

Director del capítulo  
*James R. Thornton*

# 92

## Sumario

Perfil general <i>Chester Matthews</i> . . . . .	92.2
Construcción y reparación de buques y embarcaciones <i>James R. Thornton</i> . . . . .	92.3
Cuestiones ambientales y de salud pública <i>Frank H. Thorn, Page Ayres y Logan C. Shelman</i> . . . . .	92.16

## ● PERFIL GENERAL

*Chester Matthews*

Los complejos buques mercantes, de pasajeros y de guerra del decenio de 1990 están formados por toneladas de acero y aluminio más una gran diversidad de materiales que abarca desde los más comunes a los más exóticos. Un solo buque puede encerrar centenares, e incluso millares, de kilómetros de conductos y cables, y estar dotado de las más avanzadas centrales eléctricas y los equipos electrónicos más refinados disponibles en la actualidad. Deben construirse y mantenerse de forma que soporten las condiciones ambientales más hostiles y estar al mismo tiempo dotados de todo el confort y la seguridad necesarios para la tripulación y el pasaje, así como del grado de fiabilidad preciso para llevar a cabo sus misiones.

La construcción y reparación de buques se cuentan entre las actividades industriales más peligrosas del mundo. A título de ejemplo, y según la Oficina Norteamericana de Estadísticas Laborales (BLS), la construcción y reparación de buques está considerada en todo el mundo una de las tres actividades industriales más peligrosas. Aunque los materiales, los métodos de construcción, las herramientas y los equipos se han perfeccionado extraordinariamente con el paso del tiempo y continúan evolucionando y aunque la formación y el hincapié en materia de salud y seguridad han contribuido a mejorar de manera sustancial las condiciones de trabajo en los astilleros, lo cierto es que en todo el mundo y todos los años se producen lesiones graves e incluso mortales entre los trabajadores del sector de la reparación, la construcción y el mantenimiento de buques.

A pesar de los avances tecnológicos, muchas de las tareas y condiciones asociadas con las operaciones de construcción, botadura, mantenimiento y reparación de buques siguen siendo en la actualidad básicamente iguales que cuando se colocó la primera quilla hace miles de años. El tamaño y la forma de los componentes de un buque, así como la complejidad propia de su montaje y equipamiento, impiden automatizar los trabajos, aunque el avance tecnológico ha aportado cierto grado de automatización. Las tareas de reparación se resisten firmemente a la modernización. El trabajo en el sector exige mucha mano de obra muy cualificada, que con frecuencia se ve obligada a trabajar en circunstancias muy alejadas de las ideales y en condiciones físicas muy difíciles.

Las propias condiciones naturales dificultan mucho el trabajo en los astilleros. Aunque unos pocos están habilitados para realizar bajo techo trabajos de construcción o de reparación de buques, en casi todos se trabaja al aire libre. No hay región climática del planeta en la que no haya astilleros, y mientras que los situados más al norte han de sufrir las inclemencias del tiempo (superficies deslizantes a causa de la nieve y el hielo, pocas horas de luz solar y consecuencias físicas derivadas de las largas horas de actividad laboral sobre superficies de acero heladas, a menudo en posturas incómodas) los expuestos a climas más meridionales han de soportar la tensión del calor, las quemaduras solares, el trabajo en superficies en las que casi se puede cocinar, las picaduras de insectos y hasta las mordeduras de serpientes. Gran parte de estos trabajos se llevan a cabo sobre el agua, bajo ella o en sus proximidades y, a menudo, a las rápidas corrientes de marea se suman los vientos que hacen cabecear y oscilar las mismas superficies de trabajo en que los trabajadores han de efectuar trabajos de gran precisión y en las posturas más variadas, utilizando herramientas y equipos potencialmente muy peligrosos para su integridad física. La fuerza de estos vientos, con frecuencia imprevisibles, hay que tenerla muy en cuenta a la hora de mover, suspender o colocar unidades cuyo peso a menudo excede las 1.000 toneladas con

ayuda de una o varias grúas de izada. Son muchas las dificultades que impone el medio natural, y se combinan en una variedad en apariencia infinita de situaciones de riesgo para la salud y la seguridad que deben ser contrarrestadas por medidas preventivas especiales. Es vital que todos los trabajadores esté debidamente informados y formados a este respecto.

A medida que el buque va tomando forma a partir de las primeras planchas de acero que constituyen la quilla, se va convirtiendo en un lugar cada vez más complejo que lleva asociado un subconjunto en constante cambio de peligros potenciales y situaciones de riesgo que requieren, no sólo procedimientos bien fundamentados para la correcta realización del trabajo, sino también mecanismos para identificar y resolver los miles de imprevistos que invariablemente surgen a lo largo del proceso de construcción. Conforme el buque adquiere entidad, van añadiéndose plataformas y andamiajes para facilitar el acceso al casco. La misma construcción real de esta red de plataformas es un trabajo muy especializado y en ocasiones peligroso; y su terminación supone un aumento del riesgo al que están expuestos los trabajadores, proporcional a la elevación de esta estructura sobre el suelo o la superficie del agua. El interior del buque va tomando forma al mismo tiempo que el casco, pues los modernos métodos de construcción permiten apilar unos sobre otros los grandes subconjuntos que forman los recintos interiores de la nave.

Es en este punto del proceso cuando la enorme necesidad de mano de obra de esta actividad resulta más evidente. Las medidas de salud y seguridad deben estar bien coordinadas. La conciencia de los trabajadores (de su propia seguridad y la de quienes les rodean) es fundamental para evitar accidentes laborales.

Cada uno de los recintos interiores del casco está diseñado con un propósito concreto. El casco puede ser un simple hueco destinado a contener lastre o bien albergar depósitos, contenedores de carga, camarotes o un refinado centro de control de combate. En cada caso, la construcción del buque obligará a numerosos especialistas a trabajar muy cerca unos de otros para realizar una variada gama de tareas. En una situación típica, los fontaneros estarán montando válvulas al mismo tiempo que los electricistas tienden cables e instalan circuitos, los pintores aplican retoques, los montadores navales colocan y sueldan planchas en cubierta, las cuadrillas de carpinteros y los especialistas en aislamiento hacen su labor y los controladores comprueban si cierto sistema se activa, todo ello en un mismo sitio. Tales situaciones, y otras aún más complejas, se dan a diario siguiendo una pauta marcada por los cambios del programa, las modificaciones técnicas, la disponibilidad de personal y hasta las condiciones climatológicas.

La aplicación de revestimientos entraña numerosos riesgos. Los trabajos de pintura a pistola deben llevarse a cabo frecuentemente en recintos cerrados, en un ambiente enrarecido por la presencia de partículas volátiles de pinturas, disolventes y diversos revestimientos epóxicos, caracterizados por su capacidad sensibilizadora.

Con el paso de los años, y gracias al desarrollo de mejores equipos, de métodos de construcción más eficaces, de instalaciones más seguras y de un personal mejor formado, se ha progresado mucho en el terreno de la salud y la seguridad de los trabajadores de los astilleros. No obstante, los mayores avances se han logrado, y continúan lográndose, centrando la atención en el trabajador individual y eliminando las conductas que más contribuyen a la accidentalidad. Si bien esto es aplicable a la práctica totalidad de los sectores industriales, la gran cantidad de mano de obra propia del trabajo en los astilleros lo convierte en un factor de especial relevancia. A medida que avanzamos hacia programas de salud y seguridad que suponen una más

activa participación de los trabajadores y que incorporan sus ideas, no sólo se alcanzan grados más altos de conciencia del riesgo propio de la actividad y de la forma de evitar accidentes, sino que además los propios trabajadores empiezan a considerar los programas como algo suyo. Sólo así se obtienen resultados y se alcanzan los objetivos perseguidos en materia de salud y seguridad.

## ● CONSTRUCCION Y REPARACION DE BUQUES Y EMBARCACIONES

*James R. Thornton*

### Construcción naval

La construcción de un buque es un proceso complicado y sumamente técnico, que exige la coordinación de numerosos trabajadores fijos y eventuales bajo el control del contratista principal. La construcción naval puede tener carácter civil o militar. Se trata de un sector de índole internacional en el cual astilleros repartidos por todo el mundo compiten por un mercado bastante limitado.

Desde el decenio de 1980, la construcción naval ha cambiado radicalmente. Antes, la mayor parte de los trabajos de construcción naval tenían lugar en los edificios o las gradas de un astillero, donde se iba levantando el barco construyéndolo casi pieza a pieza. El avance tecnológico y una planificación más detallada permiten ahora construir buques a partir de subunidades o módulos que incorporan instalaciones y sistemas integrados. De esta manera, la conexión de los módulos es relativamente fácil de efectuar. Se trata de un proceso más rápido, menos costoso y que asegura un control de calidad más estricto. Además, este tipo de construcción se presta a la automatización y la robotización, lo cual ahorra dinero y reduce la exposición a riesgos de naturaleza química y física.

### Panorámica del proceso de construcción de buques

La Figura 92.1 esquematiza el método de construcción de buques. El paso inicial es el diseño. Las consideraciones de diseño para los diferentes tipos de buques varían enormemente. Hay embarcaciones de transporte de pasajeros y de carga, de superficie y submarinos, militares y civiles, propulsados por energía nuclear o no nuclear. En la fase de diseño, no solo deben tenerse en cuenta los parámetros de construcción normales, sino también

Figura 92.1 • Diagrama de flujos de construcción naval.

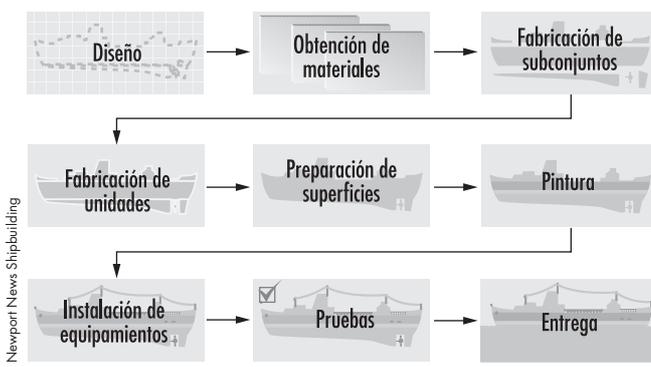
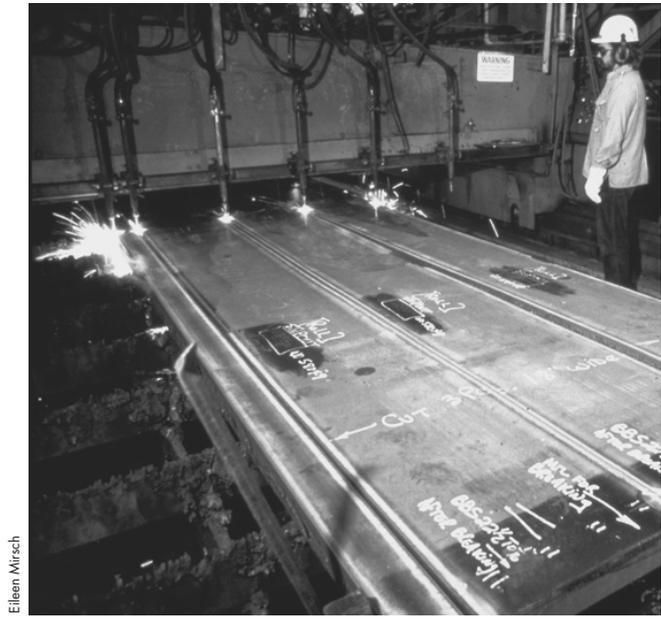


Figura 92.2 • Corte de planchas de acero con soplete automático en un taller de fabricación.



