera está compuesta de cadenas celulares que durante el proceso de crecimiento del árbol se ven rodeadas de lignina, asociación de una pentosa con grupos de carácter fenólico, la cual mata dichas células y se mezcla con celulosa, polisacárido que forma parte de las paredes celulares. Dicha mezcla contribuye a aumentar las propiedades mecánicas de resistencia a esfuerzos que posee por sí sola la celulosa, de tal forma que los tejidos lignificados pasan a ser los tejidos de sostén del árbol. Dichos tejidos adquieren con la lignina una naturaleza mineral.

Pero no sólo se compone la madera de tejidos celulares lignificados, sino que, además están presentes tejidos cuya función es servir como conductos de la savia bruta y de la savia elaborada, así como células cuya función consiste en almacenar sustancias nutrientes para ser consumidas por el árbol en períodos de escasez de nutrientes en el subsuelo. Estos tejidos tienen una naturaleza propiamente vegetal.

Todo ello da lugar a que, teniendo en cuenta la variedad de especies arbóreas existentes, así como las diferentes condiciones ambientales en que pueden crecer (climas secos o húmedos, subsuelos ricos o escasos de nutrientes, etc.), dentro de la madera se puedan encontrar, aparte de la celulosa o la lignina, en proporciones muy variables, otras sustancias más específicas como tanino, oleínas o resinas, azúcares, almidón, alcanfor, aceites, esencias, colorantes, etc.

De las sustancias que conforma un determinado tipo de madera a nivel químico, dependerán sus características físicas. Por ello es difícil especificar estas características de una manera detallada, sin referirse a cada caso concreto.

Sin embargo, se pueden relacionar aspectos que, de forma general, se cumplen para todos los tipos de madera:

Primeramente, hay que decir que la madera, por su estructura celular, es de naturaleza fibrosa. Esto provoca que en la dirección de las fibras posea una mayor elasticidad que en otras direcciones, por ejemplo, en la perpendicular a las fibras. Esto se debe al deslizamiento por estiramiento de aquellas. Por el contrario, al presentar la madera una gran histéresis de deformación, porque las fibras no vuelven a su posición primitiva ni recuperan su longitud normal, se produce un empeoramiento de la resistencia y elasticidad de la madera con el paso del tiempo.

Por otro lado, la madera no es una sustancia homogénea, ni siquiera a nivel fibrilar, puesto que, por proceder de un organismo vivo, puede presentar rotura de las fibras por la existencia de vetas y nudos provocados por el proceso de crecimiento del árbol, así como agujeros, causados normalmente por agentes biológicos tales como insectos, hongos, pájaros, etc., que rompen la continuidad de las fibras y por tanto la homogeneidad de la madera.

Todas estas características de la madera influyen en sus propiedades mecánicas de tal modo que éstas serán insuficientes de cara al empleo de la madera en Construcción Naval si presenta una gran discontinuidad fibrilar y por tanto poca homogeneidad.

Las propiedades mecánicas de las diferentes clases de madera se obtienen sometiendo a prueba muestras de las mismas, llamadas probetas, cuyas formas y dimensiones se regulan en los diferentes reglamentos que existen, con objeto de conseguir la homogeneidad de criterios.

Dado que existen diversas clases de madera que pueden ser usadas en Construcción Naval y que las propiedades mecánicas que deben ser tenidas en cuenta son numerosas, se han agrupado en una tabla de valores para su comparación.

Especies	Contenido de humedad	Peso específico	Flexión estática			Compresión		Cizallamiento
			Carga límite elástico	Módulos: Rotura	Módulos: Elástico	Carga límite elástico	Máxima carga de aplastamiento	Máxima carga de rotura
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	%		MPa (P.s.i.)	MPa (P.s.i.)	KPa (1000 P.s.i.)	MPa (P.s.i.)	MPa (P.s.i.)	MPa (P.s.i.)
Roble (Oak) blanco	70	0'59	32'43 (4.700)	55'89 (8.100)	8'28 (1.200)	20'29/ 5'86 (2.940/ 850)	24'29 (3.520)	8'76/ 5'24 (1.270/ 760)
	12	0,67	54'51 (7.900)	95'91 (13.900)	11'18 (1.620)	30'01/ 9'73 (4.350/1.410)	48'58 (7.040)	13'04/ 5'31 (1.890/ 770)
Teka (Teak)	52	0'58	– (–)	78'66 (11.400)	10'90 (1.580)	– / 7'18 (– /1.040)	37'88 (5.490)	8'97/ – (1.300/ –)
	12	– –	– –	95'22 (13.800)	11'52 (1.670)	– / 8'21 (– /1.190)	51'89 (7.520)	9'38 – (1.360/ –)/
Cedro (Cedar) Port-Orford	43	0'40	27'6 (4.000)	42'78 (6.200)	9'80 (1.420)	19'11/ 2'41 (2.770/ 350)	21'60 (3.130)	5'73/ 1'24 (830 / 180)
	12	0'42	53'13 (7.700)	77'97 (11.300)	11'94 (1.730)	40'64/ 5'24 (5.890/ 760)	44'64 (6.470)	7'45/ 2'76 (1.080/ 400)
Pino (Pine) Slash	66	0'56	35'19 (5.100)	61'41 (8.900)	10'90 (1.580)	20'98/ 4'69 (3.040/ 680)	29'95 (4.340)	6'9 / 2'76 (1.000/ 400)
	12	0'61	67'62 (9.800)	109'71 (15.900)	14'21 (2.060)	43'33/ 9'59 (6.280/1.390)	62'79 (9.100)	11'94/ 3'93 (1.730/ 570)
Abeto Blanco (Fir)	38	0'45	31'05 (4.500)	52'44 (7.600)	10'83 (1.570)	21'60/ 3'04 (3.130/ 440)	26'63 (3.860)	6'42/ 2'07 (930/ 300)
	12	0'48	53'82 (7.800)	84'18 (12.200)	13'45 (1.950)	40'36/ 6'00 (5.850/ 870)	51'27 (7.430)	8'00/ 2'35 (1.160/ 340)
Rojo (Spruce)	42	0'37	22'77 (3.300)	39'33 (5.700)	8'49 (1.230)	15'46/ 2'35 (2.240/ 340)	18'42 (2.670)	5'24/ 1'72 (760/ 250)
	12	0'40	46'23 (6.700)	70'38 (10.200)	10'38 (1.570)	32'98/ 4'90 (4.780/ 710)	38'71 (5.610)	7'93/ 2'55 (1.150/ 370)
Fresno (Ash)	43	0'54	36'57 (5.300)	66'55 (9.500)	9'73 (1.410)	23'18/5'93 (3.360/860)	28'01 (4.060)	9'31/ 4 (1.350/ 580)
	12	0'58	60'72 (8.800)	100'74 (14.600)	11'59 (1.680)	38'50/10'42 (5.580/1.510)	50'23 (7.280)	13'25/ 5'86 (1.920/ 850)
Haya (Beech)	54	0'56	29'67 (4.300)	59'34 (8.600)	9'52 (1.380)	17'59/ 4'62 (2.550/670)	24'49 (3.550)	8'90/ 4'97 (1.290/ 720)
	12	0'64	60'03 (8.700)	102'81 (14.900)	11'87 (1.720)	33'67/ 8'62 (4.880/1.250)	50'37 (7.300)	13'87/ 6'97 (2.010/1.010)
Abedul (Birch)	62	0'57	30'36 (4.400)	60'03 (8.700)	10'76 (1.560)	18'22/ 3'79 (2.640/ 550)	24'22 (3.510)	8'00/ 2'97 (1.160/ 430)
	12	0'63	69'69 (10.100)	115'23 (16.700)	14'28 (2.070)	42'78/ 8'62 (6.200/1.250)	57'34 (8.310)	13'94/ 6'42 (2.020/ 930)
Olmo (Slippery)	85	0'48	27'6 (4.000)	55'2 (8.000)	8'49 (1.230)	19'25/ 3'52 (2.790/ 510)	22'91 (3.320)	7'66/ 4'42 (1.110/ 640
	12	0'53	53'13 (7.700)	89'7 (13.100)	10'28 (1.490)	32'84/ 6'97 (4.760/1.010)	43'88 (6.360)	11'25/ 3'66 (1.630/ 530)
Guayacán (Lignumvitae)	12	1'09	–	–	–	–	78'66 (11.400)	–
Roble (Oak) Rojo	80	0'56	3'36 (4.400)	58'65 (8.500)	9'38 (1.360)	17'87/ 5'52 (2.590/ 800)	24'29 (3.520)	8'42/ 5'11 (1.220/ 740)
	12	0'63	57'96 (8.400)	99'36 (14.400)	12'49 (1.810)	31'81/ 8'69 (4.610/1.260)	47'75 (6.920)	12'63/ 5'66 (1.830/ 820)

'Tanto en 7 como en 9, la primera cifra se refiere a esfuerzos realizados paralelamente a la dirección de las fibras de la madera, mientras que la segunda se refiere a los perpendiculares.

Tabla 16.1 Propiedades mecánicas de varias clases de madera.

16.2 Obtención, elaboración, formado y corte

El proceso de obtención y transformación de la madera, de modo que al final se disponga de las piezas necesarias para construir un buque, comienza donde crecen los árboles cuya madera reúne las propiedades mecánicas adecuadas para cada pieza.

A pie del árbol se estudia cuál posee las formas y dimensiones adecuadas para que, una vez transformada su madera, se puedan conseguir piezas enterizas para evitar alterar las propiedades mecánicas de la madera con discontinuidades innecesarias.

Una vez seleccionados los árboles, se procede a su tala. Se procurará que dicha tala se produzca en la época del año en que el árbol, por las condiciones ambientales que lo rodeen, tiene su proceso de crecimiento más lento. En el caso de árboles que crezcan en climas fríos y secos (robles, abetos, etc.), este hecho se produce en invierno, mientras que para los árboles que crecen en climas tropicales, más benignos, el retardo estacional en su crecimiento apenas se produce.

La razón de esperar a talar un árbol hasta su fase de crecimiento retardado no es otra que procurar que, en el momento de la tala, circule por sus vasos la menor cantidad de savia posible, tanto bruta como elaborada, puesto que dicha savia es el caldo de cultivo ideal para posibles plagas que pueda sufrir la madera y le dañen irreversiblemente. Además, es en este instante cuando la madera del árbol es más compacta y densa y su posterior secado resulta más fácil, mejorándose así las propiedades mecánicas de la misma.

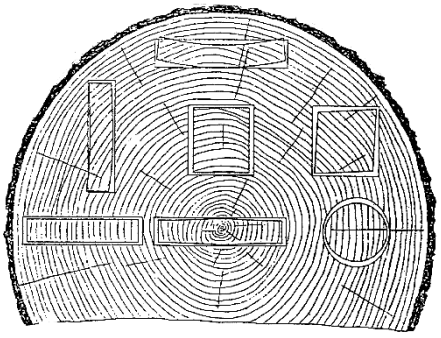


Fig. 16.1 Reducciones y distorsiones características al secarse la madera de rectángulos, cuadrados y círculos, hechos con la madera de un tronco, afectados por la dirección de los anillos de crecimiento anual del árbol al secarse la madera. La reducción tangencial es, aproximadamente, dos veces mayor que la radial.

También se pueden mejorar las propiedades de la madera si, cuando se seleccionan los árboles para su tala, se tiene en cuenta el terrero donde han crecido, de manera que los árboles crecidos en terrenos ricos en nutrientes vegetales y con un régimen climático adecuado, presentarán unas propiedades mecánicas más elevadas que otros árboles crecidos en terrenos más pobres en nutrientes y con un régimen climático duro (sequías o inundaciones, temperaturas extremas, etc).

Cuando se ha efectuado ya la tala de los árboles se procede a su descortezado. *Limpiados los troncos, se procede al secado de la madera. Se debe dar este paso, pues*

interesa que la madera contenga la mínima proporción posible de material orgánico, caldo de cultivo de plagas que pudren la madera. Para ello, se colocan los troncos, formando pilas aisladas del suelo para evitar la transmisión de la humedad, en lugares protegidos del sol y la lluvia y con una circulación adecuada de aire seco.

Otro procedimiento de secado consiste en colocar los troncos en playas con una suave pendiente de manera que la marea los cubra y descubra alternativamente. De este modo, el agua del mar, rica en sales minerales, arrastra los restos de savia que pudieran contener los troncos y los sustituye por arenilla y sales minerales. Para eliminar el agua de mar del interior de los troncos se usa el procedimiento de secado explicado en el anterior párrafo.

Además de los procedimientos de secado naturales citados, se puede recurrir a un secado artificial en caso de necesidad, si el lugar es de clima muy húmedo, como sucede en el trópico. Consiste en colocar los troncos en cámaras cerradas en las que se hace circular una corriente de aire caliente, de temperatura variable en función del tipo de madera que oscila entre 100º C y 200º C. Este tipo de secado se ha de hacer de forma gradual, para no alterar la madera de modo que surjan grietas.

Una vez seca la madera se puede proceder a su transformación en piezas de uso en la construcción de un barco. Para ello se emplean las herramientas adecuadas. *El corte de los troncos se realiza en función de los patrones de las piezas del buque, previamente elaborados por el carpintero de ribera según las características de aquél.*

En este momento se manifiesta la importancia de elegir los troncos que, a priori, suministrarán la madera para la realización de piezas más grandes, teniendo en cuenta además que el proceso de secado de la madera hace disminuir las dimensiones del tronco.

Por otro lado, en el proceso de obtención de las piezas mediante el corte de la madera, ha de ser ésta cuidadosamente examinada de modo que no aparezcan nudos, vetas atravesadas o grietas. La aparición de una cualquiera de esas circunstancias provoca una dificultad adicional en la elaboración de las piezas. Además, supone un factor de riesgo importante su aparición en aquellas piezas que deban soportar esfuerzos importantes, por lo que la madera que presente estas características debe ser desechada para elaborar dichas piezas.

Por todo lo dicho, es fácil comprender que *la construcción de buques de madera se lleva a cabo basándose los carpinteros de ribera, en gran parte, en la experiencia antes que en proyectos detallados del buque y sus elementos.* Por ello es difícil poder determinar a priori, de forma muy exacta, las dimensiones del buque.

16.3 Uniones. Conexiones con otros elementos

Una vez terminado el proceso de elaboración de las piezas que conformarán el buque, se procede a su unión entre sí, es decir, comienza la construcción.

Las uniones entre las piezas de un buque se realizan bien mediante ensambles, bien por superposición de las mismas, o puestas cabeza contra cabeza y colocando un elemento adyacente en medio. Estos dos últimos procedimientos no necesitan una preparación anterior de las piezas a unir.

En el caso de los ensambles, las piezas han de ser preparadas por medio de entalladuras o cortes combinados ("escarpes") de manera que permitan juntar y enlazar los distintos elementos, asegurando su perfecto encaje y la indeformabilidad de la unión. A continuación, a modo de ejemplo se muestran varios tipos de uniones en escarpe, según las Reglas del Lloyds Register of Shipping para buques de madera.

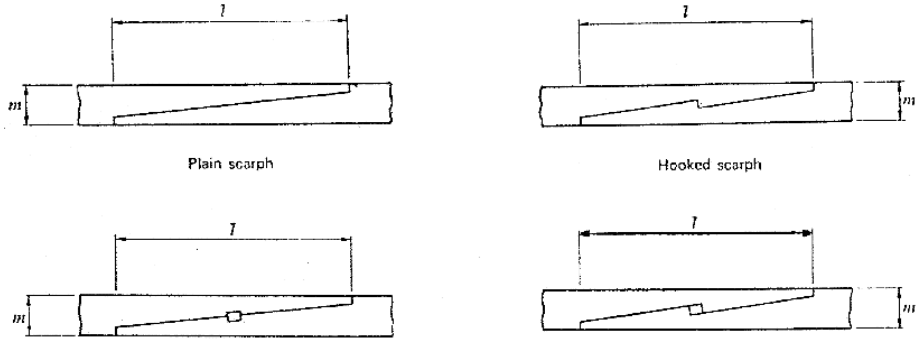


Fig. 16.2 Tipos comunes de uniones a escarpe empernadas.

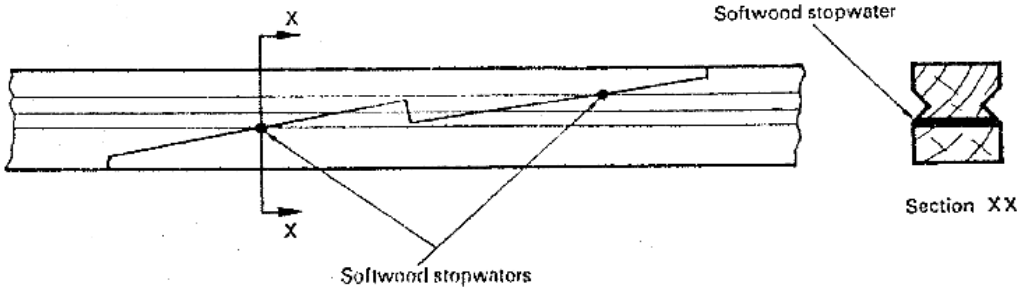


Fig. 16.3 Típico escarpe de quilla en que se indica la situación de los mataderos ("stopwaters").

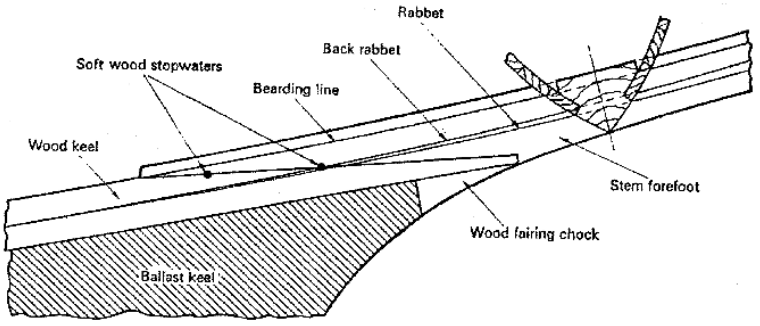


Fig. 16.4 Conexión típica en escarpe de la roda a la quilla de madera.

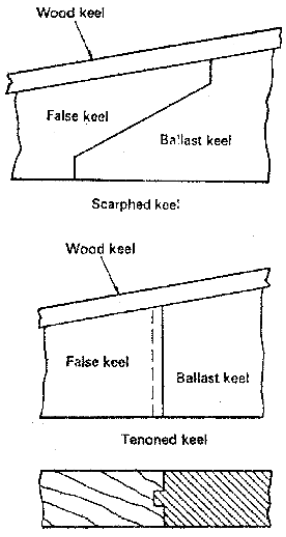


Fig. 16.5 Conexión típica de la quilla de lastre a la falsa quilla.

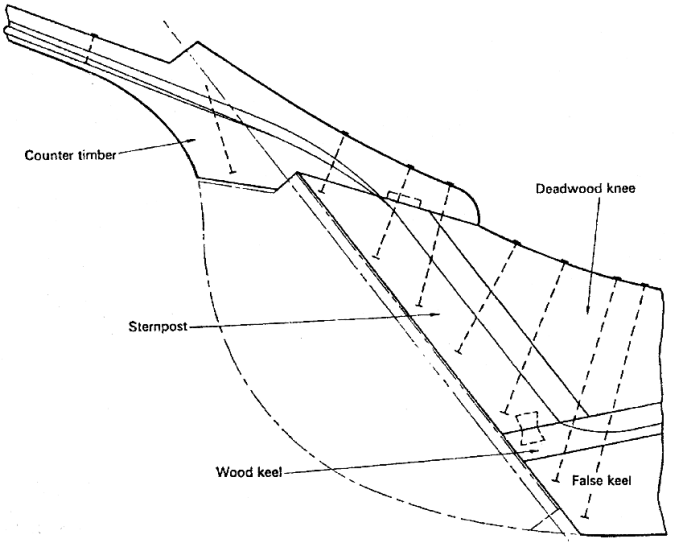


Fig. 16.6 Conexión típica del codaste a la quilla.

Dentro de los ensambles hay que distinguir tres grupos:

— Ensambladuras angulares: muescas a media madera, en cola de milano, e caja y espiga, de horquilla, oblicuas, etc.

— Ensambladuras de prolongación o empalme: a media madera, a tope, en pico de flauta, de llave, de horquilla, etc.

— Ensambladuras de refuerzo o acoplamiento.

Los medios de unión entre las piezas pueden ser clavos, pernos o cabillas.

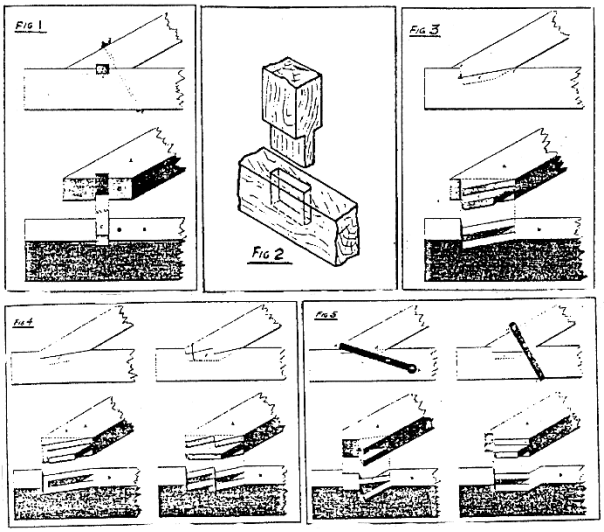


Fig. 16.7.1 Diversos tipos de ensambladuras y uniones (1).

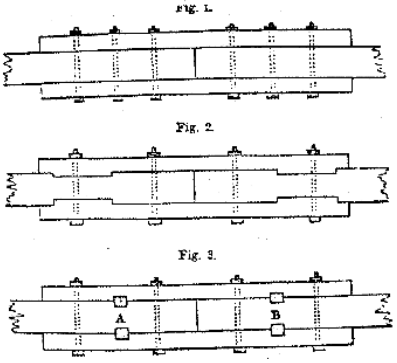


Fig. 16.7.2 Diversos tipos de ensambladuras y uniones (2).

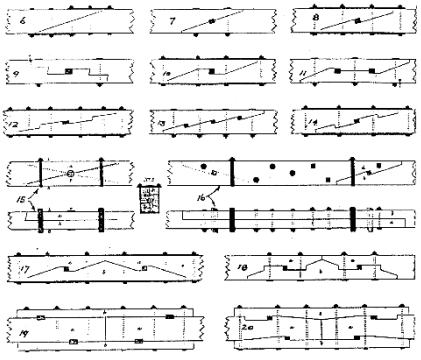


Figura 16.7.3 Diversos tipos de ensambladuras y uniones (3).

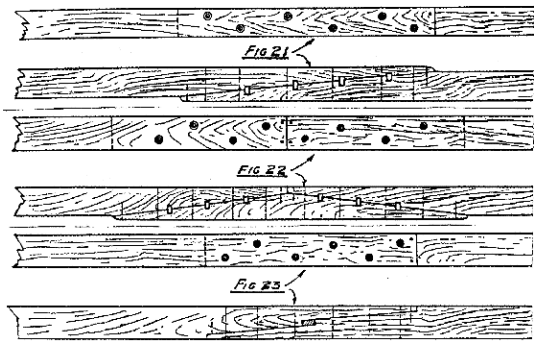


Figura 16.7.4 Diversos tipos de ensambladuras y uniones (4).

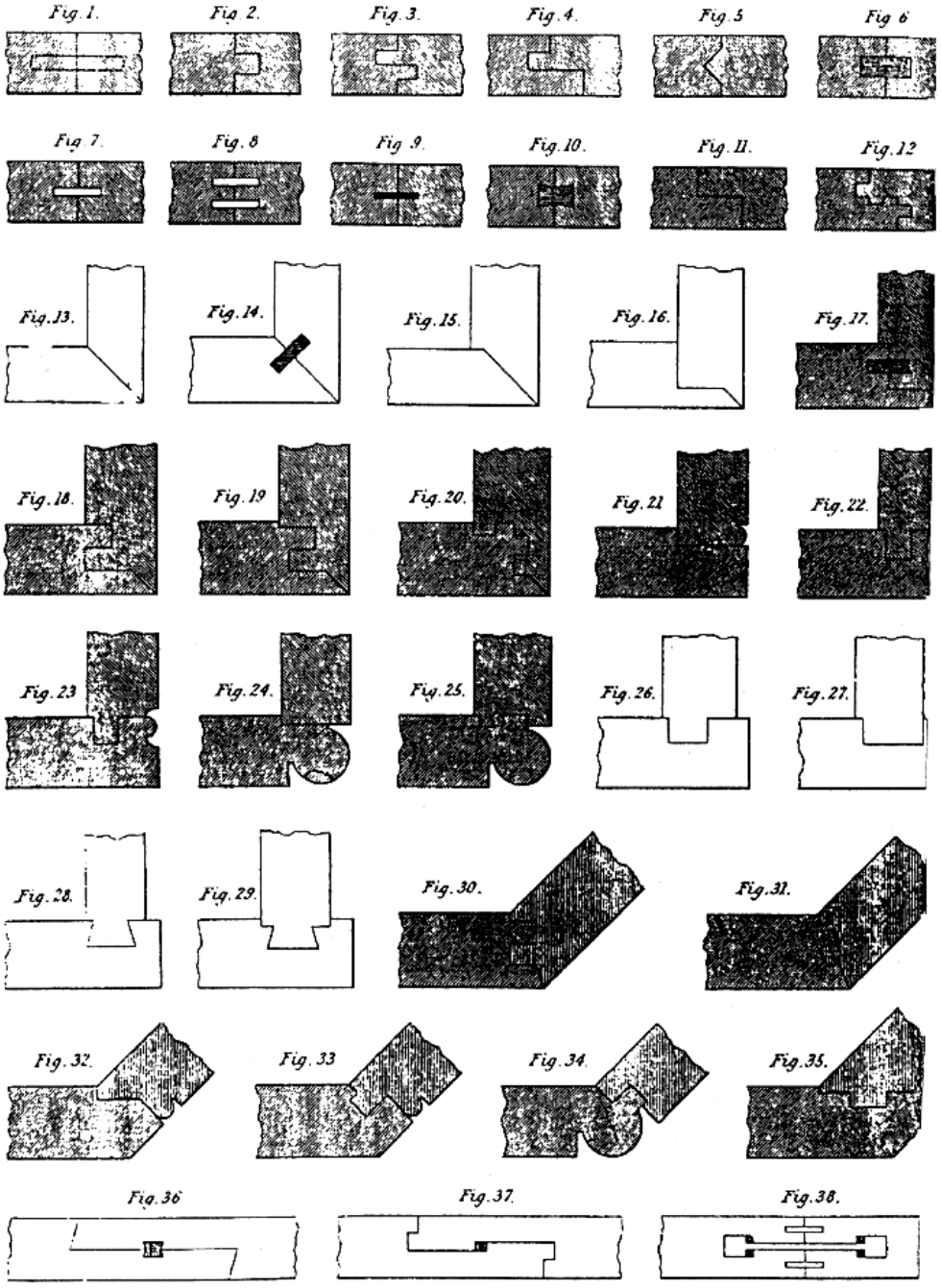


Fig. 16.7.5 Diversos tipos de ensambladuras y uniones (5).

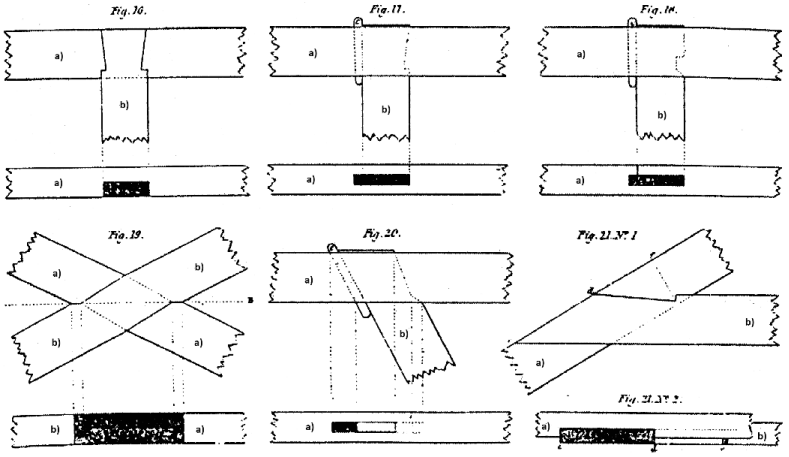


Fig. 16.7.6 Diversos tipos de ensambladuras y uniones (6).

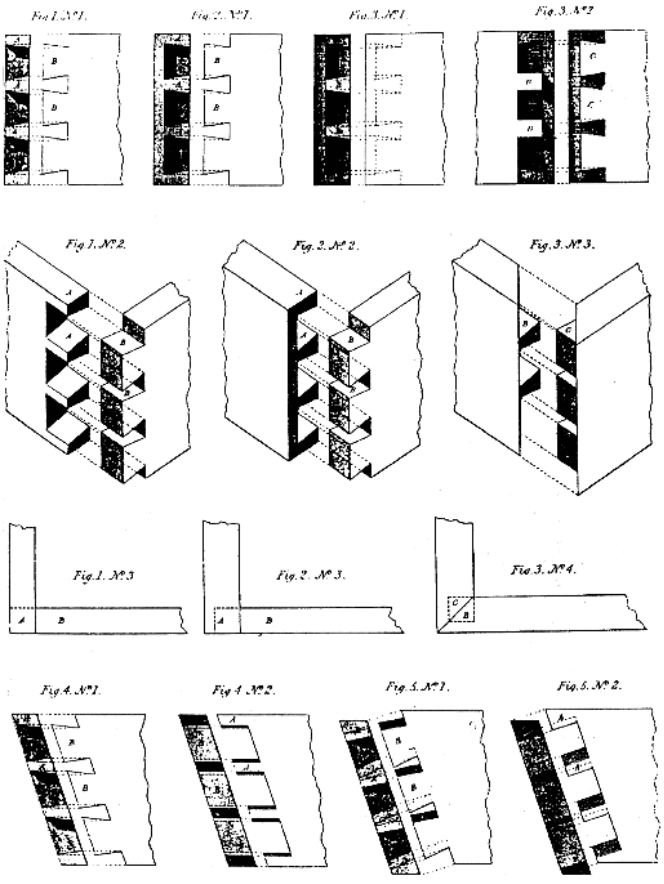


Fig. 16.7.7 Diversos tipos de ensambladuras y uniones (7).

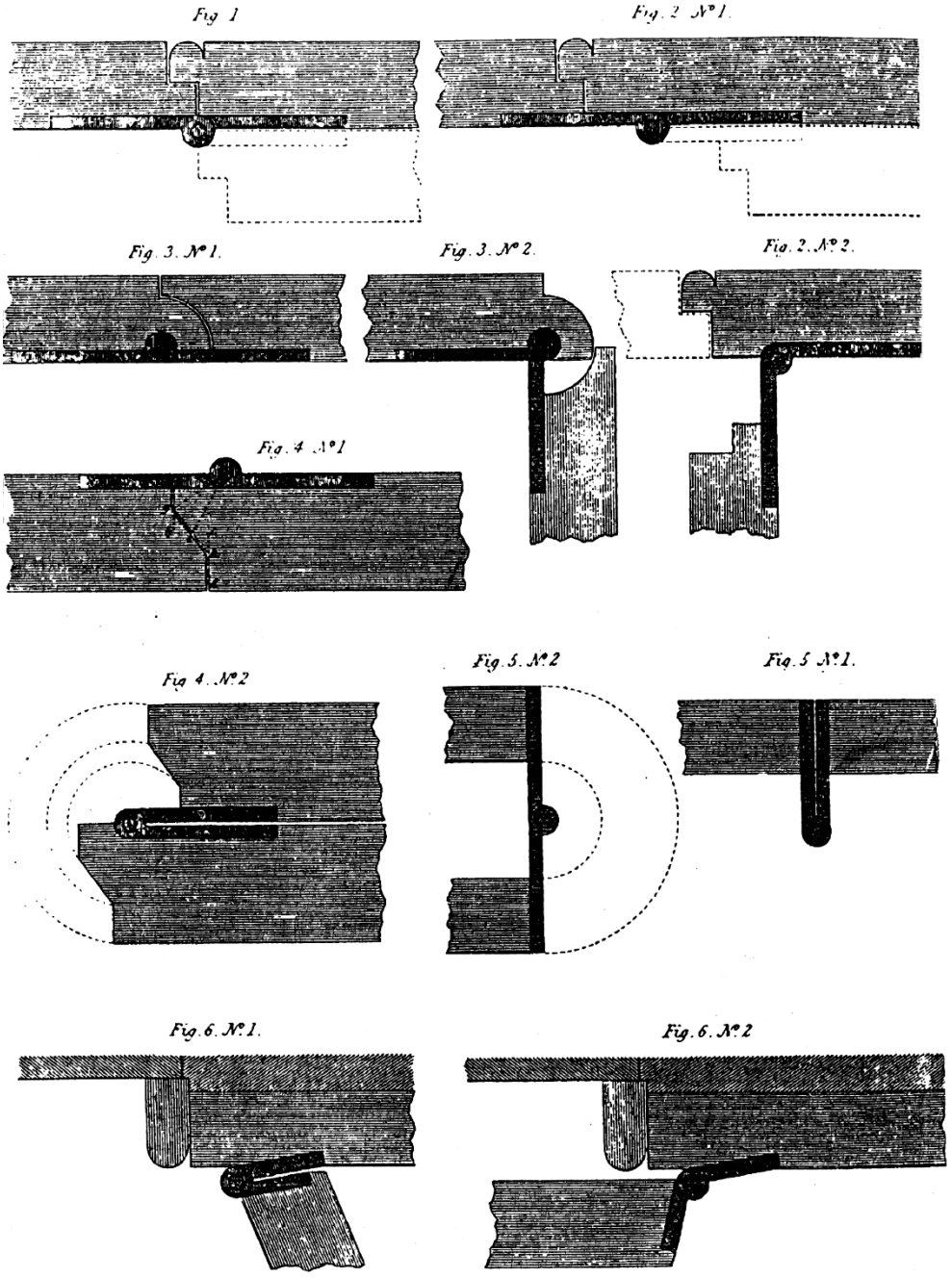


Fig. 16.8.1 Diversos tipos de ensambladuras y uniones móviles (1).

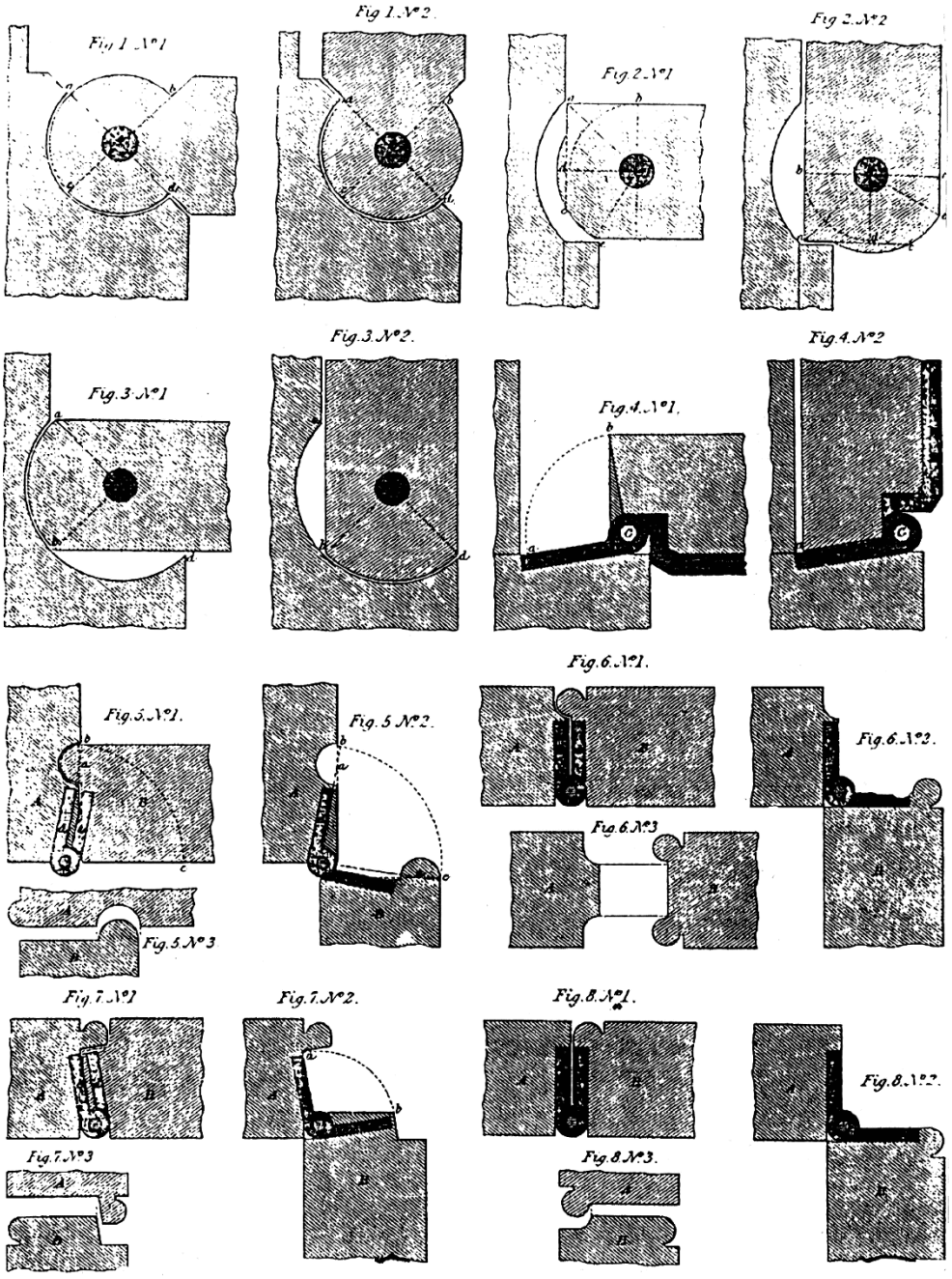


Fig. 16.8.2 Diversos tipos de ensambladuras y uniones móviles (2).

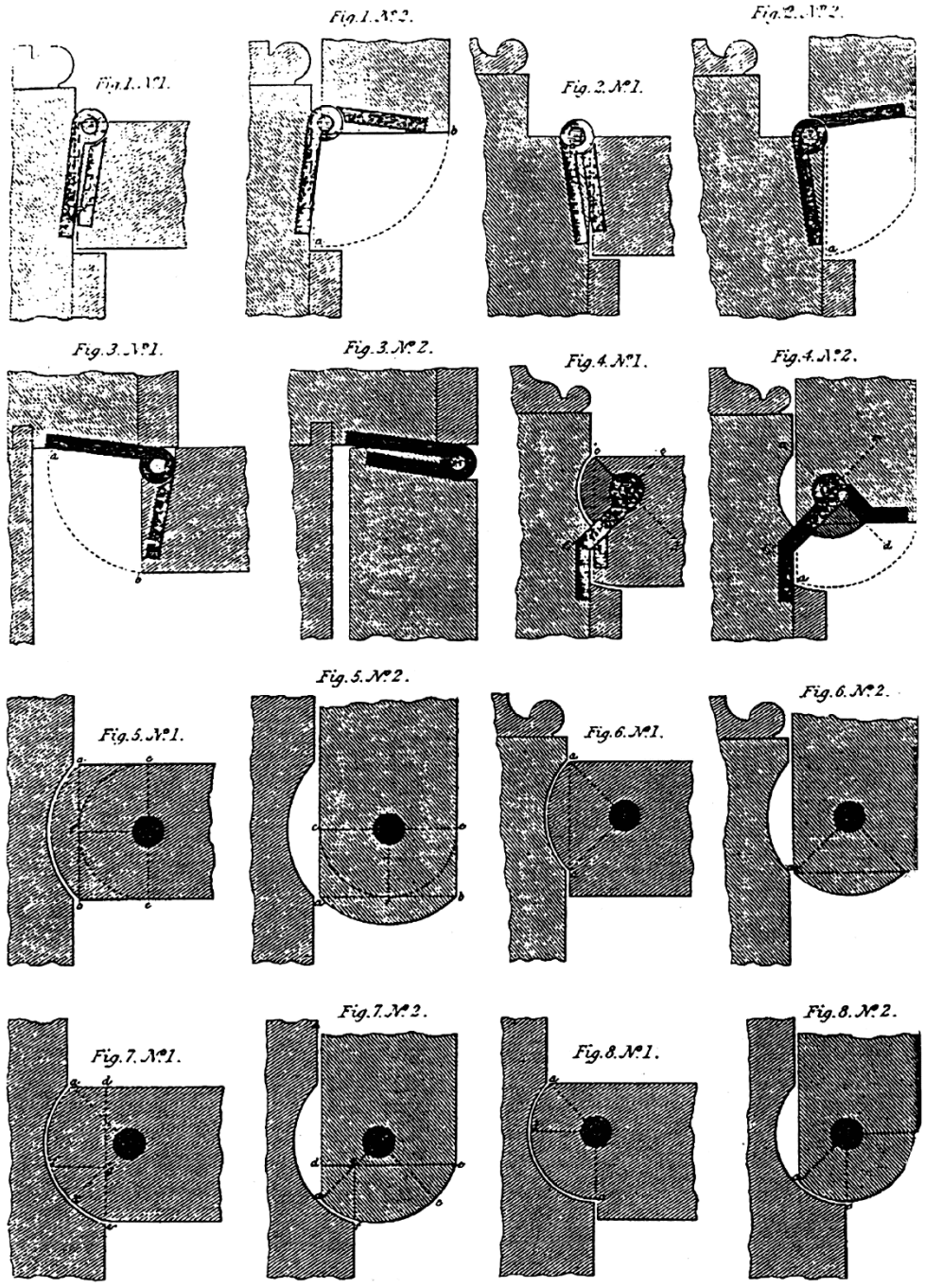


Fig. 16.8.3 Diversos tipos de ensambladuras y uniones móviles (3).

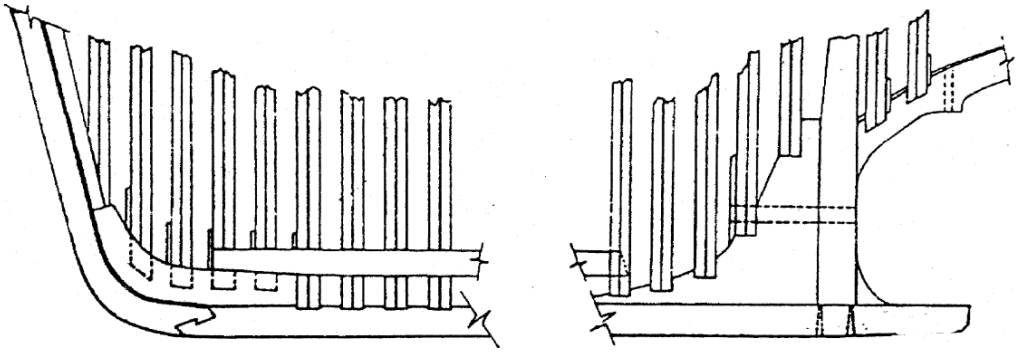


Fig. 16.9 Estructuras típicas de pesqueros vascos (el Cantábrico exige rodas y codastes especialmente reforzados).

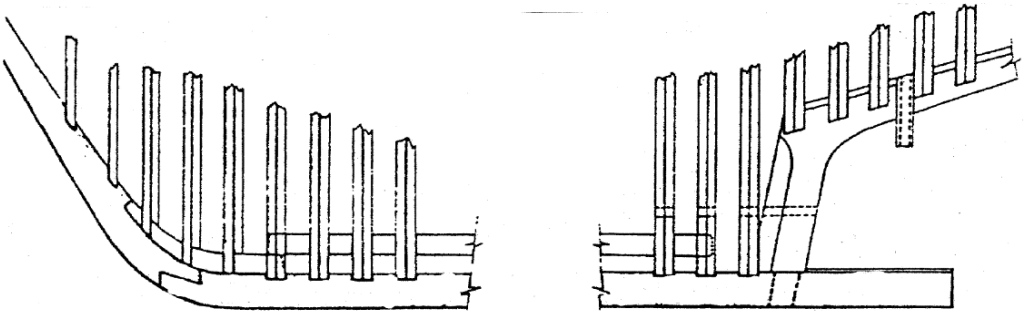


Fig. 16.10 Estructuras típicas de pesqueros mediterráneos equivalentes.

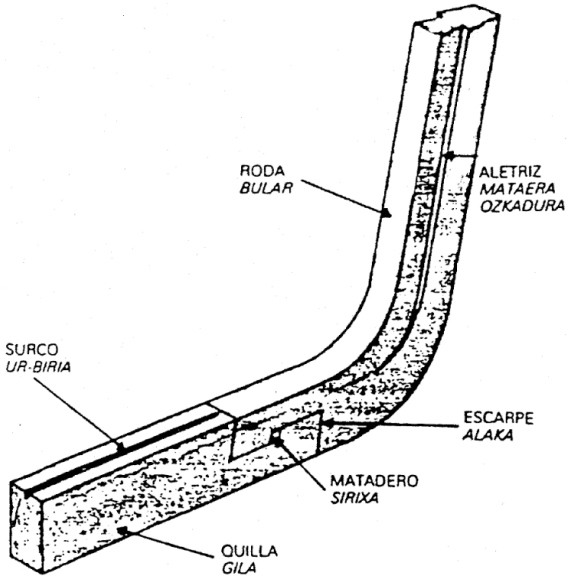


Fig. 16.11 Engarce de quilla y roda en una embarcación menor.

A proa y a popa, se ensamblan la roda y el codaste mediante sendas juntas "a escarpe". La primera, que recibirá el embate de las olas, se refuerza con dos gruesas y toscas piezas: el "delantal" o "mantala" y el pie de roda. El codaste se perfora para dejar paso al eje de la hélice.

El roble sigue siendo el material fundamental en el proceso. Lo mismo sucede con las cuadernas o costillares, aunque la acacia y el fresno empiezan a invadir los astilleros.

Ya en una etapa en la construcción del buque, las cosas empiezan a complicarse. El carpintero rebusca en su almacén las maderas más adecuadas, procurando que los largueros estén curvados naturalmente. Esto es pocas veces posible, por lo que se opta por serrar las piezas con la forma precisa que marcan las plantillas.

Se deben distinguir tres tipos de construcción de cuadernas. El primero es el usado en grandes buques, en los cuales, las cuadernas se hacen dobles para mayor solidez, necesitándose hasta doce piezas para completar una costilla.

En los botes y embarcaciones menores, cada cuaderna consta de tres partes: los genoles, uno a cada banda, y la varenga que se apoya en la quilla, solapándose a los anteriores.

Estos dos primeros sistemas emplean maderas "crudas". Pero con el fin de aligerar y abaratar la construcción, se recurre, cada vez más, *a un tercer sistema: la costilla de "vareta" o "varilla" de madera cocida, curvada artificialmente*. Consiste en espaciar, o sustituir totalmente las cuadernas, intercalando estas *cuadernillas* mucho más sencillas hechas de una sola pieza, generalmente de acacia, y curvadas al vapor, dentro de una tubería de hierro. Muchas merluceras de 12 a 14 metros de eslora utilizan estos métodos. *Si se quiere observar una construcción "de vareta" muy clásica, basta con asomarse al interior de una trainera de competición actual*. En ellas, se intercalan tres varetas entre cada cuaderna.