Eileen Mirtsch

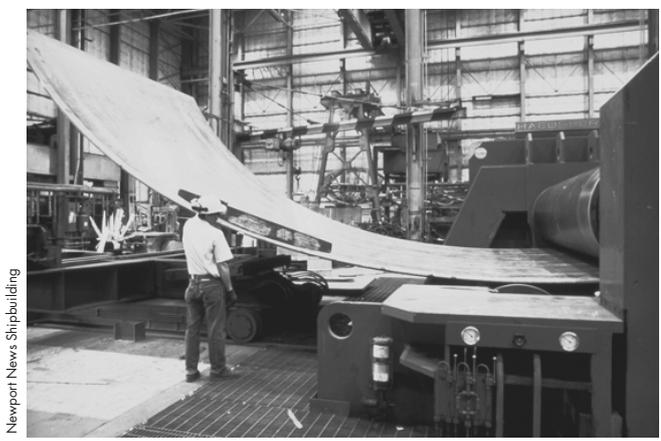
aquellos relativos a la seguridad y los peligros para la salud asociados con las operaciones de construcción o reparación de buques. Además no deben olvidarse los asuntos relativos al medio ambiente.

El componente básico que se emplea en la construcción naval es la plancha de acero.

Las planchas se cortan, conforman, curvan y trabajan de la forma necesaria para darles la configuración definida en el diseño (véanse las Figuras 92.2 y 92.3). Por lo general, las planchas se cortan en equipos automáticos de corte con soplete; las formas así obtenidas se sueldan a continuación para formar vigas en forma de I y de T u otros largueros estructurales (véase la Figura 92.4).

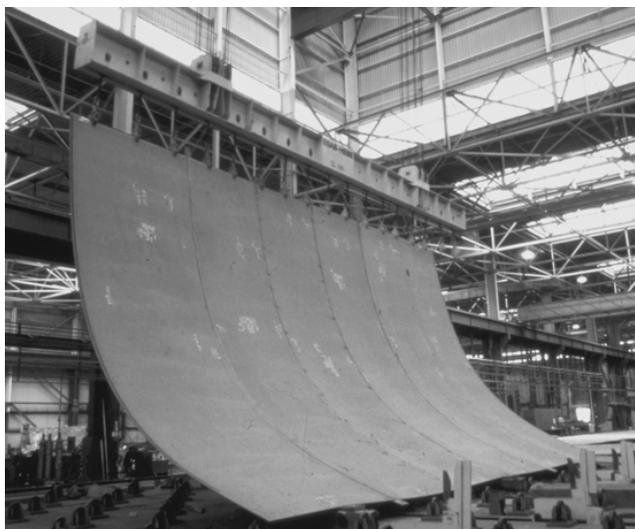
A continuación, las planchas se envían a los talleres de construcción, donde se ensamblan para formar diversas unidades y subconjuntos (véase la Figura 92.5). En esta fase se empiezan a montar las conducciones, los equipos eléctricos y el resto de las

Figura 92.3 • Curvado de láminas de acero.



Newport News Shipbuilding

Figura 92.4 • Plancha de acero soldada que forma parte del casco de un buque.



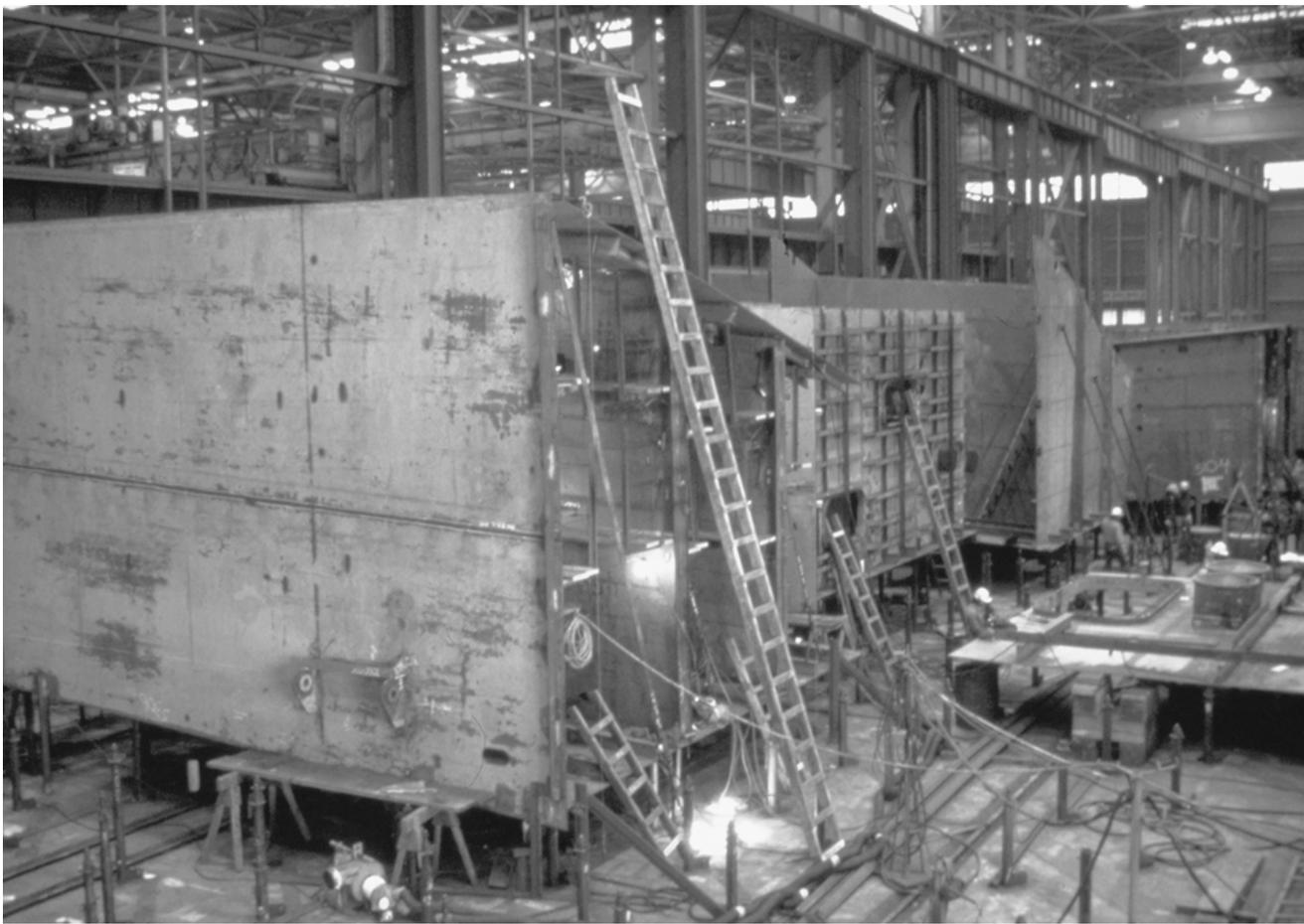
Newport News Shipbuilding

instalaciones, que se integran en las correspondientes unidades. Estas se montan aplicando técnicas de soldadura manual, automática o de los dos tipos. Son varios los métodos de soldadura utilizados. El más común es el de soldadura por electrodo consumible, que une las piezas de acero con el material del electrodo que se consume. También se utilizan las técnicas de gas inerte, arco blindado y electrodos no consumibles.

A continuación, lo normal es trasladar las unidades o subconjuntos a una zona a cielo abierto donde se unen para formar módulos o unidades aún mayores (véase la Figura 92.6). Aquí se realizan nuevas operaciones de montaje y soldadura. A continuación, todas las unidades y soldaduras se someten a inspecciones de control de calidad y pruebas radiográficas, ultrasónicas y de otro tipo, tanto destructivas como no destructivas. Las soldaduras defectuosas se eliminan mediante rectificado, agrupamiento con arco o rotura con cortafríos y se aplican de nuevo. En ese momento se limpian las unidades con chorro de arena y se dejan listas para los trabajos de perfilado y pintura (véase la Figura 92.7). Esta se aplica a brocha, rodillo o pistola, que es el método más común. Muchas pinturas son inflamables, o tóxicas, o peligrosas para el medio ambiente. En este momento se realizan las operaciones de limpieza con chorro de arena y pintura.

Una vez terminadas, las unidades de mayor tamaño se trasladan a la grada, el astillero o la zona de montaje final, donde se ensamblan unas con otras para dar forma al buque (véase la

Figura 92.5 • Trabajos en un subconjunto del buque.



Newport News Shipbuilding

Figura 92.6 • Combinación de subconjuntos del buque en bloques mayores.



Newport News Shipbuilding

Figura 92.7 • Limpieza de barcos con chorro abrasivo antes de pintar.



Judi Baldwin

Figura 92.8). De nuevo se llevan a cabo numerosos trabajos de ajuste y soldadura. Una vez que el casco está estructuralmente terminado y definitivamente estanco, se procede a la botadura, que se hace deslizando el buque desde la grada de construcción hasta el agua, inundando el dique seco o bajando el buque hasta el agua. La botadura suele ser un acto solemne y colorista.

Una vez botado el buque hay que aparejarlo, trabajo que exige gran cantidad de tiempo y de equipamientos: instalación de conducciones y cableado, equipamiento de cocinas y camarotes, aislamiento, instalación de equipos electrónicos y ayudas a la navegación y montaje de las máquinas y otros aparatos auxiliares. Estas tareas se encomiendan a distintos oficios especializados.

Una vez finalizada la fase de aparejamiento, el buque se somete a una serie de pruebas en el muelle y en el mar durante las cuales se verifican todos sus sistemas hasta tener la certeza de que es plenamente funcional y operativo. Por último, una vez terminadas todas las labores de verificación y las reparaciones correspondientes, el buque se entrega al cliente.

### Construcción en acero

A continuación se presenta una descripción detallada de la construcción en acero, centrada en los trabajos de corte, soldadura y pintura.

#### Corte

La “línea de montaje” del astillero empieza en la zona de almacenamiento del acero. Allí se almacenan listas para su utilización enormes planchas de acero de diferentes tamaños, grosores y resistencias. A continuación el acero se somete a tratamiento con chorro de arena y recibe una capa de imprimación que lo protege durante las distintas fases del proceso de construcción. Las planchas así preparadas se trasladan a los talleres construcción, donde se cortan al tamaño deseado con sopletes automáticos (véase la Figura 92.2). Estas piezas cortadas se sueldan entre sí para dar forma a los componentes estructurales del buque (Figura 92.4).

Figura 92.8 • Montaje de la proa en el casco de un buque.



Newport News Shipbuilding

### Soldadura

La estructura de la mayor parte de los buques es un conjunto de elementos de acero dulce y de acero de gran resistencia. Este material tiene excelentes propiedades de ductilidad y adecuación al mecanizado y la soldadura, así como la resistencia que necesitan los buques transoceánicos. El material básico de la construcción naval es el acero de distintas calidades, pero también se emplean aluminio y otros materiales no férricos en el montaje de algunas superestructuras (alojamientos de cubierta, por ejemplo) y en zonas determinadas del buque. Se emplean materiales especiales, como aceros inoxidable y galvanizado o aleaciones de cobre y níquel como protección frente a la corrosión y para mejorar la integridad estructural del buque. En cualquier caso, los materiales no férricos se utilizan en mucha menor cantidad que el acero. Los sistemas de a bordo (ventilación, combate, navegación, conducciones) son casi siempre los que consumen mayor cantidad de estos materiales “exóticos”. Son necesarios para desempeñar una variada serie de funciones: propulsión del buque, potencia de reserva, cocinas, unidades de bombeo de combustible, sistemas de combate, etc.

El acero empleado en la construcción puede subdividirse en tres tipos: acero dulce, acero de alta resistencia y aleaciones de acero. Los aceros dulces presentan cualidades muy apreciadas y son fáciles de fabricar, adquirir, conformar y soldar. Los aceros de alta resistencia están aleados con pequeñas cantidades de otros elementos que aportan cualidades mecánicas superiores a las de los aceros dulces. Se han desarrollado aceros especiales de resistencia extremada para la construcción naval. Estos aceros de resistencia y elasticidad elevadas suelen recibir las denominaciones HY-80, HY-100 y HY-130. Sus propiedades en cuanto a resistencia superan a las de los aceros comerciales de alta resistencia. Esta clase de materiales exigen técnicas de soldadura más complejas para no perder sus cualidades; normalmente se sueldan con varillas específicas de cada material previo calentamiento de las uniones. Una tercera clase de aceros, los aceros de aleación incorporan proporciones relativamente grandes de elementos como níquel, cromo o manganeso. Estos materiales, entre los que se encuentra el acero inoxidable, presentan excelentes cualidades de resistencia a la corrosión, y exigen también técnicas de soldadura especiales.

El acero es un material excelente para la construcción naval, y la elección de los electrodos de soldadura es crítica en todas las aplicaciones de soldadura durante toda la construcción. El objetivo es siempre que la soldadura presente características de resistencia semejantes a las del metal de partida. Como es probable que en los trabajos de soldadura industrial se produzcan algunas imperfecciones de escasa importancia, es práctica frecuente elegir las técnicas y los electrodos de soldadura con el fin de que la unión obtenida sea más resistente que el metal de partida.

Por su magnífica relación resistencia/peso, el aluminio ha ido ganado posiciones como metal adecuado para aplicaciones de construcción naval. Aunque su empleo en la construcción de cascos es limitado, las superestructuras de aluminio son cada vez más comunes, tanto en buques militares como civiles. La construcción integral de aluminio suele reservarse a embarcaciones pequeñas, como pesqueros, yates de recreo, pequeños buques de pasajeros, cañoneras o hidrodeslizadores. El aluminio utilizada en la construcción y reparación naval está casi siempre aleado con manganeso, magnesio, silicio y zinc. Estas aleaciones son fuertes, ofrecen resistencia a la corrosión y toman bien la soldadura.

Las tareas de soldadura o, más exactamente, de soldadura por fusión se ejecutan prácticamente en todas las zonas del astillero. La técnica consiste básicamente en unir metales llevando las superficies en contacto a una temperatura extremadamente alta hasta que se funden junto con un material de relleno. Los bordes

de las piezas se calientan hasta que se funden junto con la soldadura de relleno (electrodo, varilla o alambre). La fuente calorífica es casi siempre una llama de gas o un arco eléctrico. El tipo de soldadura se elige en función de las especificaciones del cliente, el ritmo de producción y diversas limitaciones operativas, entre ellas los reglamentos oficiales. A la construcción de buques de guerra se aplican normas más rigurosas que a la de embarcaciones.

Un aspecto importante de la soldadura con fusión es la protección del arco para no degradar la masa de soldadura. La temperatura de esta masa fundida está muy por encima del punto de fusión del metal que se está soldando. A tales temperaturas, la reacción con el oxígeno y el nitrógeno atmosféricos es muy rápida y afecta negativamente a la resistencia de la soldadura. Si se retiene oxígeno y nitrógeno atmosféricos entre el metal soldado y la varilla fundida, se debilitará el material en la zona de soldadura. Para evitar esta degradación de la soldadura y garantizar su calidad, es necesario evitar el contacto con la atmósfera. En casi todos los casos esto se hace aplicando un fundente, un gas o las dos cosas. La evaporación y la reacción del fundente con el electrodo inducidas por el calor determinan la emisión de una combinación protectora de vapores y fundente que impide la entrada de oxígeno y nitrógeno en la soldadura. Esta técnica de protección se describirá en los apartados siguientes, dentro de las técnicas de soldadura relevantes.

En la soldadura por arco eléctrico se establece un circuito entre la pieza soldada y un electrodo o un alambre. Cuando uno de estos dos elementos se mantiene cerca de la pieza trabajada, se genera un arco de temperatura extremadamente elevada. El calor que emite el arco es suficiente para fundir los bordes de la pieza trabajada y la punta del alambre o el electrodo; se trata, por tanto, de una técnica de soldadura por fusión. Hay varios métodos de soldadura por arco eléctrico adecuados para la construcción naval. Todos obligan a proteger de la atmósfera la zona de soldadura, y pueden clasificarse en métodos de protección con gas y métodos de protección con fundente.

De acuerdo con los informes elaborados por los fabricantes de equipos de soldadura y de los correspondientes materiales fungibles y no fungibles, el arco con electrodo consumible es el método de soldadura más común.

*Soldadura metálica por arco protegido (SMAW).* Los métodos de soldadura con arco eléctrico y protección por fundente se distinguen básicamente por su naturaleza manual o semiautomática y por el tipo de electrodo consumible utilizado. La técnica SMAW utiliza un electrodo consumible (de 30,5 a 46 cm de longitud) revestido de fundente seco, que se monta en un soporte y que el soldador coloca en contacto con la pieza de trabajo. El electrodo es un núcleo de metal de relleno sólido hecho de material fundido o estirado cubierto por una capa de polvos metálicos. La técnica SMAW se llama también “soldadura por electrodo” y “soldadura por arco”. El metal del electrodo está revestido por un fundente que se derrite a medida que se suelda y que recubre de escoria la masa fundida y envuelve toda la zona en una atmósfera de gas protector. La soldadura SMAW manual permite trabajar por debajo del nivel de las manos, en horizontal, en vertical o por encima de la cabeza; también se presta al trabajo semiautomático, con equipos por gravedad que aprovechan el peso del electrodo y el soporte para recorrer la pieza de trabajo.

*Soldadura por arco sumergido (SAW).* Es una variante de la soldadura por arco eléctrico con protección de material fundente común en muchos astilleros. La técnica consiste en depositar una capa de material fundente granulado sobre la pieza de trabajo para a continuación soldar con un electrodo consumible de alambre metálico sin revestir. Por lo general, el electrodo actúa como material de relleno, aunque en algunos casos se

añaden gránulos metálicos al fundente. El fundente cubre el arco, se licúa y protege y aísla la zona soldada. La elevada concentración de calor permite depositar grandes cantidades de soldadura con bastante rapidez. Tras la soldadura, el material fundido queda protegido por una capa de fundente, que puede retirarse y recuperarse. La soldadura por arco sumergido sólo puede aplicarse por debajo del nivel de las manos y es idónea para soldar planchas a tope en líneas de construcción de paneles y zonas de curvatura con rodillos y de construcción de estructuras. Esta técnica se aplica casi siempre con equipos totalmente automáticos montados en un carro móvil o en una plataforma autopropulsada que se desplaza sobre la pieza de trabajo. Al ser el funcionamiento automático, buena parte del tiempo se emplea en alinear la junta de soldadura con la máquina. De igual manera, como el arco SAW actúa bajo una capa de material fundente granulado, la tasa de emisión de humos (FGR) o de formación de humos (FFR) es baja y constante bajo diversas condiciones operativas, siempre que la capa de fundente sea suficiente.

*Soldadura por arco metálico en atmósfera gaseosa (GMAW).* Las técnicas con protección gaseosa constituyen una importante categoría dentro de la soldadura con arco eléctrico. Generalmente se utilizan electrodos de metal sin revestir que actúan en una atmósfera externa de protección formada por gases inertes, activos o una combinación de ambos tipos. Por lo general, los métodos GMAW o de soldadura *metálica en gas inerte* (MIG) emplean atmósferas gaseosas de protección y electrodos de alambre de pequeño diámetro, consumibles y alimentados automáticamente. Son la respuesta al tan deseado proceso de soldadura continua, sin interrupciones para cambiar electrodos, pues utilizan un alimentador de alambre automático. El mecanismo de bobinado aporta alambre de relleno (que es también el electrodo) a velocidad constante o variable en función de la lectura de un sensor de tensión. En el punto de contacto entre el electrodo y el arco, la pistola de soldadura emite un chorro protector de helio o argón. Para trabajos de soldadura de acero puede utilizarse CO<sub>2</sub>, un gas inerte o las dos cosas. Suele usarse una combinación de gases para optimizar los costes y la calidad de la soldadura.

*Soldadura de arco de tungsteno y protección gaseosa (GTAW).* Otro tipo de soldadura con protección gaseosa es la soldadura por arco de tungsteno con protección gaseosa, conocida en ocasiones como soldadura con *gas inerte y tungsteno* (TIG), o por su nombre comercial Heliarco, dado que el helio fue el primer gas protector utilizado. Se trató del primero de los “nuevos” métodos de soldadura, presentado unos 25 años después de la soldadura por electrodo. El arco se genera entre la pieza de trabajo y un electrodo de tungsteno que no se consume. El gas inerte, por lo general argón o helio, proporciona la atmósfera protectora y garantiza un trabajo limpio y con pocas emanaciones. En el proceso GTAW, el arco no aporta metal de relleno, sino que simplemente funde el material y el alambre, con lo que se consigue una soldadura más limpia. El GTAW es el método más utilizado en los astilleros para soldar aluminio, planchas metálicas y tubos y conductos de pequeño diámetro, o para depositar el primer pase de las soldaduras múltiples en conductos y accesorios de grandes dimensiones.

La *soldadura por arco con núcleo de material fundente* (FCAW) utiliza un equipo similar al de GMAW, con un alimentador continuo de alambre. La principal diferencia estriba en que el electrodo de FCAW es un alambre tubular con un núcleo interno de material fundente que protege la zona de soldadura. Algunos alambres con núcleo de fundente proporcionan por sí solos una protección suficiente; sin embargo, muchos trabajos de construcción naval ejecutados mediante FCAW exigen una protección

suplementaria, que proporciona una atmósfera de gas, para alcanzar las normas de calidad propias del sector.