Los clavos pueden ser de hierro galvanizado, de acero forjado, de bronce o de cobre. Su forma es conoidal o piramidal y sus dimensiones suelen ser grandes. Su uso está condicionado a las maderas a unir, pues *algunas clases de madera presentan sustancias que atacan al metal. Es el caso del roble, que contiene ácido gálico que corroe al hierro.*

Los pernos son piezas metálicas, de forma cilíndrica alargada, que presentan en un extremo, una cabeza, de forma variable, y en el otro extremo, a veces, presentan una rosca. Se hacen entrar a presión en los agujeros, previamente labrados en las piezas a unir, de manera que su extremo no sobresalga por el otro lado de la madera. En caso de que esto último ocurra, se coloca una arandela en la punta y luego se remacha o, en caso de ir roscados, se pone la tuerca correspondiente. Su uso también está

condicionado a las sustancias químicas que puedan presentar las maderas a unir y que los pueden corroer.

Para estos casos se pueden emplear *cabillas*, que son piezas de madera, aunque también las hay metálicas, de forma troncocónica, que al introducirlas en diámetros más pequeños a presión, aumentan la resistencia de la unión.

Por último, *hay que hacer estancas las uniones del forro del casco por medio del calafateado*, que consiste en introducir estopa en las rendijas de la unión, e impregnar las estopas de alquitrán, resina y brea.

16.4 Mantenimiento, protección y reparación

Buena parte del proceso de protección de la madera se realiza con su secado por desaparecer o reducirse al mínimo la cantidad de savia contenida, que puede convertirse en caldo de cultivo de bacterias y hongos que pudren la madera. Sin embargo, para asegurar más las piezas del buque contra este peligro, se pueden inyectar con aceite de creosota (aceite mineral parecido a la brea), en un depósito autoclave especial, pulverizadas de modo que penetre en la madera por los poros y desplace a la savia.

Otros procedimientos de protección son impregnar la madera con brea o pintarla con gasoil, de modo que quede protegida de la humedad y, además, en este último caso, de las termitas.

Por otra parte, la madera puede ser protegida mediante pinturas antiincrustantes que eviten la fijación en el casco de vegetales y animales marinos (lapas).

Para evitar la propagación de incendios a bordo, la madera puede hacerse incombustible mediante tratamientos a base de inyectar en ella sales de cobre, boratos o sales amoniacales bajo ciertas condiciones de temperatura y presión.

Por último, para una buena protección de la madera hay que tener en cuenta que tipo de madera es más adecuado para cada pieza del barco en función de su situación en el mismo y de las cargas que pueda soportar. Hay maderas, como la de roble, que resisten bien bajo el agua, pero se estropean sí se encuentran en una zona que sea alternativamente seca y húmeda, como es la línea de flotación. Una buena elección en los aspectos citados puede evitar ciertos problemas.

El mantenimiento en los buques de madera, una vez examinado el estado del buque mediante el análisis de las piezas más representativas, comprobando sus dimensiones por si éstas han variado y como lo han hecho debido a las cargas soportadas, así como

su posible deterioro por la humedad y por plagas, o por otra serie de circunstancias, se puede limitar a renovar la protección anti plagas, anti humedad y anti incendios, así como sustituir las piezas deterioradas que se pueda. Desgraciadamente esto último no es tan sencillo, pues, aparte de que la pieza en cuestión sea difícil de retirar por ser elemento clave en la estructura, sucede que la pieza que la reponga romperá en cierto modo la homogeneidad del barco en cuanto a sus piezas, pudiendo reportar daños a la estructura del buque, puesto que la nueva pieza deberá tener de entrada las mismas dimensiones que las de la averiada. Pero como estará sometida a las mismas cargas y humedad que su predecesora, aumentará su volumen por histéresis de deformación, lo que implicará otra deformación en las piezas de su alrededor, las cuales, siendo más antiguas, habrán perdido gran parte de su elasticidad, con lo que se pueden generar roturas, grietas y fisuras que pongan en peligro la integridad del buque.

Sin embargo, todo lo anterior no quita que el buque de madera no pueda ser reparado en caso de averías. En el caso de vías de agua, éstas pueden ser convenientemente tapadas clavando tablas, por dentro o por fuera del forro, tapando el agujero y además, calafateando todas las uniones realizadas.

16.5 Maderas usadas en la construcción de buques

— *Roble*: es una de las maderas más usadas en la construcción de buques por su pesadez, dureza, facilidad de trabajo, flexibilidad y por poder obtenerse de ella piezas de grandes dimensiones. Su uso está indicado para piezas o zonas del barco que deban soportar grandes tensiones y sean difíciles de reparar como son la quilla, la roda, el codaste, etc.

— *Pino:* puede ser usado para la construcción de cubiertas, quillas, sobrequillas, palos y forros de costado, teniendo en cuenta que la resina que segrega aísla muy bien de la humedad, aunque es inflamable.

— *Haya:* para la elaboración de quillas o de remos.

— *Teca:* por ser una madera de fácil labrado, no atacada por insectos, dura, muy resistentes e inalterable a los cambios atmosféricos, es usada preferentemente para la construcción de cubiertas y elementos expuestos a la intemperie, así como para la fabricación de elementos decorativos y muebles.

— *Abeto:* puede ser usado en la construcción de elementos estructurales del casco como varengas, vagras y forro, por ser madera resinosa, o bien para la construcción de mástiles.

— *Cedro:* se utiliza preferentemente para el forrado de embarcaciones de lujo. Es de fácil labrado y gran duración.

— *Olmo*: es aconsejable su uso para piezas curvas y sumergidas, pues resiste bien el agua, tales como rodas y codastes.

— *Fresno*: se usa esta madera en la elaboración de palmejares, piezas con curvatura y remos, aunque es propensa a pudrirse.

— *Acacia:* posee las características del anterior, pero tiene más solidez.

— *Guayacán*: por su gran resistencia al desgaste y por su gran capacidad de absorción de humedad (es una madera tropical) se utilizaba preferentemente para la construcción de las bocinas de los ejes.

— *Abedul:* se utiliza preferentemente para construir mamparos por su gran capacidad de aislamiento.

En el cuadro que sigue, se indican algunos tipos de madera recomendados por el Lloyds Register para el casco de los barcos, así como el orden de preferencia según sea de los grupos A, B, C en este orden.

Species	Group	Average density air-dried, kg/m^3
Agba	B	515
Cedar, Central American	B	485
Cedar, Honduras	A	485
Mahogany, African	A	530
Mahogany, Honduras	A	545
Makore	A	625

Tabla 16.2 Maderas adecuadas para la fabricación del casco.

Pero no son sólo las maderas antes citadas las utilizadas en la construcción de buques, pues otras, de una u otra manera, son susceptibles de ser usadas para elaborar algún elemento específico.

Una madera cuyo uso y aplicaciones concretas en la construcción de buques parecen poco estudiados, pues hasta hace poco sólo se empleó en ello tímidamente, es la madera de eucalipto. Esta madera se ha venido utilizando sistemáticamente desde hace unos 50 años para la construcción de bateas mejilloneras en Galicia, con un magnífico resultado, siendo prácticamente insensible a la podredumbre debido al contenido en *terpenos* del eucalipto, lo cual impide el crecimiento bacteriológico y de gusanos. Su resistencia mecánica es similar a la del castaño, sin embargo las propiedades y posibles aplicaciones de la madera de eucalipto en la construcción de embarcaciones no aparecen citadas en la literatura sobre construcción naval ni en las Reglas de las Sociedades de Clasificación, que citan otras (La razón puede estar en que la existencia del eucalipto en relativamente reciente en Europa, a donde su cultivo fue importado desde Australia por el misionero dominico Fray Rosendo Salvado Rotea, de Tuy, Pontevedra, 1814, 1900) a finales del siglo XIX, quedando su crecimiento restringido sólo a ciertas regiones europeas, como es Galicia. Es una planta de crecimiento vertical relativamente rápido, que necesita

mucha agua y parece que resiste mal las heladas. Su aplicación principal, hasta ahora, ha sido para la producción de pasta de celulosa y papel.

16.6 Uso de contrachapado de madera en la construcción de embarcaciones

Dadas las dificultades que se pueden presentar a la hora de encontrar los árboles adecuados para ser transformada directamente su madera en piezas de un buque, especialmente en el caso de piezas de gran curvatura, se están empleando para su construcción contrachapados de madera especiales *(plywood)*, formados por chapas de madera de grosor parecido, superpuestas y encoladas en frío y bajo presión, mediante colas resistentes al agua de mar, con sus vetas dispuestas entre sí perpendicularmente. Con este tipo de maderas "artificiales" se consiguen piezas con las curvaturas deseadas y muy homogéneas mecánicamente hablando, por lo que resultan piezas de gran fiabilidad a pesar de estar ubicadas en lugares comprometidos dentro del buque. El inconveniente de los contrachapados es que necesitan una tecnología y personal muy especializados, y el tiempo empleado en la construcción del buque es grande. A continuación, se indican también los tipos de madera recomendados por el L.R. para la fabricación de contrachapado naval.

Common name	Botanical name	Density al 15% moisture content (Kg/m^3)	Natural durability of heartwood
Durable hardwood timbersin natural state			
Agba	Gossweilerodendron balsamiferum	500	Durable
Gedu Nohor	Entandrophragma angolense	540	Moderately durable
Guarea	Guarea spp.	580	Durable
Idigbo	Terminalia Ivorensis	540	Durable
African Mahogany	Khaya spp.	500	Moderately durable
Makore	Mimusops heckelii	620	Moderately durable
Omu	Entandrophragma candollei	530	Moderately durable
Light Red Meranti Light Red Seraya	Shorea spp. (see note 2)	530	Moderately durable
Sapele	Entandrophragma cylindricum	620	Moderately durable
Utile	Entandrophragma utile	660	Durable
Timbers requiring preservative treatment			
Douglas Fir	Pseudotsuga taxifolia	530	Moderately durable
Gaboon / Okume	Aucomea klaineana	430	Non - durable

Tabla 16.3 Guía para la selección de maderas para empleo en contrachapado marino.

16.7 Soluciones constructivas para la construcción de buques y embarcaciones de madera

A modo de orientación, además de los dibujos vistos, se incluyen también como ejemplo los que siguen, tomados del Reglamento del Lloyds Register of Shipping para Buques de Madera así como de los Reglamentos de las Sociedades de Clasificación que en cada caso se indican, en los que figuran dibujos representativos de diversas soluciones constructivas y la nomenclatura en inglés de las correspondientes partes.

16.7.1 Lloyds Register of Shipping

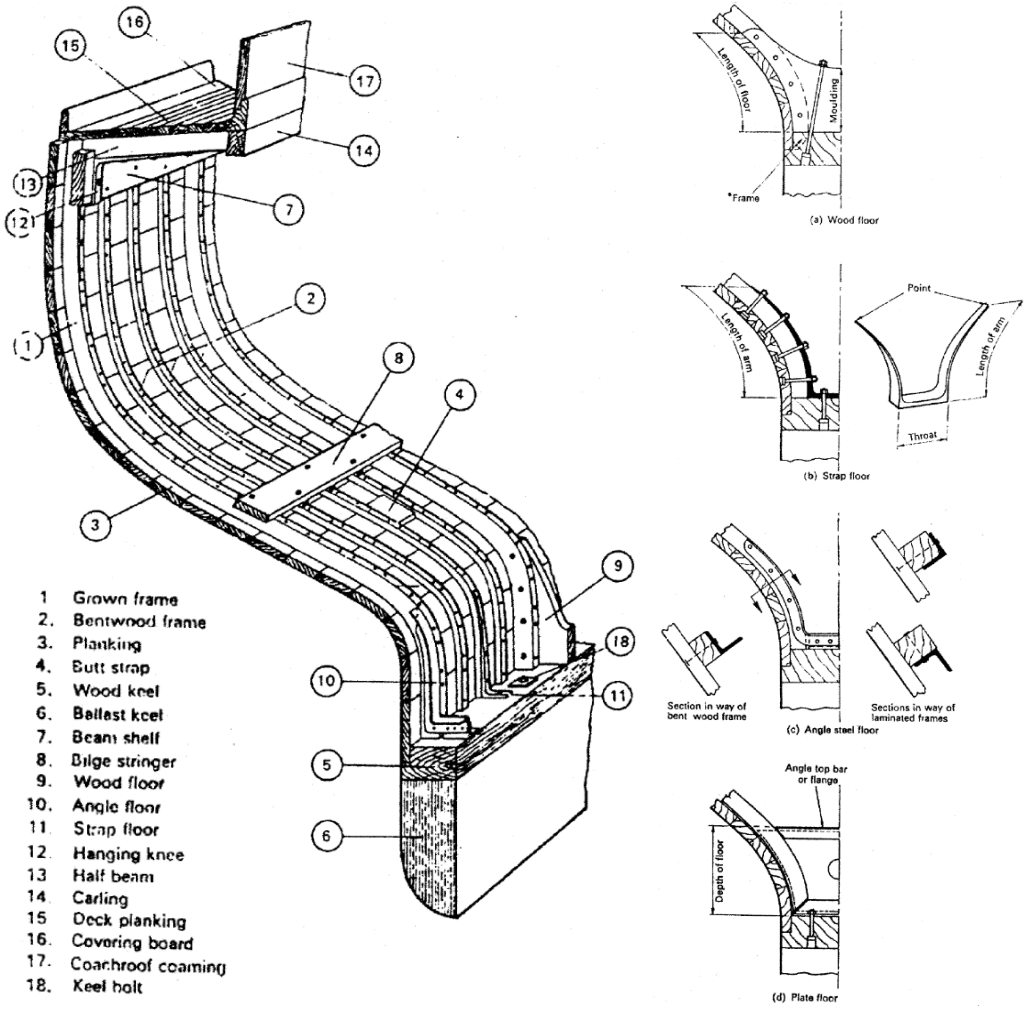


Fig. 16.12 Sección transversal de una embarcación de vela o auxiliar mostrando la nomenclatura de las diversas partes (Reglamento del L.R. of Shipping).

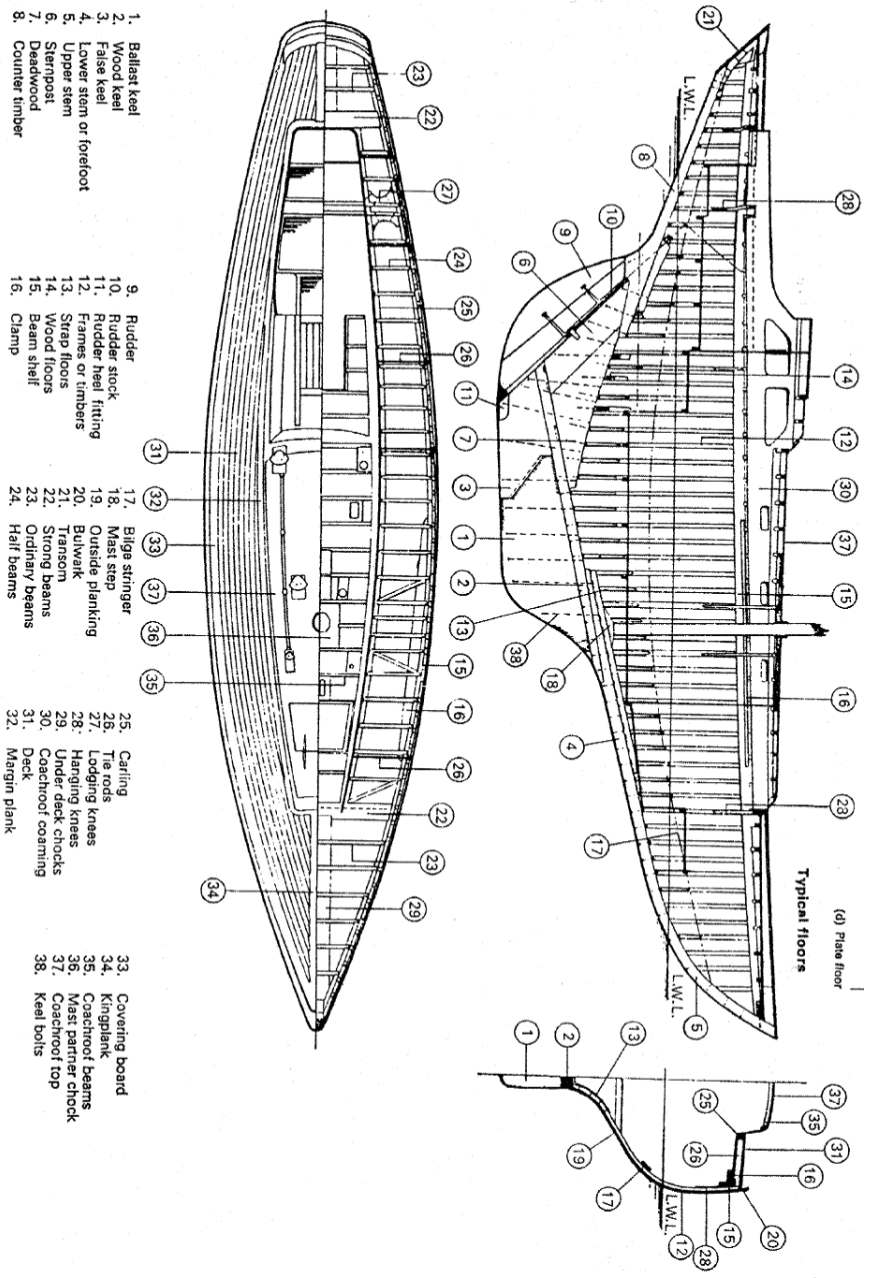


Fig. 16.13 Perfil típico de la construcción del casco y cubierta de una embarcación auxiliar en el que se muestra la nomenclatura utilizada en las Reglas del L.R. of Shipping.

16.7.2 Detalles para la construcción de buques de madera, según Reglamentación del Bureau Veritas

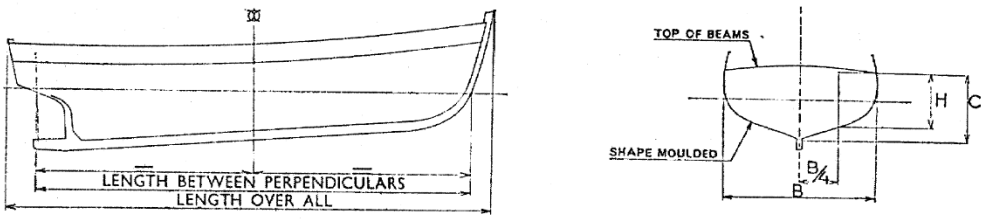


Fig. 16.14.1 Dimensiones principales.

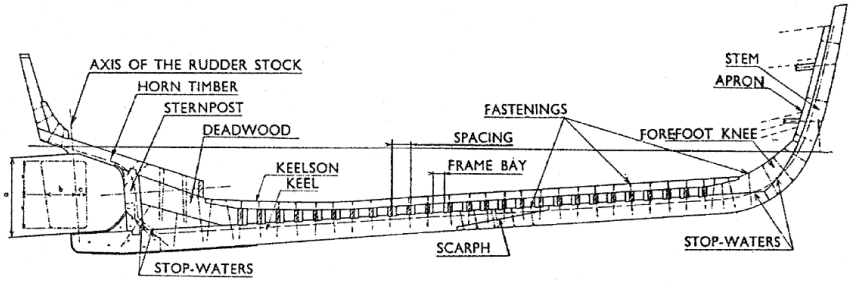


Fig. 16.14.2 Piezas principales.

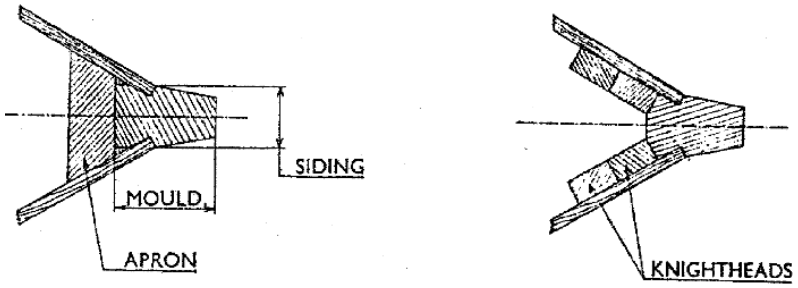


Fig. 16.14.3 Secciones por la roda.

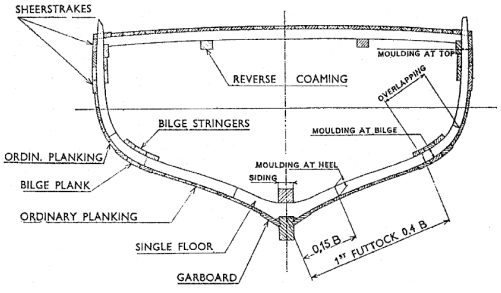


Fig. 16.14.4 Sección transversal.

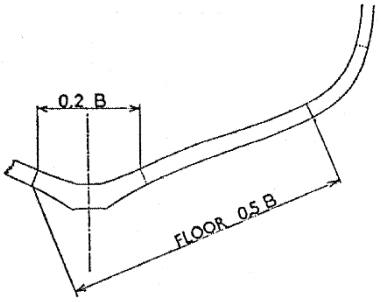


Fig. 16.14.5 Varenga doble.

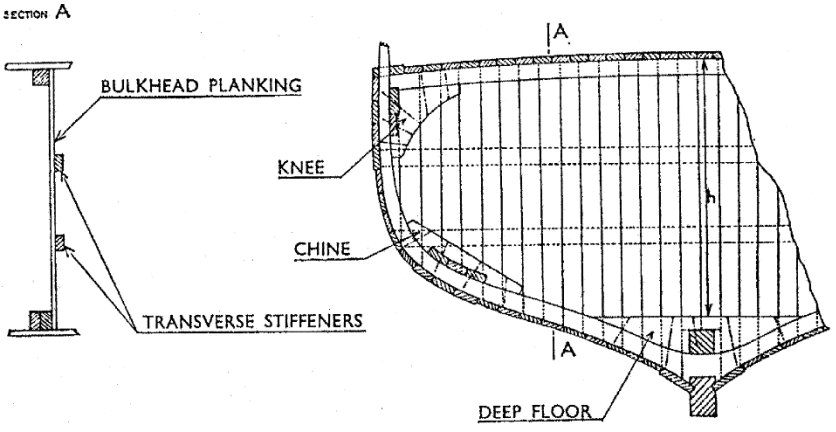


Fig. 16.14.6 Mamparo.

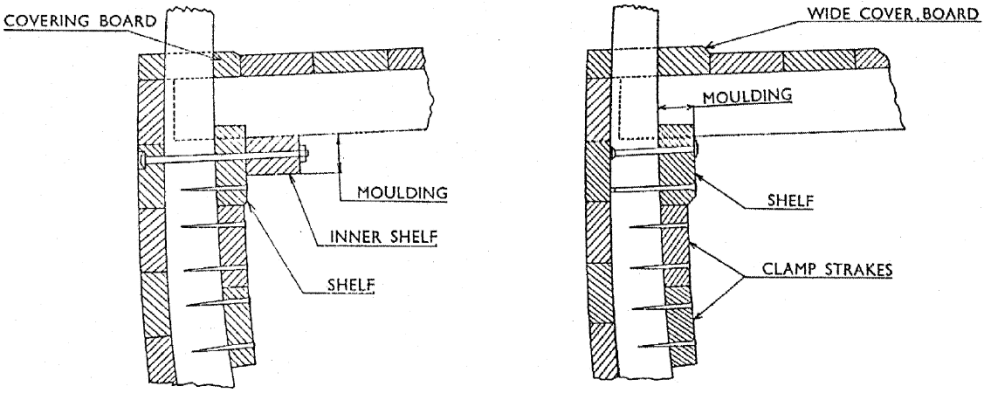


Fig. 16.14.7 Izquierda: apoyo baos; derecha: trancanil.

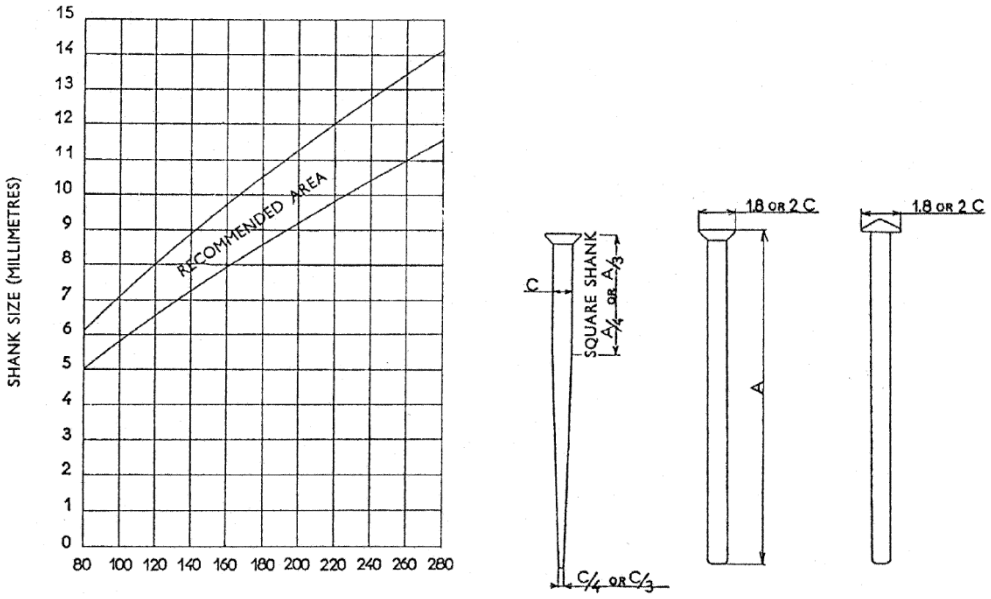


Fig. 16.14.8 Formas recomendadas de los clavos.

16.7.3 Detalles para la construcción de buques de madera, según Reglamentación de DET NORSKE VERITAS

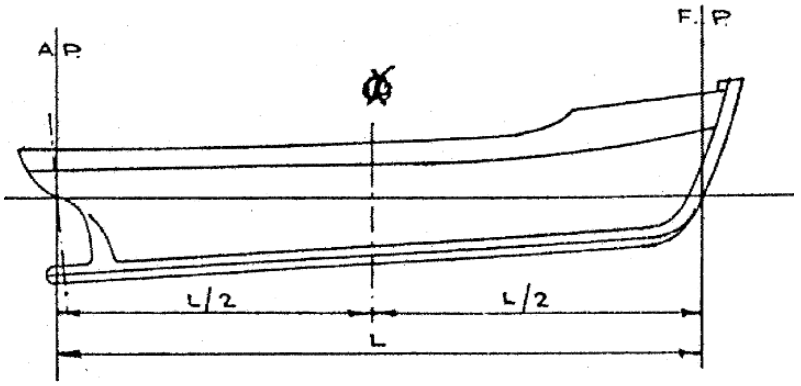


Fig. 16.15.1 Definición de las perpendiculares (Pp y Pr) y de la eslora ('L') del barco.

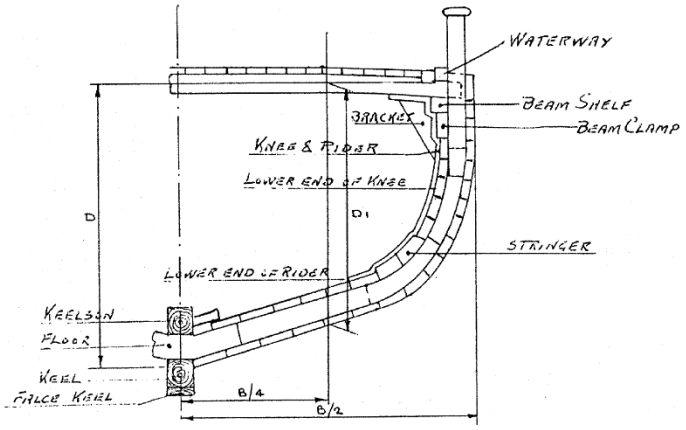


Figura 16.15.2 Cuaderna maestro de buque convencional.

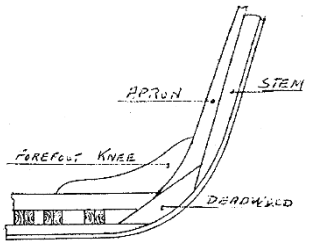


Figura 16.15.3 Quilla - Sobrequilla - Roda

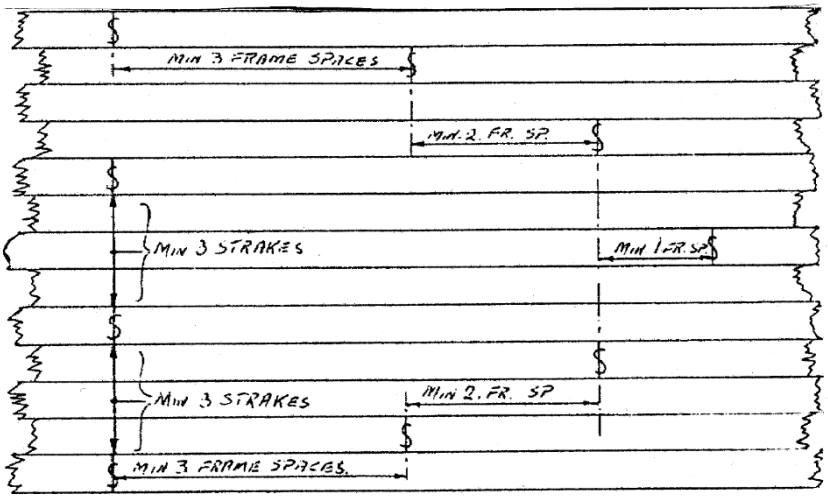


Figura 16.15.4 Solape de los tablones del forro.

16.8 Consideraciones acerca de la construcción de buques de madera y de los trabajos específicos de esta actividad. La carpintería de ribera

Es evidente que en la construcción de buques de madera y de otros materiales no metálicos, como es la resina reforzada con fibra y otros materiales en los que, aun siendo metálicos el metal no es acero, aparecen diversos problemas y aspectos con distintas soluciones que las empleadas en la construcción de buques de acero.

Abordar toda la problemática inherente a la construcción de buques y embarcaciones de madera necesita de un largo tratado muy específico que, siendo parte del conocimiento de las técnicas de construcción naval, no se puede desdeñar, aunque dada

la especificidad de los diferentes temas y trabajos a analizar, aparte de los descritos, algunos de forma genérica a lo largo de este Capítulo, hay que citar otros como son la tecnología para el elaborado y conformado de la madera, el calafateado de las uniones y colocación de tapines en la madera de cubiertas, la disposición y anclaje del polín del motor principal, la de la línea de ejes y de diferentes aparatos, la solución para los tanques de combustible, aceites, agua y otros fluidos, normalmente tanques independientes de chapa de acero y de otros materiales, la fundación y soportado de la jarcia, el tratamiento y pintado de la madera, etc.

Ha de acudirse para ello a otros tratados específicos y a los Reglamentos de las Sociedades de Clasificación y, donde aún exista, a la experiencia de los Carpinteros de Ribera, experiencia cuyo registro y conservación es un encomiable trabajo.

Se ha de tener en cuenta además que, en la Carpintería de Ribera, caben diferentes formas y dimensiones de barcos, muchas veces embarcaciones tradicionales adaptadas a cometidos específicos y circunstancias de cada zona, construidos con soluciones particulares, tipos de madera, dimensiones y formas diferentes para las diversas piezas.

16.9 Evolución histórica de los buques de madera

Dos características de la madera fueron las que, en un principio, determinaron al hombre a usarla en la construcción de embarcaciones. La primera fue su flotabilidad, debido a su, generalmente, inferior densidad respecto al agua.

La segunda circunstancia a favor de la madera es su facilidad de trabajo con herramientas incluso toscas.

Más adelante, se comenzó a emplear madera previamente labrada y unida entre sí mediante clavos metálicos, con lo que se consiguió la fabricación de los primeros buques propiamente dichos, aunque de pequeño tamaño.

Con el paso del tiempo y la necesidad de navegaciones más largas se evolucionó hacia la construcción de buques de mayor tamaño que tuvo su culminación entre la segunda mitad del siglo XVIII y la primera del XIX. En efecto, en 1769 se botaba en La Habana el casco del que fue el mayor buque de línea del mundo construido en madera. Se trataba del *Santísima Trinidad,* hundido en 1805 en Trafalgar, que desplazaba 3.100 tm, de 61 m de eslora, 16 de manga y 8 de puntal, en el que se debieron invertir no menos de 3.500 m^3 de madera, es decir, el equivalente a 8 hectáreas o más de bosque de robles, a juzgar por el volumen de madera de roble empleado en el casco de su coetáneo británico *Victory,* buque insignia de Nelson en Trafalgar que se conserva en la actualidad.

En 1853 era botado el clíper estadounidense *Great Republic,* el cual, con 99 m de eslora, fue el mayor buque jamás construido en madera, habiéndose hundido en 1872 en una tormenta.

Este último buque marcó la inflexión en la tendencia al gigantismo de los buques de madera, puesto que, aparte que los problemas de construcción de buques tan grandes de una materia prima cuyas dimensiones no daban para tanto y cuya resistencia estructural se debilitaba cuanto más grande era el buque, en las mismas fechas de su botadura se procedía en Inglaterra a la construcción en hierro del *Great Eastern*, con una eslora el doble que la del *Great Republic* y con mayor resistencia estructural y capacidad de carga que éste.

A partir de ese momento, la tendencia seguida hasta ahora es la de construir en madera sólo buques de pequeño tonelaje cuya construcción en otros materiales resultaría más onerosa o inconveniente por otras razones, por ejemplo en el caso de los dragaminas, de los cuales se construyó un buen número en madera para evitar el magnetismo del acero. Aparte de éstos, actualmente, los buques construidos en madera suelen ser pesqueros de bajura, barcos de recreo y otros similares.

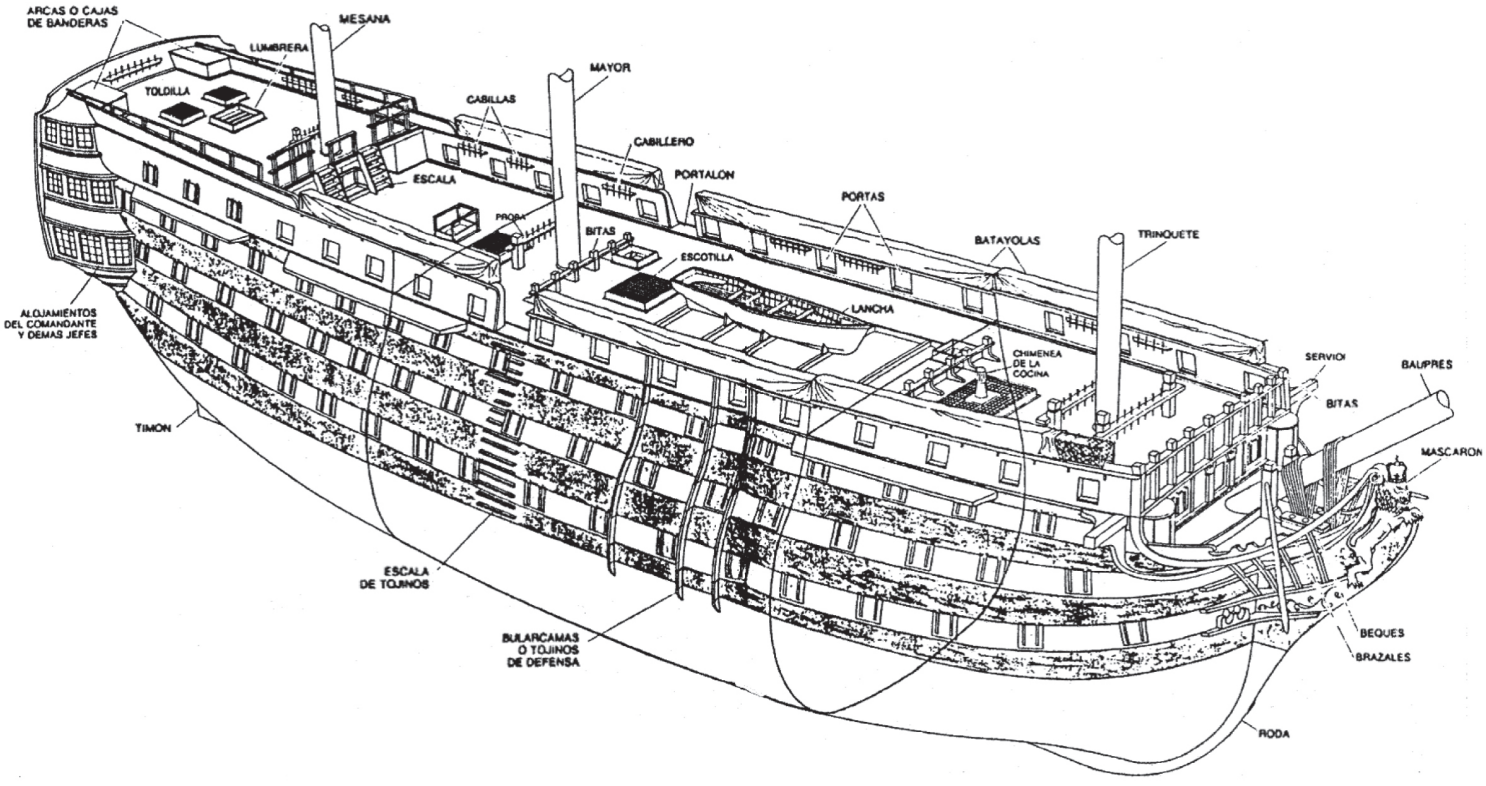


Figura 16.16 Navío del Siglo XVIII "Santísima Trinidad". Reconstrucción esquemática basada en el dibujo del Ilmo. Sr. D. Rafael Berenguer Moreno Guerra, Coronel de Intendencia de la Armada Española, según descripciones de la época. Tenía unos 62 metros de eslora y llegó a portar 140 cañones, cantidad muy superior a la de cualquier otro buque en su tiempo. Durante muchos años fue el buque más grande y más artillado de su época. Participó en la batalla de Trafalgar. Fue construido en el arsenal de la Habana en 1769.

Capítulo 17

El empleo de otros materiales en la construcción naval: aluminio, aceros inoxidables, ferro-cemento, plásticos diversos

17.1 Construcción de embarcaciones en aluminio. Introducción

La razón de incluir una referencia bastante amplia a la construcción de embarcaciones en aluminio y en sus aleaciones es la de que, sin lugar a dudas, hay tipos de embarcaciones y otras aplicaciones en las que el aluminio es superior a otros materiales de la misma forma que la madera, el plástico y el acero son superiores para algunos usos especiales.

Debido al precio más alto del material de base, una embarcación de aluminio puede costar inicialmente más que un buque construido en acero. No obstante, a lo largo de un período de ciertos años, existe un ahorro que puede justificar la mayor inversión inicial e incluso puede significar una ganancia neta.

Como orientación, puede estimarse que se conseguirá un ahorro del 35 a 45% en el peso del casco en comparación a la construcción con acero y de un 55 a 66% en el peso de las superestructuras. Dicho ahorro en el peso puede capitalizarse como un incremento en la velocidad para la misma potencia, o como una reducción de la potencia necesaria para alcanzar la misma velocidad.

Los costes de mantenimiento se reducen considerablemente ya que no se forma óxido si la película de pintura se deteriora, y el casco de aluminio no requiere más pintura que la antiincrustante y la decorativa. Un buque de aluminio, si está construido con la aleación adecuada, da muchos menos problemas para la conservación de sus superficies que si estuviera construido con cualquier otro material de la mayoría de los que existen, con tal que se mantengan ánodos de sacrificio en aquellos lugares en que existan metales de distinta composición en contacto con el casco.

La construcción de embarcaciones en aluminio tiene las siguientes particularidades:

- De acuerdo con la experiencia, parece ser que es más fácil para los constructores de embarcaciones de madera el hacerse con las técnicas de fabricación de

embarcaciones de aluminio que lo es para los constructores con experiencia en la construcción de buques de acero.

- Los constructores de embarcaciones de madera tienen una delicadeza en la fabricación, que no siempre es evidente en los operarios que trabajan el acero.
- Muchas de las herramientas usadas para la madera pueden ser usadas también para el aluminio, mientras que pocas sirven de las usadas para el acero.
- Los métodos y las técnicas de conformado del aluminio difieren fundamentalmente de los empleados para el conformado del acero.
- Mientras que con el acero se pone gran énfasis en el calentamiento, martilleo y forcejeo, con el aluminio es el conformado, la extrusión y el estirado en frío los que producen mejores resultados. El material, al ser más dúctil, responde bien a un tratamiento más suave.
- Para el aluminio se necesitan radios de curvatura mayores y, en consecuencia, las herramientas para las máquinas de curvado han de ser distintas.
- Las máquinas y técnicas de soldadura para el aluminio son muy distintas de las usadas en la soldadura normal del acero.

Por otra parte, existen ciertas desventajas en el uso de aleaciones del aluminio, las cuales no deberán ser pasadas por alto:

- Existe aún mucho mayor número de astilleros con instalaciones en que se puedan reparar soldaduras de acero que de aluminio. No obstante, en las embarcaciones mayores, con un adecuado grupo electrógeno, se puede llevar un pequeño equipo de MIG o TIG, suficiente para casi todos los problemas o bien, podría ser tomado el suministro de electricidad desde tierra. Un barreno y un juego de remaches debería ser parte del equipo, todo lo cual permitiría, al menos, reparaciones temporales. Debería, por otra parte, disponerse de un juego de piezas ya cortadas, de diferentes espesores, obtenidas en el astillero constructor y sería aconsejable que éste último preparara una especie de botiquín de reparaciones, consistente en todos los componentes más importantes para cualquier reparación.
- El aluminio tiene un punto de fusión más bien bajo, 660º C, por lo tanto, en áreas de alto riesgo del buque debe disponerse de una adecuada protección contra incendios.
- Como existen muchos accesorios construidos en metales diferentes del aluminio, hay que tener precaución de que las diversas uniones de estos accesorios al casco de aluminio se dispongan de forma que se evite el contacto directo del aluminio con el metal diferente, para evitar una acción fuertemente galvánica que ocasionaría la corrosión de uno de los metales.

17.1.1 Características químicas, físicas y mecánicas del aluminio

El aluminio *(Al)* es un metal ligero, de peso específico 2,7 g/cm^3, de color blanco argénteo, blando, aunque con buena resistencia a la tracción, y es un excelente conductor del calor y la electricidad.

Funde a 660ºC y es fácil de moldear, extrusionar y deformar por compresión. También es dúctil (susceptible de ser estirado en forma de alambre) y maleable (se puede transformar fácilmente en planchas y láminas). Tiene gran coeficiente de dilatación térmica y es amagnético.

Se trata de un metal muy activo que en contacto con el aire se oxida rápidamente. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con el hierro, únicamente se oxida la superficie de metal en un espesor de una micra como máximo y la capa de óxido formado queda adherida, de forma que protege al aluminio de una posterior oxidación. Este factor lo ha convertido en un material muy interesante en la Construcción Naval entre otras muchas aplicaciones.

Por otro lado, el aluminio, al ser más dúctil y deformable que el acero, puede absorber mejor los impactos ya que difunde mejor su energía por toda la estructura.

17.1.2 Aleaciones del aluminio

Como nota negativa, hay que indicar que, debido a su blandura, el aluminio en estado puro no se puede emplear en Construcción Naval para la elaboración de aquellas partes del buque sometidas a esfuerzos, que son casi todas. Se recurre entonces a las aleaciones del aluminio con otros elementos que le doten de las propiedades mecánicas necesarias.

Por estas razones, el aluminio se alea con los siguientes elementos:

- **Cobre:** perjudica la resistencia a la corrosión del aluminio pero le confiere características apropiadas para el tratamiento térmico.
- **Magnesio:** en proporción superior al 7% perjudica la resistencia a la corrosión en ambiente marino, pero incrementa la resistencia y le confiere características para el temple.
- **Manganeso:** perjudica la ductilidad pero incrementa la resistencia mecánica, la resistencia a la corrosión y facilita el trabajo en caliente.
- **Níquel:** mejora la resistencia a altas temperaturas.
- **Silicio:** facilita el tratamiento térmico.
- **Cinc:** incrementa fuertemente la resistencia mecánica de la aleación.

17.1.3 Aleaciones del aluminio no tratables térmicamente y aleaciones tratables térmicamente

La diferencia entre ambos grupos de aleaciones reside en que las primeras pueden recibir un tratamiento con altas variaciones de temperatura sin que sus características se vean alteradas por ello, mientras que las segundas, al haber sido creadas mediante cambios de temperatura, al producirse éstas en el tratamiento, pueden alterar las características de la aleación. Estas últimas aleaciones, por tanto, no admiten soldadura.

En todo caso, las aleaciones utilizadas del aluminio deben tener como características las siguientes:

— Resistencia a esfuerzos mecánicos.

— Resistencia a la corrosión.

— Facilidad de trabajo.

— Bajo coste.

De entre las muchas aleaciones de aluminio existentes en el mercado, se pueden distinguir tres de ellas, cada una para una determinada finalidad:

1) *NP 5/6*

Como indica la normativa UNE, esta aleación no es tratable térmicamente. Se presenta en forma de plancha, su contenido de magnesio oscila entre 4,5 %, y el 6,5 % y se suministra tal como se produce sin tratamiento térmico.

Esta aleación tiene un contenido de cobre no superior al 0,1%, lo que le confiere una buena resistencia a la corrosión en ambientes marinos.

PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LAS PRINCIPALES ALEACIONES DE ALUMINIO USADAS EN CONSTRUCCION NAVAL					
	Aleación y Temple				
	5083-H34	5083-H113	5086-H34	5086-H112	6061-T6
Principales elementos de la aleación	Mg 4'0 - 4'9% Mn 0'30- 1'0%		Mg 3,5 - 4,5% Mn 0'20- 0'7%		Mg 0'8 - 1,2% Fe 0'7% Si 0'40- 0'8%
Módulo de elasticidad (MPa)	71.070	71.070	71.070	71.070	69.000
¿Es tratable térmicamente?	No	No	No	No	Si
Resistencia a corrosión agua del mar	Excelente		Excelente		Buena
Puesto de fusión (°C)	571-638		584-640		582-649
PRINCIPALES PROPIEDADES:					
Carga de rotura mínima (MPa)	345	304	304	248	290
Carga límite de elasticidad (MPa)	269	214	235	124	241
Típica fuerza de cizallamiento (MPa)	207	186	186	166	207
Mínimo alargamiento en 50mm (%)	6	12	6	8	10
Dureza Brinell		84	86	68	95
Escogidos como a) Aleación para remaches	5056-H32	5056-H32	5056-H32	5056-H32	6061-T6 ó 6053-T61
b) Aleación para extrusión	6063 5083	6063 5083	6063 5086	6063 5086	6063
PROPIEDADES DE LA SOLDADURA (ancho del metal aproximadamente 6'35 mm, no aplicable trat. térmico post-soldadura)					
Carga de rotura mínima (MPa) Aleaciones alambra 5183 de aportación en 5356 la soldadura 5556		300 276 297	276 275	269 255	208
Carga límite de elasticidad (MPa) Aleaciones alambre 5183 5356 5556		152 145 145	124 149	117 145	131
Porcentaje alargamiento en 50 mm Aleaciones alambre 5183 5356 5556		12 16 14	18 14	21 14	11
FATIGA. Límite de rotura después 5.10(^8) Ciclos (MPa)			110	152	97

Tabla 17.1 Propiedades estructurales de las principales aleaciones de aluminio usadas en la construcción naval.

Como características mecánicas se destacan las siguientes:

— Carga de rotura: entre 30 kg/mm^2 y 37 kg/mm^2.

— Dureza Brinell: entre 70 y 78 grados.

— Resistencia a la fatiga: entre 5,35 y 6,61 kg/mm^2 (para 50 millones de ciclos).

— Módulo de Young: 0,7x10^6 kg/cm^2.

2) *NE 6*

Aleación de aluminio no tratable térmicamente, en forma de perfil, con un contenido de magnesio comprendido entre el 5.5% y el 6,5%, suministrada tal como se produce, sin tratamiento térmico.