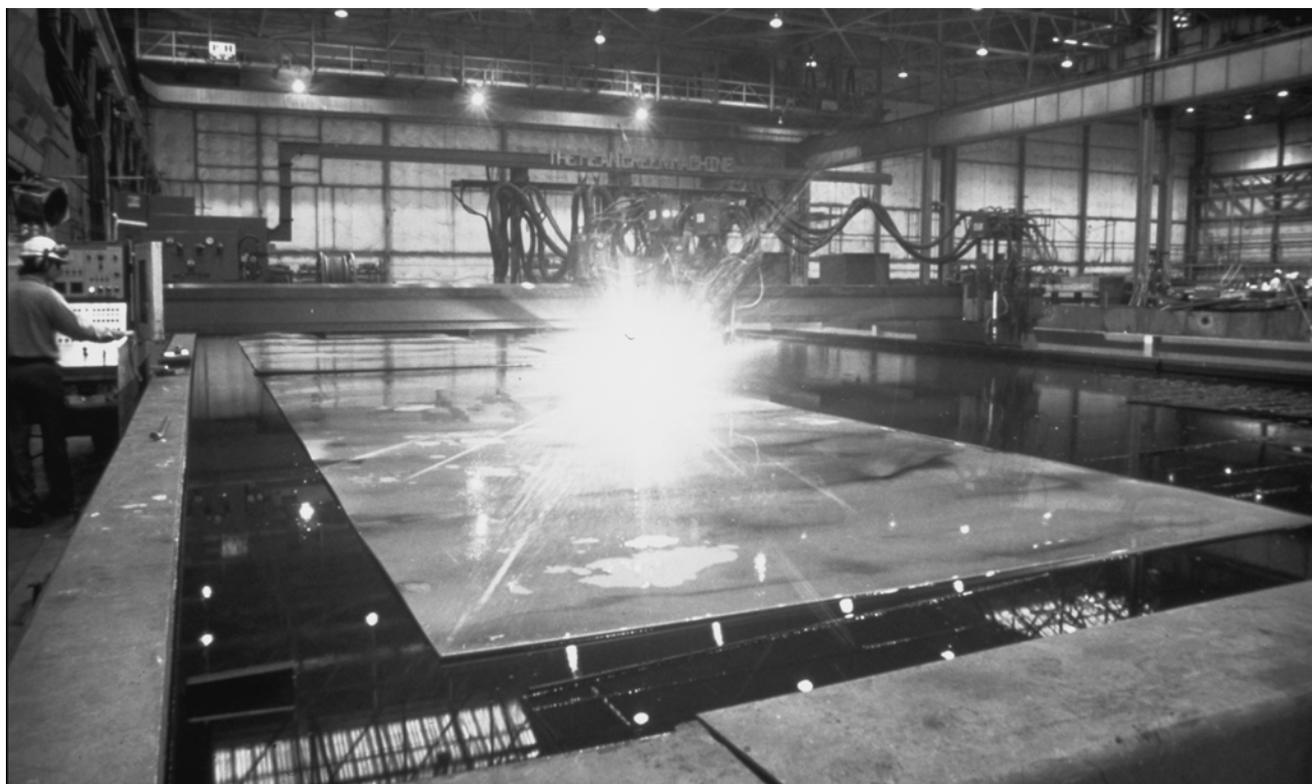
El método FCAW rinde una soldadura de calidad, con un ritmo de producción y una eficacia superiores a las alcanzadas con las técnicas SMAW tradicionales. Se presta al trabajo en condiciones muy variadas, como en superficies verticales o por encima del nivel de la cabeza. Los electrodos FCAW son un poco más caros que los materiales SMAW, pero en muchas ocasiones el aumento de calidad y productividad compensan el gasto.

*Soldadura por arco de plasma (PAW).* El más moderno método de soldadura con protección por atmósfera gaseosa es la soldadura metálica por arco de plasma y con gas inerte. El método PAW es muy similar al GTAW, con la diferencia de que el arco debe atravesar un estrechamiento antes de alcanzar la pieza de trabajo. Se obtiene de este modo un chorro de plasma muy rápido a una temperatura elevadísima. El plasma es una corriente ionizante de gas que sirve de soporte al arco y que se genera cuando éste se fuerza a través de un diminuto orificio del soplete. La técnica PAW forma un arco más caliente y concentrado que permite una soldadura más rápida. Salvo por el orificio que acelera el gas, el PAW es idéntico al GTAW, y utiliza un electrodo de tungsteno no consumible en una atmósfera protectora de gas inerte. La técnica PAW se utiliza casi siempre de forma manual y tiene muy pocas aplicaciones en la construcción naval, aunque en ocasiones se emplea en tareas de metalización con soplete. Su principal aplicación en la construcción naval es el corte de acero (véase la Figura 92.9).

*Soldadura con gas, soldadura con bronce y estaño.* En la soldadura con gas se utiliza el calor generado por la combustión de un gas y normalmente se aporta metal de relleno con una varilla. El combustible más común es una mezcla de acetileno y oxígeno (soldadura oxiacetilénica). El soplete manual dirige la llama a la pieza de trabajo al tiempo que el metal fundido de relleno se deposita en la unión soldada. La superficie de la pieza de trabajo se funde hasta formar una masa de fundición, y el material de relleno penetra en grietas y ranuras. El metal fundido, principalmente metal de relleno, solidifica a medida que el soplete avanza por la pieza de trabajo. La soldadura por gas es relativamente lenta y no se presta al trabajo con equipos automáticos o semi-automáticos, por lo que su uso en astilleros es poco frecuente. El equipo es pequeño y portátil, propio para soldar planchas delgadas (de hasta unos 7 mm), tuberías delgadas y conductos HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) de chapa metálica, canalizaciones para cables eléctricos y soldadura con bronce o estaño. Para cortar se utiliza un equipo idéntico o similar.

Las soldaduras con estaño o con bronce son técnicas de unión de superficies que trabajan sin fundir el metal de base. Se rellena el espacio entre las superficies con metal líquido y se deja que solidifique. Si la temperatura del metal de relleno es inferior a 450 °C, el proceso se llama soldadura con estaño o estañado; por encima de ese valor se habla de soldadura con bronce. La fuente de calor para la soldadura con estaño es casi siempre un soldador eléctrico, un soplete, una resistencia eléctrica o un dispositivo de inducción. Para soldar con bronce se emplea un soplete, una resistencia o un mecanismo de inducción. La unión con bronce también se hace sumergiendo las piezas en un baño. Las uniones hechas con estaño o bronce carecen de la elevada resistencia que aporta la soldadura por fusión y, por tanto, tienen pocas aplicaciones en trabajos de construcción y reparación naval, salvo la fijación de juntas de conductos delgados, la construcción de elementos de chapa y otras operaciones de ensamblado y mantenimiento, infrecuentes y de poca entidad.

Figura 92.9 • Corte de planchas de acero con soplete de arco de plasma sumergido.



Caroline Kiehrer

*Otros métodos de soldadura.* Con escasa frecuencia y por distintas razones, en el astillero se utilizan a veces otras técnicas de soldadura. La *soldadura eléctrica con escorias* se basa en la transferencia de calor por escorias fundidas, que a su vez funden la pieza de trabajo y el metal de relleno. Aunque el equipo que se utiliza es semejante al de soldadura al arco eléctrico, las escorias se mantienen fundidas por su resistencia a la corriente que circula entre el electrodo y la pieza de trabajo; por tanto, se trata de una forma de soldadura por resistencia eléctrica. Es frecuente colocar una placa de soporte refrigerada bajo la pieza de trabajo para retener la masa fundida. En la *soldadura eléctrica por gas* se utiliza un equipo similar, pero con un electrodo revestido de fundente y en atmósfera protectora de CO<sub>2</sub>. Ambas técnicas se prestan muy bien a la soldadura automática vertical de piezas a tope, y es muy eficaz con planchas gruesas. Cabe esperar que estas técnicas se apliquen con mayor frecuencia en el sector de la construcción naval.

*Soldadura por aluminotermia.* Se basa en el uso de metal líquido extremadamente caliente para fundir la pieza de trabajo y el material de relleno aportado. El metal líquido se obtiene por reacción química entre un óxido fundido y aluminio. El líquido se vierte en la cavidad que forman las piezas que van a soldarse, y el conjunto se envuelve en un molde de arena. Se trata de una técnica muy similar a la fundición por vaciado, y se utiliza sobre todo para reparar piezas vaciadas o forjadas o grandes secciones estructurales, como el armazón de popa.

*Soldadura con láser.* Es una tecnología nueva que utiliza un haz de láser para fundir y unir las piezas. La viabilidad de la soldadura con láser está demostrada, el coste ha impedido hasta ahora su aplicación comercial. El potencial que presenta como técnica de soldadura eficaz y de alta calidad puede generalizar su uso en la construcción naval del futuro.

Otra técnica relativamente moderna es la *soldadura por haz de electrones*. Consiste en proyectar un chorro de electrones sobre las piezas a través de un orificio y en atmósfera de gas inerte. Esta técnica no se basa en la conductividad térmica del material, y presenta por ello dos ventajas considerables: menor consumo de energía y poco efecto metalúrgico sobre el acero. Como la soldadura por láser, presenta el inconveniente de su elevado coste.

*Soldadura con roblonado.* Se trata de una variante de la soldadura al arco en la que se utiliza un roblón como electrodo. La pistola de soldar sujeta el roblón mientras se forma el arco y hasta que se funden el roblón y la plancha; a continuación aplica el primero contra la segunda y los suelda. Como protección se utiliza una férula cerámica que rodea el roblón. La soldadura con roblonado es semiautomática y se emplea habitualmente en construcción naval para facilitar la instalación de materiales no metálicos, como los aislantes, en superficies de acero.

### **Pintura y acabado**

Se pinta en casi todos los lugares del astillero. La naturaleza de los trabajos de construcción y reparación de buques obliga a emplear diversos tipos de pintura para aplicaciones distintas, desde productos al agua hasta revestimientos epóxicos de altas prestaciones. El tipo de pintura adecuado para una aplicación determinada depende de las condiciones a las que vaya a estar expuesta. Los instrumentos de aplicación de pintura van desde los simples rodillos y brochas hasta los pulverizadores sin aire y las máquinas automáticas. En general, hay normas de pintura especiales en las siguientes zonas de los buques:

- bajo el agua (fondo del casco)
- línea de flotación
- superestructuras superiores

- recintos internos y depósitos
- cubiertas a la intemperie
- equipo suelto.

Hay muchos tipos de pinturas para cada una de estas zonas, aunque los buques de guerra suelen regirse por especificaciones distintas (*Mil-spec*) que imponen tipos determinados de pintura para cada aplicación. Al elegir la pintura hay que considerar muchas variables: condiciones ambientales, intensidad de la exposición al medio ambiente, tiempos de secado o endurecimiento e instrumentos y métodos de aplicación. Muchos astilleros disponen de zonas e instalaciones reservadas para trabajos de pintura. Los talleres cubiertos son caros, pero en ellos se trabaja con mayor eficacia y se obtienen resultados de mejor calidad. Cuando se pinta al aire libre, el grado de transferencia es menor y sólo se puede trabajar con buen tiempo.