3) *HE 10*

Aleación de aluminio tratable térmicamente, presentada en forma de perfil, apto para ser remachado a la plancha, con un contenido en magnesio entre 0,4 y 1,5%.

Sin embargo, no son estas las únicas aleaciones de aluminio que se emplean en Construcción Naval. En la tabla adjunta se relacionan las características de algunas otras.

17.1.4 Exigencias de las Sociedades de Clasificación

Las normativas de las sociedades de clasificación sobre el tema son muy variadas, pues cada sociedad presenta unas normas especiales propias, diferentes en general a las normas de las demás, e incluso alguna sociedad no tiene normas especiales, reservándose el derecho a estudiar cada caso en particular.

En cualquier caso, la resistencia a la tracción, exigida por el Bureau Veritas y por el Det Norske Veritas, varía desde los 20 ó 22 kg/mm^2 hasta los 27 Kg/mm^2 según el espesor y la pieza de que se trate, y el Lloyds Register exige 27 Kg/mm^2 en todos los casos.

17.1.5 Corte y conformado de piezas de aluminio

Si la aleación de aluminio es forjable, se funde en lingotes, los cuales sufren un proceso de laminado o de extrusión para adquirir la forma en que se suministran al astillero (planchas, perfiles, etc.).

En caso de que la aleación sea moldeable, se puede verter el contenido de la fundición de la aleación en un molde para obtener directamente la pieza deseada que, en el caso de embarcaciones pequeñas, puede ser incluso el casco.

Sin embargo, todos estos procesos han de ser cuidadosos por las propias dificultades de éstos y porque el material es bastante más delicado que otros (por ejemplo que el acero).

Una vez que llegan las planchas y perfiles al astillero, se procede a su corte y conformado para obtener las piezas deseadas del buque.

El marcado de las líneas de corte o de plegado ha de ser realizado con lápiz para no dañar la superficie y no provocar grietas.

El corte de las piezas se realiza mediante sierras especiales, o mediante corte con plasma. En cuanto al plegado, éste se realiza mediante troqueles con las esquinas matadas o redondeadas.

17.1.6 Uniones y conexiones con otros elementos

Como en el caso de los demás metales, los dos métodos usados para unir elementos de aluminio con otros son la soldadura y las uniones mecánicas o remaches.

La soldadura se emplea para unir elementos de la misma aleación de aluminio si las propiedades de la aleación no se alteren con el calor.

Previamente a la soldadura, si la aleación presenta en su superficie óxido de aluminio, éste debe ser eliminado, pues su punto de fusión es el doble que el del aluminio en sí, y no se lograría una perfecta soldadura.

Inmediatamente después de limpiar la zona de soldadura, se realiza ésta por el procedimiento MIG para chapas de más de 3mm de espesor y por TIG para espesores menores de 3 mm.

Para las aleaciones Al-Mg, el electrodo consumible suele ser del mismo tipo que la aleación a soldar para evitar problemas de corrosión provocados por el electrodo. En este caso, para aleaciones tratables térmicamente y no sometidas a grandes esfuerzos mecánicos en su formación, la soldadura modifica muy poco las características de la aleación.

Si la aleación es del tipo Al-Si-Mg, no tratable térmicamente, el material de aporte contendrá un 5% de Si para evitar el agrietamiento en caliente del material, aunque la aleación perderá características en una zona de unos 2 cm a ambos lados de la soldadura. Por su poca resistencia a la corrosión, estas aleaciones deben ser protegidas del ambiente exterior con pintura.

En cualquier caso, la soldadura de cualquier aleación de aluminio ha de ser realizada cuidadosamente por personal y equipo técnico cualificado, pues es un proceso delicado para poder obtener buenos resultados.

Por lo que se refiere a las uniones mecánicas, éstas pueden realizarse mediante remachado o roscado, dependiendo de las características de la unión. En ambos casos, la ejecución de la unión (por cabeza de remache o por tuerca en elemento roscado) se hará del lado de la parte más resistente.

Las uniones roscadas se reservan para uniones aluminio-acero. En este caso, el elemento de unión es del material que esté en la parte más resistente de la unión. De todas maneras, la unión ha de garantizar el más absoluto aislamiento entre los dos materiales, puesto que en caso contrario se produciría una destrucción galvánica. Este aislamiento se realiza a través de materias plásticas o de otros materiales no conductores y estancos si la unión va a estar en contacto con el agua.

También las uniones mecánicas han de realizarse con el mayor esmero.

Ver a continuación diversas soluciones para efectuar uniones de partes de aluminio con otros materiales metálicos.

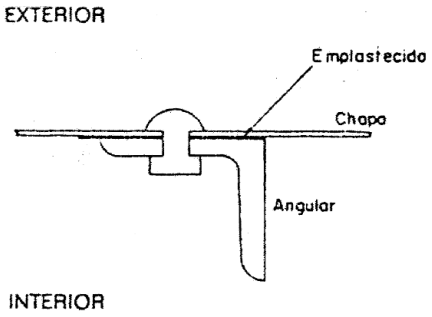


Figura 17.1 Uniones aluminio-aluminio no estancas.

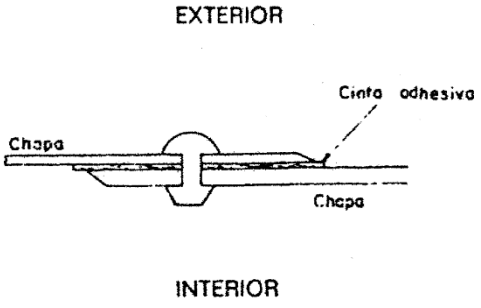


Figura 17.2 Uniones aluminio-aluminio estancas.

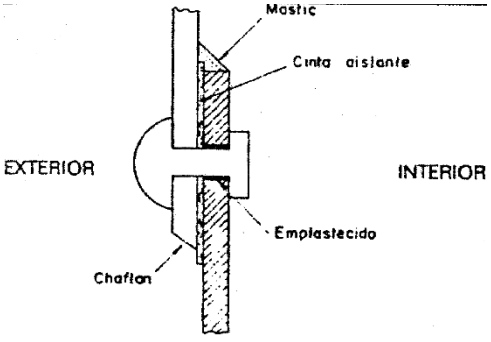


Figura17.3 Uniones aluminio-acero por remaches de aluminio.

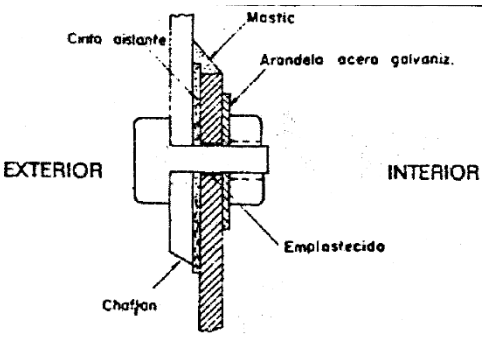


Figura 17.4 Uniones aluminio-acero por remaches de acero.

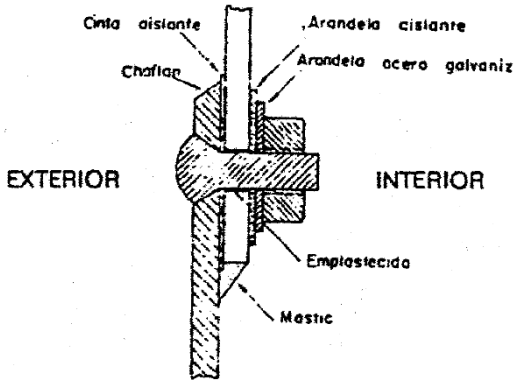


Figura 17.5 Uniones aluminio-aluminio por pernos de acero.

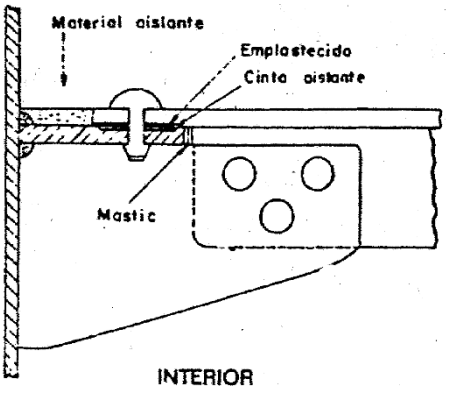


Figura 17.6 Uniones no estancas aluminio-acero.

Se pueden también unir partes de aluminio con partes de otro material metálico por medio de *cladding*.

CLASE DE MATERIAL	Efecto
Aleación de aluminio D54SM	Ninguno
Acero estructural	Ligero
Acero de alta resistencia	Ligero
Acero inoxidable (18-8)	Ninguno
Latón (60-40)	Severo
Cobre	Severo
Bronce fosforoso (5%)	Severo
Bronce aluminio (5% Al)	Severo
Monel (67 Ni:Cu)	Severo
Plomo (laminado)	Ligero
Zinc (laminado)	Protector
Madera de árboles caducos	Ligero
Madera de coníferas	Ligero

Tabla 17.2 Efecto químico o galvánico de diversos materiales sobre el aluminio no protegido.

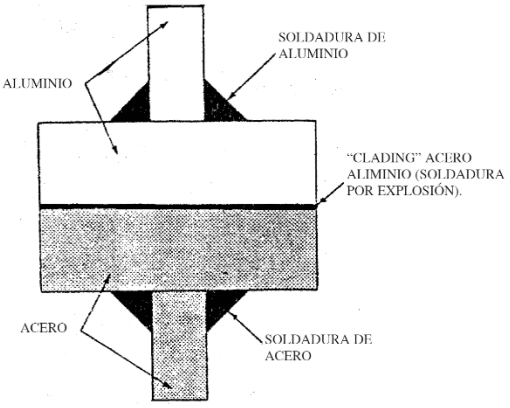


Figura 17.7 Unión aluminio-acero mediante *cladding*..

17.1.7 Protección de superficies y de uniones, protección contra el fuego. Mantenimiento y reparaciones.

El aluminio como metal puro se defiende bien de la corrosión atmosférica por la capa de óxido que lo recubre. Sin embargo, el aluminio, como metal, y sus aleaciones no están tan protegidos en medios más agresivos como puede ser el agua.

Para proteger las construcciones de aluminio se ha de hacer lo siguiente:

Superficies. Basta con pintarlas convenientemente. Para ello, las superficies han de ser previamente limpiadas químicamente, por desengrase o por decapado químico; se les aplica entonces una capa pasivante de imprimación a base de cromato de cinz y, por último, se les aplica una pintura adecuada.

La pintura final ha de ser anti incrustante para la carena, y se debe dar una capa de pintura inhibidora de la corrosión entre las capa pasivante y la de acabado.

Para la obra muerta hay que situar, al lado del aluminio, ánodos de otro metal más electronegativo, de modo que la corrosión catódica de la atmósfera consuma al más electronegativo.

Uniones. El sistema de protección de las uniones se ha explicado brevemente antes y se observa en los dibujos vistos. En las uniones mecánicas se han de rellenar los espacios vacíos con *mastic*. A veces conviene pintar la unión.

La protección de estructuras de aluminio contra el fuego se realiza mediante recubrimiento o forrado con placas de lana de roca.

Para un correcto *mantenimiento* de un buque de aluminio o de una estructura del mismo metal se ha de verificar, mediante estudios metalográficos, el buen estado de la aleación y se comprobarán los escantillones, la protección contra la corrosión, etc.

En cuanto a *la reparación* de posibles piezas de aluminio averiadas, ésta puede resultar complicada puesto que el aluminio necesita equipos técnicos y humanos especializados, cosa que es difícil conseguir en cualquier parte, así como los repuestos necesarios, sobre todo si la pieza es de molde o conformada.

17.1.8 Empleo del aluminio en la Construcción Naval

El aluminio se emplea en la construcción de buques pequeños, sobre todo deportivos (fuerabordas y demás embarcaciones de motonáutica), en el que la ligereza de este material y sus buenas prestaciones mecánicas, si es aleado con otros materiales, son aspectos básicos.

En buques grandes es utilizado para realizar superestructuras y todos aquellos elementos no sometidos a tensiones muy fuertes, de tal modo que se consiga un ahorro significativo de peso. Es característico del aluminio, como ya se ha mencionado, el difundir bien por su estructura la energía de los impactos y por no producir chispas en las colisiones.

También se fabrican en aluminio gran número de elementos complementarios, como *forros de chimenea, mástiles, superestructuras altas y puentes, tanques para gases licuados (GNL), bodegas y cámaras frigoríficas, placas huecas con canales extrusionados longitudinalmente para congeladores de placas para pescado, etc.*

17.2 Aceros inoxidables utilizados en la construcción de estructuras en buques

Mejor sería denominarlos como aceros especiales, aunque la característica genérica de los que aquí se consideran es su resistencia superficial a la oxidación, siempre que sean tratados correctamente, y su resistencia mecánica al impacto a bajas temperaturas, a la abrasión, etc. Se trata de aleaciones de acero con otros elementos químicos que se usan para aquellos lugares del buque en que, debido a la agresividad química de ciertos productos que se han de transportar, o por causa de la temperatura a la que ha hacerse el transporte y la manipulación o por las características del producto transportado, un acero normal no posee las características de resistencia química ni mecánica necesarias.

Entre las muchas aleaciones de estos tipos de acero se pueden distinguir las siguientes:

— Acero al 9% de Níquel.

— *Aceros al carbono, manganeso, silicio.*

— *Acero inoxidable,* vulgarmente así denominado como tal, como acero inoxidable 18-8, y también AISI 304.

— *Aceros* AISI 304 L, AISI 316, AISI 316 L, etc.

17.2.1 Características y aplicaciones

Las características químicas de estos aceros vienen determinadas por su composición. Como propiedades más destacables de cada tipo de los aceros reseñados arriba, se pueden citar las siguientes:

— Acero al 9% de Níquel:

Sus cualidades mecánicas resultan similares a las de los aceros normales, pero a temperaturas incluso de - 200ºC, a las que el acero normal se vuelve quebradizo e inelástico. Resulta adecuado para usos criogénicos (tanques de gases licuados, cámaras frigoríficas, etc.).

— Acero al carbono, manganeso, silicio:

Poseen una resistencia al desgaste muy elevada, con índices de dureza del orden de 240º Brinell. Son adecuados para buques que transporten o manejen material abrasivo, como carbón, mineral, etc. (buques tipo mineraleros, dragas, etc.).

— Acero inoxidable:

Denominado así vulgarmente, o acero inoxidable 18-8. Tiene en su composición un 18 % de cromo y un 8 % de Níquel. Presenta una gran inmunidad a las

agresiones químicas de bastantes productos, por lo que se emplea en buques de transporte químico. Asimismo, posee buenas cualidades criogénicas, por el níquel que contiene.

Existen diferentes tipos de aceros inoxidables para aplicaciones con diferentes grados de exigencias, como son el AISI 304, ya visto, el AISI 304L, que una variante con menor contenido de carbono (máx. 0,03 % en lugar de 0,08%), el AISI 316 ó 18-8-2, que una variante del 304 con 2-3% de Mo, el AISI 316L, igual que el 316, pero con un 0,03% máx. de C, en lugar de 0,08%, etc. Existen otros aceros para aplicaciones especiales dentro de la Construcción Naval, que sería largo de enumerar. Entre ellos puede citarse el *acero Corten*, utilizado para conductos de humos de calderas, etc.

17.2.2 Corte y conformado. Uniones

El corte y conformado de estos materiales se realiza a veces con técnicas especiales, según la aleación de que se trate, aunque lo normal es que se usen las técnicas empleadas para los aceros normales, excepto el oxicorte para aceros inoxidables como ya se ha explicado en el Capítulo 9.

Para la unión por soldadura, que es lo más normal, a veces es necesario recurrir a técnicas especiales, según la aleación de que se trate, como precalentamiento y con electrodos de bajo contenido en hidrógeno. Si las uniones son remachadas o atornilladas, las técnicas a emplear serían similares a las utilizadas para el acero normal.

17.2.3 Protección, mantenimiento, reparación

La protección de estos materiales se lleva a cabo mediante los procedimientos empleados para aceros normales, modificados teniendo en cuenta la naturaleza de estos materiales, normalmente a base decapados ácidos y subsiguiente pasivado, de pinturas, protección catódica y antiincrustantes marinos.

En el manejo de los materiales de acero inoxidable ha de tenerse especial precaución de que éstos no estén en contacto con acero al carbono puesto que perderían las propiedades inoxidables (véase el Capítulo 9).

En cuanto al mantenimiento, a veces es necesario examinar el estado del metal mediante estudios metalográficos y comparar los resultados con los datos suministrados previamente por el fabricante del material

Las reparaciones pueden presentar complicaciones, como sería la de poder encontrar sin dificultades el material adecuado para sustituir una pieza en un lugar alejado de la

industria que lo fabrique, así como por las dificultades de cortar, conformar y soldar un material especial que necesite un tratamiento específico para ello, existiendo a mano sólo medios habituales para acero normal.

17.3 Hormigón, cemento y ferrocemento

17.3.1 Características

El hormigón es básicamente un conglomerado de agregados químicamente inertes como arena, pequeñas piedras y grava unidos entre sí por medio de una sustancia cohesionadora, el cemento, constituido éste a partir de carbonato cálcico y silicatos de aluminio, así como de escorias de alto horno o mineral de hierro. Se obtiene por calentamiento y posterior molido de una mezcla de los anteriores materiales con agua.

El cemento se endurece y gana resistencia después de cierto tiempo como resultado de su reacción química con el agua pero, antes de que esto ocurra, los ingredientes del hormigón se mezclan y a esta mezcla se le puede dar cualquier forma puesto que, en ese estado, constituye una masa plástica.

Para constituir el ferrocemento se elabora previamente una estructura de malla de alambre y varillas de hierro o acero, que queda englobada en el cemento antes de fraguar.

Las propiedades más destacadas de estos materiales es que su densidad es alta, no conducen el calor ni la electricidad, no les afecta el fuego ni la corrosión, característica ésta que conviene destacar, salvo que llegue de alguna manera hasta la estructura interior del metal lo cual es raro que ocurra; y sus propiedades mecánicas son buenas, pues se aúnan la buena resistencia a la compresión del cemento con la buena resistencia a la flexión y tracción del acero, por lo que absorben bien los choques y no transmiten vibraciones. Sin embargo no resisten demasiado bien una alta concentración de esfuerzos.

Conviene destacar una importante característica de las estructuras realizadas con hormigón, que es su *resistencia a la corrosión.*

17.3.2 Construcción naval con ferrocemento

Ya se mencionó la forma de obtener el hormigón. Para construir el casco de un barco en ferrocemento, en lo que se llega a espesores del orden de 25 mm y más, dependiendo del tamaño del barco, lo primero que hay que hacer es una reproducción de la forma de la superficie del casco con malla de alambre de hierro reforzada con varilla de acero,

uniendo las partes con soldadura y, después, en una operación que debe ser realizada en breve tiempo, se va añadiendo y moldeando la masa de cemento por el exterior y también por el interior de la malla, hasta obtener el espesor total deseado, en el que la malla debe quedar totalmente englobada, esperando a continuación a que vaya fraguando el conjunto, rociándolo con agua abundantemente. Igualmente se hace para las estructuras interiores del buque, como son los mamparos, y para la cubierta. Partes esenciales del buque como la bocina, tomas de mar, descargas al costado, etc. tienen que ser incorporadas al conjunto formado por la malla citada, antes de la incorporación del cemento.

La construcción de buques en ferrocemento no es hoy muy habitual aunque se han construido pesqueros, veleros y embarcaciones de recreo de cierto porte, unidades para las armadas, barcazas con fines diversos, etc.

Sin embargo, el cemento tiene otras aplicaciones más normales en la C.N. como la de proteger contra la humedad y consiguiente corrosión en zonas cerradas o de difícil acceso en los cascos de acero, como son los piques de popa y de proa, la caja de cadenas, los dobles fondos, etc. en los que se puede proteger las superficies *mediante la aplicación de lo que se denomina lechada de cemento, aunque* últimamente los productos bitumásticos están sustituyendo al cemento en estas aplicaciones.

También se emplea para constituir lastres fijos en buques en que es necesario por razones de estabilidad, rellenando espacios en los que también se incorpora, englobada, chatarra o bloques de hierro o de otro material pesado. Se puede igualmente emplear como solución de emergencia para realizar algo similar a un *pallete de colisión*, para taponar o reparar provisionalmente roturas en el casco. En todos estos casos, lo habitual es preparar el mortero con una parte de cemento, dos partes de arena y agua dulce.

17.3.3 Utilización del hormigón para la construcción de estructuras off-shore. Plataformas de gravedad. Aplicaciones en obras civiles marinas

Es precisamente en estas aplicaciones de *Ingeniería Oceánica*, donde el hormigón armado tiene hoy mayor utilización. Son conocidas las *plataformas* llamadas *de gravedad para la producción de crudo*, para profundidades, hasta ahora, del orden de 100 metros, aunque existen proyectos para profundidades mayores. Estas plataformas son construidas en dique seco, que bien puede ser una simple ensenada con calado suficiente que se cierra por medio de *tablestacas*, se achica de agua y se pilota su fondo adecuadamente con objeto de poder soportar el peso de la estructura a fabricar, lo cual se realiza mediante técnicas de construcción civil. Una vez finalizada la estructura de hormigón, se inunda el dique para que flote dicha estructura, se retira la compuerta

del dique o las tablestacas y se transporta flotando hasta el lugar de emplazamiento, donde se lastra y se hunde hasta apoyar en el fondo, previamente pilotado y preparado para soportar el peso de la instalación. Dichas plataformas incorporan los tanques de almacenamiento de crudo en su parte baja. Después se colocan encima, ya *totalmente finalizados en tierra y pendientes sólo del conexionado conjunto o "hook up", los diferentes módulos ("topsides") de producción (separación de crudo y gas), de generación de potencia, de inyección de agua y de gas, de perforación, y de habilitación*. Son módulos cuya estructura se construye básicamente en acero y que, para este tipo de plataformas, se suelen unir previamente incluso con sus conexiones de tubería, etc. ya hechas, antes de su transporte, el cual se realiza sobre un, llamémosle, único bastidor, que se lleva sobre los cascos de dos barcos que van navegando en paralelo, enlazados entre sí por medio de la estructura constituida por el propio bastidor citado y, al llegar al sitio, se lastran controladamente hasta depositar el módulo conjunto sobre la estructura vertical de gravedad, de hormigón armado, previamente fondeada.

También se puede emplear *el hormigón en la construcción off-shore de plataformas del tipo de patas tensionadas o "tension legs", de partes de las plataformas del tipo "spar buor" para producción de crudo y para soporte de generadores eólicos, para monoboyas de amarre y carga, etc.*

Es conocida la construcción de puertos, obras marinas de abrigo y otras diversas mediante el fondeo de cajones previamente fabricados en hormigón, que se transportan al lugar de emplazamiento flotando, para su hundimiento por lastrado hasta la situación final.

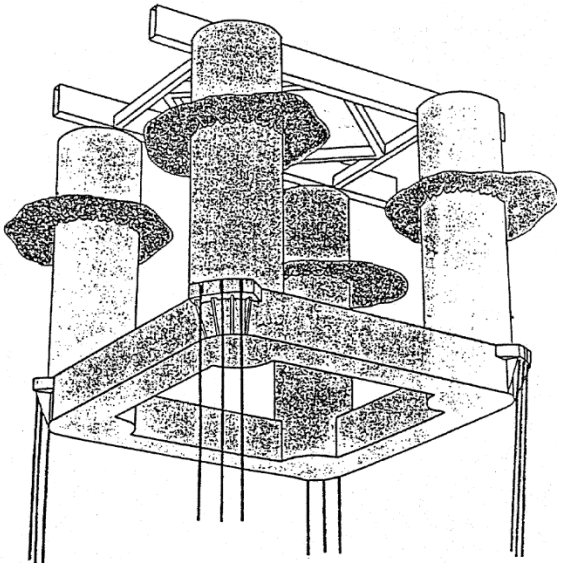


Fig. 17.8 Plataforma de patas tensionadas de hormigón.

En un próximo futuro podría existir una demanda importante de construcción de bateas, y otras obras marinas flotantes o para fondear, en hormigón, en relación con la explotación turística de las costas, hoteles flotantes, aeropuertos, etc., así como para la explotación de diversos recursos del océano como la acuicultura, energéticos y minerales, aparte de la explotación de hidrocarburos.

17.3.4 Uniones

La unión entre estructuras de ferrocemento se ha de hacer soldando las varillas de acero que actúan como malla estructural y envolviendo en cemento dichas soldaduras.

Para ello es preciso que, al realizar los bloques prefabricados de ferrocemento, se controle y se marque en obra la posición de los extremos de las varillas para que coincidan al unir dichos bloques y, además, queden dichos extremos libres de cemento antes de la unión, para poder realizar su soldadura.

En cuanto a las uniones entre ferrocemento y otros materiales, éstas se pueden llevar a cabo interponiendo un elemento de material flexible (madera, plástico u otros) para evitar la transmisión de vibraciones al cemento. Este elemento de interposición se suele pegar al cemento y atornillar al otro material, aunque este último tipo de unión no es muy satisfactoria.

17.4 Plásticos diversos

La aparición de los plásticos en la Construcción Naval es muy reciente, unos 40 años, pero han alcanzado un lugar, sino preeminente, sí al menos destacado, sobre todo en la construcción de embarcaciones pequeñas y de elementos auxiliares en embarcaciones mayores.

17.4.1 Clasificación

Los plásticos están constituidos por moléculas orgánicas de elevado peso molecular, o polímeros, formados por una repetición de unidades químicamente unidas entre sí en forma de cadena o de red.

Se pueden distinguir dos grandes categorías, a saber:

— Semi sintéticos, en los que la estructura básica de la cadena proviene de algún producto natural (celulosa).

— Sintéticos, cuya cadena se construye por procedimientos químicos a partir de pequeñas unidades, los monómeros.

De la gran variedad de plásticos fabricados por la industria citaremos únicamente aquellos que son susceptibles de ser usados en Construcción Naval, con sus características más destacadas, así como su aplicación en ésta:

1) *A.B.S.*

   Es un copolímero de acrilonitrilo, butadieno y estireno de gran resistencia mecánica y térmica, que sufre poco desgaste con el roce y no se altera manteniéndolo a la intemperie. Se utiliza en embarcaciones pequeñas, de 6 ó 7m de eslora como máximo, y en particular en las construidas con sandwich, es decir, a base de dos láminas de dicho material separadas interiormente por la interposición de una plancha más gruesa de "poliestireno expandido" o "styropor".

2) *Poliéster.*

   Puede ser termoplástico o termoendurente. En el primer caso está hecho a base de ácido tereftálico y glicol etilénico, y su peso específico oscila alrededor de 1,3.

   En el mercado se presenta bajo los nombres comerciales de Terital, Tergal, Terilene, Dacrón, Diolen, Wistel, etc. y tiene gran aplicación para fabricar cabos con bajo índice de alargamiento, como drizas, escotas, cinturones de seguridad, así como en la fabricación de tejidos para velas.

   Sus características más sobresalientes son su tenacidad, poco alargamiento, estabilidad dimensional y gran resistencia a la luz, salinidad e intemperie.

   Los poliésteres termoendurentes pertenecen a una familia de resinas "epoxy" que endurecen exotérmicamente al mezclarlas con un catalizador u otras sustancias adecuadas. Se emplean principalmente en la construcción de cascos de plástico reforzado con fibra (PRF), al que se dedica el Capítulo 15 de este libro)

3) *Poliestireno.*

   Polímero de estireno que se emplea en la forma expandida de baja densidad para la fabricación de flotadores, tanques estancos, guindolas y chalecos salvavidas entre otras cosas, aparte de servir de aislante en las uniones aluminio-acero, u otras con problemas similares.

4) *Polipropileno.*

   Polímero de propileno que se presenta en el mercado con los nombres de Moplen, Merakon, Heraklon, etc. cuyo peso específico es 0`91, con gran estabilidad dimensional y que es usado para la confección de cabos, redes, flotadores, etc.

5) *Politeno o polietileno.*

Resina olefínica termoplástica usada para la fabricación de tubos, bolsas, tanques y depósitos, entre otras cosas, por su elevada resistencia a los agentes químicos.

6) *Poliuretano.*

Resina sintética muy empleada por su baja densidad. La espuma de poliuretano se usa como aislante termo acústico así como para proporcionar una reserva de flotabilidad a las embarcaciones menores, e interponiéndola como material de núcleo también en la fabricación de embarcaciones (Ver Capítulo 15) entre dos láminas de PRF o de otro material, es decir, en forma de sandwich, para lo cual se emplean poliuretanos muy ligeros, de un peso específico próximo a 40 kg/m^3.

7) *P.V.C. o cloruro de polivinilo.*

Es una resina incombustible y termo soldable, caracterizada por su elevada resistencia a los agentes atmosféricos y su gran estabilidad dimensional, entre otras cuestiones. En forma rígida se emplea para paneles y recubrimientos. Como láminas flexibles, se emplea en la fabricación de balsas neumáticas pequeñas y como fibra textil, por su gran resistencia a la luz, para fundas, toldos, etc.

17.4.2 Características

A rasgos generales, las características de los plásticos adecuados a la construcción de casco de embarcaciones son:

— Su densidad es alrededor de 2/3 la del aluminio (es decir, 1,8 g/cm^3).

— Tensión de rotura equivalente a la mitad de la del acero.

— Resistencia a la cizalla o desgarramiento equivalente a la mitad de la del acero.

— Por gramo de peso, posee mayor resistencia que el acero y el aluminio.

— Resisten bien los impactos (deformándose, pero no se dejan penetrar).

— Amagnéticos.

— Incorrosibles.

— Muy moldeables.

— Al ser inelásticos rompen sin deformación previa.

17.4.3 Técnicas utilizadas en el trabajo de plásticos en la Construcción Naval

Como ya se sabe, los plásticos se obtienen a partir de monómeros o de otros polímeros naturales mediante reacciones químicas de polimerización, ya sean recciones de polimeración directa, de policondensación o de poliadición.

Para obtener piezas de buques de plástico, es preciso distinguir dos tipos fundamentales de plásticos:

— Termoplásticos.

— Resinas termoestables.

Los primeros son plásticos que se ablandan al calentarse, pero recuperan su dureza al enfriarse, lo que permite moldearlos con gran facilidad.

Los procedimientos de moldeado pueden ser por extrusión, por inyección, por soplado, por termo conformación y por rotación.

El primer método es similar al ya explicado en el caso de los metales.

Los dos siguientes métodos inyectan el plástico en un molde, pero en el segundo de ellos, es decir en el tercero, se introduce aire comprimido que ahueca el objeto.

El cuarto permite la fabricación de superficies huecas interiormente, mediante la succión por vacío del plástico calentado a un molde de una sola pieza.

Por último, el moldeo rotatorio es similar en resultados al de soplado, pero sustituye el aire comprimido por el efecto del giro del molde sobre dos ejes perpendiculares entre sí, difundiéndose el plástico uniformemente.

Por su parte, las resinas termoestables son plásticos que experimentan un fraguado, proceso similar a la vulcanización del caucho, por la acción del calor o de productos químicos determinados. Son los que se emplean para la fabricación de embarcaciones de plástico reforzado con fibra (PRF), tal como se vio en el Capítulo 15. Antes de la reacción, estos plásticos son capaces de adquirir la forma deseada por aplicación de calor o presión. Sin embargo, después del fraguado, son sustancias insolubles e indeformables aunque se sometan a temperaturas elevadas. Este tipo de plásticos es el recomendable para hacer cascos de naves, con la adición de fibra de vidrio o de otro tipo, como es la de carbono, con objeto de aumentar la resistencia a los esfuerzos mecánicos.

17.4.4 Uniones de piezas de plástico

La unión *(soldadura)* entre piezas plásticas se realiza teniendo en cuenta las características del plástico de que están hechas.

Si el material es termoplástico puede ser soldado mediante calor. El proceso ha de llevarse a cabo con cuidado para evitar deformaciones en la unión.

Si el material es termoestable, la unión se ha de hacer mediante la colocación de un tercer elemento entre las piezas a unir. Dicho elemento puede no ser plástico.

En este caso, este tercer material será pegado a una de las piezas a unir y atornillado a la otra, o bien será pegado a las dos.

Para las uniones plástico-otro material, se emplea este último método, sólo que en este caso, el elemento de unión será pegado al plástico y atornillado al otro material.

En cualquier caso, las uniones entre plásticos, sobre todo si son termoestables, no resultan demasiado satisfactorias.

17.4.5 Protección, mantenimiento, reparación

La protección de estos materiales se puede realizar en el momento de su fabricación, pues es ésta la que les puede dotar de las características que les proteja, caso de las resinas termoestables.

Sin embargo, para aquellos agentes externos que puedan dañarlos, es preciso tomar medidas.

De esta manera, la carena ha de ser recubierta de pintura anti incrustante adecuada, así como todos los materiales termoplásticos alejados de posibles fuentes de calor o revestidos de lana de roca o de otro tipo de protección contra el calor.

El mantenimiento de estos materiales se debe limitar a la observación de posibles defectos en las uniones así como revisar los lugares más sometidos a fatiga, y repararlos con un añadido del mismo material si éste es termoplástico. En caso de que se trate de una resina termoestable, lo único que se puede hacer es, en base a la experiencia, tratar de predecir y, si es posible, retrasar, el momento de la rotura del material, en cuyo caso la reparación será muy complicada y los resultados nada satisfactorios.

17.4.6 Construcción Naval en plástico

Fue por el año 1940 cuando se empezaron a aplicar los plásticos en la industria.

En ese año, la marina norteamericana empezó a usar el plástico para la construcción de botes para su personal.

Sin embargo, hasta 1.952 no se empezó a emplear el plástico en la construcción de cascos de buques mayores y en 1.957 comenzó a usarse para la construcción de cascos de yates.

Ya se vio en el Capítulo 15 la aplicación del plástico reforzado con fibra de vidrio a la Construcción Naval y el auge que está tomando esta actividad. Para fines especiales se pueden utilizar otras fibras que pueden conferir cualidades mucho más exigentes, como la fibra de carbono.

Como se vio, actualmente se emplean los plásticos para fabricar embarcaciones deportivas y de recreo, pero también se construyen cascos de buques pesqueros y, en el campo militar, dragaminas (por no activar el plástico las minas magnéticas) y otros buques pequeños.

También se emplean los plásticos en forma de paneles de recubrimiento de otras estructuras, caso de buques militares donde el plástico puede actuar de blindaje más ligero y resistente que los blindajes convencionales, se emplea también para la fabricación de timones y tanques de lastre (*soft ballast*) para submarinos, en los que la presión interior y exterior están equilibradas, etc.

Capítulo 18

Construcción de artefactos marinos y unidades para la explotación oceánica (off-shore)

18.1 Introducción. El sector de la Ingeniería Oceánica como alternativa de la Construcción Naval

El término *naval* implica en español un concepto más amplio que el mismo término en inglés, que en este caso se refiere sólo a buques de guerra, mientras que, en español el concepto de *construcción naval* engloba también la construcción del resto de buques, es decir, de todo lo que en inglés se concibe como *shipbuilding*.

Pues bien, hasta recientemente, cuando se hablaba de *CONSTRUCCIÓN NAVAL* se hacía sistemáticamente referencia a la construcción de buques con tres tipos de misiones: *transporte*, ya fuera *de mercancías* o *de personas*, *misiones de defensa,* y *actividades pesqueras*. Se puede también añadir una misión específica adicional que sería la de los buques de *salvamento,* incluyendo entre ellos los *remolcadores*.

En paralelo, además de las actividades de construcción de nuevas unidades, también se consideraban las actividades de *reparaciones* y *conversiones* de buques.

Por supuesto que, aparte de los buques propiamente dichos, ya existían otras actividades de construcción de unidades y artefactos para usos en el mar y los océanos, algunos ya muy antiguos, como los relacionados con las actividades de construcción y conservación de las infraestructuras portuarias, para lo cual se utiliza como herramental un buen arsenal de artefactos navales. Otras actividades de construcción naval estaban relacionadas con la señalización y toma de datos meteorológicos y marinos, como la construcción de buques hidrográficos para levantamiento de cartas náuticas, buques faro, boyas de señalización y con finalidades diversas, así como buques cableros destinados al tendido de cables eléctricos y de comunicaciones. Otras, en fin, se trataban de actividades de pura investigación oceánica de recursos energéticos y minerales y de recursos vivos, así como de otros aspectos científicos, actividad que se realiza desde diversidad de unidades, las cuales en muchos casos tienen que contar

con, y a la vez, servir de apoyo a otros vehículos como son los ROV (*remotely operated vehicles*, batiscafos), etc. Y de forma reciente ha surgido una imperiosa necesidad, que es el estudio de la evolución y eventual corrección de las patologías, desgraciadamente creadas o inducidas muchas veces de forma irresponsable, como en los casos de vertidos y derrames, de los parámetros del ecosistema marino, en sus aspectos medioambiental, climático, de recursos vivos, etc., para lo cual, el mar y el océano, aparte de constituir la sangre del planeta, resultan ineludibles y excelentes observatorios. Y para ello se necesita también diverso equipamiento marino específico.

Además de todo lo anterior, desde la década de los 50, la actividad de exploración y producción de hidrocarburos del fondo del mar, así como su transporte vía "pipeline", se han incrementado de forma notable, necesitándose para ello un buen número de diferentes tipos de unidades, tanto móviles como fijas dando lugar a una importante actividad de construcción, con base situada lógicamente a lo largo de la costa, que es lo que ha venido a denominarse *industria de construcción off-shore*, que por su mayor importancia, tanto en volumen económico y físico, con respecto a otras actividades oceánicas, como en demanda tecnológica y científica, ha venido a monopolizar la denominación *off-shore* o *fuera costa*, aunque la actividad industrial relacionada con el estudio y explotación de los recursos oceánicos, tiene que considerarse con mucha mayor amplitud de conceptos.

Más reciente aún, digamos que desde principios del presente siglo XXI, es el creciente interés en la explotación de las *energías alternativas marinas*, con profusión de proyectos e inversiones muy importantes, particularmente ahora en el campo de la *energía eólica marina* en varios países de Europa y en el resto del mundo. La potencia unitaria de los generadores eólicos ha aumentado de forma increíble, llegando ya a los 7 Mw, con longitudes de radio de la pala de más de 80 m, lo que exige unas torres de soportado que superan considerablemente los 100 m de altura. Dichas torres a su vez han de ser soportadas en el fondo del mar por medio de estructuras que, en el caso de bajas profundidades, suelen actualmente ser concebidas de forma similar a las estructuras tipo *jacket* utilizadas para las plataformas petrolíferas marinas fijas y, en el caso de profundidades mayores, como plataformas flotantes soportadoras del tipo *spar buoy*, amarradas bajo tensión al fondo del mar y atirantadas, o bien como plataformas semisumergibles fondeadas.

La construcción de todos estos artefactos en tierra, con importantes exigencias de tecnología y calidad, antes de ser transportados para su montaje en el mar, es también objeto de una importante y creciente actividad en muchos astilleros.

El transporte de estos elementos a su destino final, su montaje y ensamblaje, puesta en funcionamiento, conexionado entre sí y luego a tierra para transporte de la energía producida, así como el mantenimiento posterior de las instalaciones, exige disponer de

importantes flotas de barcazas, grúas y medios flotantes, incluidos los de acomodación para los trabajadores y de buques con cometidos específicos. Igualmente, se necesitan equipos de personal cualificado y habilitado para diversos tipos de trabajos marinos, siendo todo ello una importante fuente de actividad altamente generadora de valor añadido.

Pero no sólo lo mencionado; otros tipos de energías marinas esperan su turno como la de las olas, la producida por corrientes, mareas y otras. Aunque han estado desarrollándose, su aprovechamiento actual es todavía muy bajo, pero representan otra oportunidad de trabajo. También lo es sin duda la explotación de la minería oceánica, que exigirá un buen número y variedad de artefactos. Y no olvidemos las necesidades y oportunidades que puede implicar la acuicultura marina.

La necesidad de denominar de forma genérica a una gran variedad de instalaciones que, con formas, tamaños y misiones diferentes, y que, no siendo propiamente buques convencionales, operan en los mares y océanos, sugiere de forma natural utilizar el término *artefactos marinos* para referirse a las diferentes unidades de este diversificado bazar.

Es posible que, hasta no hace muchos años, esta actividad de construcción pasara desapercibida para la gran mayoría de los astilleros tradicionales de nuestro entorno, posiblemente debido a varias razones:

— En sus primeros años era una actividad de escaso volumen en comparación con la actividad habitual en la construcción naval clásica.

— Las primeras actividades de exploración y explotación de los recursos de hidrocarburos del mar surgieron de forma natural por extensión del trabajo que se estaba realizando en tierra: las primeras unidades off-shore se idearon para poder seguir trabajando, una vez que, avanzando hacia las reservas de hidrocarburos, se sobrepasaba la línea de costa en la playa adentrándose en dirección al mar. No era una actividad propiamente marina, sino ligada con la ingeniería de minas y, en todo caso, con la ingeniería de obras civiles. Es por ello, probablemente, por lo que las primeras unidades off-shore tuviesen poco parecido con los barcos y se construyeron donde se pudo, a veces en las playas. Los astilleros y la ingeniería naval como tal tardaron bastante tiempo en hacerse cargo de esta actividad.

Sin embargo, actualmente la explotación del océano necesita cada vez más de los astilleros, ya sean concebidos y organizados específicamente o transformados a partir de otros existentes. Las razones son:

— Las operaciones a mayores profundidades y mayores distancias de tierra necesitan unidades con mayor autonomía y, por tanto tamaño, para cuya construcción resultan idóneas, normalmente, las instalaciones de los astilleros, aunque necesiten adaptarse previamente.

— Las recientes experiencias demuestran que las unidades off-shore, construidas en acero y con forma de buque, resultan en general ventajosas con relación a otros conceptos de plataforma, precisamente en función de lo indicado en el punto anterior.

— La necesaria calidad del trabajo puede cumplirse más fácilmente en una instalación industrial del tipo de un astillero.

Por otra parte, debido a la complejidad de los proyectos y a la calidad exigida, el precio del trabajo suele ser bastante más alto que comparativamente en la construcción naval tradicional. Por ello, los astilleros del entorno de los países más desarrollados pueden tener más oportunidades de competir en este mercado.

Sin embargo, como se verá en los puntos que siguen, aunque hay ciertos aspectos comunes con la construcción naval, como son los correspondientes a la tecnología y medios necesarios para la construcción de grandes conjuntos en acero: talleres de corte, soldadura, prefabricado de bloques y conjuntos estructurales e instalaciones para puesta a flote, se trata de una industria y negocio e diferentes, con distinto tipo de clientes, formas de contrato y de negociación, formas de planificación, formas de organización y de control del trabajo y, además con mucha mayor exigencia de calidad.

Pero, por otra parte, tal como se indicó en el punto anterior, la tecnología de la construcción naval y, en particular, la dedicada a la fabricación de las estructuras de acero, es perfectamente aplicable para la construcción off-shore, tal como se realizó en ASTANO, cuyas experiencias en este campo en la construcción de plataformas con flotador en forma de buque, y de plataformas semisumergibles, se describen a continuación.

En el primer caso, la exposición se centra fundamentalmente en poner en manifiesto las diferencias de la construcción off-shore con la construcción típica de barcos. En el segundo caso, el de las plataformas semisumergibles, se exponen las particularidades de la construcción de estructuras de acero que, a diferencia de las habituales en buques, tienen otras formas y otras dificultades, como son las estructuras tubulares de columnas y contretes. Igualmente se exponen las particularidades de su puesta a flote por botadura. Tanto en uno como en otro caso, se exponen diferentes aspectos organizativos, en comparación con los de la construcción naval típica.

La variedad de artefactos y unidades para explotación oceánica, que se podrían englobar en un muy amplio campo de tecnologías, denominado Ingeniería Oceánica, es muy grande. Al final se expone una relación y dibujos de varios tipos de estas unidades que se han construido, o se pueden construir en astilleros, para las cuales se han realizado estudios de diversas alternativas de posibilidad de construcción, tal como se puede observar en dichos dibujos.

18.2 La Construcción Off-shore. Diferencias con la Construcción Naval

Se ha recogido la experiencia de un astillero dedicado inicialmente a la Construcción Naval convencional, que se transformó en otro dedicado a la construcción de unidades para exploración y explotación off-shore de hidrocarburos, liderando proyectos innovadores.

Las diferencias se contemplan desde el punto de vista de cliente y de producto así como en el proceso de desarrollo de ingeniería, el proceso constructivo y los plazos de construcción, que son en general más rígidos y críticos, profundizando en dos temas de importancia capital en la construcción off-shore:

— La certificación y reglamentación aplicable.

— El sistema de calidad.

Referente a la certificación y reglamentación se insiste en la necesidad de aclarar con todo detalle, y en función de los certificados de entrega, todas las Regulaciones aplicables que incluyen no sólo los certificados típicos de buque emitidos por las Sociedades de Clasificación, sino las Regulaciones específicas de estas Sociedades para unidades off-shore y las Regulaciones específicas off-shore emitidas por otros organismos. El problema habitual es la interpretación y coordinación de los requerimientos de todas estas Regulaciones en el reducido tiempo disponible para el desarrollo del proyecto off-shore.

Referente al Sistema de Calidad se insiste en los requerimientos de norma ISO 9000-2000 que son más críticos en la construcción off-shore (revisiones de diseño, interfaces, análisis de no conformidades, trazabilidad, control de subcontratistas, etc.).

La evolución de estos artefactos ha ido ligada (partiendo de la instalación típica terrestre) al paulatino incremento de separación de la costa, resolviendo paso a paso los problemas planteados por la mayor profundidad de la lámina de agua.

Se puede hacer una clasificación básica de estos artefactos, atendiendo a dos criterios principales:

A) POR TIPO DE TRABAJO	DE PERFORACIÓN	DERRICK (TORRE) VARILLAS LODOS RISER		
	DE PRODUCCIÓN	SEPARACIÓN DE GAS Y AGUA DEL CRUDO		
	FPSO	"FLOATING PRODUCTION STORAGE AND OFFLOADING"		
B) POR PROFUNDIDAD DE LÁMINA DE AGUA	FIJOS < 120 m	"JACKETS" Y "JACK UPs"		
	FLOTANTES	< 600 m SEMISUMERGIBLES O BUQUES ANCLADOS (SIST. PASIVO)	"DRILLMAR" PERFOR – 450 m	
			"ALBA" (ALMACÉN, 138 m)	
		< 1500 m SEMISUMERGIBLES O BUQUES ANCLADOS CON ATA O DP (SIST. ACTIVO)	"GRIPHON" FPSO – 109 m	
			"FOINAVEN" FPSO – 540 m	
			"CAPTAIN" FPSO – 104 m	
		> 1500 m BUQUE DP SIN FONDEO	"SONAT" PERFOR – 2134 m	

Tabla. 18.1 Clasificación de artefactos off-shore.

18.3 Plazos de construcción más rígidos y críticos. Hitos en la construcción de un artefacto off-shore tipo FPSO

El plazo requerido para una unidad flotante de producción y carga de crudo (FPSO), con una capacidad de almacenamiento de unos 700.000 barriles (aproximadamente 110.000 m^3) es de dos años, desde la fecha de contrato hasta su entrega al cliente.

Este plazo, que puede parecer no muy reducido a primera vista, se convierte en crítico, cuando se analizan los hitos de construcción de un proyecto off-shore de este tipo.