*Sistemas de aplicación de pintura utilizados en los astilleros.* Las pinturas se aplican a las distintas partes del buque con fines muy variados. Ninguna pintura cumple con todas las condiciones buscadas (protección anticorrosión, antiincrustaciones y resistencia alcalina, por ejemplo). Las pinturas están compuestas por tres ingredientes principales: pigmento, vehículo y disolvente. Los pigmentos son pequeñas partículas que generalmente determinan el color y muchas de las propiedades asociadas a la aplicación. Son ejemplos de pigmentos: óxido de zinc, talco, carbono, alquitrán de hulla, plomo, mica, aluminio y polvo de zinc. El vehículo es un aglutinante que mantiene unidos los pigmentos de la pintura. Muchas pinturas son conocidas por el tipo de aglutinante: epoxi, alquídicas, uretanos, vinílicas, fenólicas. El aglutinante también determina en buena medida las prestaciones de la aplicación: flexibilidad, resistencia a los productos químicos, durabilidad, acabado. El disolvente se añade para aclarar la pintura y facilitar su aplicación a las superficies. La porción de disolvente de la pintura se evapora durante el secado. Entre los disolventes más comunes se cuentan la acetona, los diversos tipos de aguarrás mineral, el xileno, la metilacetona y el agua. Las pinturas anticorrosión y antiincrustación se utilizan habitualmente para cascos de buque y constituyen los dos tipos más utilizados en el sector de la construcción. Las *pinturas anticorrosión* se fabrican con bases vinílicas de laca o uretánicas o en los nuevos sistemas de recubrimiento de base epóxida. En la actualidad los sistemas epoxi son muy aceptados y cumplen todos los requisitos de calidad establecidos para el medio ambiente marino. Las *pinturas antiincrustación* se utilizan para evitar la proliferación y la adherencia de organismos marinos al casco. Con este fin se utilizan mucho los compuestos a base de cobre. Se trata de pinturas que liberan pequeñas cantidades de sustancias tóxicas en las proximidades del casco del buque. Los colores se obtienen añadiendo negro de humo, óxido de hierro rojo o dióxido de titanio.

*Revestimiento de imprimación en astillero.* Por lo general, el primer sistema de imprimación que se aplica a las piezas y láminas de acero en bruto es una imprimación de preconstrucción llamada a veces “imprimación de taller”. Esta capa es importante para mantener el buen estado de las piezas durante la construcción. La imprimación de preconstrucción se aplica a planchas de acero, troqueles, secciones de tuberías y conductos de ventilación. Este tratamiento cumple dos funciones importantes: a) preservar el acero para el producto final y b) mejorar la productividad de la construcción. La mayoría de las imprimaciones de preconstrucción son ricas en zinc, con aglutinantes orgánicos o inorgánicos. Entre las imprimaciones inorgánicas a base de zinc predominan los silicatos de zinc. Los sistemas de recubrimiento a base de zinc protegen los recubrimientos de una manera muy similar a la galvanización. Si el zinc se aplica sobre acero, el oxígeno reaccionará con aquél para dar óxido de zinc,

que forma una capa impermeable que impide que el aire o el agua entren en contacto con el acero.

*Equipos de aplicación de pintura.* En el sector de la construcción naval son muchos los métodos de aplicación de pintura que se utilizan. Dos muy comunes son los pulverizadores sin aire y los pulverizadores por aire comprimido. Los sistemas de pulverización por aire comprimido pulverizan simultáneamente aire y pintura, con lo que parte de la pintura se atomiza (se seca) rápidamente antes de alcanzar la superficie. La eficiencia en la transferencia de los sistemas de pulverización por aire comprimido oscila entre un 65 y un 80 %. Este bajo rendimiento se debe sobre todo al exceso de aplicación, a las corrientes y a deficiencias del pulverizador; por su bajo poder de transferencia, este tipo de pulverizadores han quedado obsoletos.

El sistema de aplicación de pintura más usado en el sector de la construcción naval es la pulverización sin aire. Se trata de un sistema que simplemente comprime la pintura por un conducto hidráulico que en uno de sus extremos dispone de una boquilla de pulverización; lo que impulsa la pintura es la presión hidrostática, no la neumática. Para reducir el exceso de aplicación y el desperdicio, en los astilleros se está generalizando la utilización de pulverizadores sin aire. Son mucho más limpios que los de aire comprimido y sufren menos fugas que ellos, pues trabajan a menos presión. El rendimiento de la transferencia es de casi el 90 %, según las condiciones. La técnica de HVLP (alto volumen, baja presión) es una novedad en el terreno de la pulverización sin aire que, en determinadas condiciones, mejora aún más el índice de transferencia. Las medidas de eficacia de transferencia son estimativas, y en ellas se tienen en cuenta el goteo y el desperdicio.

La *pulverización térmica* o pulverización metálica o por llama es la aplicación sobre acero de revestimientos de zinc o aluminio como protección anticorrosión de larga duración. Se trata de un proceso de revestimiento utilizado en numerosas aplicaciones, tanto civiles como militares. Se diferencia de las prácticas de revestimiento tradicionales por lo especializado del equipo y por el ritmo de producción relativamente lento. Hay dos tipos básicos de máquinas para aplicación térmica de revestimientos: alambre de combustión y arco térmico. El alambre de combustión es un sistema de llama a base de gases combustibles con un controlador de alimentación de alambre. Los gases combustibles funden el material, que a continuación se pulveriza sobre las piezas. La *máquina eléctrica de pulverización térmica* por el contrario, utiliza un arco eléctrico para fundir el material pulverizado por la llama. El equipo incorpora filtración, compresión de aire, arco eléctrico con controlador y pistola pulverizadora para llama de arco. Hay que preparar bien la superficie para que se adhieran los materiales pulverizados por la llama. La forma de preparación más común es el tratamiento con chorro de arena fina (óxido de aluminio, por ejemplo).

El coste inicial de la pulverización térmica es elevado en comparación con el de la pintura, pero resulta económicamente más atractiva cuando se considera todo el ciclo de servicio. Aunque alguno astilleros disponen de sus propias máquinas de pulverización térmica, otros subcontratan este trabajo. La pulverización térmica puede realizarse en el taller o a bordo del buque.

*Prácticas y métodos de pintura.* Se llevan a cabo tareas de pintura en casi todas las zonas del astillero, desde la imprimación inicial que se aplica al acero hasta los detalles de la pintura definitiva del buque. Los métodos que se emplean al pintar varían enormemente de un proceso a otro. La pintura se mezcla tanto a mano como mecánicamente, por lo general en una zona rodeada de zanjas de contención y pallets para contención auxiliar; algunas de estas zonas son recintos cubiertos. En el astillero se realizan tareas de pintura tanto a cubierto como al aire libre.

Se utilizan con frecuencia paneles de ladrillo, plástico o acero para contener la pintura pulverizada, neutralizar la acción del viento y capturar las partículas de pintura en suspensión, cuya cantidad se verá reducida con la implantación de nuevas tecnologías. Al limitar el exceso de pulverización, el astillero ahorra pintura y dinero.

#### **Preparación de superficies y áreas de pintura del astillero**

Podemos dividir las prácticas de pintura y de preparación de superficies en el sector de la construcción y la reparación de buques en cinco grandes áreas. Estas ilustran cómo se realizan las tareas de pintura en el astillero.

**Pintura de cascos.** Los cascos se pintan tanto en operaciones de reparación como durante la construcción de embarcaciones nuevas. Por lo general, cuando se trata de buques en reparación, la preparación de la superficie y la pintura del casco se lleva a cabo en el dique seco (en el dique de carena de un dique seco flotante). En el caso de los buques de nueva construcción, el casco se prepara y se pinta en la posición de construcción empleando alguna de las técnicas anteriormente descritas. El tratamiento de preparación más común es la limpieza con chorro de arena impulsado por aire o por agua. Este trabajo obliga a utilizar plataformas o equipos elevadores. También la pintura se aplica con pulverizadores y dispositivos elevadores, como ascensores, plataformas de tijera o andamios móviles. Los sistemas para pintar cascos varían de acuerdo al número de capas aplicadas.

**Pintura de las superestructuras.** La superestructura de un buque comprende las cubiertas abiertas, los alojamientos de cubierta y las demás estructuras dispuestas sobre la cubierta principal. En muchos casos se emplean andamiajes de cubierta para llegar hasta las antenas, los alojamientos y las demás superestructuras. Si hay riesgo de que caiga pintura o restos del material de limpieza a presión al agua que rodea el buque, habrá que adoptar las medidas necesarias para evitarlo. Cuando se trata de buques en reparación, la pintura de las superestructuras suele llevarse a cabo con el buque amarrado. La superficie se prepara con herramientas de mano o con chorro de arena. Una vez preparada la superficie, y tras eliminar los restos de los materiales de limpieza, se empieza a pintar. Por lo general, las pinturas se aplican por pulverización sin aire. Los pintores acceden a las superestructuras por medio de los mismos andamios, escaleras de mano y demás equipos elevadores previamente utilizados en las tareas de preparación. Los protectores colocados para evitar la caída del material chorreado a presión se mantienen para retener la pintura.

**Pintura interior de depósitos y de compartimientos.** Los depósitos y compartimientos a bordo de los buques han de recubrirse una y otra vez para mantenerlos en servicio. La pintura de depósitos de buques en reparación exige un largo trabajo de preparación de la superficie. La mayoría de los depósitos se encuentran en la parte inferior de los buques (depósitos de lastre, sentinas, depósitos de combustible). Los depósitos se preparan antes de ser pintados lavándolos con disolventes y detergentes que eliminan la grasa y las acumulaciones de combustible. Las aguas residuales generadas durante la limpieza de los depósitos deberán tratarse adecuadamente antes de eliminarlas. Una vez secos los depósitos, se limpian con chorro de arena; este trabajo exige la instalación de algún sistema de circulación del aire en el interior del depósito y otro de aspiración de partículas abrasivas. Se utilizan sistemas de aspiración de anillo líquido y de husillo giratorio. Los aspiradores han de tener potencia suficiente para aspirar del depósito los restos de la limpieza por abrasión. Por lo general, los sistemas de ventilación y aspiración se encuentran en la superficie del muelle y entran en el buque a través de orificios practicados en el casco. Una vez finalizada la limpieza

por abrasión de la superficie, y tras haber sido retirados los restos, se empieza a pintar. Todas las labores de preparación y pintura de las superficies de los depósitos del buque (como el trabajo en recintos cerrados) exigen ventilación y respiradores adecuados.

**Preparación de la superficie durante la construcción.** Una vez que los bloques o unidades múltiples abandonan la zona de montaje, suelen trasladarse a un área de limpieza por chorro de arena donde se preparan para recibir la pintura. Las superficies se chorrean hasta dejar al aire el metal (se elimina toda la imprimación de construcción) (véase la Figura 92.7). El método más frecuente de preparación de la superficie es el tratamiento con chorro de arena impulsado con aire. La siguiente etapa es la aplicación de pintura. Por lo general, los pintores utilizan equipos de pulverización de pintura sin aire desde plataformas de acceso. Una vez que se ha aplicado el recubrimiento al bloque, éste se traslada a la zona de bloques para ser equipado.