Hitos en la de construcción de un artefacto off-shore tipo FPSO

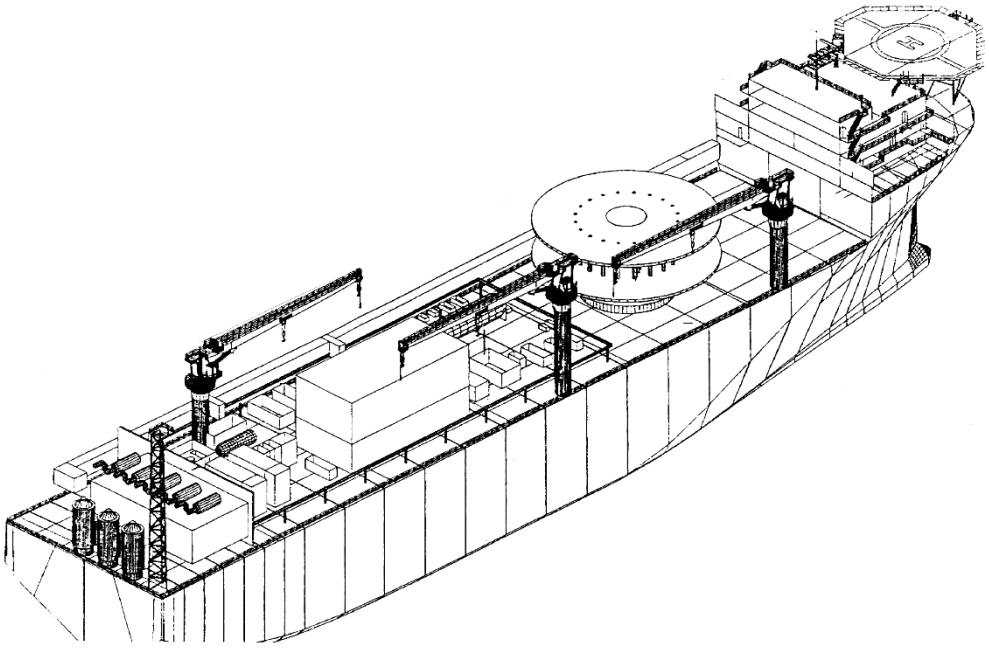


Fig. 18.1 Vista isométrica del FPSO Captain.

En un buque convencional se manejan como hitos principales de construcción:

— Entrada en vigor del contrato (EC).

— Comienzo de corte de acero (CC).

— Puesta de quilla (PQ).

— Botadura o puesta a flote (BO).

— Entrega al cliente (EN).

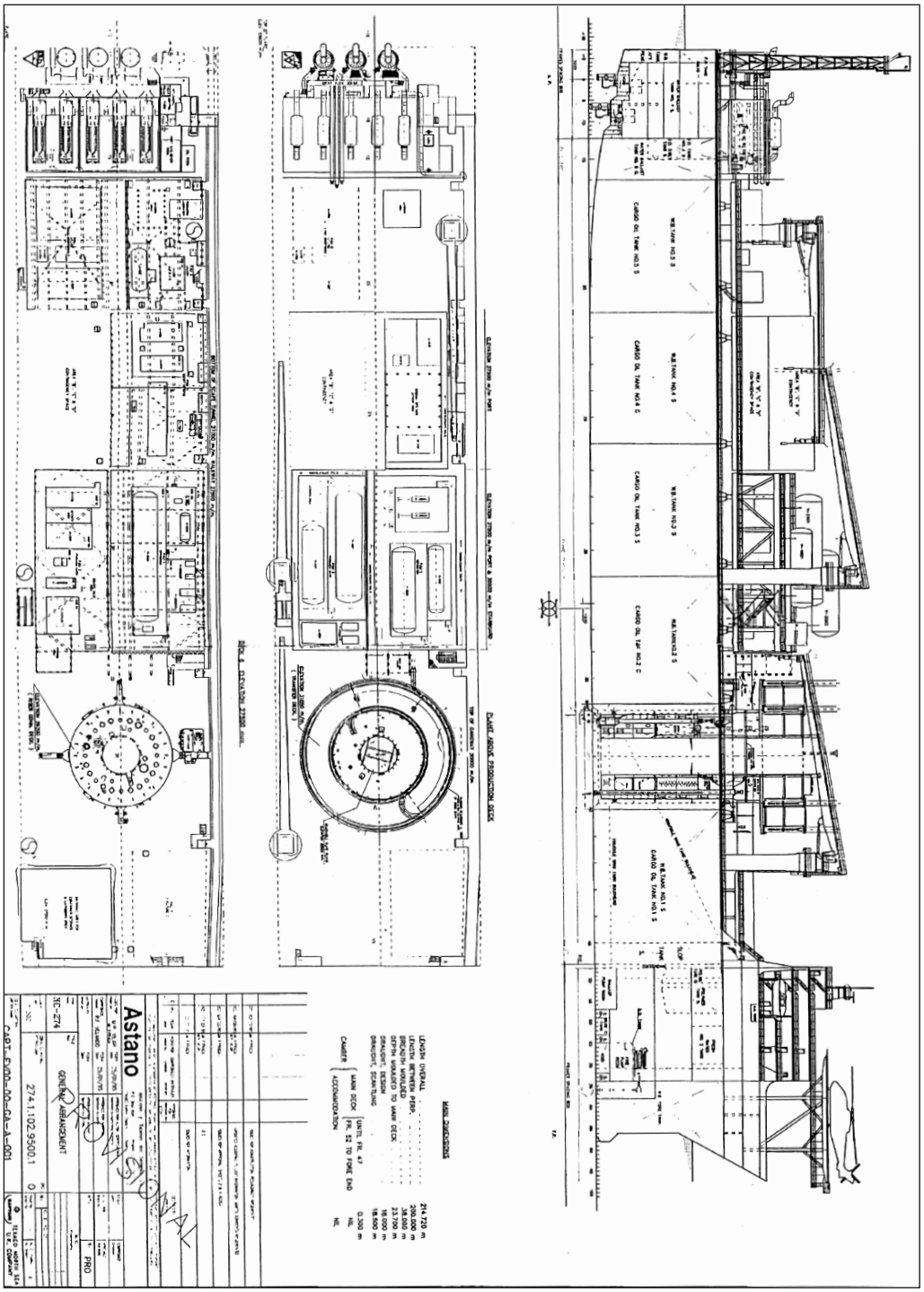


Fig. 18.2 Sección longitudinal de FPSO y vistas en planta de cubiertas alta e intermedia, con los módulos (“preassembled units” o “top-sides”) de producción y parte alta de “turret”.

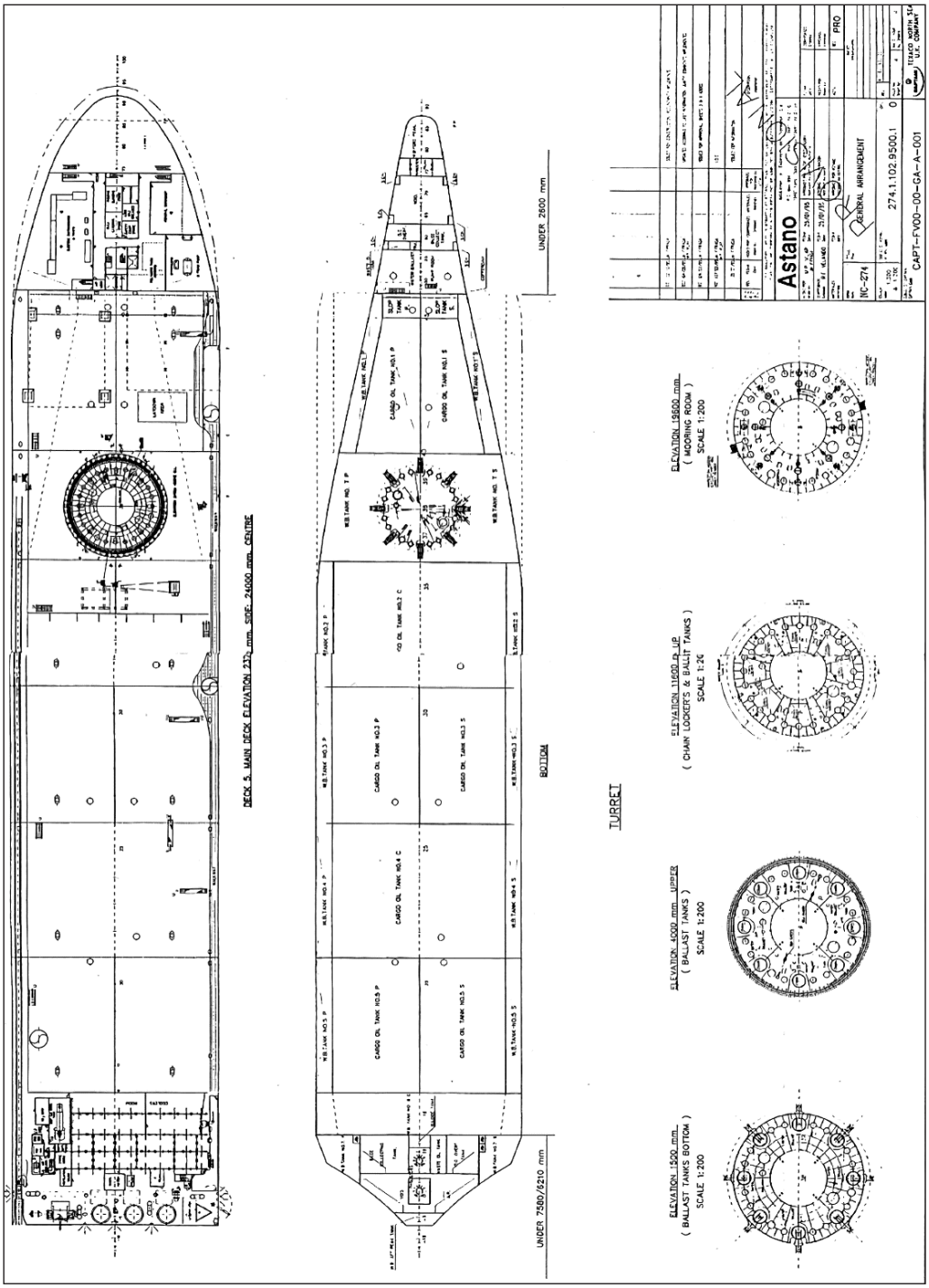


Fig. 18.3 Cubierta principal de FPSO y disposición en horizontal de los tanques de almacenamiento de crudo y laterales de lastre. En la parte baja: secciones de la "turret".

Sin embargo, las unidades tipo FPSO tiene tres partes perfectamente diferenciadas, en función de las distintas tecnologías necesarias, tanto para la elaboración de su diseño y proyecto, como para llevar a cabo su construcción. Estas tres partes son:

a) *El buque o flotador con sus servicios asociados,* que incluye el módulo de acomodación con su helipuerto.

b) *El sistema de fondeo o posicionamiento* que, por sus peculiaridades de diseño, tiene gran influencia en la construcción de la zona del buque donde va instalado.

c) *La planta de producción o de proceso,* constituida normalmente por varias unidades de montaje ("preassembled units" o PAUS) diseñadas para ir sobre la cubierta del buque, que se pueden incorporar a ella antes del lanzamiento de la unidad.

Por tanto, de acuerdo con esta subdivisión, será necesario intercalar entre los hitos enumerados anteriormente, típicos para un buque convencional, los correspondientes al sistema de *fondeo/posicionamiento* y *planta de producción*, que sean significativos desde el punto de vista de coordinación con la construcción del artefacto en el astillero. Así, normalmente, se consideran los siguientes:

— *Comienzo de fabricación de los módulos de producción.*

— *Comienzo de fabricación del sistema de posicionamiento/fondeo.*

— *Comienzo de instalación a bordo de los módulos de producción.*

— 7 meses desde PQ hasta BO.

— 5 meses desde BO a EN.

Suponiendo que el *diseño básico de la planta de producción* comienza con la entrada en vigor del contrato, la fabricación de PAUS debe comenzar al finalizar el mes 7, es decir, un mes después del comienzo de corte del buque.

El comienzo de fabricación de la *turret* de fondeo, debe ser en el mes 9, es decir, unos 2,5 meses después de CC.

El comienzo de la instalación a bordo de los PAUS debe ser en el mes 18, es decir, 2 meses antes de la botadura (BO).

Partiendo del plazo de 24 meses desde la entrada en vigor del contrato, hasta la entrega, es normal prever los siguientes plazos parciales.

— 6 meses desde EC hasta CC.

— 6 meses desde CC hasta PQ.

Veamos lo que este plan de trabajo implica para las actividades más importantes de la construcción del artefacto:

A) *Primer período. Comienzo de corte a los 6 meses de EC.*

Este período fuerza a Ingeniería a realizar una definición muy rápida de la cuaderna maestra y primeros planos de hierros (o de escantillonado).

Para poder comenzar el corte al final del mes 6, es necesario tener el acero en el astillero a comienzos de ese mes y, por tanto, pedirlo unos 2 a 3 meses antes (dependiendo del plazo de entrega de las acererías). Esto significa que en el mes 3 al 4 es necesario emitir el primer pedido de acero. Como en el mes 3 al 4 aún no está muy desarrollada la *Ingeniería Básica de Aceros*, hay que adelantar la aprobación por la Sociedad de Clasificación y cliente de los planos básicos (cuaderna maestra y primeros de escantillonado) para, a partir de ellos, preparar el primer pedido a la acería. Este problema es parecido en el buque convencional, pero el cálculo estructural del artefacto off-shore es más sofisticado y, por tanto más lento.

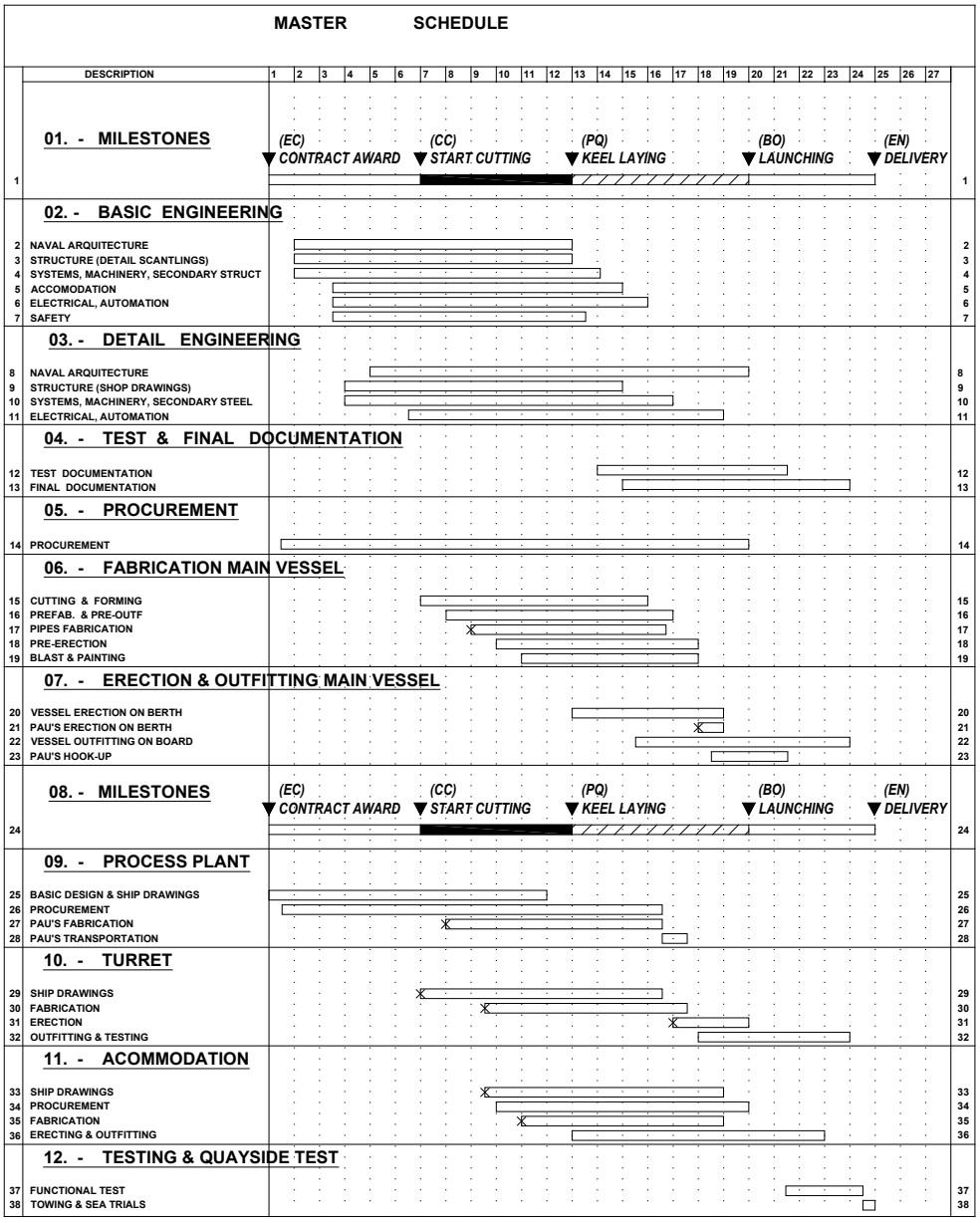


Fig. 18.4 Plan maestro para la construcción, botadura y pruebas sobre amarras de un FPSO. Debajo: planificación para diseño y construcción de la planta de procesado (PAUS), construcción de la turret y habilitación.

B) *Segundo período. Puesta de quilla al finalizar el mes 12.*

Este período obliga a Ingeniería a adelantar el *armamento,* para poder realizarlo anticipadamente, a fin de poder llevar a la grada un significativo número de bloques con su armamento incorporado.

En estos primeros 12 meses se debe realizar el grueso de toda la ingeniería.

Para poder conseguir este adelanto del armamento, la fabricación de tubos debe comenzar el mes 9, con lo que la información técnica de equipos y los datos principales de los suministradores deben recibirse en el astillero con antelación.

Es importante resaltar que, frecuentemente, es más crítica la recepción de la información técnica definitiva de los equipos que los equipos en sí, por lo tanto en este segundo período es crítico también que aprovisionamientos consiga toda la información necesaria de los respectivos pedidos.

El comienzo de fabricación de PAUS debe ser en el mes 8, con lo que se requiere finalizar antes la ingeniería básica y de detalle de los primeros PAUS.

El comienzo de fabricación de la turret es en el mes 9, con comienzo de su ingeniería de detalle en el mes 7, mes en el que la ingeniería básica de esta zona, (zona de cálculo complicado) no estará finalizada.

C) *Tercer período: de PQ a BO, 7 meses de grada.*

Típico período crítico para Producción, con montaje de todos los bloques en la grada.

Montaje de los PAUS en la grada en el mes 18, después del transporte previo al astillero.

Montaje de la turret en la grada en el mes 17.

Finalización de la *fabricación del módulo de acomodación* en el mes 19, un mes antes de BO.

Para la ingeniería es un período crítico para poder finalizar la *ingeniería de detalle* y preparar la *información de pruebas.*

D) *Cuarto período: de BO a EN: 5 meses.*

Período crítico para Producción, con *finalización del armamento a bordo y pruebas funcionales a partir del mes 21 y pruebas de mar en el mes 24*. Para la Ingeniería, período crítico para preparar la documentación final de entrega, que en estos artefactos es mucho más voluminosa que en los buques convencionales (mucho mayor cantidad de planos *AS BUILT*, planos que deben reflejar las últimas modificaciones realizadas en la obra).

E) *Plan de Ejecución del proyecto.*

Por su mayor complejidad, el proyecto off-shore hace indispensable un sistema de gestión que garantice la ejecución del proyecto dentro del presupuesto, con el nivel de calidad especificado y en el plazo convenido.

Una herramienta primordial de este sistema de gestión es el llamado *PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO*. Este plan está constituido por uno o varios documentos emitidos al comienzo del mismo y que definen el alcance del trabajo, el *Sistema de Organización*, la *Planificación* y los *recursos necesarios*, los *Procedimientos de Trabajo* y la *Estrategia* y asignación de los sistemas constructivos más adecuados para la ejecución del trabajo.

El índice de este PLAN suele ser el siguiente:

1) *Alcance del trabajo del astillero.*
2) *Organización del proyecto.*
3) *Planificación y control del proyecto.*
4) *Administración y control del coste.*
5) *Gestión de Calidad.*
6) *Ingeniería.*
7) *Aprovisionamientos.*
8) *Estrategia constructiva. Subdivisión en bloques y secciones.*

(Hay que advertir que, aunque en este apartado, se hace referencia a un proyecto off-shore, los modernos sistemas de construcción de buques, sobre todo cuando se trata de buques con cierta complejidad, consideran los mismos criterios).

REGLAMENTACIÓN TÍPICA DE BUQUES O BUQUES "ESPECIALES" (OIL PROD & STORAGE VESSELS)	A1 CLASS (SHIPS) A2 FLAG INTERNATIONAL (SOLAS, LINEAS DE CARGA, MARPOL, ETC.) IMO, MODU
REGLAMENTACIÓN "MOU" DE SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN MOBIL OFFSHORE UNITS	
(NDT, POSMOOR, OIL PRODUCTION PLANT)	
REGLAMENTACIÓN DE DEPARTAMENTOS DE ENERGÍA Y PETRÓLEO	
MAR DEL NORTE	DEN INGLES – SI289—COF -> HSE (SAFETY CASE)* NPD NORUEGO
(DELEGACIÓN EN SOC. DE CLASIFICACIÓN)	
REGLAMENTACIONES MARÍTIMAS ESPECIALES DEL PAÍS DE LAS AGUAS JURISDICIONALES DONDE SE INSTALE EL CAMPO	
MAR DEL NORTE	DOT INGLES NMD NORUEGO (2º FILTRO DE APROBACIÓN DEL ARMADOR)
(NO DELEGAN EN SOC. DE CLASIFICACIÓN)	

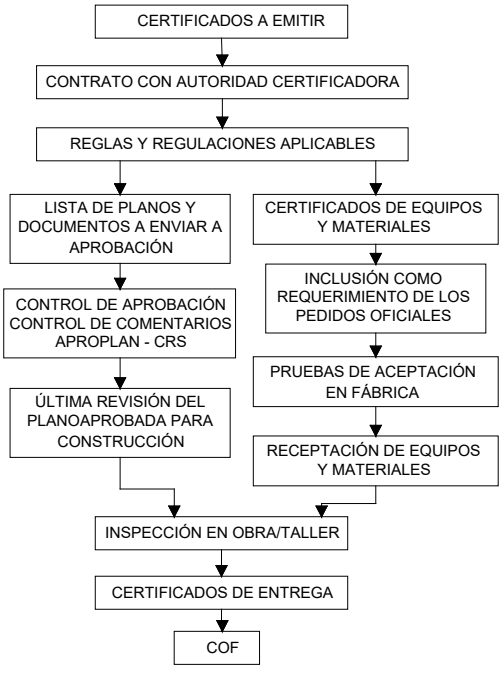


Tabla 18.2 Reglamentación aplicable a un artefacto "off-shore".

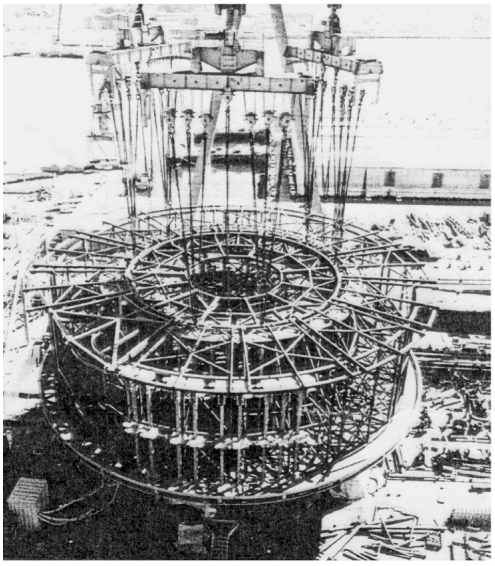


Fig. 18.5 Montaje de la torreta (“turret”) - 1.

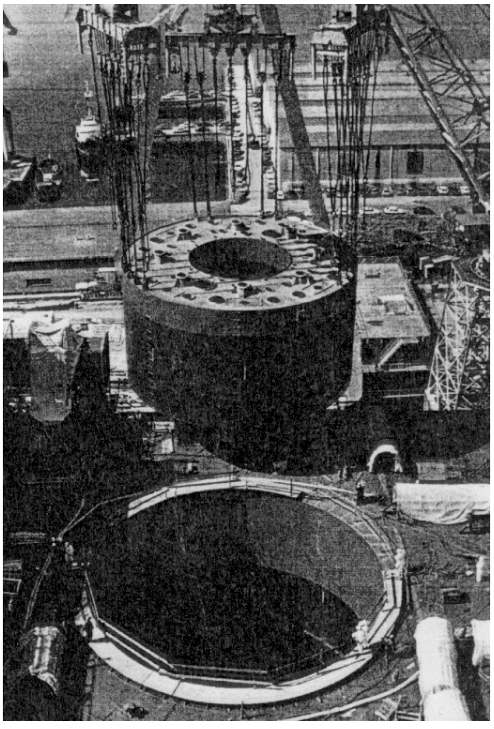


Fig. 18.6 Montaje de la torreta (“turret”) - 2.

18.4 Construcción de una plataforma semisumergible

18.4.1 Descripción y características de la plataforma

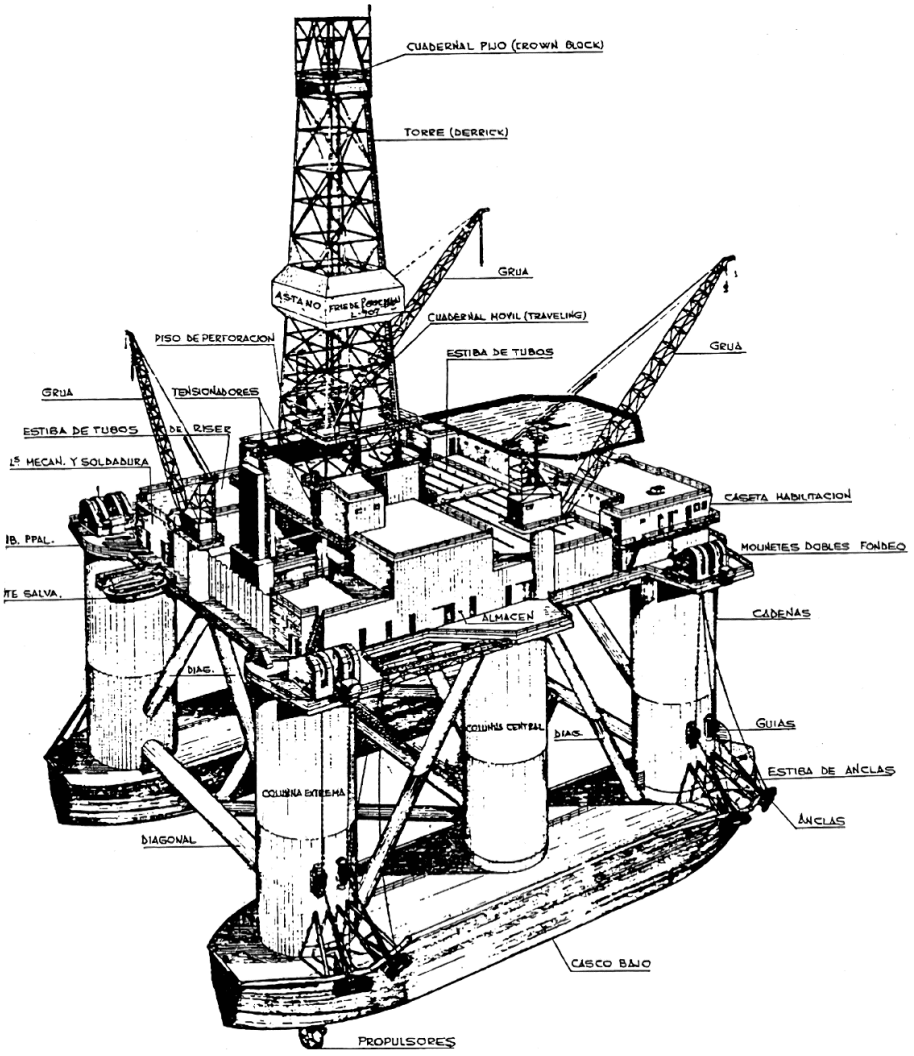
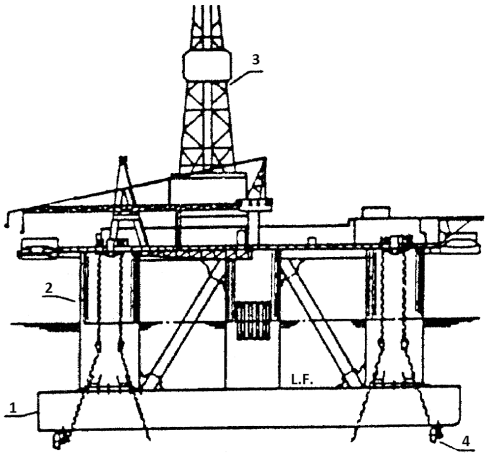
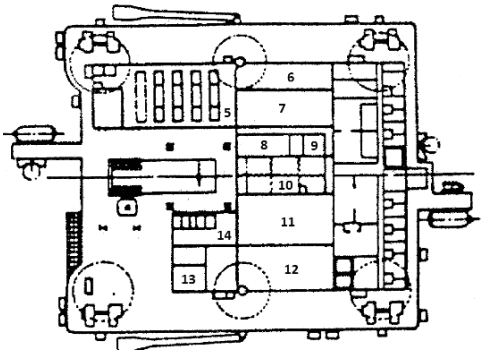


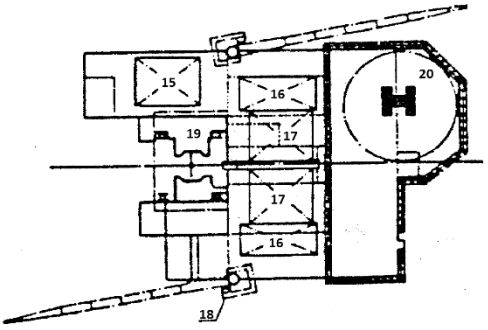
Fig. 18.7 Plataforma semisumergible tipo Friede & Goldman L-907. Componentes principales.



OUTBOARD PROFILE (PERFIL)



MAIN DECK (CUBIERTA PRINCIPAL)



UPPER DECK (CUBIERTA SUPERIOR)

1. Casco bajo
2. Columna
3. Torre de perforación
4. Propulsor
5. Cámara generadores
6. Cámara maquinaria auxiliar
7. Cámara S.C.R.
8. Cámara control BOP
9. Cámara control lastre
10. Balsas de lodos
11. Cámara bombas lodos
12. Almacén de sacos
13. Cámara generador emergencia
14. Cámara tratamiento de lodos
15. Estiba tubos entubado del pozo
16. Estiba del conductor submarino
17. Estiba tubos de perforación
18. Grúa de cubierta
19. Cubierta inferior
20. Helipuerto

Fig. 18.8 Plataforma semisumergible tipo F&G L- 907. Disposición esquemática con localización y listado de espacios principales.

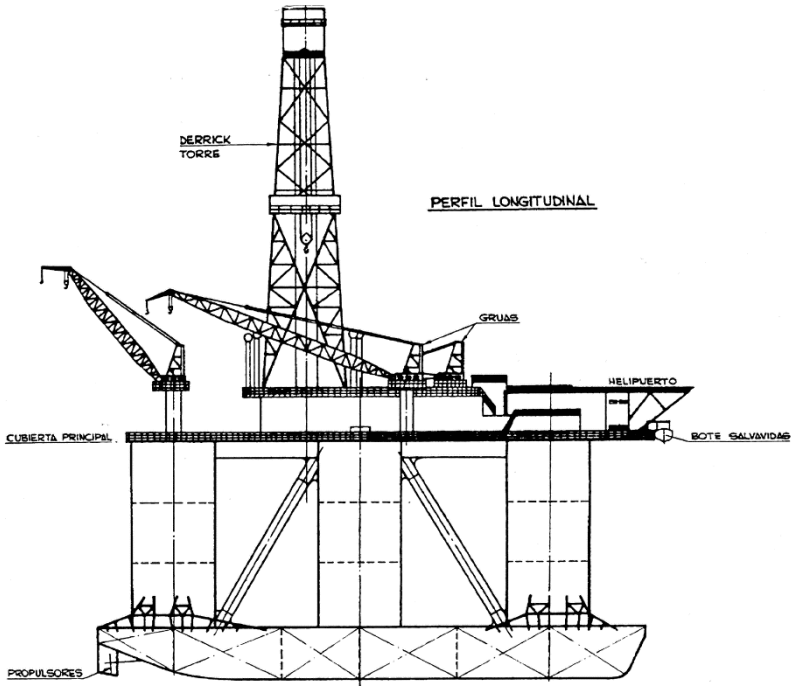


Fig. 18.9 Plataforma semisumergible tipo F&G L-907. Perfil longitudinal.

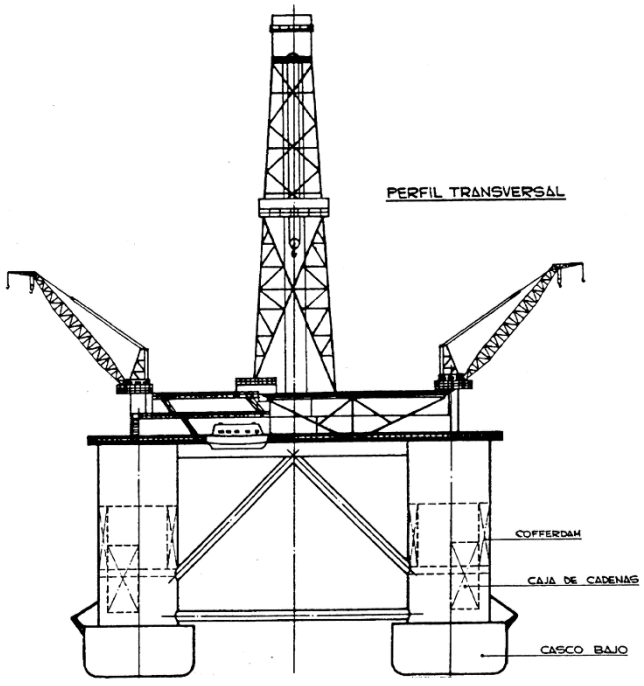


Figura 18.10 Plataforma semisumergible tipo F&G L-907. Perfil transversal.

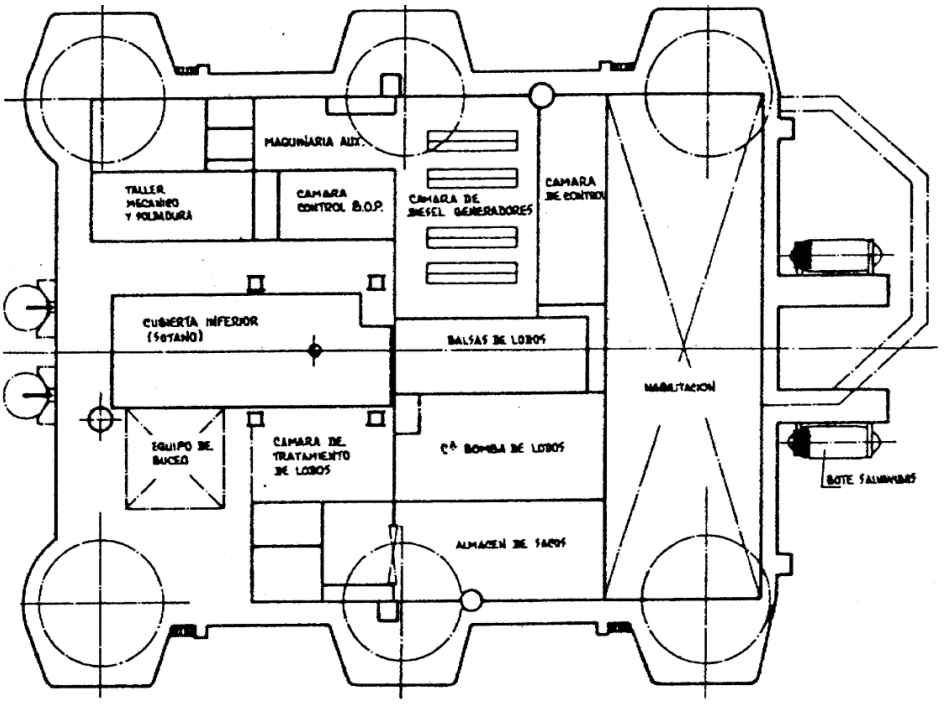


Fig. 18.11 Plataforma semisumergible tipo F&G L-907. Cubierta principal.

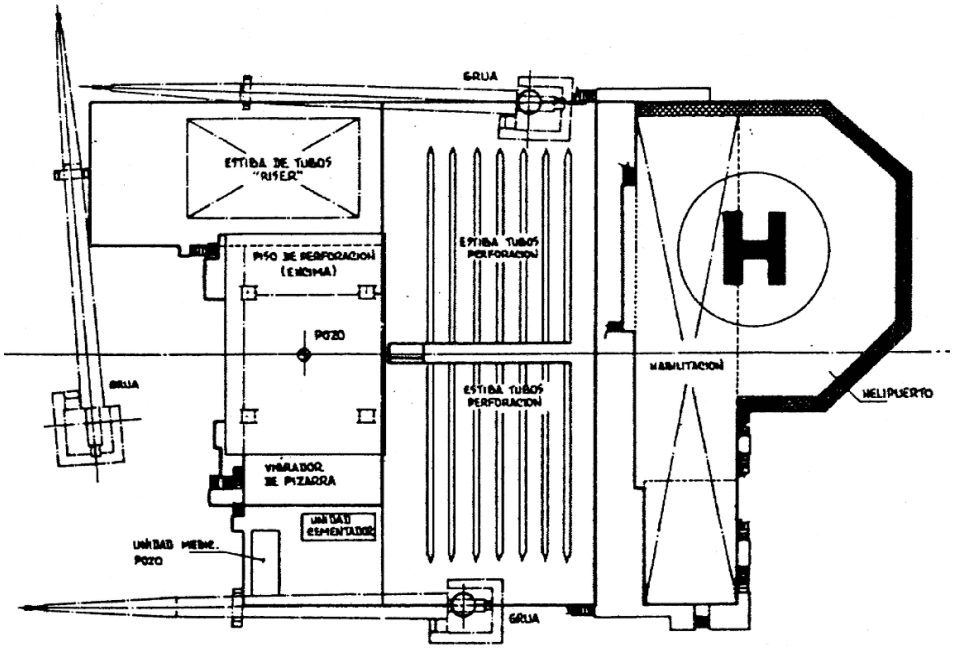


Fig. 18.12 Plataforma semisumergible tipo F&G L-907. Cubierta superior.

SEMI-SUBMERSIBLE DRILLING RIG / ACCOMMODATION UNIT L-907

(PLATAFORMA DE PERFORACIÓN SEMISUMERGIBLE / UNIDAD DE ACOMODACIÓN L-907)

1. Principal Characteristics (Características principales)

Overall Lenght (Eslora Total)	260' – 0'' (79,2 m)
Beam Overall	203' – 4'' (62,0 m)
Height, Keel to top of main deck (altura a cubierta principal)	116' – 0'' (35,4 m)
Lower Hulls (2) (Cascos bajos)	
Length of Hull (Eslora total)	260' – 0'' (79,2 m)
Beam (Manga)	53' – 4'' (16,3 m)
Depht of Hull (Puntal del casco)	25' – 0'' (17,62 m)
Destance of C.L. to Center of Hull (Distancia a L.C. de Centro Cascos)	75' – 0'' (22,8 m)
Caissons (6) (Columnas)	
Corners (4) diameter (Diámetro Extremos)	38' – 00'' (11,6 m)
Center (2) diameter (Diámetro Centrales)	35' – 00'' (10,7 m)
Elev. Of Top above Keel (Nivel superior sobre quilla)	116' – 00'' (35,4 m)
Quarters Accommodation (Alojamientos Tripulación)	100 Men (Hospital incl.)

2. Certification (Certificación)

Hull (Casco)	Classification Society	American Bureau of Shipping
	Class	A1 – Column Stabilizec Drilling Barge
	Restrictions	None

3. Design Operating Conditions (Condiciones Operacionales de Diseño)

	Transit (Tránsito)	**Storm (Tornado)**	**Drilling (Operacional)**
Draft (Calado)	23' – 0'' (7,0 m)	50' (15,2 m)	65' (19,8 m)
Displacement (Desplazamiento)	15.500 LT (15.256 TM)	22.500 LT (22.145 TM)	25.400 LT (25.000 TM)
Variable Dek Load (Carga Variable en Cubierta)	2.500 LT (2.460 TM)	3.500 LT (3.445 TM)	4.000 LT (3.937 TM)
Wind Speed (One minute average) (Velocidad del viento) (Promedio 1 min)	100 Knots (Nudos)	100 Knots (Nudos)	75 Knots (Nudos)
Wave Height (Maximum) (Altura de Ola)	30' (9,14 m)	100' (30,5 m)	50' (15,25 m)
Current Speed (Velocidad de corriente)	-	-	3 Knot (Nudos)

4. Mooring Systems (Sistemas de Fondeo)

Design Water Depth (Prof. de agua)		1.500' (457,2 m)
Mooring Lines (Líneas de fondeo)	Number	8
	Chain Size (Diámetro cadena)	3'' – (75 mm)
	Length Each (longitud unitaria)	4.500' (1.370 m)

5. Storage Capacities (Capacidad de Almacenamiento)

Upper Deck (Cubierta superior)		
Pipe Racks (estiba de tubos)	Area	6.240 ft^2 (426 m^2)
	Total Weight (Peso Total)	2.184.000 lb (991 TM)
Open Deck (Zona abierta)	Area	4.590 ft^2 (580 m^2) / 3.120 ft^2 (290 m^2)
	Loading (Carga)	250 lb/ ft^2 (1,22 TM/m^2) / 350 lb/ ft^2 (1,71 TM/m^2)
Main Deck (cubierta principal)		
Open Deck (Zona abierta)	Area	1.951 ft^2 (181 m^2)
	Loading (Carga)	250 lb/ ft^2 (1,22 TM/m^2)
Spider Deck (cubierta intermedia)	Area	2.261 ft^2 (210 m^2)
	Loading (Carga)	250 lb/ ft^2 Plus 100 LT - (1,22 TM/m^2 más 102 TM)
Bulk and Sack Stowage (Pañoles para granel y sacos)	Bulk (granel)	22.800 ft^3 (645 m^3)
	Sack (Sacos)	8.000 Sacks (Sacos)
Liquids on main deck and Caissons (Líquidos en la Cubierta Principal y Columnas)	Drilling Mud (Lodo Perforación)	8.700 ft^3 (246 m^3)
	Fuel Oil	325 Bb ls (52 m^3)
	Lube Oil (Aceite Lubricante)	130 Bb ls (21 m^3)
Galley Supplies (Gambuza)		
	Refrigerated (refrigerada)	1.800 ft^3 (51 m^3)
	Dry Store (Carga seca)	1.150 ft2 (107 m^2)
Lower Hulls (Cascos bajos)		
	Fuel Oil	10.300 Bb ls (1.638 m^3)
	Drill Water (Agua perforación)	16.900 Bb ls (2.687 m^3)
	Ballast (lastre)	57.800 Bb ls (9.190 m^3)
	Potable Water (Agua potable)	2.000 Bb ls (318 m^3)
Caissons (Columnas		
	Ballast (Lastre)	21.500 Bb ls (3.419 m^3)

6. Damage Stability (Estabilidad en Averías)

Barge meets one (1) compartment standard of ABS for all compartments in all operating conditions.

(La plataforma dispone de un compartimentado standard de acuerdo con ABS, para todas condiciones operacionales)

DRILLING EQUIPMENT

— Derrick (Torre)
Height 160 ft, base 40 ft x 40 ft, rated 1.300 kips
(Altura 48,7 m, base 12,2 m x 12,2 m, para 590 Tm)
— Drawwork (Cabestrante)
Rated for 25.000 ft of drill pipes (para 7.620 m de tubos de perforación)
— Rotary Table (Mesa rotatoria)
49.5 inch rotary with 800 hp motors (Rotatoria de 1.160 mm y motor de 800 hp)
— Mud Pump (Bomba de Lodos)
Two mud pumps 1.600 hp, 7 ½" x 12", withtwo 800 hp motors (dos bombas de lodos de 1.600 hp, 188 x 300 mm con dos motores de 800 hp
— Blowout Preventer (Válvula de Seguridad del Pozo)
Complete 18 ¾" BOP Stack, 10.000 psi working pressure (Módulo complete de obturación de 700 kgs/cm^2 de presión de trabajo)

MISCELLANEOUS EQUIPMENT

— Deck Cranes (Grúas de Cubierta)
Two 120 ft boom cranes and one 80 ft boom crane (Dos grúas de 36,5 m de pluma y una de 24 m)
— Electric Power System (Potencia Eléctrica)
Two 2.100 Kw and two 1.650 Kw 600 V Diesel Generators (Dos generadores diesel de 2.100 Kw y dos de 1.650 Kw a 600 V
— Anchor and Mooring Equipment (Molinetes de Amarre y Fondeo)
Four anchor chain windlasses with eight 3" chain super oil rig quality (Cuatro Molinetes Dobles de Fondeo para Cadena de D = 75 mm, Calidad O.R.Q.)

18.4.2 Disposición del lanzamiento

Entre las circunstancias que más condicionan la construcción de un artefacto marino está la forma en que se va a poner a flote, lo cual puede ser hecho por medio de su botadura o lanzamiento dinámico en gradas, como fue el caso que ahora nos ocupa.

La construcción sobre gradas de la estructura de una plataforma semisumergible del tipo descrito admite múltiples alternativas que se pueden resumir en las tres siguientes:

1. Construcción y posterior botadura de los cascos bajos independientemente, es decir, tratados como buques, incluyendo o no alguna parte correspondiente a columnas y contretes.

   Esta alternativa exige la unión de ambos cascos a flote así como la finalización de columnas, contretes, cubierta principal y estructuras sobre ella en dicha situación.

2. Construcción y posterior botadura de los cascos bajos unidos por los contretes horizontales, con un cierto grado de construcción de columnas y otros contretes.

Esta alternativa exige la finalización de columnas, contretes, cubierta principal y estructuras sobre ella, a flote.

3. Construcción y posterior botadura de la estructura completa de la plataforma.

   Esta alternativa mantiene el concepto de construcción de buques en grada, en los que se realiza el proceso de montaje de los bloques de la estructura en la grada, con su armamento anticipado incorporado, y durante la etapa posterior, a flote, se completa el armamento y las pruebas de astillero.

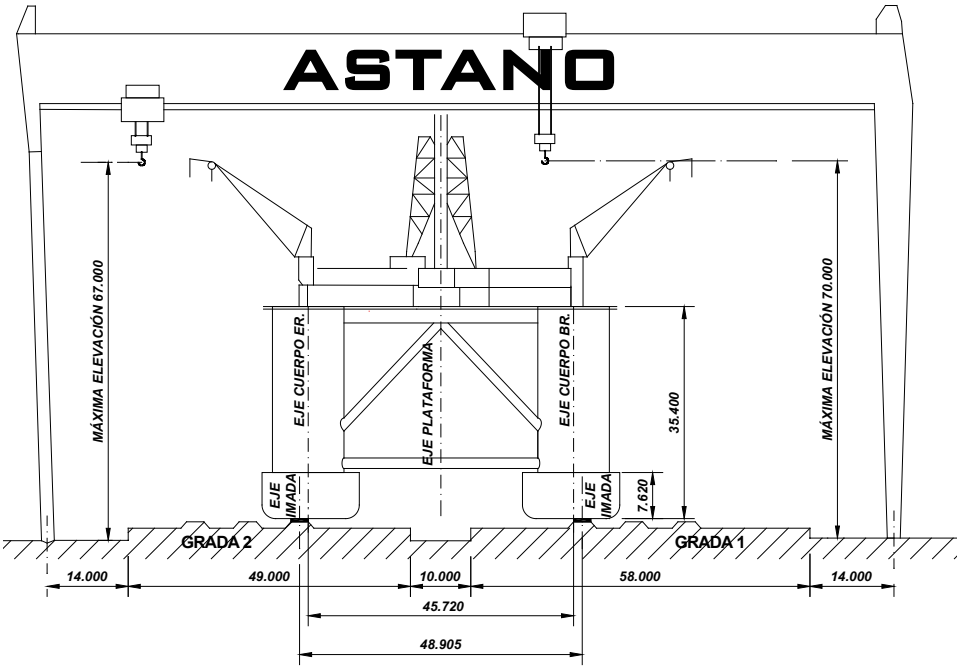


Fig. 18.13 Vista transversal de la plataforma semisumergible L-907 sobre las dos gradas de ASTANO, bajo la grúa pórtico de 800 Tn.

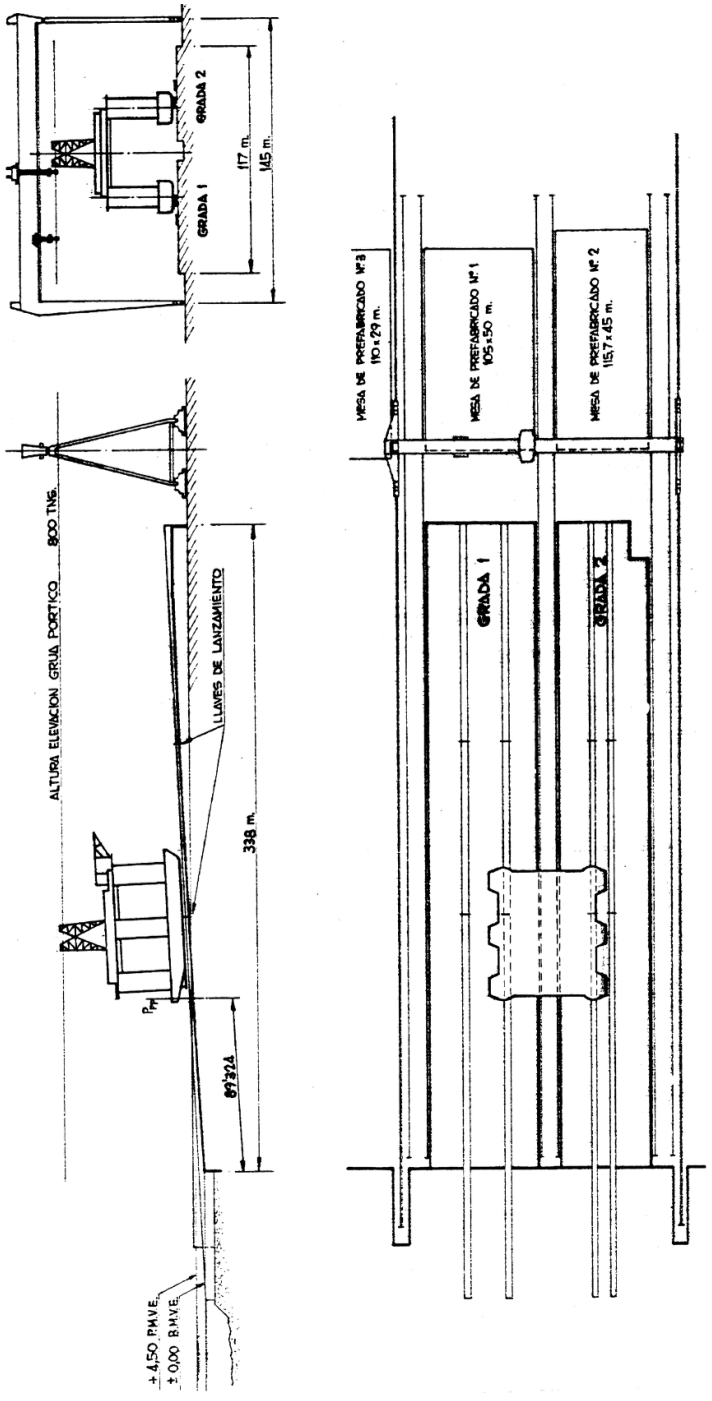


Fig. 18.14 Disposición de la plataforma semisumergible L-907 sobre las dos gradas de ASTANO.

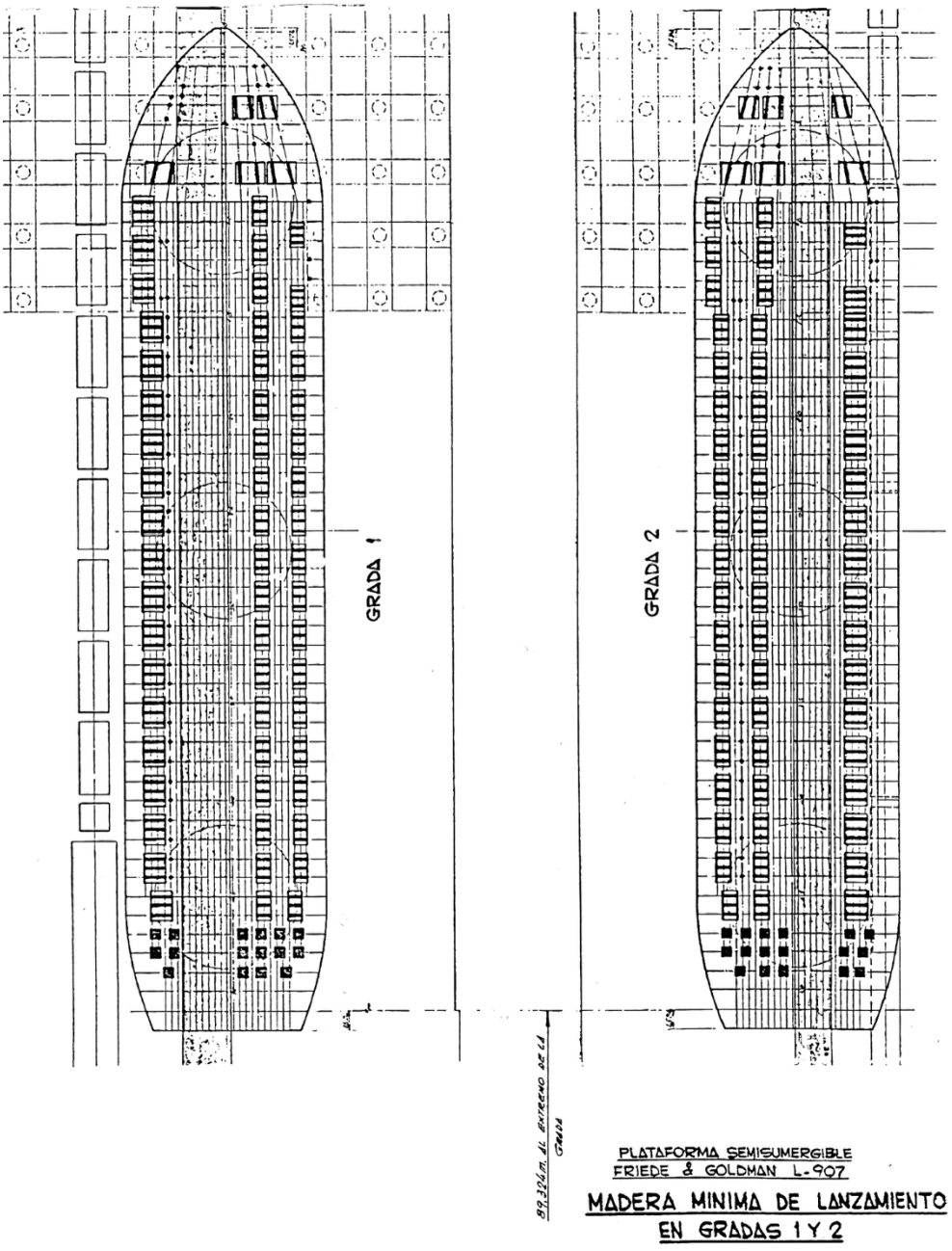


Fig. 18.15 Madera mínima para el lanzamiento de la plataforma semisumergible L-907 en las dos gradas de ASTANO.

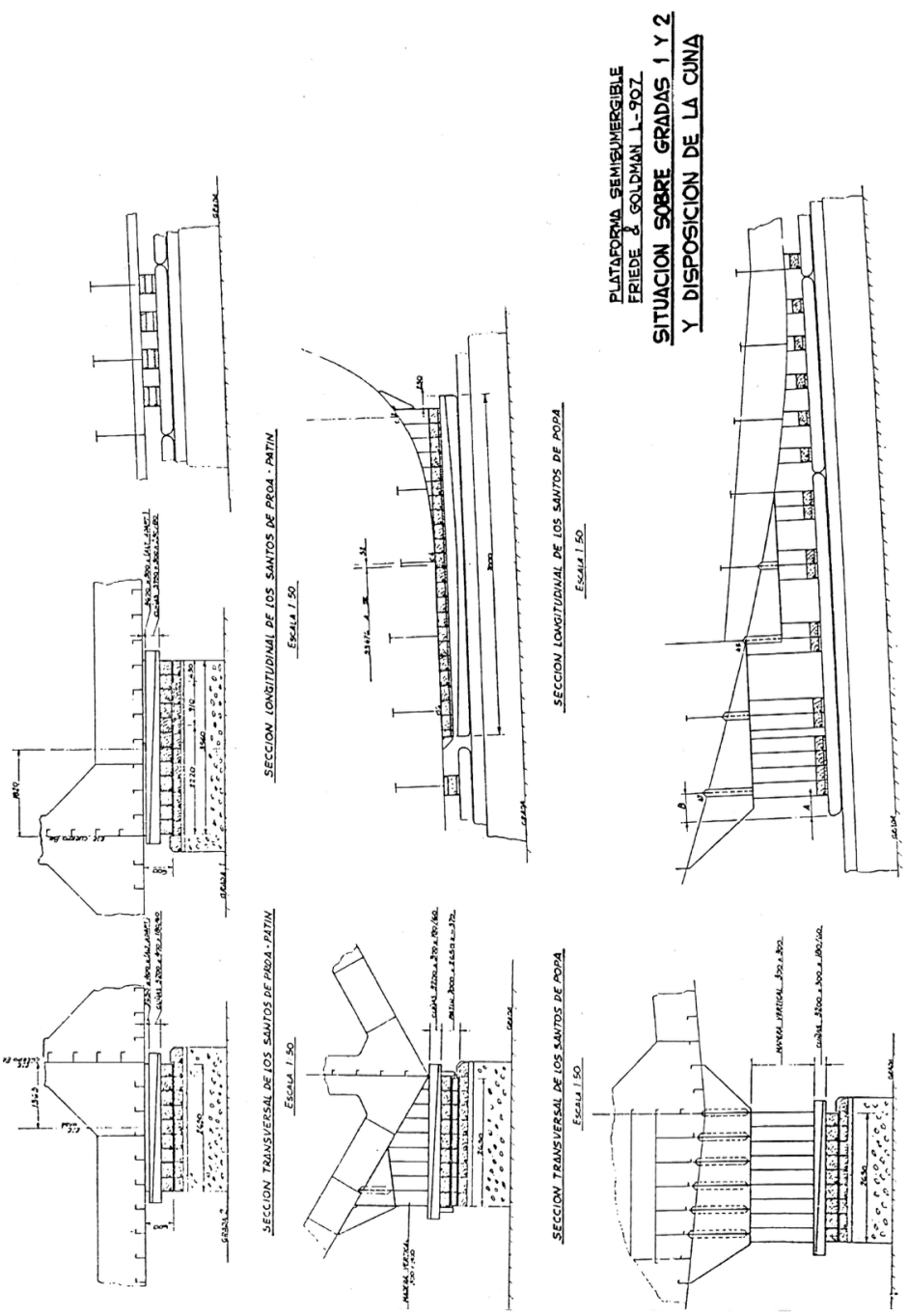


Fig. 18.16 Disposición de la cuna y patines para el lanzamiento de la plataforma semisumergible L-907 en las dos gradas de ASTANO.

18.4.3 Problemas que presenta la botadura de la plataforma y soluciones adoptadas

Los problemas que se han presentado durante el estudio de la botadura de la plataforma son los derivados de las diferencias geométricas y estructurales que presenta la plataforma en comparación con un buque convencional.

En este apartado se estudió el lanzamiento desde el punto de vista tradicional de lanzamiento estático y dinámico, considerada la plataforma como un sólido rígido (A) y se analizó también el estudio de los lanzamientos sobre cama elástica y como pórtico espacial (B).

A) La reducida eslora de la plataforma en relación con la de un buque con peso en botadura similar, da lugar a que el calado correspondiente a este peso sea mayor, con lo cual la altura de agua disponible en el extremo de la imada no es suficiente para alcanzar el calado de libre flotación, por lo que al abandonar la imada se puede producir *SALUDO*.

   La misma característica de eslora reducida y el retraso en la obtención de empuje durante el lanzamiento, acentúa el riesgo de pivotamiento de la plataforma sobre el extremo de la imada, lo que podría dar lugar en el caso extremo a la aparición de *ARFADA*, que sería el fenómeno más peligroso que puede dar lugar a la destrucción de la cuna y producir daños en la estructura.

   Con el fin de verificar los estudios de lanzamiento estático de la plataforma y confirmar las previsiones de aparición de *SALUDO* y descartar el riesgo de aparición de *ARFADA*, se realizaron unos ensayos en el Canal de Experiencias de MARIN en Wageningen (Holanda), que respaldaron plenamente las previsiones realizadas teóricamente.

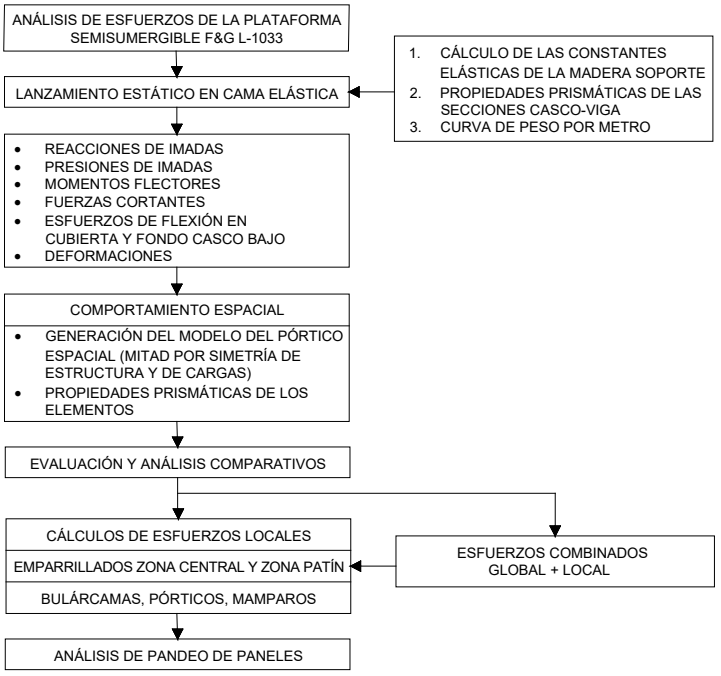


Fig. 18.17 Diagrama de flujo para análisis de esfuerzos en el lanzamiento.

B) El comportamiento estructural de la plataforma durante la botadura presenta una mayor complejidad que en el caso de un buque convencional, por el hecho de tratarse de una estructura espacial sometida durante el corto período de la botadura a esfuerzos no previstos por el diseñador de la misma, que era preciso analizar con detenimiento, según se ve en el diagrama que sigue.

En primer lugar se realizó un estudio estático de *botadura en cama elástica*.

En este estudio, la estructura de apoyo, sometida a un sistema de cargas exteriores peso-empuje, sufre en cada punto una reacción proporcional a la deformación vertical de la estructura.

Como dato indicativo, los valores de las presiones en el extremo de la imada, deducidos en este estudio, son un 30% superior a los obtenidos considerando el buque como sólido rígido y, en el giro, el incremento de presiones es de un 50%.

El método de cálculo de los cascos bajos considerados como viga continua, está basado en el *Procedimiento de Reducción (matrices de transferencia)* que consiste en expresar las condiciones de los esfuerzos, compatibles con las deformaciones a lo largo de los diferentes elementos en que se descompone la eslora de los cascos bajos, determinando, mediante un programa desarrollado al efecto, los esfuerzos de flexión, los cortantes y las deformaciones.

Debido a que la estructura global de la plataforma es tridimensional, frente a la estructura bidimensional de los buques, formada por una sección transversal básica que se traslada en el sentido de la eslora, se consideró necesario realizar una comprobación del comportamiento espacial de la plataforma modelizándola según un modelo geométrico-elástico de barras sometido al *peso propio-empuje*, repartido en sus componentes y apoyado en resortes, cuyas constantes elásticas son las de la madera soporte (*CUNA*) sobre imadas, determinando con el programa de cálculo de estructuras *STRUDL II* los esfuerzos de flexión axiales y cortantes, globales de los elementos.

El estudio se realizó para las tres posiciones de la plataforma más características durante la botadura:

a) *Plataforma en reposo,* sometida únicamente a sus reacciones y su propio peso.

b) *Plataforma durante la botadura en su posición de máximo momento flector de quebranto,* donde ocurre el máximo momento flector en la zona central del casco.

c) *Plataforma en el giro,* donde se produce la máxima presión en la totalidad del patín.

Por último, se realizó una comprobación del comportamiento transversal de la estructura de los cascos bajos (bularcamas y mamparos tipos) e igualmente se analizó el pandeo de los paneles más afectados.

Con el fin de disponer de una correlación fiable entre los resultados de este estudio y los esfuerzos que se producirían durante la botadura, se decidió realizar una serie de medidas extensiométricas en 25 puntos representativos de la estructura.

18.5 Métodos de construcción

18.5.1 Tipos de acero empleados

Los aceros empleados en las diferentes zonas de la estructura y los porcentajes sobre el total se indican a continuación:

Tipo	Zona	Porcentaje %
	Chapas	
EH-36 Z	Unión patas de la subestructura a las vigas cajón.	1,42
EH-36 (-50º C)	Espesores > 1”	26,50
EH-36 (-40º C)	Espesores < 1”. Conexiones con contretes	7,10
AH-36	Superestructura (zona de estiba)	0,22
E	Forro exterior columnas	8,40
D	Palmejares conexión columna contrete	
B	Zonas en casco bajos y superestructura	6,86
A	Resto	48,40
	Perfiles	
B	--	0,35
A	--	99,65

Tabla 18.3 Aceros empleados en la estructura.

18.5.2 Construcción de la estructura

Se siguió utilizando el concepto de BLOQUE lo mismo que venía siendo empleado por el astillero en la construcción de buques, como unidad básica para la fabricación, tratamiento de superficies, armamento anticipado y montaje en grada.

En los cascos bajos y algunas zonas de cubierta se realizó la unión previa de varios bloques en SECCIONES con objeto de utilizar al máximo las facilidades de trabajo en tierra, así como la capacidad de elevación y volteo de la grúa pórtico del astillero.

El proceso constructivo de las diferentes zonas de la estructura se realizó de acuerdo con las etapas tradicionales en el astillero: ELABORADO, PREFABRICADO Y MONTAJE EN GRADA.

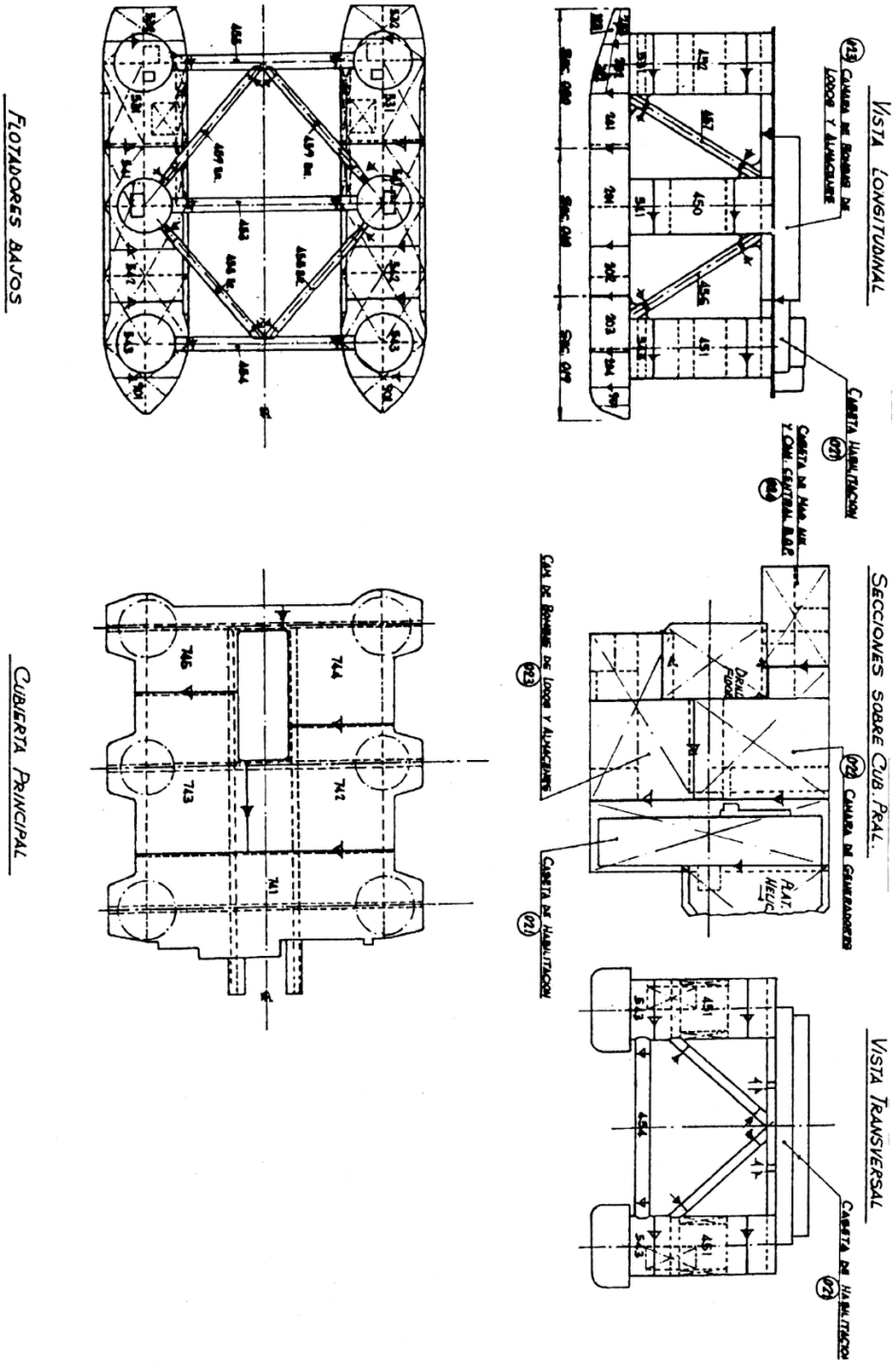


Fig. 18.18 Despiece en bloques y secciones.

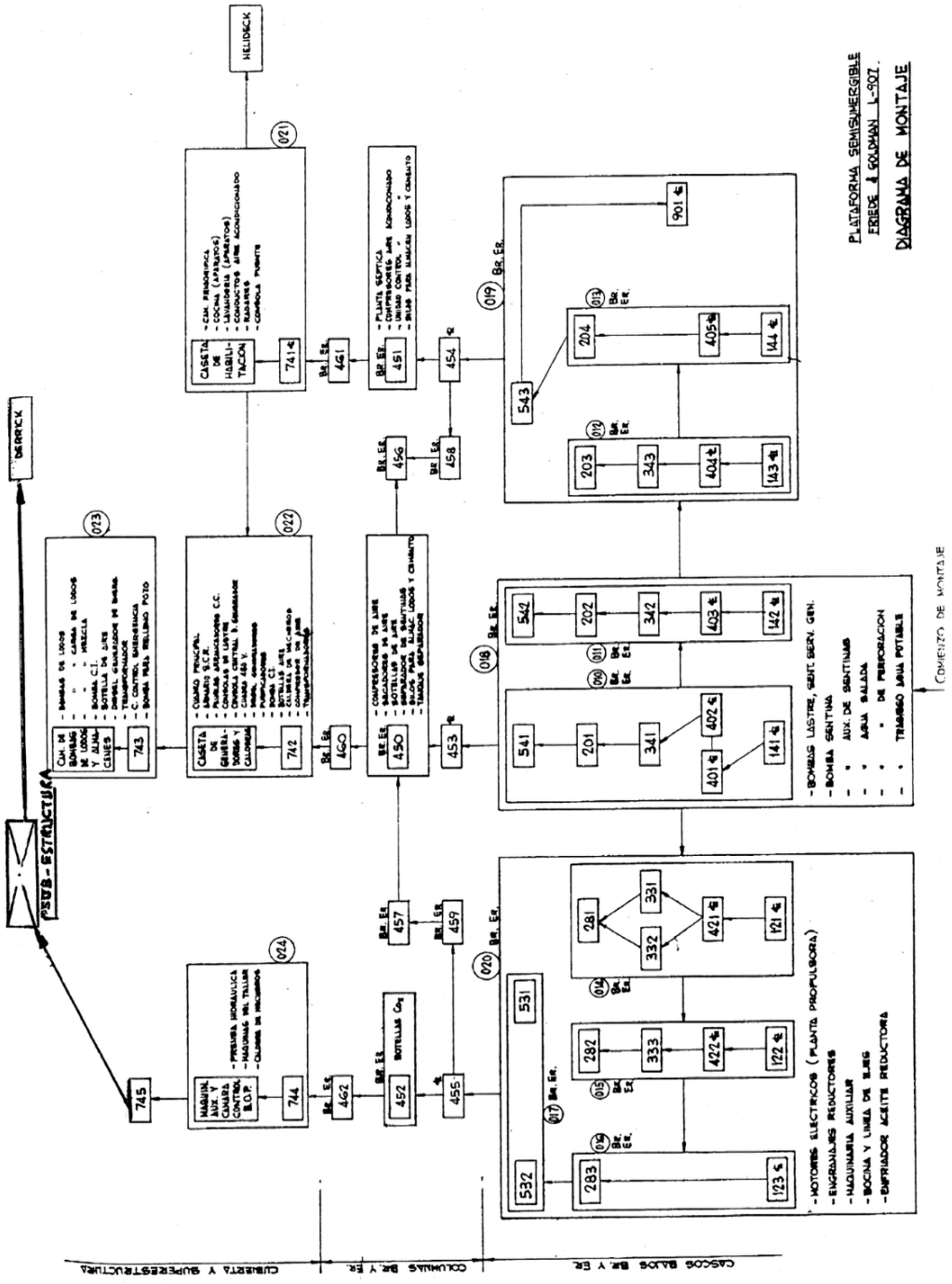


Fig. 18.19 Diagrama de montaje.

18.5.3 Elaborado

El elaborado de la estructura presentó los siguientes aspectos diferenciadores:

— *Trazabilidad del material* con especial rigor en la aplicación a las chapas de acero de calidad E, EH y AH, lo que obligaba a marcar de forma indeleble todas las piezas obtenidas a partir de una misma chapa.

— *Control dimensional de las piezas obtenidas del corte*, a través de un amplio muestreo con el fin de poder garantizar las exigentes tolerancias finales de construcción exigidas por la Especificación.

— *Exigencia de una calidad en la preparación de bordes muy superior a la habitual* en C.N. en cuanto a entallas, rebabas, estrías, geometría, etc., obligada por los controles de calidad de las soldaduras.

18.5.4 Prefabricado

18.5.4.1 Cascos bajos

El proceso seguido en la construcción de la sección tipo fue el siguiente:

1. Forro del fondo incluyendo mamparo longitudinal, transversal y túnel.
2. Incorporación del forro del costado.
3. Incorporación de la cubierta.

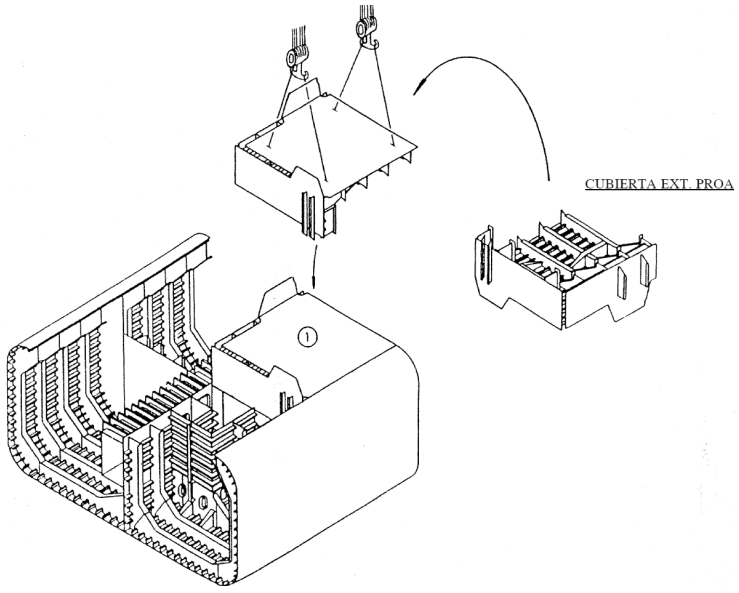


Fig. 18.20 Prefabricado bloques cascos bajos.

18.5.4.2 Columnas

Teniendo en cuenta sus dimensiones (28 m de altura aproximadamente), se subdividieron en tres bloques, los dos inferiores construidos como bloques independientes y el superior unido al bloque correspondiente de cubierta principal.

Como objeto de poder trabajar con soldaduras en posiciones plana o cuasiplana se decidió construir estos bloques a partir de cuatro sub-bloques (cuadrantes) y se utilizó siempre que fue posible el sistema de camas tanto para la construcción del forro exterior como del interior. Ver los croquis que siguen:

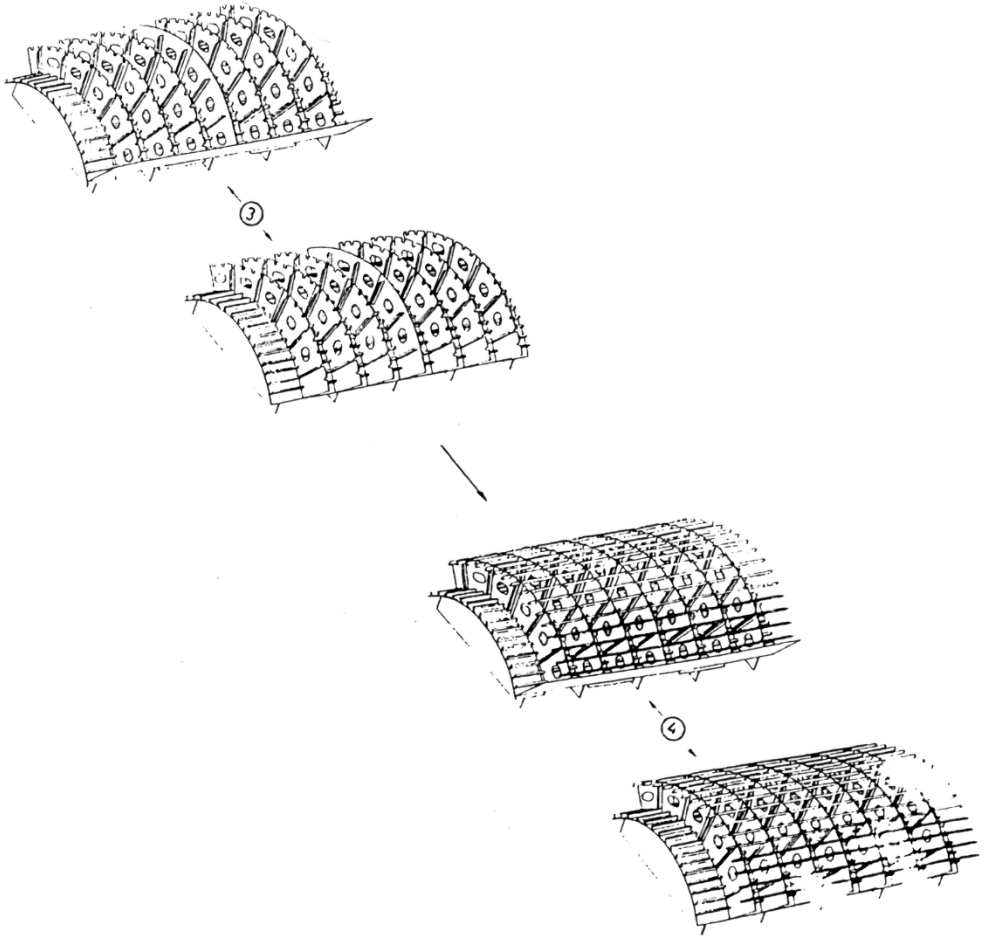


Fig. 18.21 Incorporación refuerzos horizontales (palmejares) sobre casco interior en cuadrantes de columnas e incorporación de refuerzos verticales.

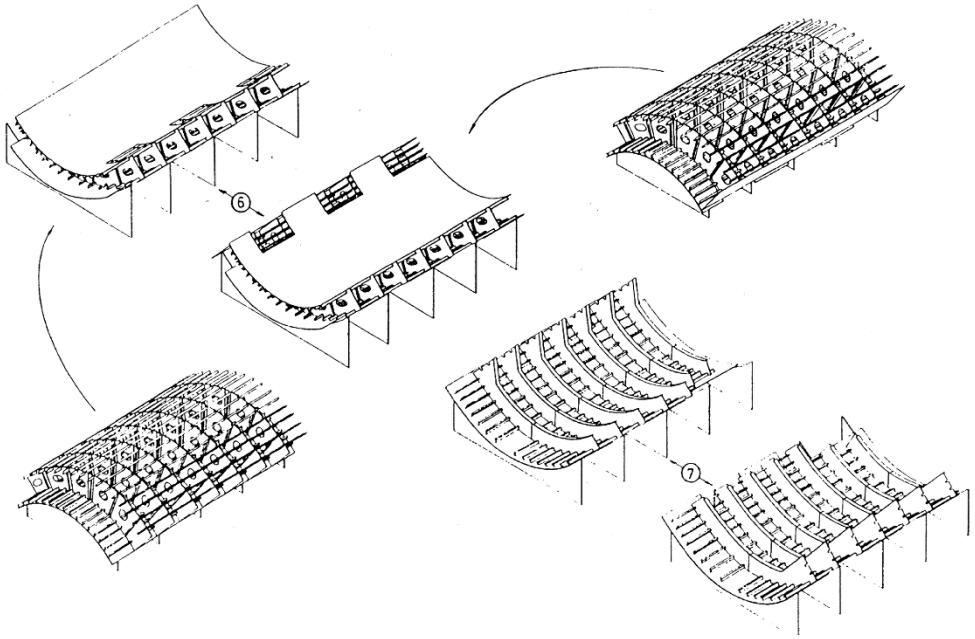


Fig. 18.22 Volteo de casco interior de cuadrantes de columnas sobre chapas curvadas y soldadas de forro (casco exterior).

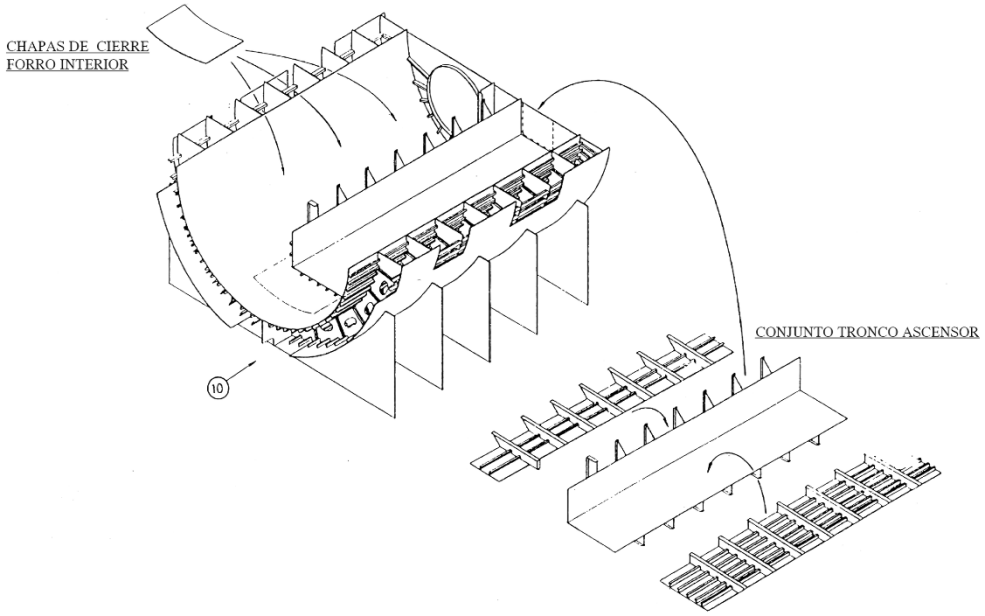


Fig. 18.23 Volteo de casco interior de cuadrantes de columnas sobre chapas curvadas y soldadas de forro (casco exterior).

Los bloques inferiores de columnas se construyeron en dos mitades, la exterior de forma similar a los bloques intermedios. La mitad interior presentaba una mayor dificulta debido a la intersección con contretes, dos (2) en columnas extremas y cuatro (4) en las columnas centrales. Ver croquis que siguen:

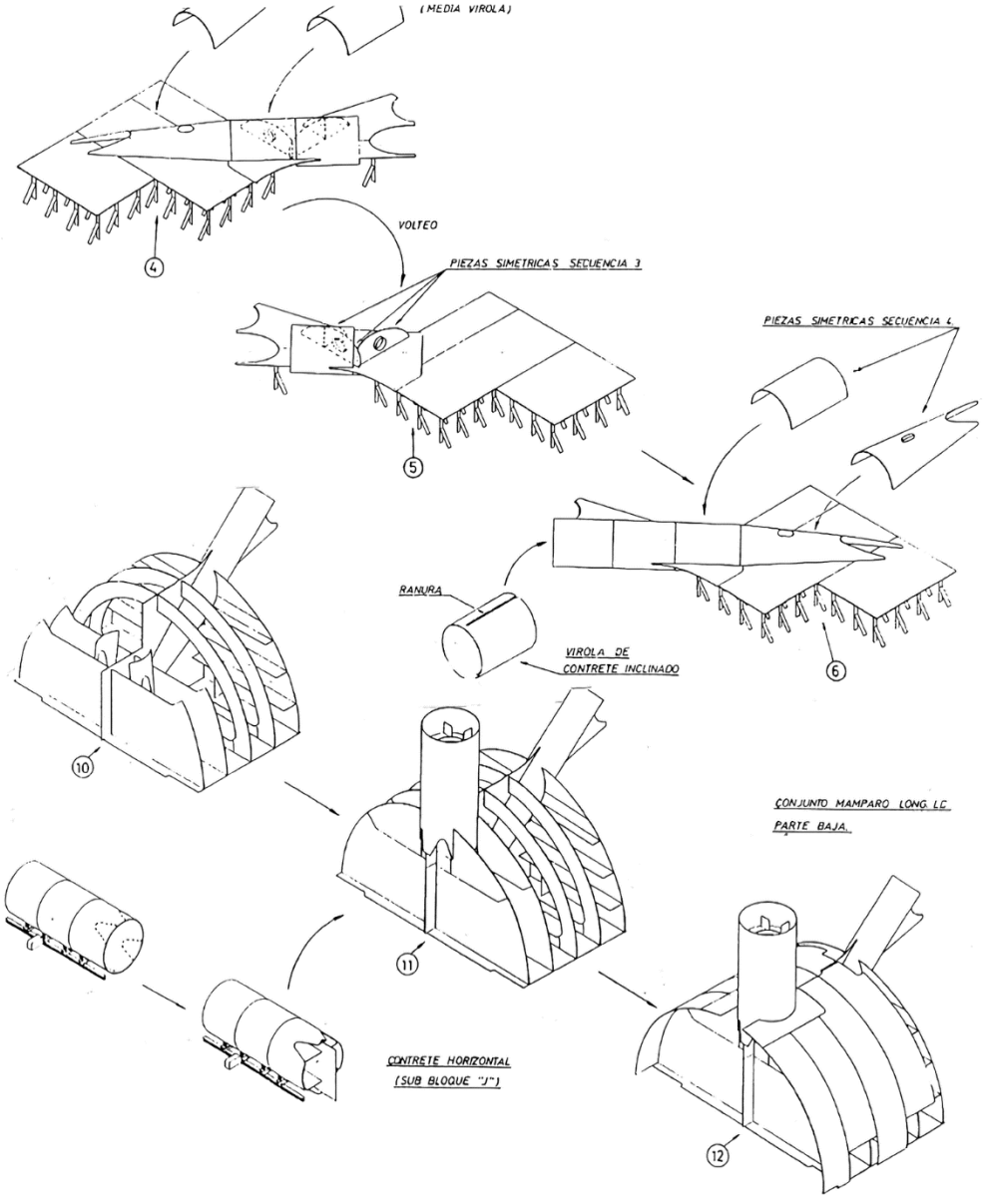


Fig. 18.24 Construcción de bloques inferiores de columnas.

Los últimos bloques están en el camino crítico de la estructura y su fabricación debe plantearse cuidadosamente en todos los aspectos: ingeniería, elaborado, prefabricado, ensayos no destructivos, calidad de mano de obra y control dimensional. Como orientación, las horas/tonelada en estos bloques son más del doble de las empleadas en el resto de la estructura.

18.5.4.3 Contretes

La fabricación de los contretes, cilindros con esfuerzos longitudinales y/o circunferenciales, exigió la adaptación de una nave específicamente para su fabricación, la denominada Nave nº 1 de prefabricado, para lo que se montaron cuatro (4) líneas de viradores para soldadura circunferencial y un cilindro vertical para figurado de las virolas.

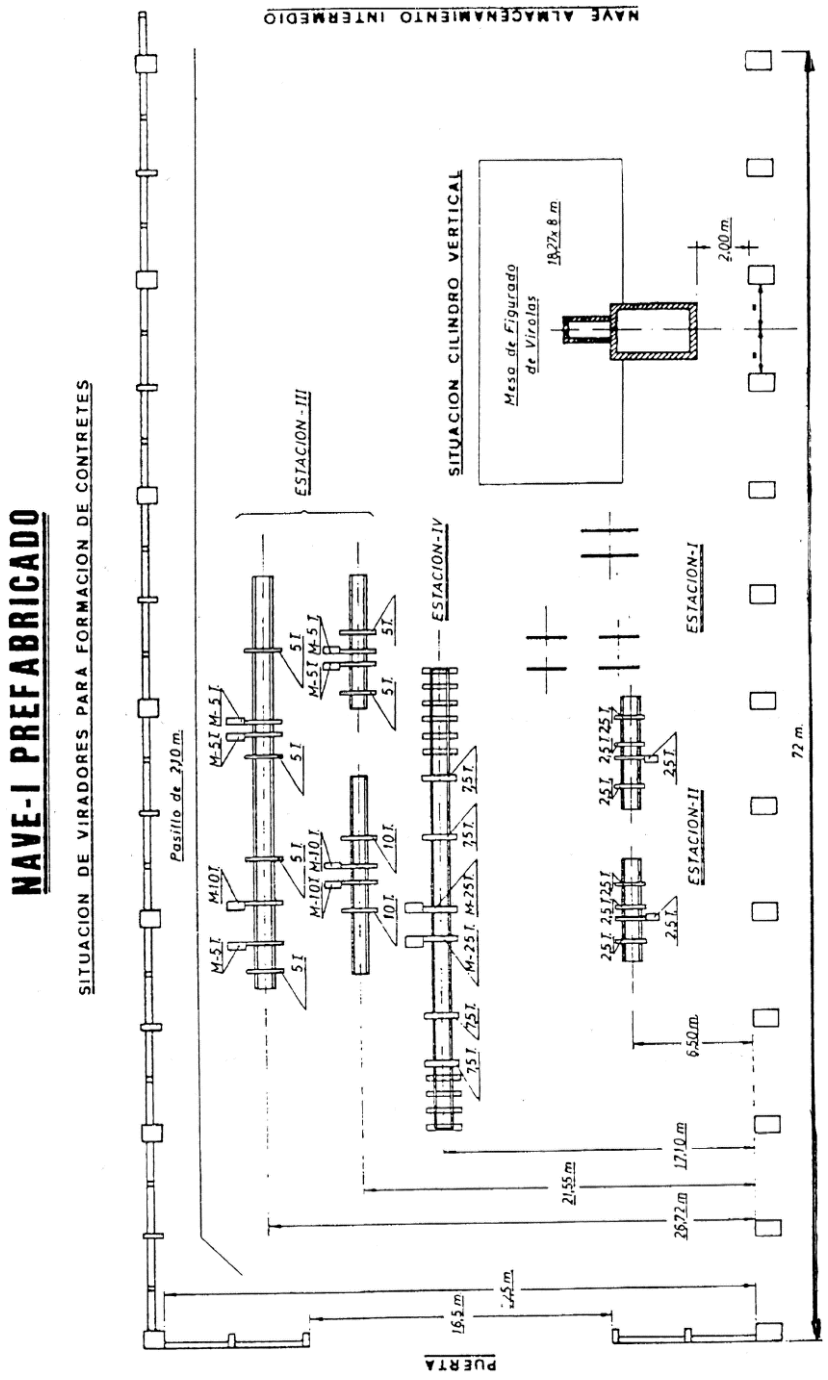


Fig. 18.25 Nave para la fabricación de contretes.

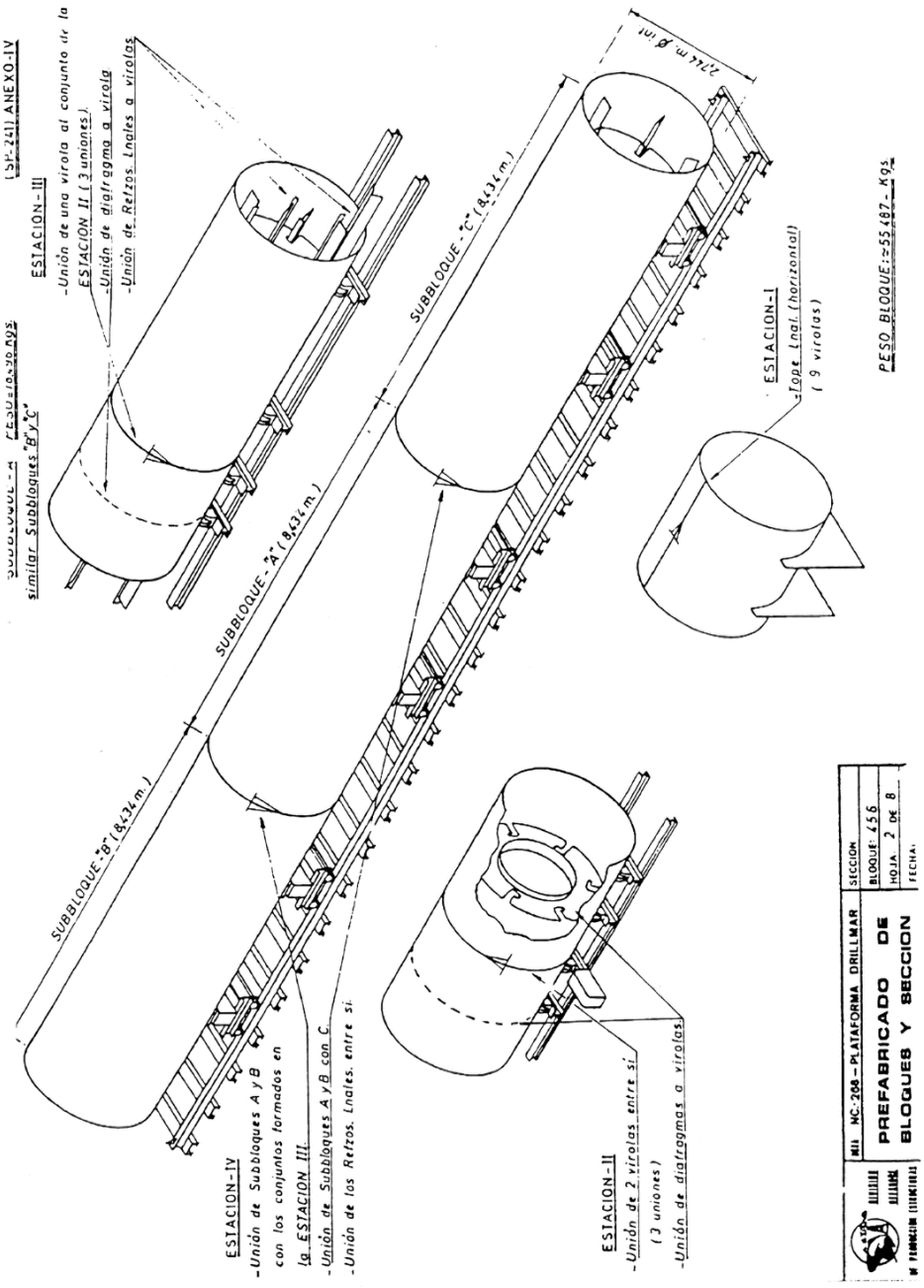


Fig. 18.26 Fabricación de contretes.