**Áreas de pintura de piezas pequeñas.** Muchas de las piezas que componen un buque han de recibir un recubrimiento antes de ser instaladas en sus correspondientes bloques: carretes para mangueras, conductos de ventilación, asientos y puertas se han de pintar antes de instalarlos en el bloque. Las piezas pequeñas suelen prepararse en una zona especial del astillero antes de pintarlas. La pintura en sí puede aplicarse en otro punto distinto de las instalaciones por su mejor adaptación a las necesidades de producción del astillero. Algunas de dichas piezas pequeñas se pintan en los distintos talleres y otras en un local del departamento de pintura.

#### **Preparación de superficies y pintura en bloques y a bordo**

Los trabajos de pintura definitivos tienen lugar a bordo, mientras que los retoques suelen efectuarse en los bloques (véase la Figura 92.10). La pintura de los bloques se retoca por varios motivos. En ocasiones, la pintura ya aplicada ha sufrido daños y hay que restaurarla; otras veces se ha aplicado una pintura incorrecta y es preciso sustituirla. La pintura de bloques se hace con equipos portátiles de limpieza abrasiva y pintura en las áreas de

Figura 92.10 • Retoques de pintura en el casco de un buque.



equipamiento de bloques. A bordo del buque hay que pintar las zonas comunes que hay entre los bloques de construcción, y volver a pintar las zonas dañadas por los trabajos de soldadura, reparaciones, equipamiento realizado a bordo, y demás. Las superficies se preparan con herramientas de mano, lijando, cepillando, limpiando con disolventes o utilizando cualesquiera otras técnicas. La pintura se aplica con pulverizadores portátiles sin aire, rodillos y brochas.

### Equipamiento

El equipamiento previo al montaje de los bloques de construcción es el método de construcción naval actualmente empleado en todo el mundo por los astilleros competitivos. Se llama equipamiento a la instalación en los bloques de componentes y subconjuntos diversos (sistemas de conducciones, equipos de ventilación, componentes eléctricos) antes de unirlos entre sí en la fase de montaje. El equipamiento de los bloques en el astillero se presta a la organización en forma de línea de montaje.

El equipamiento a lo largo de la construcción se planifica de manera que el trabajo avance sin interrupciones por todo el astillero. Una vez montada la estructura de acero del bloque, y para simplificar, el equipamiento puede dividirse en tres etapas de construcción principales:

1. equipamiento de unidades
2. equipamiento de bloques
3. equipamiento a bordo.

*Equipamiento de unidades:* en esta etapa se montan aparejos, piezas, asientos, maquinaria y demás materiales con independencia del bloque del casco (es decir, las unidades se montan aparte de los bloques estructurales de acero). El equipamiento de unidades permite a los trabajadores montar en tierra los sistemas y componentes de a bordo, con la consiguiente facilidad de acceso a talleres y maquinaria. Las unidades se instalan en la etapa de construcción a bordo, o en la fase de bloques. La complejidad, las formas y las dimensiones de las unidades son muy variadas. En algunos casos son tan simples como un motor de ventilador conectado a una cámara de sobrepresión ("plenum") y a una serpentina de refrigeración. Las unidades grandes y complejas más importantes son las máquinas y sus componentes, las calderas, las salas de bombas y demás áreas complejas del buque. El equipamiento por unidades suele implicar el empalme de conducciones y otros componentes seguido de la conexión que da lugar a las unidades. Los recintos de maquinaria son las zonas del buque donde se encuentra la maquinaria (salas de máquinas, estaciones de bombeo y generadores) y en ellas el equipamiento muy numeroso. Equipar las unidades en tierra aumenta la seguridad y la eficacia, pues reduce las horas de trabajo que serían necesarias en bloques o a bordo, en recintos más reducidos y en condiciones de trabajo más difíciles.

*Equipamiento de bloques:* es la etapa de construcción donde se lleva a cabo la instalación en los bloques de la mayor parte del material de equipamiento. Entre el material de equipamiento que se instala por bloques podemos citar los sistemas de ventilación y de conducciones, las puertas, luces, escaleras de mano, pasamanos, montajes eléctricos, etc. También en esta etapa suelen instalarse muchas unidades. A lo largo de toda la etapa de equipamiento por bloques, éstos pueden izarse, girarse y desplazarse para facilitar la instalación de los materiales de equipamiento en techos, suelos y paredes. Todos los talleres y servicios del astillero han de estar comunicados entre sí en la etapa de equipamiento por bloques, para garantizar que los materiales se instalan correctamente en tiempo y lugar.

*Equipamiento a bordo:* empieza cuando los bloques han ido izados a bordo del buque en construcción (después de la fase de

montaje). El buque puede encontrarse en posición de construcción (en el dique o en las gradas de construcción) o bien amarrado al muelle. Los bloques ya se encuentran equipados en gran parte, aunque todavía resta mucho trabajo por hacer hasta dejar el buque listo para entrar en servicio. El equipamiento a bordo comprende la instalación de bloques y unidades de grandes dimensiones. Forma parte de estos trabajos de instalación el izado a bordo de bloques y unidades de grandes dimensiones seguido de la soldadura o unión mediante pernos en sus respectivas posiciones. También incluye la conexión entre sí de los sistemas de a bordo (conducciones, ventilación, electricidad). El tendido de cables por todo el buque también se hace durante la etapa de equipamiento a bordo.

### Pruebas

Durante la fase de funcionamiento y pruebas se evalúa la funcionalidad de todos los sistemas y componentes instalados. Es en esta etapa cuando se hacen funcionar, se prueban y se revisan todos los sistemas. Cualquier sistema que por alguna razón no supere las pruebas, será retirado, reparado y revisado de nuevo hasta que sea plenamente operativo. Todos los sistemas de conducciones de a bordo se presurizan para localizar con facilidad la posible presencia de fugas. Asimismo, los depósitos han de pasar las correspondientes pruebas estructurales mediante llenado con líquido (agua dulce o de mar) y el posterior examen de su estabilidad estructural. También se comprueban, entre otros muchos, los sistemas eléctrico y de ventilación. La mayoría de las pruebas de funcionamiento y comprobación de los sistemas tienen lugar con el buque amarrado en el muelle del astillero. No obstante, cada vez se tiende más a efectuar estas pruebas en etapas de construcción anteriores (pruebas preliminares en los talleres de producción).

Realizar estas pruebas en etapas de la construcción anteriores facilita la resolución de averías gracias a la mayor accesibilidad a todos los sistemas, aunque las pruebas con sistemas completos siempre han de efectuarse a bordo del buque. Una vez realizadas todas las pruebas con el buque amarrado, éste se hace a la mar y se somete a nuevas pruebas de navegación antes de que se considere plenamente operativo a efectos de navegabilidad y se entregue a su propietario.

### Reparación de buques

#### Procesos y prácticas de reparación de buques de acero

Por lo general, el concepto de reparación abarca las intervenciones de transformación, las revisiones generales, los programas de mantenimiento, las reparaciones de grandes daños y las reparaciones de equipos menores. El segmento de la reparación de buques constituye una parte muy importante del sector de la construcción y de las demás actividades navales. En casi todos los astilleros privados, cerca del 25 % de la mano de obra total realiza trabajos de conversión y reparación. En la actualidad son numerosos los buques que necesitan ser actualizados o sometidos a conversiones para cumplir los requisitos de seguridad y medio ambiente. El envejecimiento y la pérdida de rentabilidad de las flotas y los elevados costes de adquisición de buques nuevos están sometiendo a las compañías navieras a grandes tensiones. En términos generales, los trabajos de conversión y reparación efectuados en los astilleros de los Estados Unidos, son sustancialmente más rentables que la propia construcción de buques nuevos. En los astilleros que se dedican a la construcción de buques, los contratos de revisiones generales y conversiones ayudan a estabilizar el empleo durante los periodos en que escasea la construcción nueva, que a su vez aumentan la carga de trabajo de las plantillas dedicadas a reparaciones. El proceso de reparación de un buque es muy semejante al de nueva

construcción; la principal diferencia es que se trabaja a menor escala y a un ritmo más rápido. La reparación exige más sincronización y mucha capacidad de negociación para obtener contratos. Entre los clientes habituales del segmento de la reparación navales cabe citar la armada, la compañías navieras, y otros propietarios del sector marítimo y naval.

Normalmente, los clientes facilitan las especificaciones contractuales, los planos y los demás elementos estándar. Los contratos pueden ser *firμες con precio fijo* (FFP), *firμες con precio fijo mas tanto de adjudicación* (FFPAF), *de coste más tanto fijo* (CPFF), *de coste más tanto de adjudicación* (CPAF) o *de reparación urgente*. El proceso se inicia en el departamento de marketing cuando el astillero recibe una *solicitud de oferta* (RFP) o una *invitación para licitar* (IFB). Generalmente, las ofertas de precio más bajo ganan los contratos IFB, en tanto que una adjudicación del tipo RFP no se basa exclusivamente en el factor precio. El grupo de valoración de la reparación prepara una estimación del coste y la correspondiente oferta. La estimación de la licitación incluye por lo general costes de mano de obra, en salarios y horas/hombre, materiales, gastos generales, servicios especiales, subcontratación, horas extraordinarias y primas por trabajos fuera de turno; también se incorporan otras tasas, el coste de utilización de las instalaciones y el coste del dinero; la oferta económica o de licitación se basa en el conjunto de estos costes. Una vez adjudicado el contrato, se elabora un plan de producción.

#### Planificación, medios técnicos y ejecución de la reparación

Aunque en la etapa de presentación de la oferta relativa al contrato se realice cierta planificación previa, aún queda mucho por hacer antes de iniciar el trabajo. Deberán darse los siguientes pasos: leer y comprender todas las especificaciones contractuales, dividir el trabajo en categorías, integrar el trabajo en un plan lógico de producción y determinar la senda crítica. Los departamentos encargados de la planificación, la disposición de materiales y medios técnicos, las subcontratas y la ejecución de las reparaciones deben colaborar estrechamente para llevar a cabo la reparación de la manera más puntual y rentable posible. En muchos casos, las conducciones, conductos de ventilación, equipamientos eléctricos y otros tipos de maquinaria se fabrican antes de que llegue el barco. Los trabajos de preequipamiento y de preembalaje de las unidades reparadas se efectúan en colaboración con los talleres de producción para ejecutar puntualmente los encargos.

#### Tipos habituales de trabajos de reparación

Los buques son similares a otros tipos de maquinaria que también requieren frecuentes trabajos de mantenimiento y, en ocasiones, grandes revisiones generales para mantener su capacidad operativa. Muchos astilleros tienen establecidos contratos de mantenimiento para compañías navieras, buques o tipos de buques, que requieren frecuentes trabajos de mantenimiento. Veamos algunos ejemplos de tareas de mantenimiento y reparación:

- limpieza con chorro de arena y repintado del casco, la cubierta de intemperie, la superestructura, los depósitos interiores y las áreas de trabajo;
- reparación e instalación de la maquinaria principal (motores diesel, turbinas, generadores y equipos de bombeo);
- revisiones generales, mantenimiento e instalación (pruebas de caudal, comprobación e instalación de sistemas de conducciones);
- instalación de nuevos sistemas, bien por incorporación de nuevos equipos o por sustitución de otros obsoletos (de navegación, combate, comunicaciones o conducciones);

- reparación modificación y centrado de timón y hélices; y
- habilitación en el buque de nuevos alojamientos para maquinaria (eliminación de estructuras de acero, incorporación de nuevos paramentos, refuerzos y soportes verticales e instalación de nervaduras).

En muchos casos, los contratos de reparación se firman en situaciones de emergencia con escaso plazo de aviso, lo que hace de la reparación naval un trabajo cambiante e imprevisible. Los buques sometidos a reparaciones normales permanecen en el astillero entre 3 días y 2 meses, en tanto que las conversiones y reparaciones de gran magnitud pueden durar más de un año.

#### Grandes proyectos de reparación y conversión

Los contratos de grandes proyectos de reparación y conversión son habituales en el sector de la construcción naval. La mayoría de ellos se realizan en astilleros que disponen de capacidad para construir buques, aunque algunos de menor capacidad también pueden hacerse cargo de grandes reparaciones y conversiones.

Veamos a continuación algunos ejemplos de contratos de grandes reparaciones:

- conversión de cargueros en buques hospital;
- corte por la mitad de un buque e instalación de una nueva sección para aumentar la eslora (véase la Figura 92.11);
- sustitución de segmentos estropeados después de haber encañado (véase la Figura 92.12);
- eliminación completa, reconfiguración estructural y equipamiento de sistemas de combate; y
- remodelación general del interior o del exterior del buque (restauración completa de cruceros para el transporte de pasajeros).

Figura 92.11 • Corte por la mitad de un buque para añadir una nueva sección.



Newport News Shipbuilding

Figura 92.12 • Sustitución de la proa de un barco accidentado.



Newport News Shipbuilding

En su mayoría, las grandes reparaciones y conversiones requieren grandes esfuerzos en las áreas de planificación, disposición de medios técnicos y ejecución. En muchas ocasiones se deben efectuar grandes trabajos sobre acero (grandes cortes estructurales en el buque e instalación de nuevas configuraciones). Estos proyectos pueden dividirse en cuatro etapas principales: desmontaje, construcción de la nueva estructura, instalación de los equipos y pruebas. Se emplean subcontratas para la gran mayoría de las reparaciones y las conversiones, con independencia de su magnitud. Los subcontratistas aportan experiencia en ciertas áreas y contribuyen a nivelar la carga de trabajo del astillero. Veamos a continuación algunos de los trabajos que suelen encargarse a los subcontratistas:

- apoyo en la reparación de buques;
- instalación de grandes sistemas de combate (técnicos);
- reconstrucción y reintubación de calderas;
- revisiones generales de compresores neumáticos;
- retirada y eliminación de amianto;
- limpieza de depósitos;
- limpieza con chorro de arena y pintura;
- revisiones generales de sistemas de bombeo;
- construcción de estructuras menores;
- revisión general de maquinillas;
- modificaciones del sistema de vapor principal; y
- construcción de sistemas (conducciones, ventilación, asientos, etc.).

Al igual que en los casos de nueva construcción, todos los sistemas instalados han de ser sometidos a pruebas de operatividad antes de entregar el buque a su propietario. Los requisitos de las pruebas por lo general se establecen en el propio contrato, aunque también hay otras fuentes de determinación de pruebas. Estas han de programarse, ejecutarse correctamente y

controlarse por los departamentos o grupos relevantes (calidad interna del astillero, operaciones de buques, organismos públicos, armadores, etc.). Una vez instalados y debidamente probados los sistemas, la zona, el compartimiento o el sistema forman parte del buque (que queda así terminado).

Hay muchas similitudes entre los trabajos de reparación y de nueva construcción. La principal es que en ambos casos se utilizan esencialmente los mismos métodos, prácticas, instalaciones y talleres de apoyo. Los trabajos de construcción y reparación de buques requieren una mano de obra muy especializada, ya que muchas de las actividades dejan poco margen para la automatización (especialmente en la reparación). Ambas actividades requieren niveles excelentes de planificación, disposición de medios técnicos y comunicación interdepartamental. El flujo de trabajo de una reparación suele ser: valoración, planificación y disponibilidades técnicas; desmontaje; reinstalación de estructuras de acero; construcciones propias de la reparación; pruebas y ensayos; y entrega del buque. En muchos aspectos, el proceso de reparación de un buque es muy similar al de nueva construcción, aunque éste requiera una capacidad organizativa mayor debido a la magnitud de la mano de obra y de la carga de trabajo, del número de piezas que se manejan y de la complejidad de las comunicaciones (programas y planes de producción) que rodean el flujo de trabajo de la construcción de un buque.

### Peligros y precauciones

La construcción y reparación de buques es uno de los sectores industriales más peligrosos. El trabajo se desarrolla en medios peligrosos, tales como recintos cerrados reducidos y alturas considerables. Buena parte del trabajo manual se efectúa con materiales y equipos pesados. Por la gran interrelación que hay entre las tareas, los resultados de un proceso pueden poner en peligro la integridad del personal que trabaja en otro. Además, como gran parte del trabajo se hace al aire libre, la climatología puede crear o agravar situaciones de peligro. Por si esto fuera poco, se emplean numerosos productos químicos, pinturas, disolventes y recubrimientos, los cuales pueden entrañar riesgos importantes para los trabajadores.

### Riesgos para la salud

*Riesgos químicos* que entrañan peligros para la salud de los trabajadores de los astilleros, y que incluyen:

- polvo originado por la limpieza con chorro de arena;
- exposición a fibras minerales y de amianto en trabajos de aislamiento;
- vapores y emanaciones procedentes de la pulverización de pinturas, recubrimientos, disolventes y diluyentes;
- emisiones de trabajos de soldadura autógena, corte y soldadura con bronce o estaño;
- exposición a los gases empleados en soldaduras diversas, corte y procesos de calentamiento;
- exposición a productos químicos tóxicos de resinas epoxi, pinturas antiincrustación de estaño y cobre orgánicos, pinturas al plomo, aceites, grasas, pigmentos y similares.

*Riesgos físicos* debidos a la naturaleza manual de los trabajos:

- condiciones ambientales y de temperatura extremas al trabajar a la intemperie;
- riesgos eléctricos;
- problemas ergonómicos asociados debidos al manejo reiterado de materiales pesados y voluminosos;
- radiaciones ionizantes y no ionizantes;
- ruidos y vibraciones;

- riesgo de falta de oxígeno al trabajar en depósitos, calderas, dobles fondos, etc.;
- caídas y deslizamientos en trabajos realizados al mismo nivel o a gran altura.

### Medidas preventivas

Aunque el sector de la construcción y reparación de buques es muy peligroso, los riesgos para los trabajadores pueden y deben reducirse al mínimo. La base para reducir los riesgos es un programa sólido de salud y seguridad, que parta de la buena relación entre los sindicatos o los trabajadores y la dirección de la empresa.

Hay muchas formas de prevenir o minimizar los peligros identificados en el astillero. Estas formas de enfocar los problemas pueden agruparse de manera general en varias estrategias.

*Controles técnicos:* se emplean para eliminar o controlar los riesgos en origen. Estos controles constituyen la medida más deseable, pues son muy fiables:

- *Sustitución o eliminación.* Siempre que sea posible, los procesos que entrañan riesgos o que generan productos tóxicos deben ser eliminados o sustituidos por otros que supongan menos peligro. Se trata de la forma de control más efectiva. Un ejemplo lo constituye la utilización de materiales no cancerígenos en vez de los aislantes de amianto. Otro sería la utilización de plataformas hidráulicas de elevación para manejar materiales pesados en vez de izarlos manualmente. Las pinturas a base de disolventes se pueden sustituir en muchos casos por pinturas con base de agua (productos acrílicos). La automatización o la robótica también contribuyen a eliminar riesgos.
- *Aislamiento.* En ocasiones, los procesos que no son susceptibles de sustitución o eliminación pueden aislarse de los trabajadores. Frecuentemente, las fuentes de ruido intenso pueden alejarse de los trabajadores para reducir la exposición.
- *Cerramiento.* Los procesos o los trabajadores pueden protegerse mediante cerramientos para eliminar o reducir los riesgos de exposición. Se puede proteger a los operarios de los equipos mediante cabinas aislantes para eliminar o reducir la exposición a los ruidos, al calor, al frío o incluso a los efectos de los productos químicos nocivos. También los procesos pueden ser objeto de protección mediante cerramientos. Las cabinas para pulverizar, pintar y realizar trabajos de soldadura son ejemplos de cerramiento de procesos para reducir la exposición a materiales potencialmente tóxicos.
- *Ventilación.* Los procesos que producen materiales tóxicos pueden ventilarse para retener esos materiales en su punto de origen. Se trata de una técnica muy utilizada en astilleros y talleres náuticos, especialmente para controlar las emanaciones y los vapores generados en trabajos de soldadura, los vapores de pintura y otros similares. Numerosos ventiladores y extractores se colocan en las cubiertas de los buques para que extraigan el aire o éste salga al exterior y reducir así los riesgos de exposición. Con frecuencia se emplean ventiladores soplantes para dirigir aire fresco a los compartimientos y mantener así concentraciones de oxígeno aceptables.

*Controles administrativos.* Se utilizan para reducir al mínimo las exposiciones limitando administrativamente el tiempo que pueden pasar los trabajadores en situaciones potencialmente peligrosas. Por lo general, esto se lleva a cabo mediante la rotación del personal entre áreas escasamente expuestas y otras con mayor índice de exposición. Aunque la cantidad de tiempo acumulado de exposición personal no cambia, sí se reduce la exposición de cada trabajador individual.

Los controles administrativos tienen aspectos negativos. Se trata de una técnica que exige más formación, ya que los trabajadores deben conocer varias técnicas; además, aumenta el número de los expuestos a condiciones potencialmente peligrosas. Asimismo, dado que el número de trabajadores expuestos a situaciones de peligro se duplica desde el punto de vista reglamentario, las responsabilidades potenciales pueden aumentar. No obstante, el control administrativo es eficaz si se aplica adecuadamente.

*Controles de protección individuales.* Los astilleros han de depender en gran medida de las diversas formas de protección individual. La naturaleza de la construcción y reparación de buques no se presta a concepciones técnicas tradicionales. Los buques son recintos muy reducidos y cuyo acceso está limitado. Un submarino en reparación tiene de 1 a 3 escotillas de 0,76 m de diámetro, a través de las cuales deben pasar tanto los trabajadores como los equipos. Las conducciones de ventilación que pueden introducirse por ellas están severamente limitadas. De igual forma, en los grandes buques se trabaja en su más profundo interior, y aunque puedan llevarse algunas conducciones de ventilación hasta el nivel deseado, el número de ellas es limitado. Además, los ventiladores que impulsan o extraen el aire por las conducciones de ventilación suelen encontrarse a la intemperie, generalmente en la cubierta principal, por lo que su capacidad también se encuentra en cierta medida limitada.