En la estación I se realizaba la soldadura longitudinal de los contretes y en las II, III y IV la soldadura circunferencial.

Caso especial, por su complejidad, es la de los nudos en K, formados por la intersección de tres contretes (dos nudos en total).

La dificultad de estos nudos es similar a la de los bloques bajos de columnas interiores en relación con los contretes normales.

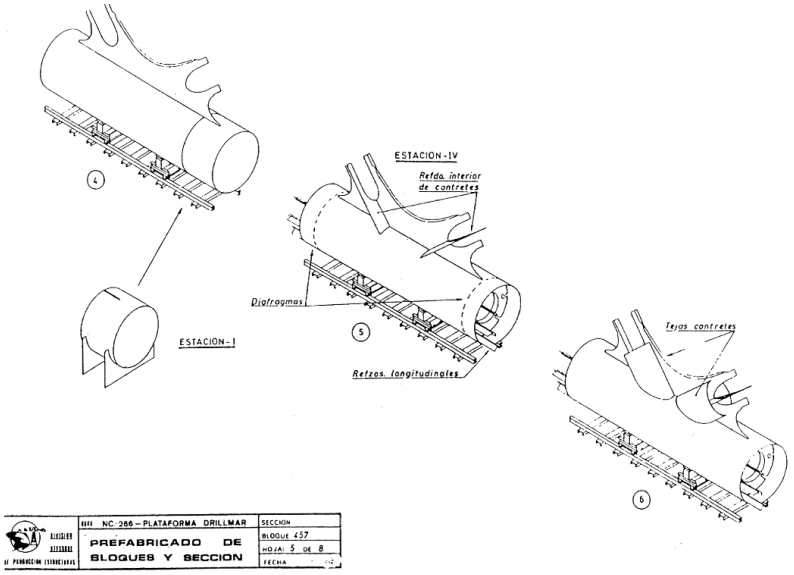


Fig. 18.27.1 Secuencia de la fabricación de contretes con nudos en K (1).

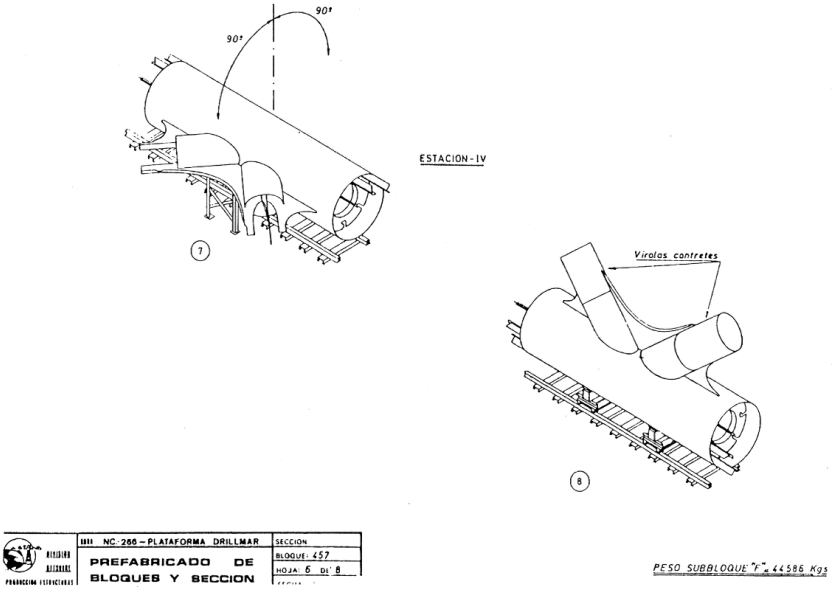


Fig. 18.27.2 Secuencia de la fabricación de contretes con nudos en K (2).

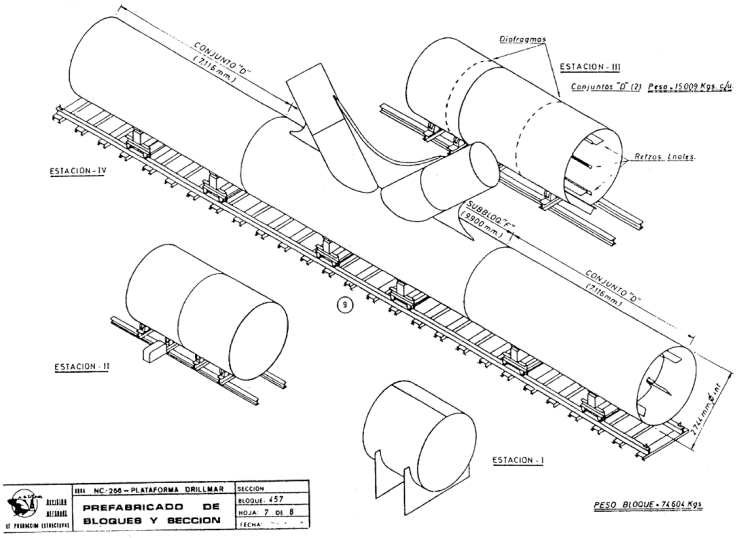


Fig. 18.27.3 Secuencia de la fabricación de contretes con nudos en K (3).

18.5.4.4 Cubierta principal

Se dividió en doce bloques, seis de los cuales incorporaban la parte alta de la columna correspondiente.

La estructura de la cubierta principal está formada por un entramado de vigas cajón (dos longitudinales y tres transversales) que se completa con una retícula de vigas en T y doble T cuyos espesores llegan a ser hasta de 65 mm en la zona de la subestructura. En las zonas no resistentes los espesores eran de 6 y 10 mm.

La fabricación de estos bloques se inició en posición invertida con las vigas cajón previamente fabricadas, uniéndose a continuación entre sí y añadiendo los paneles de cubierta con sus refuerzos correspondientes.

Por último, en los bloques de esquina se incorporaba la parte alta de la columna, fabricada en varios sub-bloques y se volteaba el conjunto para finalizar la soldadura de cubierta y proceder al montaje.

18.5.4.5 Acomodación, Superestructura y Subestructura

Los bloques de Acomodación y Superestructura no presentaron aspectos singulares dignos de mención.

El bloque de la subestructura bajo el piso de perforación (“drill floor”) y la torre de perforación (“derrick”) es un entramado de vigas en T y doble T con cuatro patas soldadas a la cubierta principal. Sus elevados espesores se deben a que soporta el piso y la torre y de perforación, transmitiendo sus esfuerzos a las vigas cajón de la cubierta principal.

Su fabricación se realizó con las patas independientemente, y la cubierta con su entramado, uniéndolos finalmente en posición.

18.5.5 Montaje

El montaje de bloques y secciones en grada se inició por las secciones centrales de ambos cascos bajos, completándose con la adición de secciones y bloques hacia los extremos de proa y de popa.

A continuación se realizó el montaje de los bloques inferiores de las columnas, en mitades, comenzando por la columna de proa, con el fin de abrir un nuevo frente de trabajo en la grada, aunque inicialmente estaba previsto el montaje de estos bloques completos.

Esta decisión contribuyó a acelerar la finalización de las mitades interiores de estos bloques en los talleres.

El montaje de los contretes horizontales conectó ambos cascos bajos, permitiendo comprobar la ausencia de problemas dimensionales, y el montaje de los contretes diagonales transversales obligó a diseñar un sistema de sujeción que permitiera el posicionamiento final de dichos contretes, el cual que tendría lugar con el montaje del correspondiente bloque de cubierta.

Por último, se abordó el montaje de la cubierta, que presentaba ciertas dificultades de soportado debido a su altura sobre toda la grada, optándose por montar una sección completa en proa, sin apoyos intermedio, que comprendía toda la manga de la cubierta, formada por tres bloques previamente unidos en tierra.

El peso de esta sección inicial fue de 580 Tn y para evitar la flexión de los extremos que incluían la parte correspondiente de columna fue necesario disponer de un arriostrado adicional que permitió un ajuste dentro de tolerancias de dichas uniones.

Esta sección sirvió como soporte para los siguientes bloques de cubierta que a su vez fueron completando el mosaico, contando con el contorno de los bloques previamente montados y la unión de columna correspondiente.

18.5.6 Control dimensional en el montaje

Todo el proceso de montaje exigió un riguroso y continuo control dimensional, debido a los requerimientos de tolerancias globales que se indican a continuación:

1. *Cascos bajos*: a escuadra, dentro de 30 mm en cualquier dimensión importante.
2. *Centro a centro de las columnas*: menos de 50 mm de desviación de las dimensiones establecidas.
3. *Columnas, reforzado vertical, etc.*: estarán aplomados dentro de 35 mm
4. *Altura total desde el fondo de los cascos bajos a la parte alta de las columnas*: menos de 40 mm de desviación.
5. *En aquellos lugares donde sea inevitable*, la falta de alineación de los elementos estructurales secundarios no excedería 1/4 del espesor ó ¼ de pulgada (6 mm), aquel que fuera menor.

18.6 Soldadura

La aplicación de los requerimientos contractuales en a los procesos de soldadura de la estructura de la plataforma exigió una previa adaptación del gremio de soldadores, tradicionalmente el más numeroso del astillero, una racionalización de los diferentes procedimientos de soldadura a utilizar, y un incremento del rigor y exigencia de los niveles de control de calidad de las soldaduras realizadas.

A este aspecto se aplicaron los requerimientos de la Sociedad de Clasificación y de la AWS (American Welding Society)

18.6.1 Homologación de soldadores

Fue asumida por la gerencia del astillero como un objetivo prioritario para la dedicación a las construcciones off-shore, creándose dentro de la factoría una Escuela de Soldadores, donde se sometió a éstos a un proceso de "reciclaje" a través de cursos a cuya finalización cada soldador debería superar la prueba requerida por ABS y AWS, con el fin de obtener la cota de homologación que se le asignaba en función de su habilidad demostrada. Los resultados de este proceso fueron plenamente satisfactorios y quedan reflejados en las siguientes cifras:

MANUAL (SMAW) + SEMIAUTOMATICA (GMAW).

3 G.....67
6 G.....218
6 GR..... 26
Soldadores homologados.....311

El código de las posiciones es el utilizado por AWS (Capítulo 10).

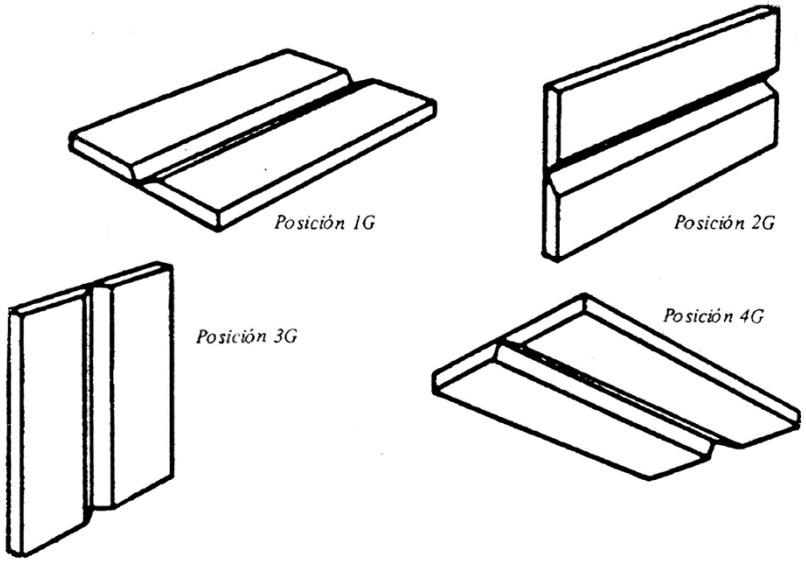


Fig. 18.28 Posición de las chapas para las pruebas de calificación de los soldadores.

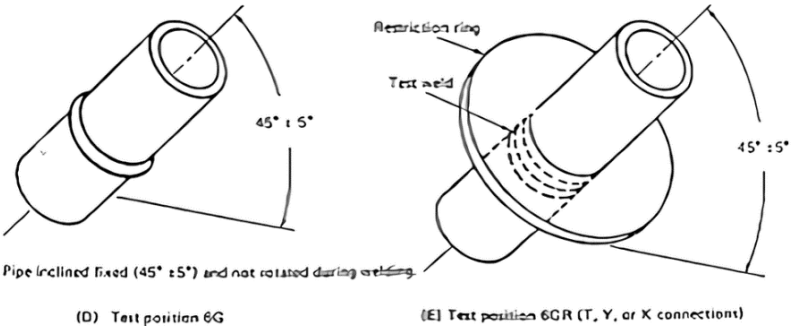


Fig. 18.29 Posición de los tubos para las pruebas de calificación de los soldadores.

Se incluyó asimismo la homologación de soldadores por puntos ("tack welders") con el fin de mantener la soldadura por puntos de los procesos de armado en el cordón final de soldadura, puntos que, de otra forma, deberían ser previamente eliminados.

18.6.2 Homologación de procedimientos de soldadura

La homologación de los procedimientos de soldadura es un requerimiento imprescindible para estar presente, entre otros, en el mercado de construcción off-shore.

Esta homologación permite al astillero, mediante un simple y rápido proceso de revisión, resometer el paquete de procedimientos de soldadura ya homologados por un organismo regulador a la aprobación de otros organismos y/o clientes, como es frecuente en el mercado de off-shore. La nueva aprobación necesaria será facilitada con los WPS y PQR ya aprobados, con lo que el coste y plazo de la misma será mucho menor.

El control en obra de los procedimientos de soldadura utilizados en cada caso queda asegurado a través de un sistema de trazabilidad que se inicia en los planos de bloques de la estructura y finaliza marcando con pintura en cada soldadura, el nº de identificación del WPS y PQR utilizados.

18.6.3 Control de calidad de las soldaduras. Ensayos no destructivos (END)

A efectos del Control de Calidad de las Soldaduras realizadas, a través de ensayos no destructivos (END), se establecen diferentes zonas en la estructura de la plataforma: especial, primaria y secundaria, según se observa en los croquis anexos, con diferentes niveles de exigencia, en función del porcentaje de reparaciones a realizar, según se aprecia en las Tablas 18.4.1 y 18.4.2.

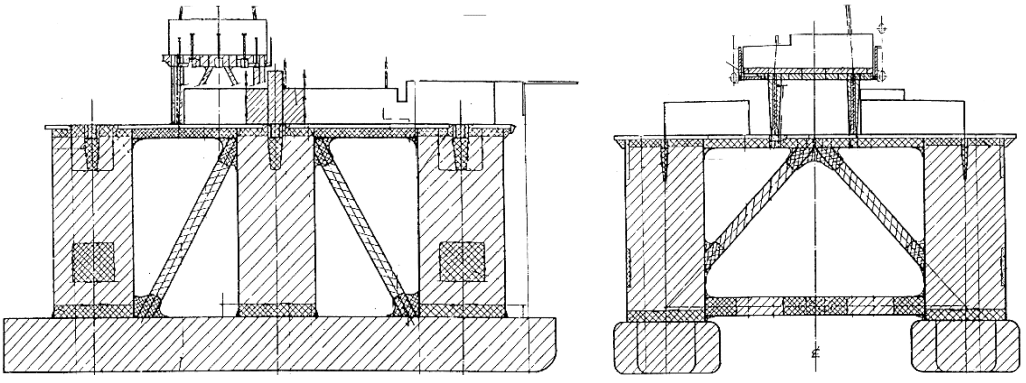


Fig. 18.30 Zonas para clasificación niveles de END en la estructura de la plataforma semisumergible.

Tipo de estructura	Tipo de unión	Insp. Visual (%)	Radiograf. (%) **	Ultrasonidos (%)	Partículas magnét. (%) ***
Zona especial	Uniones a tope	100	100	—	100
	Uniones en cruz y en T a plena penetración	100	—	100	100
	Uniones en cruz y en T con penetración parcial y soldadura de rincón	100	—	—	100
Estructura primaria	Uniones a tope	100	20	—	20
	Uniones en cruz y en T a plena penetración	100	—	20 *	20
	Uniones en cruz y en T con penetración parcial y soldadura de rincón	100	—	—	20
Estructura secundaria	Uniones a tope	100	5	—	5
	Uniones en cruz y en T a plena penetración	100	—	5	5
	Uniones en cruz y en T con penetración parcial y soldadura de rincón	100	—	—	5
	* Adicionalmente todas las soldaduras manuales en contretes serán radiografiadas al 100% ** Puede ser reemplazada por inspección con ultrasonidos previo acuerdo (por ejemplo, para chapa de grandes espesores) *** Para materiales no ferromagnéticos se efectuarán ensayos con líquidos penetrantes				

Tabla 18.4.1 Control de calidad de la soldadura de la estructura mediante Ensayos No Destructivos.

Tipo de estructura	Tipo de unión	Insp. Visual (%)	Radiograf. (%)	Ultrasonidos (%)	Partículas magnét. (%)
Zona especial y elementos del entramado resistente	Uniones a tope	100	100	—	100
	Uniones en T	100	—	100 *	100
	Cordón continuo	100	—	—	100
	Inserciones (Chapas tipo Z)	100	100	—	100
Estructura primaria	Uniones a tope	100	100	—	100
	Uniones en T	100	—	100 *	100
	Cordón continuo	100	—	—	100
Estructura secundaria	Uniones a tope	100	5	5	5
	Uniones en T	100	—	—	5
	Cordón continuo	100	—	—	5
* Soldaduras de penetración total					

Tabla 18.4.2 Control de calidad de la soldadura de la estructura mediante Ensayos No Destructivos.

18.6.4 Incidencia en las rutinas de trabajo y práctica del taller

Algunos de los signos externos que evidencian la racionalización impuesta en el astillero por los aspectos mencionados, relativos a los procesos de soldadura, los cuales podrían hacerse extensivos en aspectos similares a otros procesos de trabajo para la construcción off-shore son:

— Protagonismo de la información técnica en los talleres, tanto de planos como de procedimientos, normas e instrucciones de trabajo a través de su exposición en tablones dispuestos para ello. No existe información restringida, ni categorías de información.

— Identificación en cada soldadura del soldador y procedimiento utilizado.

— Revisión periódica de los equipos de soldadura en cuanto a la calibración de sus instrumentos de medida.

— Las tomas de masa de las máquinas de soldar han sustituido la chatarra soldada por mordazas de sujeción mecánica.

— Prohibición absoluta de soldadura de elementos auxiliares a la estructura de la plataforma. En cualquier caso, la soldadura eventual de elementos temporales queda rigurosamente sujeta a un *Procedimiento Específico*.

— Utilización de andamios que no requieren prácticamente ningún tipo de unión soldada a la estructura.

— Utilización del amolado en soldaduras para evitar la presencia de entallas, mordeduras, etc. entre sucesivas paradas.

— Prohibición absoluta de cebar los arcos de soldadura fuera de las juntas a soldar.

— La circulación de consumibles en los talleres, electrodos, alambres y fluxes está *regulado por un Procedimiento*, quedando totalmente erradicado el uso de electrodos fuera de las estufas individuales.

— La reparación de soldaduras de acero de alta resistencia queda reflejada en un registro escrito donde se indican las características de dicha reparación.

— La geometría compleja de las conexiones de los elementos principales, contrete-columna, columna-casco bajo, nudos en K, ha requerido la utilización de precalentamiento mediante resistencias eléctricas y control del mantenimiento de la temperatura, y enfriamiento con control del mantenimiento de la temperatura y enfriamiento posterior, con registro gráfico, lo que ha permitido reducir drásticamente la aparición de grietas de contracción o debidas a tensiones residuales, así como retardadas debidas a la humedad.

18.7 Sistema de Gestión de Calidad. Implantación

La dedicación a la construcción off-shore, igualmente que otras actividades muy comprometidas y exigentes en lo relativo a seguridad contra grandes riesgos (físicos y económicos) que por lo tanto requieren una confianza casi absoluta en la calidad que se requiere del producto, viene exigiendo la implantación de un Sistema de Gestión de Calidad (equivalente al antes llamado de Garantía de Calidad), lo cual obliga a un nivel de cumplimentación muy estricto por parte de toda la organización de la empresa, tal como queda plasmado en una *Declaración de Compromiso y Autoridad* que tiene que aparecer como presentación del correspondiente Manual de Gestión de Calidad de dicha empresa.

Actualmente, la implantación de un sistema de Gestión de Calidad se ha hecho extensivo y ha sido y sigue siendo adoptado por gran parte de las empresas y actividades organizadas de fabricación y de servicios, constituyendo parte esencial del catálogo de presentación o, digamos, de la tarjeta de visita.

La implantación de un Sistema de Gestión de Calidad arranca con la elaboración de: a) un Manual de Calidad y b) siguiendo con el proceso de desarrollo de Procedimientos generales, pero además la empresa tiene que demostrar de forma fehaciente que está cumpliendo con todo ello en su actividad normal, es decir que está implantado realmente el Sistema, lo cual no es cosa baladí, es decir, no basta con tener unos preciosos manuales y libros de procedimientos expuestos para la vista, en un vistoso archivador.

Una vez implantado el Sistema, para lo cual se pueden solicitar los servicios de apoyo de una Sociedad de Clasificación o de una empresa consultora especializada reconocida, se puede obtener el Certificado de cumplimentación, emitido por una Sociedad de Clasificación o por una consultora con reconocimiento oficial. Dicho Certificado tiene un período de caducidad, teniendo que ser actualizado y renovado antes de la finalización del período de validez, mediante una nueva inspección o auditoría del grado de implantación real del Sistema, a fin de poder seguir en vigor.

a) El Manual de Calidad, tal como se indicó, establece en su primera página la declaración formal de la Alta Dirección sobre la política del astillero en relación con la calidad, y describe la organización, funciones, responsabilidades y dependencias, métodos y planes de actuación para alcanzar la Calidad.

b) Los Procedimientos describen, de forma permanentemente actualizada, el alcance, responsabilidad, referencias y descripción de todas y cada una de las actividades relacionadas con la Calidad y Control de la Calidad, no sólo en cuanto se refiere a las etapas de fabricación e inspección del producto sino también las relacionadas

con todos los aspectos de desarrollo del Proyecto tales como*: Oferta, Ingeniería, Planificación, Aprovisionamientos, Recepción y Almacenaje, Jefatura de Proyecto, Fabricación, particularmente en lo relativo al Control de Calidad de la Soldadura, Control Dimensional, Control de Pesos, Inspecciones en general, Pruebas y Ensayos, incluidos los ENDs, Control de Documentación, Tratamiento de No Conformidades, Órdenes de Modificación o de Variación*, etc.

Estos Procedimientos tienen las siguientes características:

— Reflejan la realidad.

— Son ejecutivos.

— Su desarrollo es consensuado.

Algunos de los conceptos del Manual de Gestión de Calidad que introducen nuevos aspectos más exigentes que, y/o adicionales a, los contemplados en los tradicionales sistemas de Control de Calidad (caso de existir) de un astillero, son:

— *Registros de Calidad (Quality Reports)*: proporcionan la evidencia de la calidad de un elemento o actividad, regulados por el correspondiente procedimiento, que describen el envío de la información necesaria a los departamentos encargados de elaborar los registros que les corresponden, así como la distribución, archivo, custodia, disposición y período de conservación de los mismos.

Estos registros se mantienen accesibles al cliente e Inspecciones Oficiales.

— *Auditorías de Calidad*: una auditoría de calidad es una actividad planificada y documentada que se lleva a cabo para determinar por investigación, examen o evaluación, la evidencia objetiva del adecuado cumplimiento de los procedimientos, instrucciones y otros documentos aplicables establecidos y la efectividad de su implantación.

— Pueden ser:

  — Externas, las realizadas por, o a, otra empresa.

  — Internas, las que la empresa se hace a sí misma.

  — *Calificación de Proveedores y Subcontratistas*: aprobación oficial de un proveedor/subcontratista realizada mediante el estudio de determinados parámetros y características del mismo.

  — *Evaluación de Proveedores y Subcontratistas*: estimación de la gestión de la calidad de un proveedor/subcontratista.

  — *Establecimiento obligado de Planes y Programas* donde se establecen las prácticas, recursos y actividades aplicables a un determinado proceso,

relacionado con un Proyecto (Plan de Calidad y Programa de Puntos de Inspección o P.P.I. para cada Proyecto concreto, es decir para cada nueva construcción o NC).

18.8 Control Dimensional y Control de Pesos

Tanto el control dimensional como el control real de pesos a lo largo de las construcciones off-shore son muy estrictos.

No es un capricho el exigir un control dimensional muy estricto. Las rectificaciones posteriores para corregir errores y dificultades de ensamblaje o acoplamiento de unas partes con otras, aparte de ofrecer dudosa calidad, lo cual puede exigir cautelas e inspecciones que resultan carísimas, sería inadmisible en una industria en que se subcontrata la fabricación de bloques y módulos en diversas partes, que después se van a ensamblar como las piezas de un mecano y por lo tanto tienen que coincidir con gran perfección, así como la maquinaria; e incluso pasado el tiempo, se tienen que desmontar y se vuelven a montar otros conjuntos que los sustituyen, posiblemente con otras funcionalidades.

Con relación al control de pesos, véase lo indicado en el apartado 16 del Capítulo 8.

La importancia que tiene un estricto control de pesos, aparte de otras incidencias en los resultados del proyecto, como es la posible incidencia en el valor máximo de la Carga Variable de la Plataforma en Cubierta, que en el caso de una semisumergible es un valor crítico, es también crítica, en este caso, la forma en que el peso puede afectar a la botadura, tal como se indicó antes.

Ello obliga a llevar durante toda la construcción un control del peso, dentro de márgenes muy estrechos en comparación con lo habitual en construcción naval convencional y de acuerdo con un procedimiento estudiado, para ser realizado con medios que garanticen una exactitud aceptable.

18.9 El Sistema de Dirección del Proyecto (Project Management)

Una de las más importantes innovaciones es el establecimiento de sistema denominado de Dirección o Jefatura de Proyecto, ya referido en el Capítulo 1.

Este sistema establece en el astillero una organización de tipo matricial, donde a la organización previamente existente por Departamentos se superpone una organización vertical por Proyectos.

En la Construcción Off-shore, donde la complejidad y las dimensiones de cada proyecto exigen un *elevado volumen de subcontratación y un complejo sistema de aprovisionamientos*, donde parte de los equipos son seleccionados y comprados por el astillero (BFE) y parte son seleccionados y/o comprados por el cliente (ODE/OFE), así como la circunstancia de un elevado número de Organismos Reguladores que supervisan la Ingeniería y la Construcción, y la presencia de diferentes niveles de control y supervisión por parte del Cliente, el Sistema de *Project Management* o *Dirección por Proyecto* es un requerimiento ineludible para poder realizar el trabajo y además una imposición del propio cliente, quien en el contrato requiere el nombramiento de un Jefe de Proyecto por parte del astillero.

El Jefe de Proyecto es el responsable de la finalización del mismo en los aspectos de CALIDAD, COSTE Y PLAZO, y ejerce sus funciones y responsabilidades a través de un Equipo de Proyecto, pudiendo resumirse sus funciones, en general, como sigue:

— Participación efectiva en la etapa de Precontrato. Firma de la Especificación de Contrato.

— Realización del Informe Mensual enviado al Armador incluyendo todos los datos necesarios para que éste disponga de la información necesaria para conocer en detalle la marcha de los trabajos.

— Control de los hitos contractuales.

— Relaciones con el Armador.

— Relaciones con Organismos Reguladores.

— Supervisión de la Gestión de Aprovisionamiento, Ingeniería, Garantía de Calidad, Planificación y Control de Costes, en cuanto se refiere al Proyecto.

— Control de Peticiones de Cambio al Trabajo por parte del Cliente (WOC).

18.10 Otros artefactos, unidades y componentes diversos para la explotación marina y oceánica (off-shore)

18.10.1 Para la explotación de hidrocarburos

a) *Estructuras tipo "jacket" y módulos o "top-sides".*

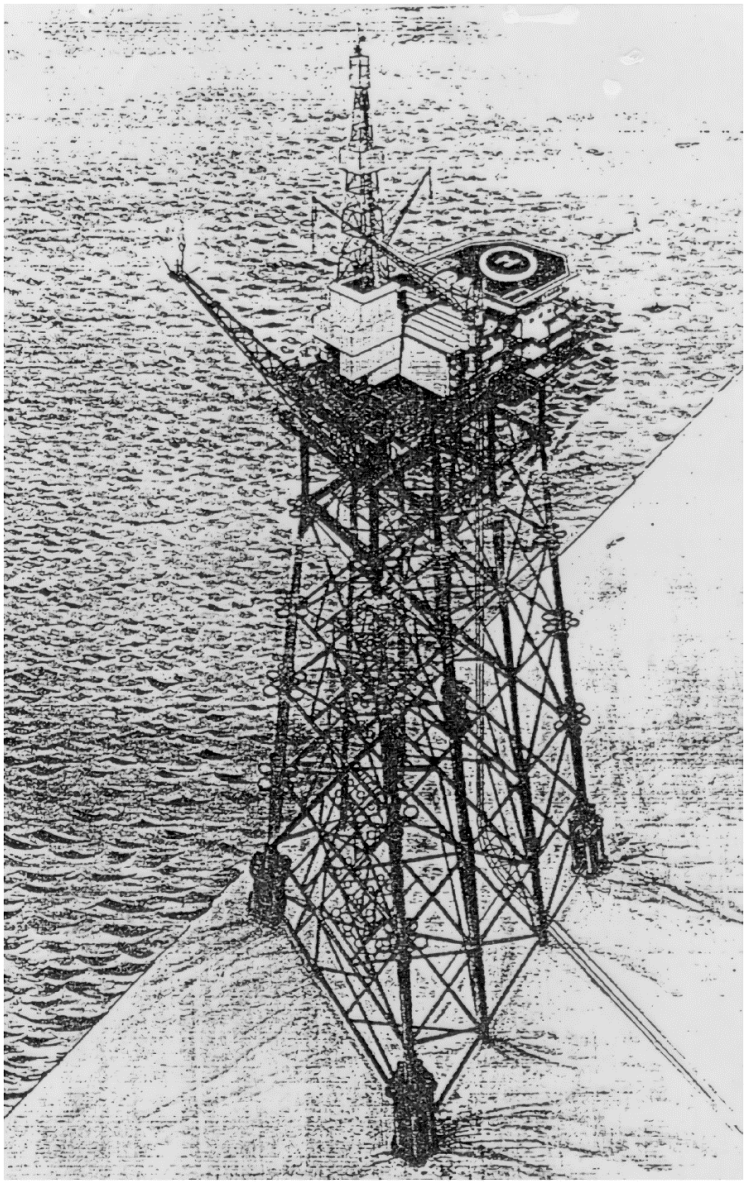


Fig. 18.31 Plataforma fija tipo "jacket".

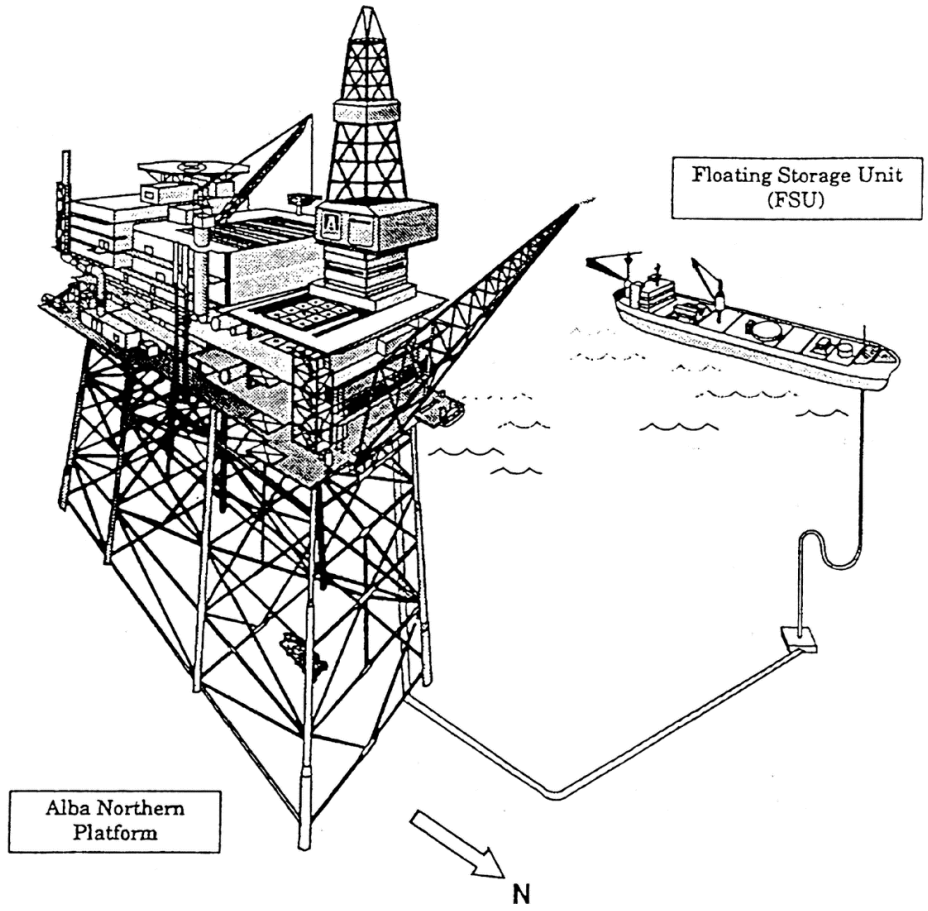


Fig. 18.32 Unidad almacenamiento flotante en combinación con plataforma de producción "jackett".

Module	Steelwork	Equipment	Total
1. Wellheads	1.100	4.220	15.220
2. Separation	9.200	8.300	17.500
3. Pumping	8.800	6.200	15.000
4. Compression	9.300	6.600	15.900
5. Utilities	8.300	6.670	14.970
6. Drilling facilities	7.500	5.760	13.260
7. Power generation	8.070	6.380	14.450
8. Accomodation	9.600	5.440	15.040
9. Derrick, substructure and skid base	5.020	3.860	8.880
10. Helideck	1.940	250	2.190
11. Flareboom	1.750	850	2.600
Total	**80.480**	**54.530**	**135.010**

Tabla 18.5 Cargas permanentes sobre la superestructura de la plataforma (kN).

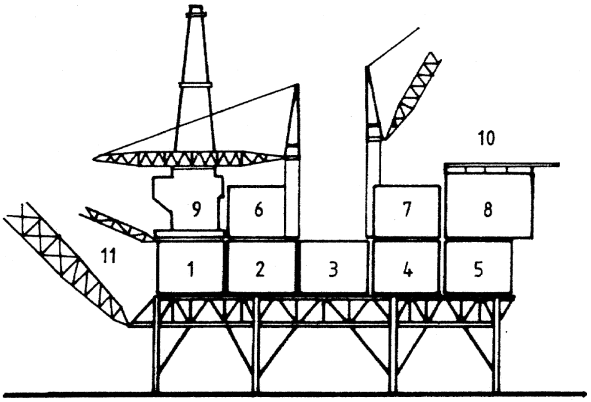


Fig. 18.33 Esquema disposición plataforma "jackett" del Mar del Norte con sus módulos.

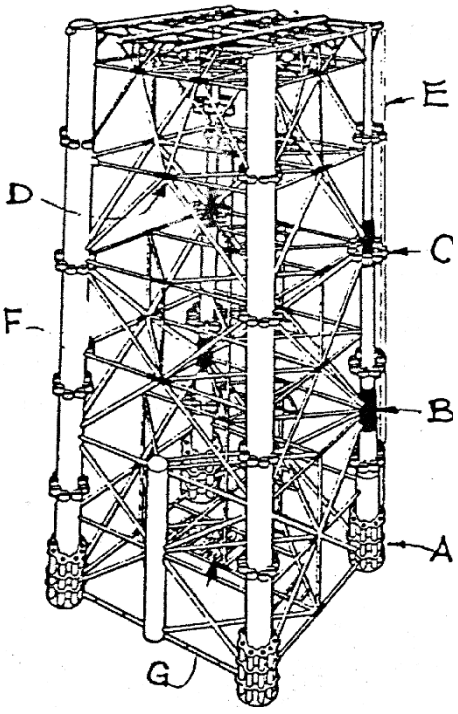


Fig. 18.34 Disposición estructura "jackett".

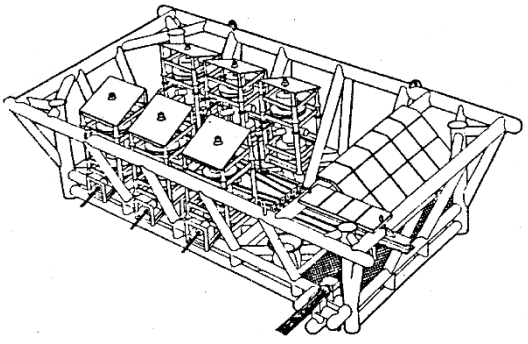


Fig 18.35 Templete (ensamblaje de B.O.P.s).

A. Bottle leg
B. K-join
C. Skirt Ring
D. Enlarged joint
E. Foundation pile
F. Can
G. Conductor guide

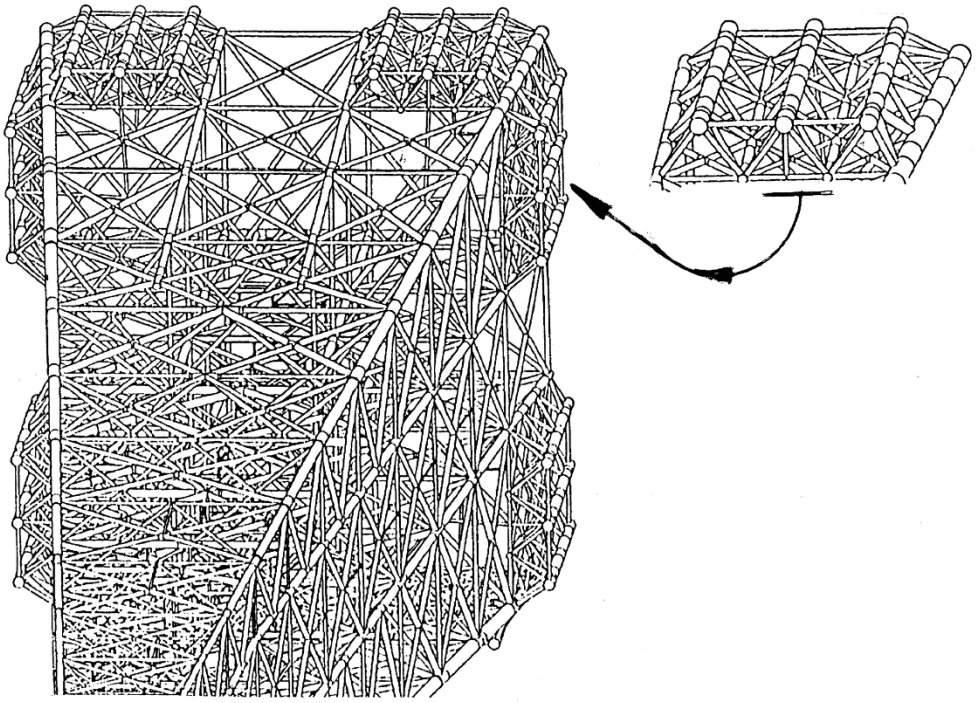


Fig. 18.36 Plataforma tipo jackett y componentes estructura.

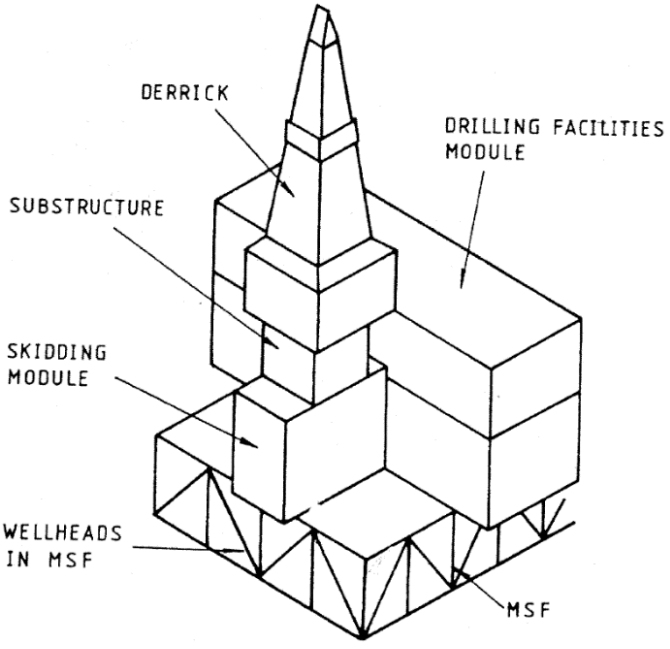


Fig. 18.37 Disposición esquemática módulos perforación.

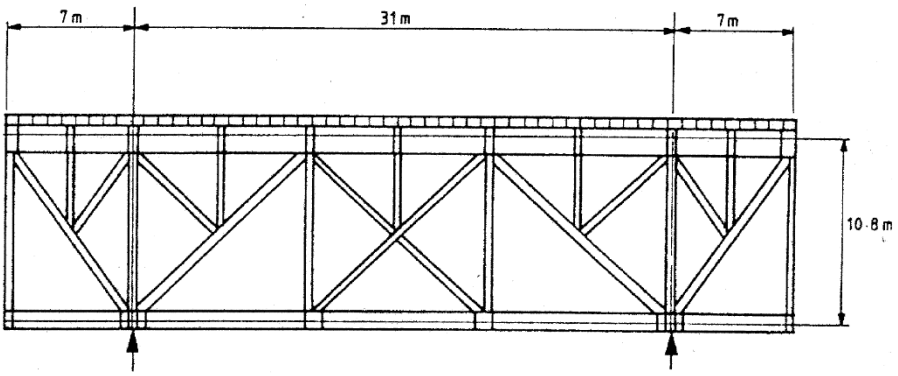


Fig. 18.38 Disposición esquemática de un módulo de perforación.



Fig. 18.39 Maniobra de carga de jacket en una barcaza.

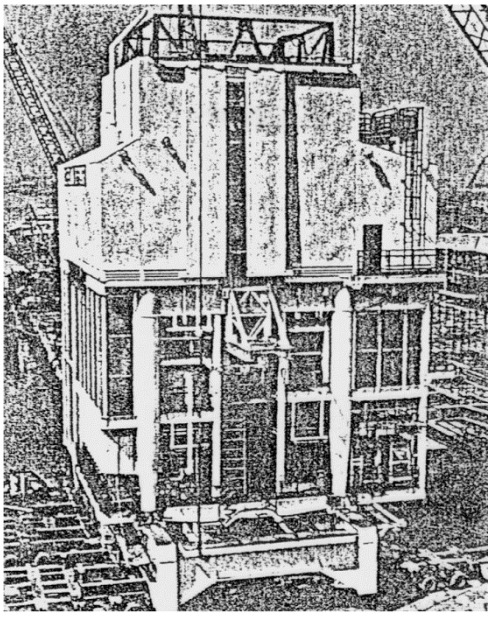


Fig. 18.40 Módulo de perforación para una plataforma fija construida en Noruega.

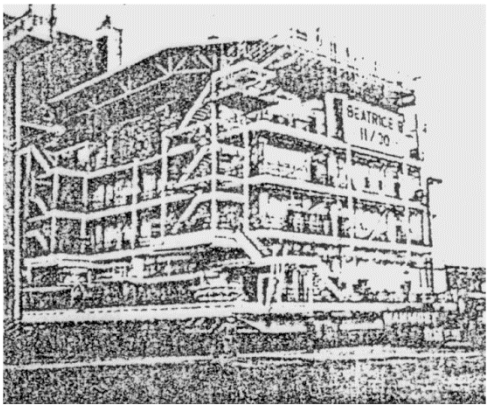


Fig. 18.41 Módulo de acomodación y servicios.

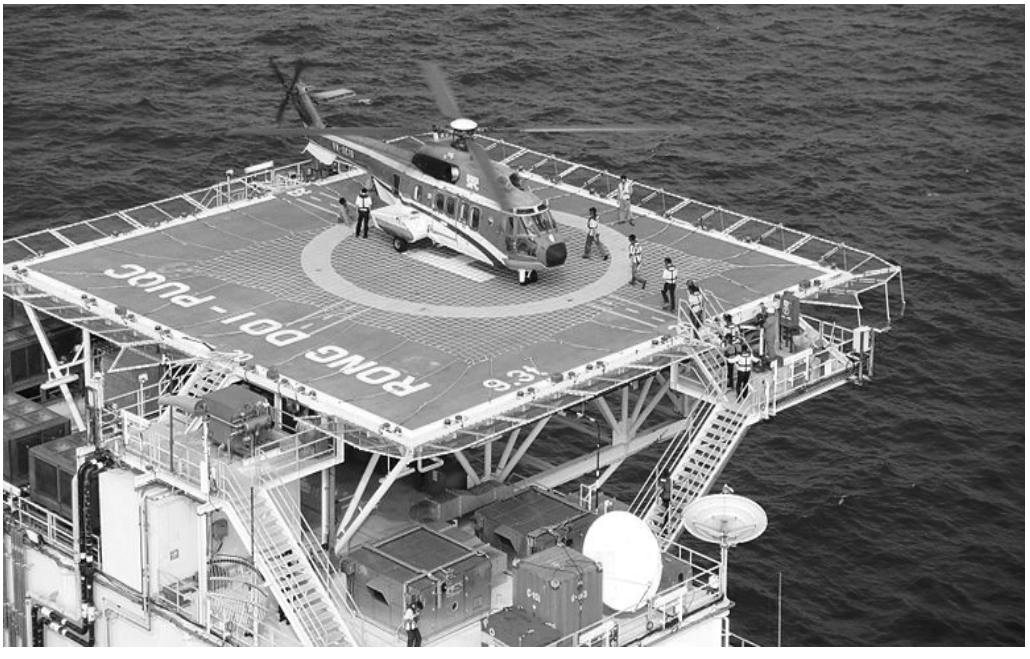


Fig. 18.42 "Rong Doi LQ Helideck 07" by Ken Doerr (licencia CC BY 2.0).

b) *Barcazas de transporte, grúas flotantes, unidades de acomodación, para trabajos off-shore, para tendido de tuberías, buques de apoyo a operaciones de buceo, veh*ículos submarinos, *etc*.



Fig. 18.43 Transporte de "jacket" para el proyecto Ivar Aasen. Autor: Kees Torn (licencia CC BY SA 2.0).

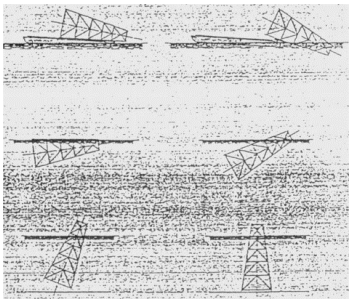


Fig. 18.44 Secuencia de lanzamiento al agua y puesta en vertical de "jacket".

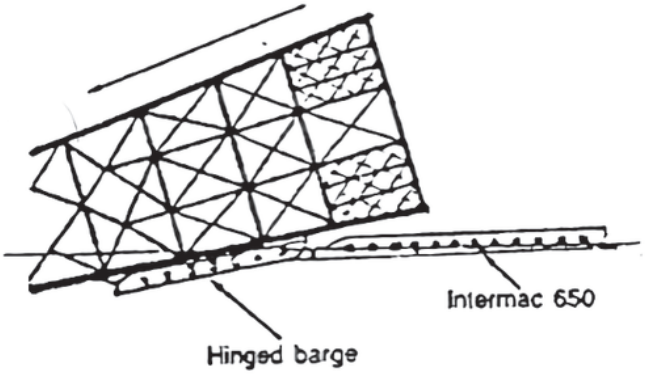


Fig. 18.45 Maniobra de lanzamiento al agua de la estructura de soporte.

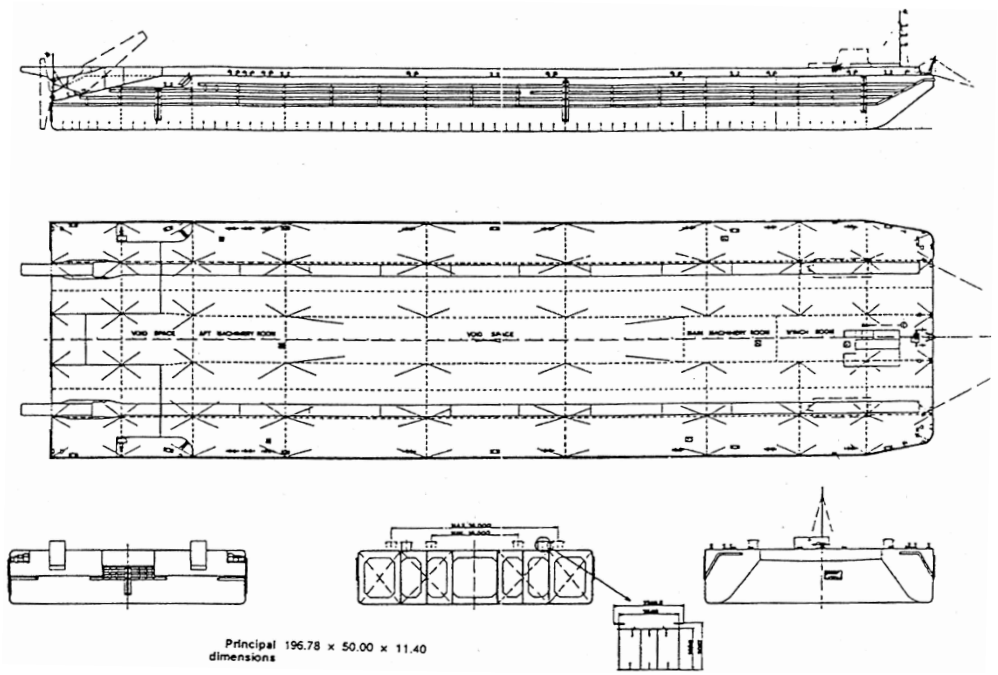


Fig. 18.46 Barcaza *(barge)* para transporte de estructuras off-shore (*jacketts,* etc).

c) Plataformas autoelevables o "jack-ups".



Fig. 18.47 Plataforma perforación GSF Monarch en Cromarty Firth. Autor: David Dixon (licencia CC BY SA 2.0).



Fig. 18.48 Plataforma para montaje de aerogeneradores parquet eólico Sheringham Shoal. Autor: Harald Pettersen/Statoil (licencia CC BY 2.0).

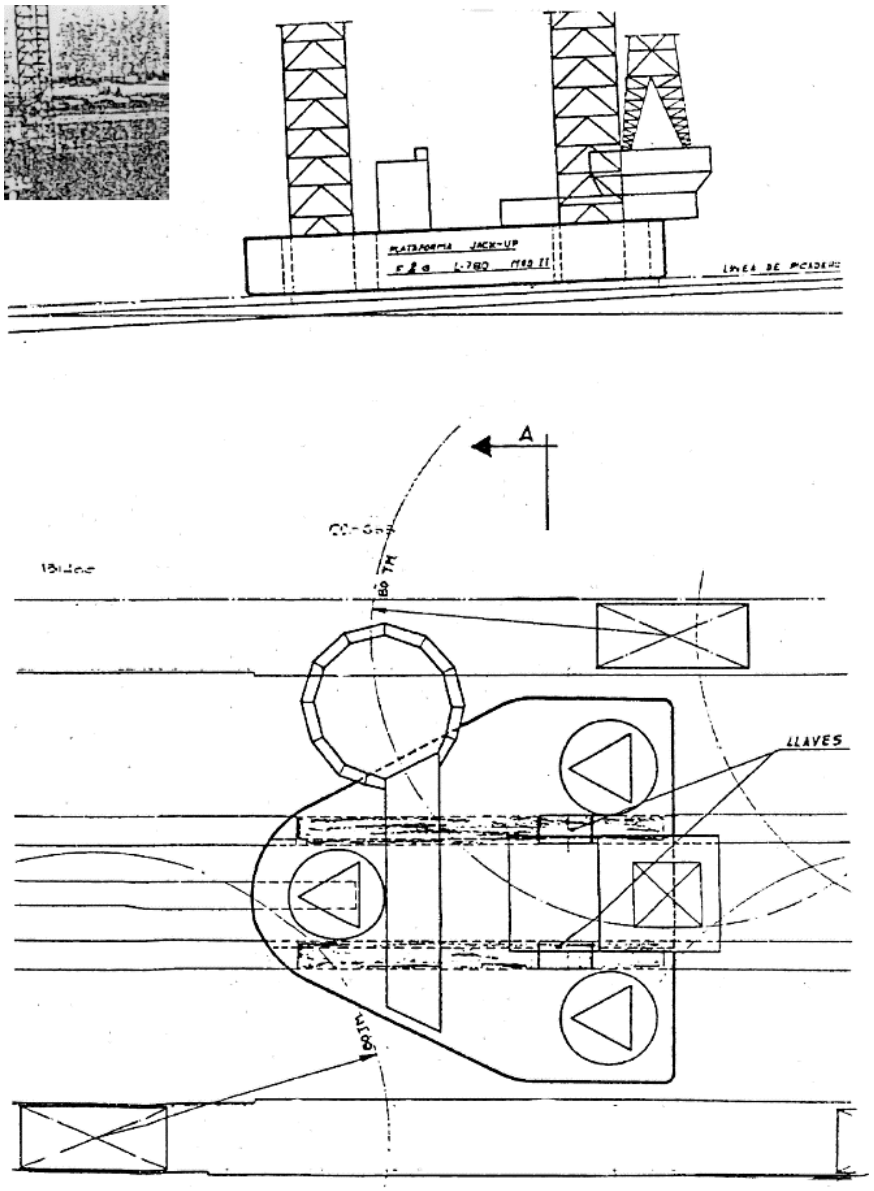


Fig. 18.49 Estudio de la construcción de "jack-up" en grada.

d) Estructuras *para el Ártico, plataformas de gravedad* (gravity towers) *y módulos para las mismas.*



Fig. 18.50 Plataforma Prirazlomnaya (Gazprom) en el Mar de Pechora. Autor: Krichevski (licencia CC BY SA 4.0).

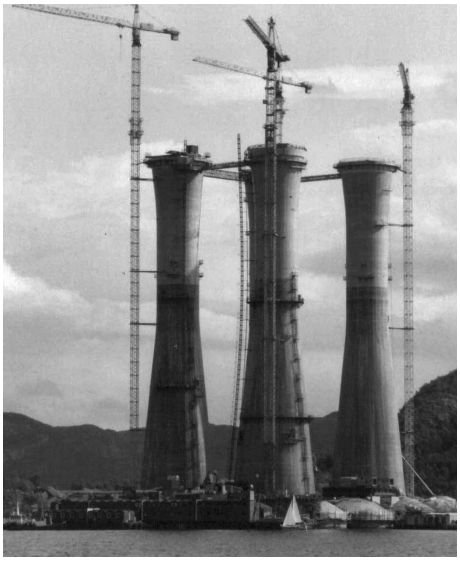


Fig. 18.51.1 Estructura de hormigón para plataforma offshore en Noruega. Autor: Bluemoose (licencia CC BY SA 3.0).



Fig. 18.51.2 Plataforma Troll A. Autor: Norsk olje og gass (licencia CC BY SA 2.0).

e) Grúas flotantes.

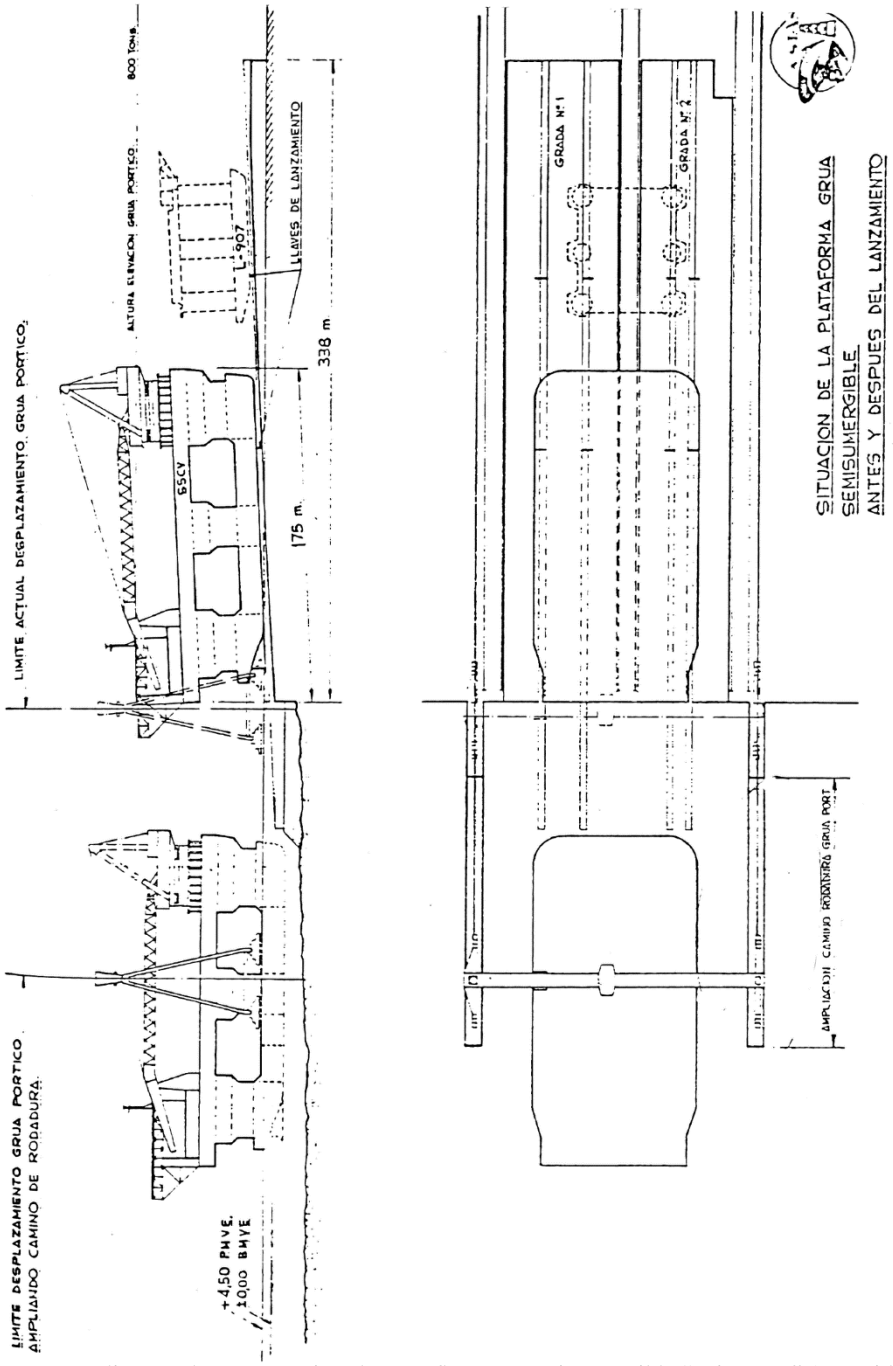


Fig. 18.52 Estudio para la construcción de grúa flotante semisumergible "Micopery" (capacidad de la grúa flotante: 2 x 7500 Tn).

f) Plataformas de patas tensionadas *(tension legs)*.

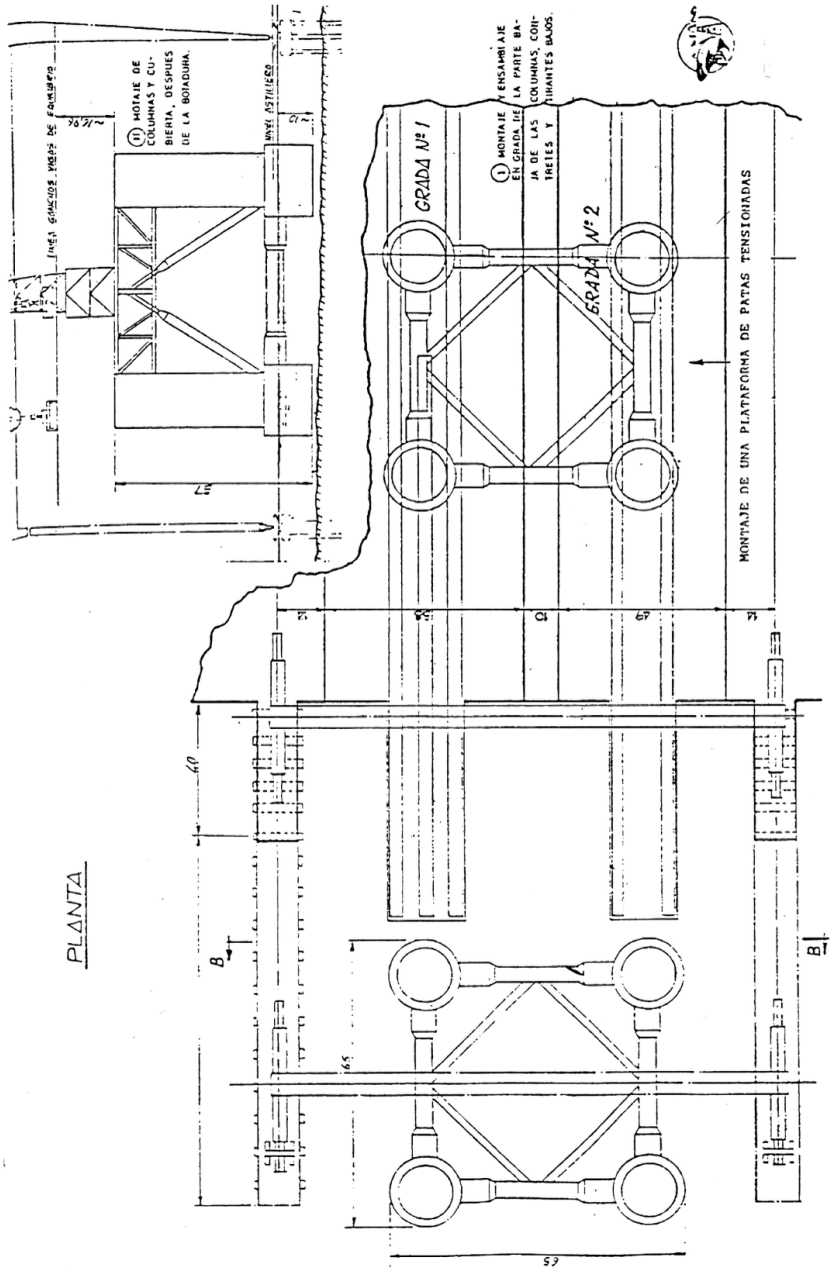
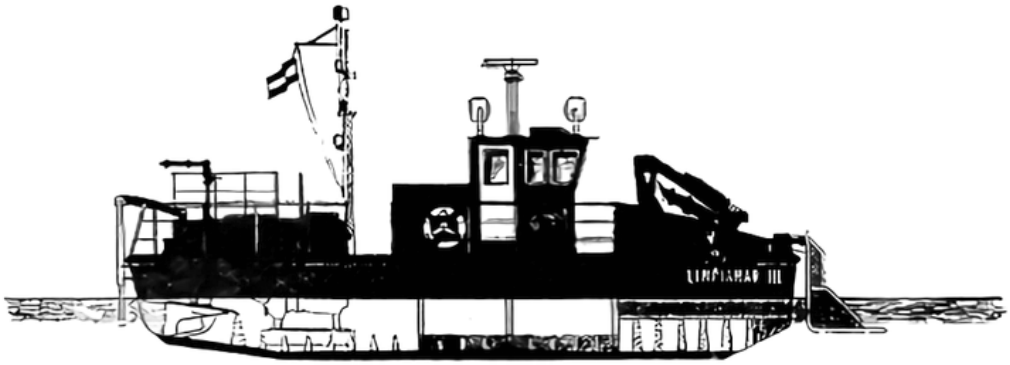


Fig. 18.53 Estudio para la construcción de una plataformas de patas tensionadas "tension legs".

g) Construcción de monoboyas de carga, y de unidades para almacenaje y carga de crudo (FSO), etc.

18.10.2 Para la protección medioambiental: Barcazas y buques con equipos de limpieza antipolución de puertos y costas, y para actuación en vertidos accidentales. Bateas, dragas y artefactos flotantes para realización de obras civiles marinas



BUQUE ANTIPOLUCION DE PUERTOS, PLAYAS Y COSTAS T-13
"LIMPIAMAR III"

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES			**CAPACIDADES DE CARGA**		
Eslora total	13,00	m	Contenedor residuos sólidos	8	m^3
Manga de trazado	4,50	m	Tanque almacén	14	m^3
Puntal de trazado	1,80	m	Tanque decantación	11	m^3
Calado máximo	1,00	m	**EQUIPO ANTICONTAMINACIÓN**		
Peso muerto	25,00	Tm	Separador	5	m^3/h a 15 ppm
Planta eléctrica	25,00	KVA	Oxigenación	100	m^3/h
Propulsión	250	BMP a 2.500 rpm	Dispersante	900	t/h a 6 bar
Tipo de propulsor		Schottel-5PJ 57	Skimmer	5	m^3/h
Velocidad	8	nudos	**EQUIPO ANTICONTAMINACIÓN**		
Autonomía	140	horas	Cañón C.I.	100	m^3/h a 60 m
Dotación	2	personas	Grúa	1	Tn a 4,5 m
Clasificación		Bureau Veritas	Radar, VHF, etc.		
Construcción	PVC				
CAPACIDADES					
Combustible	6	m^3			
Lastre	6	m^3			
Dispersante	1	m^3			

Fig. 18.54 Buque antipolución de puertos, playas y costas T-13 LIMPIAMAR III.



Fig. 18.55 Draga TSHD Cristóbal Colón Autor: Alfvan Beem (licencia CC0 1.0 Universal).

18.10.3 Instalaciones de acuicultura flotante de diversos tipos

El cultivo en instalaciones flotantes está en continuo desarrollo, y requiere como soporte flotante estructuras que han de ser puestas a flote o botadas e instaladas en el mar. Ejemplo son las bateas para mejillón, construidas en Galicia con vigas formadas por troncos de eucalipto y flotadores cilíndricos de acero. También se construyen con vigas cajón de chapa de acero autoflotantes (Andalucía).

Igualmente, tenemos los enormes cilindros (más de 40 m de diámetro y 21 de profundidad) para cultivo de salmón, diseño de Aquarfarm y hechos en GRP. También existen otras estructuras de tamaño semejante, pero abiertas, formadas por columnas verticales armadas sobre bastidores perimétricos (inferior y superior) y desarrolladas por Ocean Farm, que se pueden llevar remolcadas para su instalación o sobre buques tipo *heavy lift*.

18.10.4 Diques flotantes



Fig. 18.56 Kaohsiung, Taiwan: Dique flotante Jong Shyn. Autor: CEphoto, Uwe Aranas (licencia CC BY SA 3.0).

18.10.5 Plantas industriales flotantes diversas. Plantas de procesado, plantas energéticas y desalinizadoras flotantes, plantas de amoniaco flotantes, etc.



Fig. 18.57 Planta flotante de generación de Sinora Sdn Bhd, una fábrica de contrachapado en Sandakan. Autor: CEphoto, Uwe Aranas (licencia CC BY SA 3.0).



Fig. 18.58 Planta flotante de procesado de pescado Atlantis. Autor: Sdm9093 (licencia CC BY SA 3.0).



Fig. 18.59 Planta flotante de desalinización Hydriada, alimentada por energía solar y eólica en Irakleia, Grecia. Autor: Vito31 (licencia CC BY SA 3.0).

18.10.6 Hoteles flotantes



Fig. 18.60 Flotel Manor en Kolkata (India). Autor: Biswarup Ganguly (licencia CC BY 3.0).



Fig. 18.61 Pioneer (Offshore Accommodation Barge), isla de Giglio, Tuscan, Italia. Autor: Disma Ballabio (licencia CC BY 3.0).

18.10.7 Jackets para soportado de aerogeneradores marinos



Fig. 18.62 Jackets y trípodes de acero para plantas de aerogeneradores offshore. Autor: Tvabutzku1234 (licencia CC0 1.0 Universal).



Fig. 18.63 Aerogenerador de campo offshore Alpha Ventus. Autor: Martina Nolte (licencia CC BY SA 3.0).

18.10.8 Spar buoys para soportado de aerogeneradores marinos



Fig. 18.64 *Spar buoy* para soportado de aerogenerador flotante. Parque Hywind. Autor: L.C. Nøttaasen (licencia CC BY SA 2.0).



Fig 18.65 Turbina flotante tipo semi-sumergible (Proy Windfloat - Aguçadoura). Autor: Untrakdrover (licencia CC BY SA 3.0).





Fig. 18.66 Maniobra de embarque de Spar buoy sobre buque tipo heavy lift Albatross en el astillero Navantia – Fene con destino final el parque eólico marino Hywind de Statoil.

18.11 Transformaciones y conversiones

No hay que olvidar los importantes trabajos que el mercado demanda de grandes transformaciones de buques y unidades existentes, en otras para operaciones off-shore. Son los casos habituales de conversiones de buques petroleros en unidades FSO ("floating storage and off loading", o almacenaje y carga a buques flotante) y FSU ("floating storage" o almacenaje flotanta); los casos de transformación de plataformas semisumergibles de perforación a plataformas de producción y a otros tipos (ejemplos de estos dos tipos de transformación se realizaron recientemente en Astilleros de Cádiz).

Incluso, en el caso de Astano, para construir el PTS, se aprovecharon la proa y la popa de un buque ruso, previamente utilizado como dique flotante para realizar mantenimiento de submarinos en la mar, teniendo Astano que construir nueva la sección central del casco en las gradas y botarla, cortar la proa y la popa del buque ruso en dique y realizar después una interesante operación especial de unión con la nueva parte del casco, también en el dique.

Para la realización de estos trabajos, y más si son de cierta envergadura y responsabilidad, el astillero tiene que estar dotado de los mismos sistemas organizativos y de calidad que se estudiaron anteriormente en este capítulo para los astilleros de nuevas construcciones off-shore.

Capítulo 19

Requisitos de las instalaciones y operaciones para el reciclado de buques de acero. Métodos de trabajo

19.1 Introducción

Los buques tienen un periodo limitado de vida útil y al final de ésta lo habitual es enviarlos a desguazar. No pueden operar eternamente porque se deterioran a lo largo de su vida por efecto del desgaste, la corrosión y la fatiga del metal, al tiempo que se van quedando obsoletos tanto en sus aspectos operativos (carga-descarga, consumo de combustible, sistemas de navegación, sistemas de pesca, etc.), como en los relativos a la seguridad y protección ambiental. Se puede actualizar algún sistema o parte del buque, pero tarde o temprano llega un momento en que termina su vida activa. Generalmente entonces se envían a desguazar, pero esto no siempre es así, pues a veces se utilizan de museos o simplemente se abandonan y se dejan varados en alguna playa del tercer mundo.

El desguace es en realidad una operación de reciclado de los componentes para aprovechar aquellos aún en buen uso (equipos, maquinaria, repuestos, consumibles) y de reciclado de materiales (acero, aluminio, cobre y otros) susceptibles de ser puestos de nuevo en uso tras un proceso industrial apropiado.

El desguace de buques en los años setenta se llevaba a cabo principalmente en puertos europeos y de países desarrollados. Esta situación cambió debido a que se trataba de un trabajo complejo y costoso en mano de obra y a que se produjo un aumento de las exigencias medioambientales, de seguridad y de sanidad. Hace 25 años era una actividad colateral a la construcción de buques y por ello los países más importantes en desguace de buques eran los países considerados como los mayores constructores navales: Japón, Corea del Sur, España e Italia.

La operación de desguace o reciclado de buques de casco de acero había sido una actividad rentable hasta el último tercio del siglo XX. Se trata de una operación muy intensiva en mano de obra y su rentabilidad se basa en que se recupera un material que tenía un valor de mercado que superaba el coste de su recuperación. Pero debido

al aumento de los costes laborales y alas estrictas normas de protección ambiental, la actividad de desguace de la UE se redujo considerablemente en los últimos 40 años y se ha ido trasladando a países del Tercer Mundo, principalmente del sur de Asia.

El problema fundamental de realizar el desguace en países donde resulta económicamente rentable es que, tanto para los trabajadores como para el medioambiente, las consecuencias pueden ser nefastas por carecer las instalaciones en muchos casos de los elementos mínimos necesarios para realizar estas actividades en condiciones aceptables.

En este capítulo se hace una exposición general, aunque no exhaustiva, de los requerimientos de las instalaciones y técnicas a seguir en las operaciones de reciclaje de buques, a fin de realizar este trabajo de forma segura y salubre para el las personas y de forma respetuosa para el medioambiente, exponiendo los principales requisitos y aspectos técnicos que deben tenerse en cuenta al preparar un emplazamiento para llevar a cabo dichas actividades. Entre ellos se pueden citar: el lugar, la infraestructura, el equipo y el personal. Además, se exponen las necesidades en cada etapa del reciclaje, incluida la preparación previa del buque, el proceso de desmantelamiento y la gestión de los residuos que resultan.

19.2 Consideraciones a tener en cuenta a fin de planificar la capacidad de la industria de reciclaje en la UE o en uno de sus Estados. Consideraciones de partida

A raíz de las dificultades y problemas surgidos, no sólo en nuestro país y su entorno (UE), con las operaciones de desguace de los diversos tipos de buques, recordemos a este respecto los riesgos que presenta la existencia de amianto y las diferentes potenciales agresiones al medio ambiente que esta actividad implica, si no se toman las medidas y precauciones necesarias, se ha de admitir que se requiere la elaboración de un conjunto claro de normas técnicas y directrices obligatorias exigibles para las instalaciones dedicadas al desguace de los buques, para la inspección previa de los mismos y su preparación antes de proceder con su desmantelamiento, así como para el tratamiento de los subproductos y residuos generados, para su eliminación o su reciclado y reutilización, sin que se generen riesgos ni daños para las personas y para el medio ambiente. Las directrices han de ser claras y concisas y han de ser conocidas y aplicadas, tanto por los armadores de los buques, como por las empresas de reciclado.

Por citar un problema de cierta actualidad, se estimaba que la decisión de la Organización Marítima Internacional (OMI) de eliminación de los petroleros de casco sencillo antes de 2015, se traducía en la eliminación de alrededor de 400 buques que enarbolaban banderas de la UE. Sin embargo, la industria de desguace de buques se

ubicaba, y se ubica, fundamentalmente en el Sur de Asia, siendo preocupante allí la tradicional ausencia de medios adecuados para la protección de la salud y del medio ambiente, así como medios de seguridad, ya que no existen normativas al efecto o no se cumplen. Es también preocupante el hecho de que las instalaciones de cierta calidad para el reciclaje de buques, actualmente existentes en la UE, no puedan competir económicamente con las asiáticas.

Sería necesario identificar y definir claramente las capacidades actuales, así como potenciales, para el reciclaje de buques en la UE y cada uno de sus Estados, las cuales han de cumplir con una normativa y legislación adecuada que asegure que estas actividades se realizan de forma segura y sostenible.

Está extendida la hipótesis de que, si en una instalación se puede construir un barco, está preparada para desguazarlo. Pero es frecuente que se provoque controversia y rechazo a esta actividad debido a la percepción pública de que el desguace de buques causa perjuicios para el medio ambiente. Sin embargo, si se crearan las infraestructuras adecuadas, con su correcto emplazamiento, y se elaboraran y aplicaran la necesaria reglamentación y procedimientos de gestión medio ambiental con costes aceptables, se potenciaría e impulsaría así, con un cambio de imagen responsable, el "nuevo" negocio de desmantelamiento y reciclado de buques en la UE, pudiendo llegar a convertirse en una industria de cierto prestigio.

Por otra parte, a fin de desarrollar una industria de reciclaje de buques, es necesario asegurar la disponibilidad a largo plazo de buques para su desguace y, al mismo tiempo, potenciar la demanda de materiales que se puedan reciclar.

El REGLAMENTO (UE) Nº 1257/2013 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 20 de noviembre de 2013 relativo al reciclado de buques y por el que se modifican el Reglamento (CE) n.º 1013/2006 y la Directiva 2009/16/CE, publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea el 10 de diciembre de 2013, establece, entre otros muchos detalles, las condiciones y fechas de entrada en vigor del mismo.

19.3 Buques y estructuras que en su día han de ser desmantelados y potencialmente reciclados: buques mercantes, buques del Gobierno, plataformas petrolíferas y otras estructuras off-shore

a) *Buques mercantes.*

Una vez que el armador toma la decisión de deshacerse de un buque, se solicita normalmente el servicio de un *broker*, ya sea para vender la nave para seguir con su actividad, normalmente de transporte o, si esto no es económicamente

viable, venderlo a un intermediario. Ellos, a su vez, pueden vender el buque a un desguazador, el cual se convierte así en el propietario legal del buque. Este proceso se ilustra en la **Fig. 19.1.**

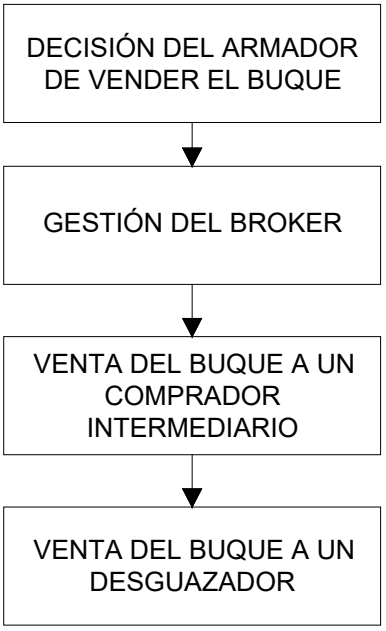


Fig. 19.1 Proceso de eliminación de un buque mercante.

b) *Buques propiedad del Gobierno.*

En general, la mayoría de los buques que están considerados como propiedad del Gobierno son los buques de guerra, aunque hay muchos otros buques como son los de investigación, de apoyo a la pesca y patrulleros que son también propiedad de diferentes organismos del Gobierno. Para los buques de guerra, pertenecientes al Ministerio de Defensa, la decisión de dar de baja un buque es tomada por el propio Ministerio. En el supuesto de que el buque no sea vendido a otro gobierno para su uso como buque de guerra, se amarra en un muelle de un arsenal o base naval militar, bajo custodia de la Armada, para su venta normalmente para su desguace, aunque también se le puede destinar a un uso civil.

Tras su amarre, es sometido una fase preparatoria en la que se desmonta el armamento y elementos de uso militar, siguiendo el buque bajo custodia de la Armada.

c) *Instalaciones marinas para explotación de crudo y gas (plataformas petrolíferas) y otras estructuras off-shore.*

En todo el mundo hay más de 6.000 instalaciones off-shore para explotación de crudo y gas que necesitarán ser desmanteladas (*decomissioning*) en un próximo futuro - del orden de 4.000 en el Golfo de México, 900 en Asia, 700 en Oriente Medio y 600 en el Atlántico Norte y Mar del Norte.

Dichas instalaciones y sus correspondientes estructuras varían desde equipos submarinos fijos en el fondo del océano hasta grandes plataformas empleadas en las áreas más profundas (200 m) del Mar del Norte, construidas para soportar las duras condiciones meteorológicas del medio marino en estas zonas, y estructuras para mayores profundidades en otros lugares.

A estas estructuras habrá que añadir en su día para su necesario desmantelamiento por envejecimiento u obsolescencia, las estructuras marinas que ya han comenzado a instalarse de forma masiva para aprovechamiento de energías renovables marinas, fundamentalmente la eólica (*jackets, spar buoys*) y otras potenciales.

Existen varias semejanzas entre las operaciones de reciclaje de buques y el desmantelamiento de las grandes estructuras para crudo y gas, como son:

1. En el desmantelamiento de los módulos o *top-sides* de las plataformas petrolíferas que tiene que ser realizado mediante técnicas de corte.
2. El lugar que se utilice para desguazar las estructuras requerirá autorizaciones similares a las que se exigen para una instalación de reciclado de buques. Problema adicional es la desconexión de estas instalaciones en los campos donde han operado, su elevación mediante medios y grúas flotantes y su transporte sobre barcazas o *heavy lifts* a las instalaciones autorizadas de reciclaje.
3. Los procesos de reciclaje, así como los materiales a ser reciclados, son semejantes a los que se empleen y resulten del reciclaje de buques.

Tal como se constata en diferentes ejemplos, la cantidad de material en cada plataforma que tendrá que ser gestionado a través de una instalación de reciclaje es enorme. Solamente en algunas de las varias plataformas fijas que existen para explotación de hidrocarburos y sus instalaciones conexas, puede haber 30.000 toneladas de material que deben ser manipuladas a lo largo del proceso de desmantelamiento. La mayoría del material, unas 20.000 toneladas, es acero. El resto es de otros metales, además de ciertas cantidades de madera, vidrio y plástico, que podrían ser reciclados sin tratamiento previo. En las plataformas fijas y algunas de patas tensionadas (*tension legs*), hay que considerar también el hormigón que constituye su estructura, en algunos casos de forma masiva.

19.4 El Convenio de Hong-Kong

El *Convenio Internacional de Hong Kong para el reciclaje seguro y medioambientalmente racional de los buques* fue aprobado por los Estados miembros de la OMI en mayo del 2009, en Hong Kong.

Su elaboración duró tres años, se hicieron aportaciones de los Estados de la OMI y organizaciones no gubernamentales. Además, se realizó en cooperación con la OIT y las partes del Convenio de Basilea (22/03/1989), relativo al control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

Las partes fundamentales en que se base este Convenio incluyen *diseño, construcción, operación y preparación de los buques.*

Incluye entre otras las siguientes resoluciones:

Resolución 3: Promoción de la cooperación técnica y asistencia.

Resolución 5: Pronta implantación de las normas técnicas de la Convención internacional de Hong Kong para la seguridad y ambientalmente racional de Reciclaje de Buques de 2009.

Incorpora recomendaciones y obligaciones de directrices. Y aunque se hace desaparecer el concepto de *pasaporte verde* de los buques (OMI), se establece que cada buque deberá disponer de *certificado internacional de materiales peligrosos a bordo*.

El convenio está pendiente de la firma por parte de los Estados miembro en la sede de la OMI en Londres. Entrará en vigor 24 meses después de la firma de 15 Estados que representen el 40% del arqueo bruto (TRB) de la flota mercante mundial. También se le exige que el máximo volumen anual conjunto de reciclaje de buques de esos Estados, durante los 10 años precedentes, no sea inferior al 3% del TRB combinado de sus flotas mercantes.

Además, han sido desarrolladas y adoptadas las siguientes directrices para asistir a los Estados miembros en la pronta implantación de los estándares técnicos del Convenio:

— Directrices, 2011, para el Desarrollo de del Inventario de Materiales Peligrosos, adoptadas por la resolución del Comité para Protección del Medioambiente Marino, MEPC. 197(62).

— Directrices, 2011, para el Desarrollo del Plan de Reciclaje del Buque, adoptadas por la resolución MEPC.196(62).

— Directrices, 2012, para un Reciclaje de Buques Seguro y Medioambientalmente Fiable, adoptadas por la resolución MEPC. 210(63).

— Directrices, 2012, para la Autorización de Instalaciones para el Reciclado de Buques, adoptadas por la resolución MEPC. 211(63).

Adicionalmente, fueron desarrolladas y adoptadas otras dos directrices para asistir a los Estados en la implantación del Convenio después de su entrada en vigor:

— Directrices, 2012, para el estudio y certificación de buques siguiendo el Convenio de Hong Kong, adoptadas por la resolución MEPC.222(64);

— Directrices, 2012, para la inspección de buques siguiendo el Convenio de Hong Kong, adoptadas por la resolución MEPC. 223(64).

19.5 Requisitos técnicos para el reciclado de buques

Hay que indicar que, en los párrafos que siguen, y en aras de la conveniente brevedad y concisión, se ofrece sólo un panorama general de los principales requisitos técnicos que deben reunir las instalaciones de reciclaje de buques y las operaciones llevadas a cabo en ellas. No se expone por tanto una relación y descripción exhaustiva de elementos y medios, la cual debe ser redactada por un equipo consultor profesional especializado, cuando se haya de establecer y echar a andar una instalación de reciclado de buques.

Los actuales o los antiguos astilleros pueden ser buenos candidatos para trabajar como instalaciones de reciclaje de buques, aunque también pueden utilizarse otros espacios.

En todo caso, se trata de establecer un equilibrio de costes entre la inversión de capital necesaria para construir una instalación y el número y tamaño de los buques disponibles para reciclaje a largo plazo, junto con la demanda real de materiales reciclables a precios competitivos.

Ya sea en un nuevo espacio o en uno ya existente, es importante que una instalación de reciclaje tenga capacidad para reciclar los buques que se compren a tal fin y en conformidad con la legislación del Gobierno y los convenios internacionales pertinentes. En particular, es necesario tener en cuenta y cumplir las directrices elaboradas por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) sobre seguridad y salud en el desguace de buques, las directrices técnicas del Convenio de Basilea para la efectiva gestión medioambiental del desguace total o parcial de los buques, y también las directrices de la OMI para el reciclaje de los mismo.

a) *Tamaño, situación y disposición de las instalaciones.*

El diseño de una instalación de reciclado de buques depende en general de su ubicación geográfica, de su tamaño e infraestructuras que existan en el entorno. Y del tamaño de la planta depende el número de buques que se puedan desguazar simultáneamente.

Si bien no existe una norma reconocida para determinar el tamaño de instalaciones de reciclaje de buques, sería aconsejable seguir los siguientes criterios orientativos:

INSTALACIONES PEQUEÑAS	**INSTALACIONES MEDIANAS**	**INSTALACIONES GRANDES**
Desguazar menos de 10 buques/año con:	**Desguazar entre 10 y 20 buques/año con:**	**Desguazar más de 20 buques/año con:**
Eslora <100 m	Eslora entre 100 y 200 m	Eslora > 200 m
Calado < 4m	Calado entre 4 m y 6 m	Calado > 6 m
Tonelaje/año desguazado:		
Menos de 10.000 toneladas de peso en rosca	Entre 10.000 y 65.000 toneladas de peso en rosca	Más de 65.000 toneladas de peso en rosca
Superficie necesaria		
Menos de 5 hectáreas	Entre 5 y 50 hectáreas	Más de 50 hectáreas

Tabla 19.1 Criterios orientativos para dimensionar una instalación de reciclaje de buques.

En el cuadro anterior se han indicado unos criterios generales para el tamaño de las instalaciones para desguace. También deben ser tenidas en cuenta las longitudes de los muelles necesarias para el atraque. Por ejemplo, un único muelle podría ser suficiente para procesar un gran buque o bien tres pequeños simultáneamente cuya suma de esloras sea menor que la del muelle. El tamaño de las instalaciones también dependerá de la accesibilidad de los buques desde el mar y de la infraestructura anexa.

Asimismo, la disposición de la instalación dependerá de la configuración de una instalación ya existente o de la topografía del lugar donde vaya a establecer una nueva.

La **Fig. 19.2** ilustra el formato con el que se trata de presentar el concepto general de disposición de una planta de reciclaje para buques de tamaño medio, capaz de desguazar entre dos y cuatro buques por año del tamaño de una fragata. Como se ve, dos buques se encuentran fondeados en espera, mientras que otro se encuentra en el dique seco.

A fin de que las empresas de desguace participen en el reciclaje de buques, la ubicación de la instalación deberá estar en consonancia con el tamaño de la operación. Lo ideal sería un sitio espacioso situado en la costa, con acceso desde las rutas marítimas cercanas, y concebir la instalación para que sea posible procesar grandes buques mercantes.

Las instalaciones más pequeñas pueden operar tanto en la costa como en lugares más al interior, en un estuario por ejemplo, siempre que exista acceso y las condiciones ambientales no se deterioren. Dicho tipo de instalaciones son ideales para procesar buques más pequeños tales como los de pesca.

Con el fin de ser eficaces, los lugares ya existentes para reciclaje de buques, así como los potencialmente futuros, tendrán acceso desde el mar. El acceso debe tener la suficiente profundidad para permitir que los buques sean llevados con seguridad a un fondeadero o directamente a un dique seco sin obstrucciones, como pueden ser puentes bajos o canales estrechos.

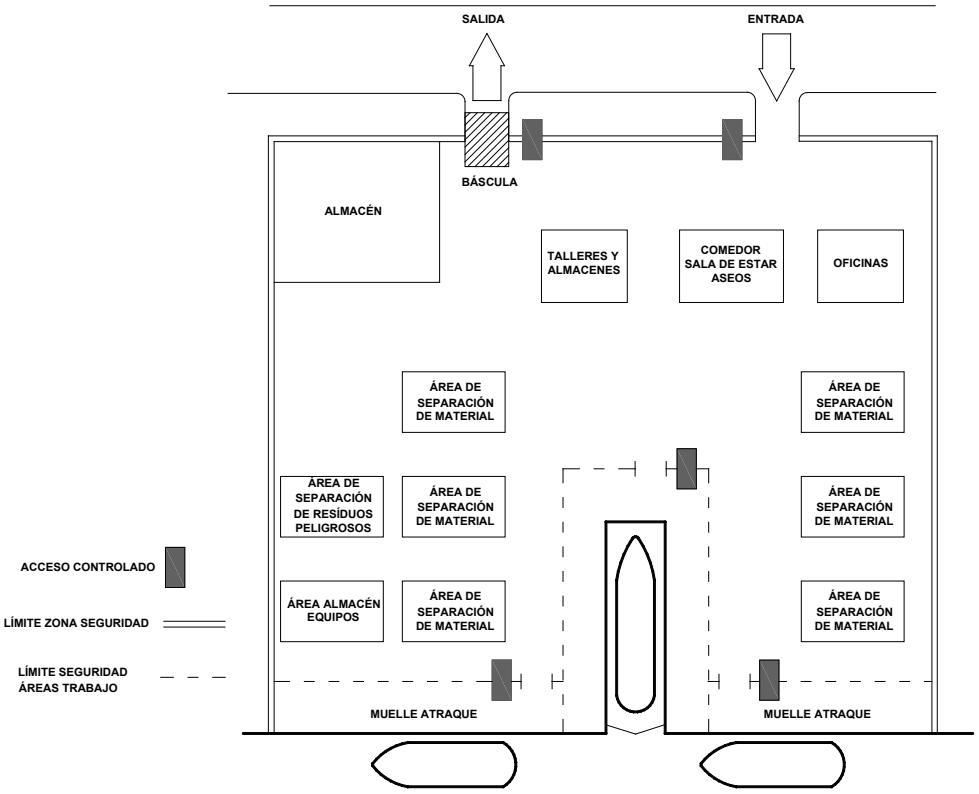


Fig. 19.2 Disposición general orientativa de una instalación de reciclaje de buques de tamaño medio.

La infraestructura existente de carreteras locales tiene que ser tenida en cuenta a la hora de ubicar una instalación de reciclaje. En el caso de una nueva instalación o la rehabilitación de una anterior, debe ser evaluada la capacidad de las vías de comunicación para el tráfico que se origine con motivo del proceso de desguace. Cuando la instalación esté en funcionamiento, los materiales recuperados tendrán que ser transportados para su posterior utilización. Hay que tener también en

cuenta que en un proceso de reciclaje se generan residuos que no pueden reutilizarse, que han de ser transportados a un centro de tratamiento de residuos peligrosos o no peligrosos, según proceda, o a una instalación de eliminación.

El enlace con ferrocarril y la posibilidad de transporte marítimo desde la planta serían muy ventajosos para dar salida a los productos reciclados o a reciclar y a los residuos, ya que se reduce en gran medida la carga del transporte por carretera. Asimismo, proporciona un fácil acceso a los mercados extranjeros, donde los precios de la chatarra de metal pueden ser mayores.

También debe ser considerado el nivel de desarrollo del entorno que rodea el lugar. La instalación no debe causar impacto o contaminar los aledaños, ni causar un impacto visual adverso ni producir mal olor o molestias relacionadas con el ruido. No debe afectar de forma negativa al medio ambiente de las áreas designadas como especialmente sensibles. En la **Tabla 19.2** se expone una lista de áreas designadas como especialmente sensibles. Cabe señalar que la ubicación cercana de una zona designada como especialmente sensible no necesariamente prohíbe la operación de reciclado en un sitio, pero se requiere una adecuada gestión medioambiental y procesos de mitigación de impactos. Las limitaciones que impone cada tipo de designación como área sensible son diferentes para una y otra, y los operadores que proyectan instalarse deben de tener en cuenta las correspondientes directrices de las autoridades nacionales y locales así como la forma en que se han de aplicar.

- Lugar de Interés Científico Especial
- Esquema para asignación de Banderas Azules
- Patrimonio de la Humanidad
- Áreas de belleza natural
- Humedales
- Parque Nacional
- Reserva Natural Nacional
- Monumentos de Interés
- Zonas ambientalmente sensibles
- Patrimonio Costero
- Bosque Antiguo
- Zonas de Protección Especial
- Zona de Conservación Especial
- Cinturón Verde
- Planes de la Agencia Local de Medio Ambiente
- Bosque Nacional
- Bosque en Fideicomiso
- Lugares de Interés arqueológico
- Domicilios Verdes

Tabla 19.2 Áreas designadas especialmente sensibles.

Como ocurre con cualquier empresa comercial, al considerar un potencial lugar para reciclado, también deben tenerse en cuenta las condiciones socioeconómicas locales. Sería de esperar que cualquier instalación existente o potencial traiga beneficios económicos a una zona, ofreciendo empleo directo e indirecto a la

población local. Sin embargo, el empleo directo puede ser reducido en ocasiones y dependerá de la posibilidad de un suministro regular de buques para su reciclado en la instalación.

b) *Condiciones del amarre para desguace de los buques.*

Una vez que un buque entre en la instalación deben existir puntos suficientes de amarre estables y seguros para los buques, mientras están en situación de espera o son sometidos a una preparación previa a la operación de desguace.

Preferiblemente, un buque debería entrar en una instalación de reciclaje y ser atracado a un muelle (en casos puede estar incluso fondeado en espera aún de atraque) para ser sometido a los trabajos preliminares de desguace, en los que se elimina la parte alta de la superestructura hasta llegar al casco, permaneciendo atracado hasta que un dique seco esté disponible para el desmantelamiento final hasta la quilla. Sin embargo, no todas las instalaciones de reciclaje de buques tienen que estar necesariamente dispuestas de este modo, pudiendo estar dotadas de un gran espacio a modo de dique seco excavado hacia tierra y debidamente pilotado en su parte inferior, si el suelo por sí sólo no es suficientemente consistente, pero con el cierre por el lado del mar constituido por tablestacas, en lugar de por un barco puerta, que es más costoso.

Una vez que el buque se encuentra en la fase final de desmantelamiento, que comenzó por la parte superior del casco y siguió hasta llegar al fondo, debe mantenerse en condiciones de estabilidad.

19.6 Instalaciones y requerimientos en el lugar donde se verifica el reciclaje de los buques

a) *Seguridad del lugar del emplazamiento.*

El lugar del emplazamiento ha de cumplir con una serie de requisitos y disponer de un perímetro de seguridad. La instalación debe contar un sistema de acceso controlado desde tierra, necesitándose controles adicionales para los trabajadores involucrados en el desmantelamiento de la nave, siendo la mejor forma de lograrlo mediante el control de acceso al buque.

b) *Almacenes y talleres.*

Durante el proceso del desguace se inventariarán y catalogarán los componentes del buque que puedan ser aprovechables y/o reciclables y se almacenarán en condiciones de seguridad. Ejemplos de estos equipos son el motor, los generadores, las válvulas, las tuberías, el mobiliario, parte de la instrumentación, etc.

Para preparar el barco para el reciclaje, hay que retirar todos los residuos sólidos y líquidos que existan en el mismo y almacenarlos en condiciones seguras, directamente o por medio de subcontratistas autorizados. Si se almacenan in situ, serán necesarios tanques de almacenamiento para los residuos líquidos tales como agua contaminada, combustibles, aceites, etc.

Los residuos peligrosos de un buque serán puestos aparte y sus componentes identificados y marcados.

Se requiere también un taller para reparaciones generales y mantenimiento de los equipos.

c) *Oficinas.*

Se requieren oficinas para la gestión de la empresa, las compras, la gestión comercial y de personal, así como para el control de los productos almacenados. En estas oficinas se llevará el control de las operaciones, de las autorizaciones expedidas y el control de los planos y especificaciones de los buques, listas de equipos y sus especificaciones. Igualmente, de todos los materiales que se vayan almacenando.

d) *Servicios para el personal.*

Las instalaciones requerirán el tamaño y medios necesarios para cumplir los requisitos de salud, seguridad y bienestar en el trabajo que estén en vigor, incluyendo instalaciones sanitarias y de aseo con duchas y baños y un local de primeros auxilios.

La instalación deberá tener disponibles equipo de protección personal, vestuarios y taquillas con cerradura e instalaciones para comida y descansos estipulados entre períodos de trabajo.

En el caso de derrames de fluidos o medios peligrosos, la instalación debe tener la posibilidad de desviarlos así como de su almacenamiento y la posibilidad también de tratamiento de la lavandería y del agua de lavado contaminada con altas concentraciones de sustancias peligrosas.

En determinadas circunstancias, tendrán que disponerse instalaciones adicionales especiales, por ejemplo, cuando se trabaje con amianto o plomo.

e) *Medidas para proteger la salud, la seguridad y el medio ambiente.*

Cualquier establecimiento que se dedique a este tipo de industria tendrá que demostrar un alto nivel de cumplimiento de las medidas obligatorias para proteger la salud, la seguridad y la gestión sostenible del medio ambiente.

En la instalación de reciclaje de buques se necesita una GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL eficiente a fin de operar de forma correcta y sostenible, poniendo en marcha un Sistema de Gestión Medioambiental (SGM) igual o similar

al contemplado en la norma ISO 14001. Puede ser necesaria una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) antes de obtener el permiso de funcionamiento como instalación de reciclaje de buques. El EIA debe enumerar los posibles impactos ambientales asociados con todas las operaciones y debe establecer las medidas de mitigación para cumplir con la legislación y la gestión del medio ambiente, debiendo identificar las sustancias peligrosas que puedan estar presentes, la gestión prevista para los residuos y para control de la contaminación, lo cual debería estar también incluido entre las condiciones que acompañan a las solicitudes de licencias (urbanística y otras) para el establecimiento de la actividad.

En general, para el desguace de buques, tendrán que ser gestionados, al menos, los siguientes aspectos medio ambientales:

1. posible contaminación del agua, tanto del mar como dulce;
2. posible contaminación del aire;
3. contaminación del suelo
4. control de residuos líquidos, incluidos los peligrosos;
5. control de residuos sólidos, incluyendo los peligrosos por supuesto;
6. impacto visual del desguace;
7. control del ruido y del olor;
8. contaminación lumínica;
9. contaminación acústica;
10. protección de la flora y de la fauna;
11. forma de realizar los transportes hacia y desde la instalación de reciclaje;
12. control de las emisiones de motores, generadores eléctricos y equipos de corte.

Los requisitos generales de un SGM, conforme con los requisitos de la norma ISO 14001, son, de forma resumida:

— identificación formal de los aspectos medioambientales;

— identificación formal de la legislación y normas;

— identificación de objetivos y metas medioambientales;

— identificación de recursos, funciones, responsabilidad y autoridad;

— requerimientos de formación y conocimientos competentes del personal;

— preparación de procedimientos documentados;

— control de los procedimientos documentados establecidos;

— control operacional de la gestión medioambiental;

— preparación y respuesta ante emergencias;

— auditorias e inspecciones.

El SGM será creado por personas debidamente cualificadas y debe ser objeto de una auditoría independiente. Si el SGM ha de obtener la Certificación ISO 14001, será auditado y certificado por un organismo acreditado que, periódicamente, realizará una revisión a fin de mantener la certificación. El mantenimiento del SGM será responsabilidad de un empleado competente, nombrado para este cometido.

19.7 Equipo necesario para el reciclaje de buques

El equipo necesario para desguazar un buque depende de las necesidades operacionales y también, como es lógico, del importe de la inversión que el para esta actividad desee realizar en el emplazamiento de la misma. En **Tabla 19.3** se expone como guía y de forma resumida el equipo necesario para desguazar un buque de acero.

EQUIPO	MISIÓN
Grúas fijas y móviles	Elevación de trozos y las secciones del buque desde suelo o desde la parte que va quedando del propio buque.
Pies de gallo y somieres magnéticos	Colgados de las grúas para levantar los trozos de acero de los buques.
Equipos auxiliares diversos para elevación	Eslingas, carreteles, cadenas y cables de acero, para suspender maquinaria y equipos que se extraen del buque
Tractores mecánicos	Arrastre de vehículos de transporte rodado y vehículos todo terreno con brazos y equipamiento para operar con cizallas hidráulicas.
Cizallas hidráulicas y equipo de corte con gas	Corte de partes de acero y otras metálicas
Carretillas elevadoras y volquetes	Transporte de las partes de la nave a su área de estiba y almacenamiento
Imanes	Comprobación de la naturaleza de los metales (férricos o no férricos)
Detectores de gas y medidores de oxígeno	Con el fin de garantizar que la atmósfera dentro de un espacio no contiene niveles elevados de gases peligrosos o falta de oxígeno para respirar
Transformadores	Proporcionar el suministro de corriente a 110V ó 240V
Ventiladores portátiles y conductos de ventilación	Suministro de aire a espacios cerrados y extracción de humos y gases de corte de áreas confinadas.
Aparatos de iluminación provisional y lámparas de mano	Iluminación de espacios confinados y para acceso y salida del buque cuando, por causa accidental, no se dispone de iluminación fija
Herramientas manuales y equipos de comunicación	Martillos, sierras, punzonadoras, llaves inglesas, etc. para desmontar elementos diversos y radioteléfonos para comunicación
Cintas de sonda	Sondaje de tanques de aceite, combustible, crudo, lastre, etc.
Bombas de servicios generales con mangueras de succión y descarga	Bombeo de líquidos de tanques y sentinas
Barreras y dispersante de hidrocarburos y aceite	Equipo de emergencia para el caso de derrames de combustibles y aceites
Espumaderas (*skimmers*) para aceite	Eliminación de petróleo y aceite de la superficie del agua
Equipos contra incendios	Uso por los trabajadores en caso de emergencia
Botiquines de primeros auxilios	Uso en accidente laboral
Equipos y ropa de protección	Protección personal
Equipo de respiración asistida	Para acceso a espacios contaminados en situaciones de emergencia
Combustibles y aceites	Para vehículos

Tabla 19.3 Equipo necesario para el desmantelamiento de un buque.

19.8 Preparación del buque antes del reciclaje

a) *Inventario de materiales potencialmente peligrosos y Certificado de buque listo para el desguace.*

Como ya se indicó anteriormente, la Organización Marítima Internacional (OMI) en cooperación con otras organizaciones internacionales ha procedido a la redacción del CONVENIO INTERNACIONAL PARA EL RECICLAJE SEGURO Y AMBIENTALMENTE RACIONAL DE LOS BUQUES, cuya ratificación internacional tuvo lugar en Hong Kong (septiembre 2009) estableciendo directrices a las partes involucradas en el proceso de reciclaje de buques. En dicho Convenio se especifica que existirá a bordo un "Inventario de materiales potencialmente peligrosos", exigible desde la puesta en servicio los buques nuevos, que sustituirá al Pasaporte Verde y además, para el desguace de un buque, se requerirá un "Certificado de buque listo para el desguace" emitido por la Administración o una organización reconocida.

Dicho Inventario debe contener la lista de materiales potencialmente peligrosos que se encuentran en el conjunto del buque, sus equipos y sistemas, y debe ser mantenido a lo largo de la vida operativa del buque.

Los sucesivos propietarios deben mantener dicho Inventario e incorporar en él los posteriores cambios de diseño y de equipos. Cuando un buque llega a la final de su vida, este Inventario debe ser facilitado a la instalación de reciclaje.

El propietario del buque notificará con tiempo suficiente y por escrito a la Administración su intención de destinar un buque al reciclaje, de forma que ésta pueda preparar el reconocimiento y la certificación exigidos por el citado Convenio.

Igualmente, una instalación de reciclaje de buques que se prepare para recibir un buque a los fines de su reciclaje notificará con tiempo suficiente y por escrito su intención a la autoridad o autoridades competentes. La notificación incluirá como mínimo los siguientes pormenores del buque:

1. Nombre del Estado cuyo pabellón tiene derecho a enarbolar el buque.
2. Fecha en que se inscribió el buque en tal Estado.
3. Número de identificación del buque (número IMO).
4. Número del casco cuando fue entregado como buque nuevo.
5. Nombre y tipo del buque;
6. Puerto en que está matriculado el buque;
7. Nombre y la dirección del propietario del buque, así como número de la OMI de identificación del propietario inscrito.

8. Nombre y la dirección de la compañía, así como número de la OMI de identificación de la compañía.
9. Nombre de todas las sociedades de clasificación en las que esté clasificado el buque.
10. Características principales del buque (eslora total, manga (de trazado), puntal (de trazado), desplazamiento en rosca, capacidad de transporte de carga, arqueo bruto y neto, tipo y potencia del motor).
11. Inventario de materiales potencialmente peligrosos; y
12. Proyecto de plan de reciclaje del buque para su aprobación.

b) *Preparación de los buques mercantes.*

Un buque mercante se entrega a la instalación de reciclaje, bien como buque apagado, sin sistemas de energía propios funcionando, o bien en pleno funcionamiento de su sistema de generación de potencia y con las bombas también funcionando.

Se prevé que cuando la tripulación desembarque, el combustible y las provisiones permanecerán a bordo. Por lo tanto, a menos que exista prueba documental, se debería suponer que, a bordo, pueden estar las siguientes sustancias peligrosas:

— combustible en tanques y líneas de tubería;
— pinturas con base de plomo y TBT/TPT;
— lubricantes y aceites hidráulicos;
— paneles fenólicos y plásticos combustibles;
— refrigerantes y halones de los sistemas tradicionales de aire acondicionado y de refrigeración;
— amianto (dependiendo de la edad del buque);
— PCB (dependiendo de la edad del buque);
— residuos sólidos consecuencia de sedimentación en los tanques;
— agua contaminada de la sentina;
— aguas sépticas;
— residuos de la carga;
— agua de lastre y sus sedimentos;
— alimentos congelados.

La forma en que el buque se entregue a la instalación de reciclaje depende del contrato de compra entre el reciclador y el armador o el intermediario. Es más económico que el buque sea entregado con su propia potencia en funcionamiento, bien sea por el armador o por el intermediario, que tendrán la tripulación, el combustible, los certificados estatutarios y la póliza de seguro que se precisan para operar el buque.

Si el buque había estado fondeado sin servicio (*en laid-up*), previamente a deshacerse de él, es probable que haya tenido que ser remolcado hasta la instalación de reciclaje. En este escenario, es probable que los certificados estatutarios hayan caducado. En ese caso, tendrá que ser expedido un certificado de exención de carga. También debe ser inspeccionado para asegurar que está en condiciones de someterse a un viaje para su entrega.

c) Preparación de los buques propiedad del Gobierno.

Lo normal es que los buques de guerra se den de baja en una base naval, donde se desmontan los equipos clasificados y los elementos peligrosos. Si alguna de las sustancias peligrosas no puede ser retirada de forma inmediata, tiene que ser declarada de forma reglamentaria.

Lo normal es que antes de la entrega para reciclaje se hayan retirado los siguientes elementos:

— armamentos y municiones;

— equipo de comunicaciones;

— equipos y sistemas de combate

— equipos de guerra electrónica;

— equipo de Sonar;

— elementos para reducción de la firma del barco (características de estelas);

— aguas sépticas;

— todos los productos alimenticios perecederos almacenados;

— productos médicos almacenados;

— todos los elementos radiactivos.

Es poco probable que un buque propiedad del Gobierno (Defensa) fuese capaz de llegar a una instalación de reciclaje utilizando su propia propulsión. Por lo tanto, se necesitan las mismas operaciones para remolque y certificados que para un buque mercante apagado, ya que necesitaría un certificado de exención de carga y estar preparado para ser remolcado sin tripulación. Debe también ser

inspeccionado para poder asegurar que está en condiciones de ser sometido al viaje para su entrega.

19.9 Proceso de desguace de los de buques

a) *Plan de Reciclaje*

La OMI ha publicado directrices para la preparación de planes de reciclaje de los buques, para garantizar que la salud operacional, la seguridad y los problemas medioambientales que se pueden presentar durante el proceso del desguace sean debidamente controlados y que los residuos que se produzcan sean propiamente identificados y manipulados.

El Plan de Reciclaje del Buque debe ser elaborado por una persona u organismo profesional competente. Se deben tener en cuenta los elementos y detalles que figuran en el "Inventario de materiales potencialmente peligrosos" y certificados que deben acompañar al buque, así como cualquier asesoramiento técnico del constructor y del armador. El plan debe incluir:

— detalles del buque y desde dónde vino, con los detalles de sus certificaciones y la identificación del armador;

— comunicaciones de cualquier advertencia del propietario anterior de la nave o constructor, si están disponibles;

— detalles de las inspecciones que hayan de realizarse;

— planificación del desguace;

— plan detallado de recursos humanos;

— información en detalle de cuándo y dónde va a ser situado el buque en cada fase del desguace;

— proceso de desmantelamiento que se adopte, detallado;

— detalles de los equipos que se utilizarán para desmantelar el buque;

— plan de estabilidad detallado para cada fase;

— lista de los equipos principales que van a ser retirados para su reutilización;

— detalles de dónde va a almacenarse el equipo eliminado;

— instrucciones para la limpieza de compartimentos, tuberías y tanques;

— Plan de Gestión de Residuos;

— evaluación de riesgos para cada fase;

— evaluación de Salud, de Seguridad y Medioambiental.

Dependiendo del estado material del buque a su llegada, el Plan de Reciclaje del Buque tendrá que ser actualizado para reflejar el resultado de la inspección.

Cuando el buque destinado a reciclarse cuente con el Certificado internacional de Buque Listo para el Reciclaje, la instalación de reciclaje de buques informará a su autoridad y autoridades pertinentes

b) *Fase 1: Trabajo preliminar mientras que el buque está atracado.*

El colocar un buque completo directamente en un dique seco para su reciclaje, significa la ocupación del dique por un largo período de tiempo; por tanto, es más económico desmantelar antes en lo posible el buque atracado en puerto. Y antes de comenzar el desmantelamiento, debe realizarse una completa inspección del buque a fin de saber:

— la cantidad de líquidos y contaminantes a bordo y su posición sobre el buque;

— que los planos del buque reflejen la configuración real actual;

— como se tratarán las zonas de posible contaminación, con seguridad en el acceso a las mismas;

— y si se dispone de un acuerdo fiable con un subcontratista con licencia para la eliminación residuos, su almacenamiento y transferencia.

Es habitual eliminar los restos de petróleo, aguas residuales y agua de lastre en una etapa temprana de la operación. En cuanto a las bombas y tuberías, debe ser determinado si se pueden utilizar o no. Cuando se utilizan las bombas del buque, suele haber una cantidad de aceite que no se puede extraer. Este aceite debe ser extraído con bombas portátiles y los tanques limpiados manualmente. Si el equipo del buque no está disponible, se usarán bombas portátiles y mangueras para eliminar el grueso de los líquidos. Una vez que estos se eliminan, los tanques deben ser limpiados con vapor y los efluentes recogidos. El aceite eliminado se clasifica como residuo peligroso y lo será también el agua de lastre y el líquido utilizado para limpiar los tanques.

Durante el desmantelamiento interno, debe cumplirse estrictamente la normativa en relación con el acceso a los espacios confinados y controlar los gases resultantes de fugas de tuberías, materia orgánica en descomposición o sopletes y de eventuales fugas de mangueras de los equipos de corte con gas.

Los materiales extraídos de la nave se colocarán en su área de almacenamiento, ya sean reutilizables, peligrosos o no peligrosos. La cantidad y el tipo de material se vigilarán para asegurarse de que se contabilizan y son llevados al punto de recogida, independientemente de si son para ser reutilizados o vendidos.

c) *Fase 2: Trabajo de desmontaje y desguace con el buque atracado muelle.*

Mientras el buque está atracado, lo normal es que se vaya a ir desmantelado desde arriba hacia abajo, dependiendo de la mano de obra disponible y de acuerdo con procedimientos seguros de trabajo.

Una vez que los equipos internos se han retirado, se puede ser sacar la superestructura. Esta es extraída físicamente mediante grúas, según se va cortando en trozos manejables, o bien entera, dependiendo de la capacidad de los medios de elevación, para ser depositada en tierra y ser cortada después en trozos manejables.

La estructura superior se eliminará hasta el nivel de la cubierta superior. Una vez que la cubierta superior queda a la intemperie, todos los items reutilizables de la maquinaria auxiliar, tales como los como generadores, pueden sacarse del buque. La estructura que forma la cubierta se va desguazando poco a poco hasta que el interior del casco queda abierto por arriba y el buque se puede seguir desmontando con seguridad, eliminando mobiliario, mamparos interiores, tuberías, cableado y tanques.

Los materiales separados, extraídos de la nave, se colocan en su propia área de almacenamiento, tal como hayan sido clasificados por grupos de residuos reutilizables o no. Se vigilará de cerca las cantidades y el tipo de materiales para asegurarse de que se no se pierden.

Para garantizar el control del proceso de desmantelamiento y mantener una imagen medioambientalmente positiva del mismo, es importante que al final de cada fase, o en el momento más oportuno, se limpien el área de trabajo y el buque, retirando los residuos que hayan caído alrededor y limpiando los derrames que hayan podido producirse.

Mientras se realizan estos trabajos, el buque está amarrado al muelle. Esta opción se utiliza para eliminar los componentes internos del buque, debiendo de tener cuidado con su estabilidad, para lo que hay que establecer procedimientos de control para asegurar que se mantiene la situación estable durante el desmontaje. Lógicamente, se ha de disponer de grúas con la capacidad de elevación, alcance y altura necesarios para poder manejar los componentes de mayor peso.

Una vez que se han eliminado los elementos internos, el buque tendría que ser sacado del agua para desguazar al casco, lo cual puede acarrear otros problemas de estabilidad y la necesidad de llevarlo a un área de trabajo adecuada como puede ser un dique, un carro varadero u otra.

d) *Fase 3: Desguace final del casco. Alternativas para completar el desguace.*

Para el desmantelamiento final del buque hay varias opciones:

a) en dique seco,

b) en dique flotante o sobre barcaza con cubierta superior plana,

c) en varadero,

d) en la playa o en la orilla de un río.

a) *Desguace en dique seco.*

Una vez que del buque sólo queda el casco, puede ser trasladado a un dique seco por medio de cables y cabrestantes y el auxilio de remolcadores si es necesario. El casco puede asentarse directamente en el fondo del dique o ser apoyado en picaderos y soportado lateralmente por escoras. Una vez situado, se arranca la pintura antiincrustante por medio de chorreado. Las pinturas antiincrustantes pueden contener TBT y si es así, las aguas de lavado deben ser recogidas y almacenadas para su posterior tratamiento.

A continuación se desmantela el buque hasta el techo del doble fondo y se extrae la línea o líneas de ejes y el resto de equipos de la cámara de máquinas. Llegados aquí, también se puede desmontar y extraer la(s) bocina(s) y el(los) eje(s) de cola.

La quilla es la parte final del buque que se desguaza. Sin embargo, si contiene lastre sólido, como hormigón, tendrá que ser deshecho utilizando un equipo adecuado.

El diagrama de flujo en la **Fig. 19.3**. ilustra la disposición básica del proceso de desguace de buques.

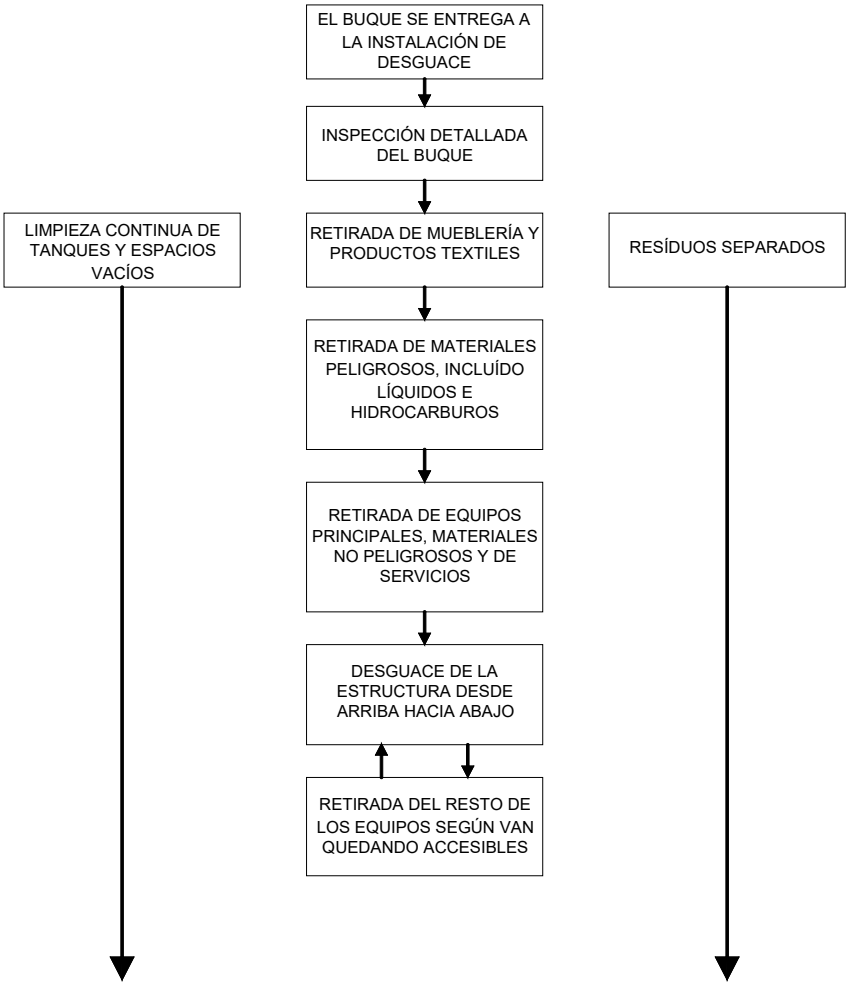


Fig. 19.3 Proceso básico de desguace de buques.

El dique seco es la opción preferida para desmantelar un buque, bien sea apoyado en picaderos o en el propio dique. El dique seco puede facilitar el control de los vertidos accidentales que puedan ocurrir y proporcionar acceso desde la tierra alrededor de todo el buque.

Es normal que entre un poco de agua en el dique seco debido al drenaje del terreno, fugas alrededor de la compuerta, agua de lluvia o derrames desde el barco. Estos efluentes deben ser extraídos continuamente por bombeo y almacenados para su tratamiento, ya sea dentro o fuera de la instalación de reciclado. Además, deben estar disponibles medios de limpieza, permanentemente o en situación de reserva, para el eventual tratamiento o eliminación de derrames en el caso de vertidos accidentales.

Las instalaciones de reciclaje potenciales que dispongan sólo de muelles de atraque, pero sin dique seco, pueden ser modificadas transformando el muelle o construyendo un dique seco, según el método de desguace a emplear.

Con respecto al tamaño de los diques para desguace, el factor limitativo es el ancho de la puerta del dique, que debería tener de 1 a 2 metro de holgura a cada costado del buque para poder ser introducido con cierta comodidad y seguridad a través de dicha puerta y facilitar las labores de desmantelamiento.

El ejemplo que sigue, sólo a efectos ilustrativos, presenta el tamaño del dique necesario para desguazar el casco de un buque de guerra de 150 m de eslora, 18 de manga y 5 metros de calado. La instalación necesita un dique seco con una longitud total de 154 m, un ancho de 22 m y un calado de 7 m. Se supone que una diferencia de 2 m entre la pared del dique y el costado del casco es más que suficiente para desguazar el buque. También se supone que una altura de 2 m por debajo del casco del buque es suficiente para poner los picaderos bajo la quilla y escoras para apoyo en los laterales del fondo.

Además, en el fondo del dique son necesarios otros 2 m adicionales para acomodar el domo inferior del sonar bajo la proa, si existe, y cierta holgura para el propulsor. La Fig. 19.4 ilustra estos requisitos para desguazar el buque.

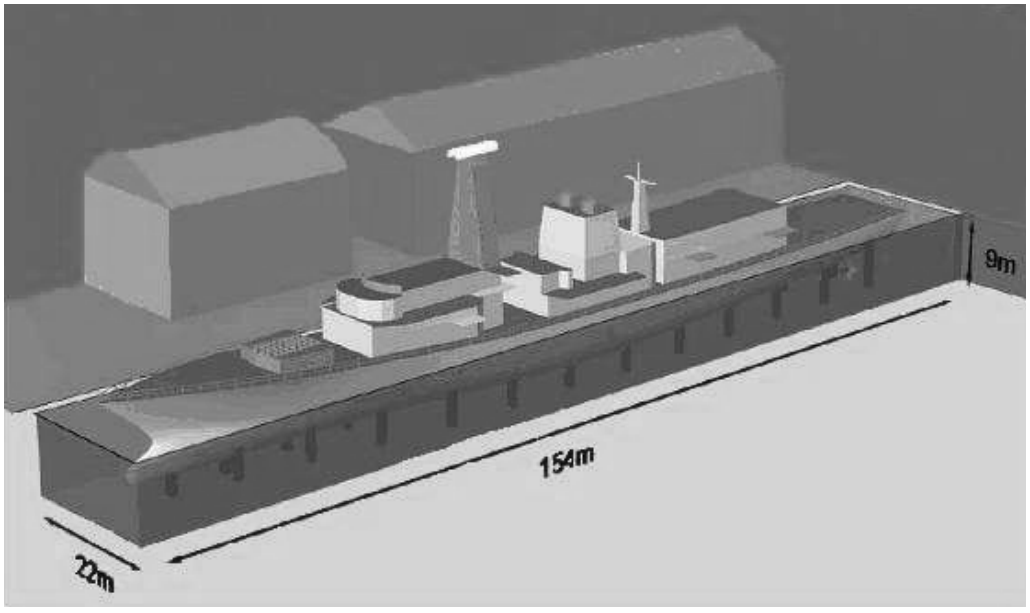


Fig. 19.4 Requisitos generales de espacio para varar un buque de guerra.

Las actuales técnicas de reciclado no siempre contemplan la varada de un buque sobre picaderos bajo la quilla, sino solamente que ésta se apoye en el fondo. Es importante que el buque se mantenga estable durante todo el proceso de desguace y esto tiene que ser incluido en el estudio y planificación del reciclaje del buque.

b) *En diques flotantes y en barcazas con cubierta superior plana.*

Los diques flotantes y las barcazas con cubierta superior plana son estructuras semisumergibles. El barco entra sobre la parte sumergida del dique o barcaza y al deslastrar éstos, ascienden hasta que el fondo del buque queda apoyado sobre ellos. Al continuar la ascensión, el buque queda en seco. Como medida adicional, puede disponerse un bordillo sobre la cubierta del dique o barcaza, bordeando la nave, con objeto de contener cualquier posible derrame accidental. Las estructuras del dique flotante o de la barcaza son susceptibles de sufrir daños durante la operación de desguace, debido a las variaciones en la distribución de pesos sobre ellos y otros posibles percances, y por ello se requiere un control permanente sobre las condiciones de carga en cada situación.

c) *En varaderos.*

Una grada está constituida en esencia por una superficie plana inclinada, construida en hormigón, que va desde una zona seca situada más arriba del nivel más alto de marea, hasta una profundidad de agua en la que el buque, al finalizar su descenso en dirección al agua, apoyado en una cuna, normalmente de madera, quedaría flotando, desprendiéndose de dicha cuna de apoyo. En el caso de los varaderos, en lugar de cuna de apoyo para el buque se emplea un carro varadero dotado normalmente de su sistema de ruedas, sobre el que el buque, en la operación inversa a la botadura, es apoyado en icho carro para ser sacado del agua hasta una zona seca, cuando se tira el carro hacia arriba por medio de cables accionados por cabrestantes.

A efectos de desmantelamiento, el buque se remolca hasta el varadero y, una vez subido y situado en seco, se desmantela interiormente y se corta el casco en trozos. Hay que establecer los procedimientos y la debida gestión para asegurar que el buque permanece en situación estable durante el desguace y que cualquier tipo de derrame o contaminación queden contenidos y no se esparzan.

d) *Desguace en la playa o en la orilla de un río.*

Varar una embarcación en la playa o en la orilla de un río es la opción menos deseable en términos de gestión ambiental y de seguridad del emplazamiento. Se vara la embarcación con la marea alta y queda en seco durante la marea baja. Por lo tanto, se desguaza tanto dentro como fuera del agua en función de la situación de la marea. La opción de la playa implica un control muy difícil de derrames de

contaminantes, tanto líquidos como sólidos. Esta falta de control conduce a una imagen inaceptable de esta técnica.

Podría considerarse la utilización de tablestacas como medio de contención por el lado del mar para evitar su entrada, principalmente por oleaje.

En todo caso, no se deberían conceder permisos para planificar el desguace de buques varados en una playa o en un río, ni emitir licencias para gestión de residuos ni cualquier otra que avale esta actividad. Sin embargo, se cita también esta opción con el fin de contemplar todas las posibles alternativas.

19.10 Almacenamiento de los materiales desmontados

Los materiales extraídos del buque desguazado deben ser separados y almacenados en zonas apropiadas. En los párrafos que siguen se da una visión general, no exhaustiva, de las condiciones de almacenamiento para los diversos tipos materiales.

a) *Aceites y combustibles.*

Los residuos de aceite y combustibles deben ser almacenados por separado en tanques de almacenamiento cerrados que cumplan con las normas al efecto, o ser retirados por subcontratistas con licencia usando medios de transporte autorizados para ello. Estos residuos se clasifican como residuos peligrosos.

b) *Madera y plástico.*

Las maderas y plásticos se depositarán en recipientes de almacenamiento, separados y, preferiblemente, cubiertos.

c) *Acero.*

Los aceros de diferentes calidades deben estar separados en distintas zonas; por ejemplo, el acero inoxidable debe estar separado de acero al carbono normal. Los diferentes tipos de aceros deben ser almacenados en contenedores o en pilas.

d) *Metales no férricos.*

Los metales no férricos tales como el cobre, latón, plomo, zinc y aluminio deben ser almacenados en contenedores separados, preferentemente a cubierto o cerrados.

e) *Alambre de cableado.*

Es una buena práctica eliminar la envoltura de plástico del alambre de cableado. El cable se recogerá en un área, separando el cobre para su reciclaje del resto. El plástico del recubrimiento también se retirará y recuperará en las debidas condiciones.

f) *Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.*

La Directiva de la UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) tiene por objeto reducir la cantidad de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y amentar su reutilización, recuperación y reciclado hasta unos niveles marcados como objetivo. Asimismo, establece requisitos de tratamiento de los RAEE para eliminar los componentes peligrosos.

Algunos RAEE pueden ser clasificados como peligrosos, por ejemplo, las placas de circuitos eléctricos tomado de los aparatos eléctricos y electrónicos que contengan materiales peligrosos (como son componentes revestidos de berilio, interruptores de mercurio, condensadores de PCB, etc.) que se separarán y almacenarán como residuos peligros.

g) *Productos químicos.*

Los productos químicos deben ser clasificados en ácidos o alcalinos y se deben almacenar por separado. Estos suelen ser residuos peligrosos y cada uno de los contenedores se almacenará en condiciones de seguridad para evitar el riesgo de derrames.

h) *Asbestos (amianto).*

El amianto, peligroso material ahora prohibido, del que se ha constatado que su manipulación e incluso sólo presencia ha sido causa de muy graves enfermedades para los trabajadores y otro personal, como es la asbestosis y el cáncer de pulmón, tiene que ser retirado y tratado sólo por subcontratistas autorizados. Las zonas donde se realiza el desmontaje han de estar cerradas y la contaminación del aire bajo control. El amianto eliminado tiene que ser empaquetado con doble envuelta y almacenado en condiciones de seguridad para su transporte fuera del emplazamiento a un vertedero con licencia.

i) *Refrigerantes (CFCs) y halones.*

Las cantidades de refrigerantes que queden las plantas de refrigeración o sistemas de aire acondicionado, CFCs y halones sobrantes de los sistemas contra incendios, que no se hayan eliminado durante la fase preparatoria, deben ser recuperados y destruidos de manera ambientalmente segura. La recogida de sustancias que dañan la capa de ozono (SDO) será hecha por un técnico cualificado, para garantizar que se toman todas las medidas para prevenir y reducir al mínimo sus escapes, de conformidad con el Reglamento CE 2037/2000 relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. Una vez recuperadas, las SDO deben ser almacenadas en una instalación autorizada antes de ser destruidas.

j) *Pinturas.*

Si la pintura del casco del barco contiene tributilestaño (TBT), a partir de un 0,25% es clasificada como sustancia peligrosa. Si la pintura contiene trietil o trimetil estaño, el umbral se reduce al 0,1%. Estas pinturas deben eliminarse utilizando una técnica de chorreado antes del desguace. El lavado resultante de este proceso tendrá que ser almacenado y manipulado como residuo peligroso. Esto es similar para las pinturas de base cromatada y plomo y las de la estructura interna de la nave, donde el plomo o compuestos cromatados presentes estén en una proporción superior al 0,1%.

k) *Artículos reutilizables.*

El valor de los artículos reutilizables depende en gran medida de la condición en que estén. Por lo tanto, estos artículos tienen que ser almacenados en un lugar apropiado. Los artículos susceptibles de deterioro por el agua deben ser almacenado en un almacén seco cubierto, mientras que otros tales como anclas, cadenas y botes salvavidas pueden se almacenados en áreas abiertas.

19.11 Transporte de residuos desde la instalación de reciclaje

El transporte de residuos peligrosos desde la instalación estará sujeto a la legislación aplicable para clasificación, envasado, etiquetado y transporte de mercancías peligrosas. Después de que las diversas partidas de residuos se hayan retirado del buque que se desguaza y se hayan colocado en el almacenamiento a corto plazo, hay que retirarlas, ya sea a un vertedero controlado o a una instalación de tratamiento adecuada.

Siempre que un residuo peligroso se retira de la instalación para ser enviado para su eliminación o su revalorización, se debe preparar una nota de consignación y porte que debe acompañar al residuo.

Los residuos peligrosos en paquetes o bidones para ser transportados por carretera deben ser envasados y etiquetados de conformidad con la legislación de transporte aplicable, requiriéndose una evaluación del residuo de tal forma que los constituyentes peligrosos y sus propiedades puedan ser identificados. Hecha la evaluación, en el exterior de cada bulto se debe colocar una etiqueta que alerte a los posibles manipuladores de la presencia de sustancias peligrosas, consistente en:

1. Un rombo de advertencia de peligro.
2. Una etiqueta de transporte con la designación oficial del embarque y número de codificación (ONU), detalles que se dan en la Lista de Transportes Aprobados.

En virtud de la legislación, los vehículos para el transporte de estas sustancias deben llevar la documentación apropiada y sus conductores deben tomar precauciones para su seguridad. Para el transporte de materiales radiactivos y explosivos se aplican normas adicionales.

Antes de que los residuos salgan de la instalación de reciclaje de buques, deben de ser pesados en báscula y registrados en la oficina responsable del transporte. Cabe señalar que la instalación tiene el deber legal de cuidar que los residuos peligrosos se envíen de conformidad con las normas correspondientes que rijan para los residuos peligrosos.

19.12 Conclusiones

El desmantelamiento de los buques fuera de uso para su desguace y reciclaje es uno de los grandes retos de sostenibilidad con los que se enfrenta el sector marítimo actualmente. La complejidad de la situación actual ha merecido la atención de las más importantes organizaciones reguladoras internacionales, especialmente de la Organización Marítima Internacional (IMO), de la Organización Internacional de Trabajo (OIT), del Programa Medioambiental de Naciones Unidas (PNUMA), de la Unión Europea (UE), de asociaciones empresariales relacionadas con este sector y de los gobiernos de algunos de los países de mayor peso en el mundo marítimo con el fin de intentar solventar los problemas y obstáculos con los que se enfrenta actualmente esta actividad industrial.

Los buques son unidades con un elevado contenido de materiales reciclables, en general superior al 90% en peso, siendo el resto materiales inertes no aprovechables y pequeñas cantidades, inferiores siempre al 1% en peso, de sustancias contaminantes o potencialmente peligrosas (metales pesados, amianto y rastros de TBT, PCB y otros).

El reciclado de buques es una operación similar al desmantelamiento de plantas industriales, que puede realizarse de forma segura y sostenible en cualquier país desarrollado siguiendo una normativa ambiental y laboral aceptable internacionalmente.

Factores económicos, laborales y los costes que supone el cumplir con los requerimientos medioambientales y de prevención de riesgos laborales, han hecho que esta actividad no resulte competitiva en los países desarrollados frente a las instalaciones de desguace de algunos países subdesarrollados o en vías de desarrollo, especialmente del sudeste asiático con costes laborales ínfimos y sin asumir prácticamente gastos de seguridad laboral ni de prevención ambiental.

De esta forma, esta actividad se ha desplazado a esos países, mientras que, en los países de la OCDE está en fase de extinción. Por estas razones, a escala mundial,

las instalaciones "verdes" sólo representan actualmente el 30% de la capacidad de desguace total. Esta capacidad apenas alcanza para el desguace de sus propios buques de guerra y de estado que están previstos retirar de servicio en los próximos diez años y sólo una pequeña parte de la flota mercante.

A la espera de la entrada en vigor del *Convenio Internacional de Hong Kong para el reciclaje seguro y medioambientalmente racional de los buques*, aprobado en setiembre de 2009 y de una normativa específica europea, hay que arbitrar medidas urgentes para mejorar esta situación. Hay que apuntar que actualmente se viene ejerciendo presión sobre los gobiernos de los países desguazadores del tercer mundo para que mejoren las condiciones laborales, de seguridad y de respeto ambiental de sus instalaciones. También la Comisión Europea, junto con algunos países de la OCDE y algunas importantes empresas navieras, están en vías de proporcionar ayudas financieras y, en algunos casos, ya proporcionan asistencias técnicas y legales para promover la adecuación de las instalaciones asiáticas. En este contexto, la Unión Europea ha publicado (19.11.2008) una Comunicación sobre la Estrategia de la UE para un mejor desguace de buques.

La Comisión propone en este documento llevar a cabo una serie de actuaciones encaminadas a asegurar que los buques ligados a propietarios europeos, que operen en Europa o con pabellón de un Estado miembro de la UE, sean desguazados únicamente en instalaciones que sean seguras y ambientalmente aceptables en línea con el contenido del Convenio Internacional antes citado.

Ante el previsible aumento de buques a desguazar a corto plazo, se pone de manifiesto la escasez de "instalaciones de desguace verdes", por lo que sería aconsejable promover y facilitar la implantación de nuevas plantas para el reciclaje de buque o la reconversión de antiguas plantas de construcción o reparación navales en los países industrializados, mediante medidas principalmente financieras por parte de los gobiernos de los países desarrollados, al mismo tiempo que se ayudarían a modernizar y adaptar a las normas de seguridad y ambientales las instalaciones de los países en vías de desarrollo.

El Consejo y el Parlamento Europeos apuestan por el aumento de la capacidad de desguace de los Estados miembros para asegurar desguaces sostenibles, aunque reconocen la dificultad en las actuales condiciones de mercado. Se ha considerado la posibilidad de crear do un fondo, no público, que podría estar gestionado por la OMI, con el fin de cubrir la responsabilidad de los armadores/propietarios en la gestión del desguace sostenible, lo que podría producir cambios significativos de las actuales reglas de mercado en este sector.

Hay que resaltar, por último, que el negocio de desguace es una importante actividad industrial que aporta un volumen de negocio importante y soporta una importante

carga laboral y desde el punto de vista medioambiental, la reutilización de los aproximadamente 14 millones de toneladas de chatarra de acero que produce, ahorra la utilización de unos 33 millones de toneladas de mineral de hierro, carbón y fundente, evitando la emisión a la atmósfera del orden de 30 millones de toneladas de CO2.

Bibliografía

Construcción Naval III de D. Rosendo Chorro Oncina (Catedrático de Construcción Naval de la Escuela Técnica Superior de Ingeniero Navales, Universidad Politécnica de Madrid, UPM.

Teoría del Buque y sus aplicaciones (Estática del Buque), de D. Carlos Godino Gil. Ingeniero de la Armada y Arquitecto Naval por el Massachusetts Institute of Technology (EEUU), Ingeniero Militar, Director y Profesor Numerario de la que fue Escuela Especial de Ingenieros Navales, etc. y miembro de SNAME.

Construcción Naval III (capítulos VI a X), de D. Francisco Javier González de Lema, Profesor Titular de la Escuela Politécnica Superior da Coruña (UDC).

Habilitación y decoración, de D. Francisco Javier González de Lema.

Anexo al volumen II de Tecnología de la Construcción del Buque, Escuela Técnica Superior de Ingeniero Navales de la UPM.

Temas de Geometría Descriptiva, del profesor D. Víctor Villoria San Miguel, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniero Navales de la UPM.

"Geometría y representación de Carenas" y *"Diseño de formas asistido por ordenador",* del profesor D. Antonio Crucelaegui Corvinos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniero Navales de la UPM.

Instrucciones generales para pintado, por el licenciado en Ciencias Químicas D. Daniel Fernández Morán, Escuela Superior de Ingeniero Navales de la UPM.

Construcción Naval I, de D. Francisco Fernández González, Catedrático de la Escuela Superior de Ingeniero Navales (UPM).

El proyecto básico del buque mercante, de D. Ricardo Alvariño Castro, D. Juan José Azpíroz Azpíroz y D. Manuel Meizoso Fernández, Doctores Ingenieros Navales, publicado por el Fondo Editorial de Ingeniería Naval (Colegio oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos, COIN).

Ship Construction (IV edición), por D. J. Eyres, M. Sc. F.R.I.N.A, Profesor de "Naval Architecture", Department of Maritime Studies, Plymouth Polytechnic University.

Ship construction, por Harold G. Acker y Francis G. Bartlett, capítulo XVI del tomo *Ship Design and Construction*, 1980, publicado por The Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME).

Construcción naval y servicios, por D. Antonio Bonilla de la Corte, Catedrático de Construcción Naval y Teoría del Buque, de la Escuela Superior de la Marina Civil.

Aspectos constructivos de la estructura de una plataforma semisumergible en un astillero convencional, trabajo desarrollado y expuesto por D. José María de Juan-García Aguado, catedrático de Teoría del Buque de la E.U.

Politécnica de la Universidade da Coruña (UDC), en Cartagena, Aulas del mar, setiembre de 1989.

La construcción "Off-shore", un negocio diferente, trabajo publicado por D. Emilio Lage Vellón, doctor Ingeniero naval, catedrático de la E. U. Politécnica de la UDC.

Soldadura de los aceros. Aplicaciones, por D. Manuel Reina Gómez, profesor de la Escuela Técnica Superior de Ingeniero Industriais de la UPM.

Welding and cutting, por Mr. Peter Houldcrolft, miembro de la British Welding Research Association, y el Dr. Robert John, de la Compañìa ESAB, y miembro del Welding Institute (Inglaterra).

Materiales compuestos. Tecnología de los plásticos reforzados, por D. José Luis González Díaz, profesor de la UPM, publicado por el Fondo Editorial de Ingeniería Naval (COIN).

Reglamento del Bureau Veritas para la Construcción y Clasificación de buques pesqueros de madera, febrero de 1970.

Reglamento do Lloyd's Register of shipping para a clasificación de yates y pequeñas embarcaciones, 1979.

Reglamento del Det Norske Veritas para la Construcción y clasificación de buques de madera, 1970.

Reglamento del Det Norske Veritas para la Construcción y certificación de buques de eslora menor de 15 metros, 1983.

Reglas para la clasificación de embarcaciones de alta velocidad, 1985.

Aluminium Boatbuilding, de Ernest H. Sims, Inglaterra, 1993.

The integrity of platform superstructures, Analysis in accordance with API RP2A, J. W. Bunce, DIC, Ceng, MRINA, MIStructE, Inglaterra, 1985.

Offshore engineering development of small oil fields, Goodfellow Associates Ltd., England, 1986.

Estática del buque, de D. José Mª de Juan-García Aguado, Dr. Ingeniero Naval, Catedrático de Teoría del Buque de la E.U. Politécnica de Ferrol, UDC.

Apuntes de Construcción Naval de D. Ramón de Vicente Vázquez, Dr. Ingeniero Naval, Catedrático de Construcción Naval de la Escuela Politécnica Superior de la UDC, fallecido.

Trabajos sobre "botadura en cama elástica", de D. José Deus López, Dr. Ingeniero Naval, anterior profesor asociado de la E. U. Politécnica de Ferrol, UDC.

Construcción Naval I, por D. Manuel Afonso de Amorín Domingues, Profesor Titular de la E.U. Politécnica de Ferrol de la UDC.

*Principios de Ingeniería Na*val, por D. Jesús Victoria Meizoso, Profesor Titular de la E.U. Politécnica de Ferrol de la UDC.

Apuntes de Técnicas de Construcción Naval, impartidos en la E.U. Politécnica de la Universidad de Cádiz, por el profesor D. Francisco Valencia Bernal.

"Sostenibilidad del desguace de buques. Reciclaje", trabajo realizado por el Grupo de Trabajo de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible del Colegio Oficial de Ingenieros.

Navales (C.O.I.N.) con la colaboración de la Fundación Río del Pozo de la UDC y Reciclauto Navarra S.L., publicado por el C.O.I.N., Madrid 2009.


ALVARO DE BAZAN