Además, la construcción y reparación de buques no se efectúa en una línea de montaje, sino en emplazamientos separados, lo que hace prácticamente imposible la instalación de controles técnicos estacionarios. La situación se repite, y con mayor razón, en buques sometidos a trabajos de reparación que sólo duran algunos días. En estas situaciones se emplean mayoritariamente equipos de protección individual.

En los talleres pueden emplearse en mayor medida los métodos de control técnico tradicionales. La mayor parte de los equipos y de la maquinaria que se encuentra en los talleres y en las zonas de montaje se prestan a las intervenciones normales de protección, ventilación, etc. No obstante, también en este tipo de situaciones deberán utilizarse equipos de protección individual.

Veamos a continuación las diversas aplicaciones de los equipos de protección individual utilizados en los astilleros:

*Soldadura, corte y rectificado.* El proceso básico de construcción y reparación de buques exige trabajos de corte, conformación y unión de aceros y otros metales. En el proceso se generan emanaciones metálicas, polvo y partículas. Aunque en ocasiones puede hacerse uso de la ventilación, los soldadores deben utilizar cada vez con más frecuencia dispositivos de respiración para protegerse de las emanaciones y las partículas en suspensión. También deben utilizar protectores oculares para evitar los efectos de las radiaciones ultravioleta e infrarroja y para protegerse de otros riesgos físicos potenciales para ojos y rostro. Para protegerse de las chispas y otras formas de metal fundido, los soldadores deben vestir prendas de manga larga, usar guantes de soldadura y hacer uso de otras protecciones físicas variadas.

*Limpieza por chorro de arena y pintura.* Durante la construcción y la reparación de un buque, es mucho el trabajo de pintura que se efectúa. En numerosas ocasiones las pinturas y los recubrimientos lo especifica el propietario del buque. Antes de pintar, los equipos han de someterse a un cierto grado de limpieza por chorro abrasivo que garantice un buen grado de adherencia y protección.

La limpieza de pequeñas piezas con chorro abrasivo puede efectuarse en un recinto cerrado, tal como una caja de manipulación con guantes. No obstante, las piezas de mayor tamaño se someten a este tratamiento manualmente. Algunas de estas

operaciones de limpieza se realizan a la intemperie, otras en grandes recintos especialmente destinados a tal fin en el interior de edificios o talleres, y otras en el interior de los propios buques o de secciones de éstos. En muchos casos, los operarios encargados de estas tareas de limpieza por abrasión deben utilizar vestimentas de protección total, protectores contra el ruido y dispositivos respiradores alimentados por aire. Asimismo, deben contar con un suministro adecuado de aire apto para respirar (al menos aire respirable de Grado D).

En alguno países se ha prohibido el empleo de silicio cristalino y, en general no se recomienda su utilización. En caso de que se utilicen materiales con silicio para limpieza por chorro abrasivo, deberán adoptarse medidas de protección personal.

Los materiales tratados con chorro de arena deben pintarse inmediatamente para evitar la "oxidación fulminante" de las superficies. Aunque ni el mercurio, ni el arsénico, ni otros metales de gran toxicidad se emplean ya en pinturas, las comunes en los astilleros contienen generalmente disolventes y pigmentos como el zinc. Otras pinturas son del tipo epoxi. Los pintores que aplican estos recubrimientos deben protegerse adecuadamente. La mayoría de los pintores deben protegerse con respiradores de presión positiva o negativa, así como vestimentas protectoras de cuerpo entero, guantes, cubrecalzado y protectores oculares. En ocasiones los trabajos de pintura deben llevarse a cabo en recintos cerrados o espacios reducidos. En estos casos se utilizan dispositivos respiradores alimentados por aire y vestimentas protectoras de cuerpo entero; también debe haber un programa de autorización para el trabajo en recintos cerrados o en espacios reducidos.

**Riesgo de caída de objetos.** En los astilleros hay muchas grúas, y gran parte de los trabajos se realizan por encima de las cabezas de los trabajadores. Por lo general, es obligatorio el uso de cascos en todas las áreas de producción del astillero.

**Trabajos de aislamiento.** Las conducciones y otros componentes han de aislarse para mantener su temperatura y reducir el calor en el interior del buque; en otros casos, el aislamiento es una forma de protección frente al ruido. Durante los trabajos de reparación de un buque, los aislamientos de las conducciones suelen retirarse para acceder a éstas; en estos casos es frecuente encontrarse con materiales de fibra de amianto. Durante los trabajos de construcción naval, se emplean frecuentemente materiales de fibra de vidrio o fibras minerales. En cualquier caso, deberán utilizarse dispositivos respiradores y vestimentas de protección de cuerpo entero adecuadas.

**Fuentes de ruido.** El trabajo en los astilleros es sumamente ruidoso. Casi todas las operaciones se hacen con metales, que casi siempre suponen un aumento del ruido por encima del límite reglamentario de riesgo para la salud. No todas las fuentes de ruido pueden mantenerse dentro de los límites a base de controles técnicos. Por eso hay que usar protectores individuales.

**Peligros para los pies.** En los astilleros se realizan muchos movimientos peligrosos para la integridad de los pies de los trabajadores. A menudo es imposible determinar qué zonas del astillero entrañan este peligro y cuáles no. En tales zonas de producción de los astilleros se requiere normalmente el empleo de calzado de seguridad.

**Peligros para los ojos.** Los trabajadores de los astilleros están expuestos a numerosas fuentes de peligro potencial para los ojos: riesgo propio de la radiación ultravioleta o infrarroja asociada con la soldadura por arco, trabajo con polvo y partículas metálicas procedentes del metal, partículas empleadas en la limpieza por chorro abrasivo, utilización de diversos baños metálicos y de decapado de pintura, y utilización de productos corrosivos y pinturas pulverizadas. Por la ubicua naturaleza de todas estas situaciones de riesgo, es habitualmente obligatorio el empleo de gafas protectoras en todas las áreas de producción de los

astilleros, tanto por razones prácticas como administrativas. Para procesos concretos y específicos se requiere el uso de protecciones oculares especiales.

**Plomo.** Los recubrimientos e imprimaciones con plomo se han utilizado masivamente en los astilleros durante mucho tiempo. Aunque ahora apenas se utilizan estos materiales, en los astilleros que trabajan con buques movidos por energía nuclear se emplean grandes cantidades de plomo metálico como material protector frente a radiaciones. Además, los trabajos de reparación de buques a menudo requieren la eliminación de antiguos recubrimientos que con frecuencia contienen plomo. De hecho, los trabajos de reparación exigen mucha sensibilidad y cuidado con los materiales aplicados o utilizados con anterioridad. Trabajar con plomo obliga a usar vestimentas protectoras de cuerpo entero, guantes, gorro, cubrecalzado y dispositivos respiradores de seguridad.

### Construcción de embarcaciones pequeñas

En algunos aspectos, las embarcaciones de recreo pueden considerarse como buques relativamente pequeños, pues muchos de los procesos empleados para su construcción y reparación son muy parecidos a los empleados en la construcción y reparación de buques, aunque a escala menor. El acero, la madera y los materiales compuestos son los más empleados en la construcción de cascos para embarcaciones pequeñas. Se consideran *materiales compuestos* los metales reforzados con fibra, las colas reforzadas con fibra, las resinas reforzadas con fibras, adhesivos reforzados con fibras, placas de hormigón armado, los plásticos reforzados con fibra y los plásticos reforzados con fibra de vidrio (GRP). El desarrollo desde principios del decenio de 1950 de métodos de aplicación manual de capas de resina de poliéster de endurecimiento en frío reforzada con fibra de vidrio condujo a una rápida expansión de la construcción náutica que empleaba los GRP, que ha pasado desde el 4 % en el decenio de 1950 a más del 80 % en el de 1980, e incluso a tasas aún mayores en la actualidad.

En los buques de eslora igual o superior a 40 m, la principal alternativa a los GRP no es la madera, sino el acero. A medida que disminuye el tamaño del casco, el coste relativo de la construcción en acero aumenta, hasta dejar de ser competitivo por debajo de 20 m. La necesidad de un margen para la corrosión tiende a aumentar excesivamente el peso en embarcaciones pequeñas con casco de este material. Sin embargo, para buques de más de 40 m, el bajo coste que supone la construcción pesada en acero soldado suele suponer una ventaja decisiva. Salvo que el diseño imaginativo, la mejora de los materiales y la construcción automatizada reduzcan los costes sustancialmente, es poco probable que los plásticos reforzados con fibra de vidrio o de otro tipo lleguen a competir con el acero en embarcaciones de más de 40 m de eslora, excepto cuando hayan de cumplirse condiciones especiales, como transporte a granel de productos corrosivos o criogénicos, necesidad de un casco no magnético o reducción drástica de peso para mejorar las prestaciones.

En la actualidad, los GRP se utilizan mucho para construir cascos de embarcaciones de recreo, lanchas rápidas, yates de bajura y transoceánicos, embarcaciones de trabajo, lanchas de traslado de prácticos y pasajeros y barcos pesqueros. Su éxito en embarcaciones de pesca, tradicionalmente de madera, se puede atribuir a:

- coste inicial competitivo, especialmente cuando se construyen muchos cascos con el mismo diseño, realizado por el aumento del precio de la madera y la escasez de carpinteros de ribera con la suficiente experiencia;
- ausencia de averías y costes de mantenimiento reducidos gracias al uso de GRP a prueba de fugas y de podredumbre, a

la resistencia a las incrustaciones de organismos marinos y a los bajos costes de reparación;

- facilidad para obtener formas complejas, necesarias por motivos hidrodinámicos, estructurales o estéticos.

### Métodos de fabricación

La forma más común de construir cascos, cubiertas y mamparas en barcos de GRP grandes y pequeños es utilizar laminados monocapa reforzados con contrafuertes. Hay varios métodos de fabricación de cascos monocapa y tipo sandwich.

**Moldeo por contacto.** Se trata, con diferencia, del método más común para fabricar cascos de GRP monocapa de todos los tamaños. Consiste en moldear por contacto en moldes abiertos o negativos que se recubren de resina de poliéster de endurecimiento en frío y reforzada con fibra de vidrio.

El primer paso es la preparación del molde. Para cascos de dimensiones pequeñas o moderadas, los moldes suelen fabricarse en GRP, en cuyo caso lo primero que se monta es una forma de madera revestida con GRP cuya superficie externa reproduce con precisión la del casco. La última etapa de la preparación del molde es el pulimento con cera y la aplicación de alcohol polivinílico (PVA) u otro agente desmoldeador similar. El revestimiento empieza por la aplicación de una capa de gel pigmentado a base de resinas de buena calidad. La laminación continúa, antes de que endurezca por completo el recubrimiento de gel, por medio de alguno de los siguientes procesos:

- **Pulverización.** Los refuerzos o trenzas de fibra de vidrio se rocían con resina de poliéster mezclada en el pulverizador con un agente catalizador y otro acelerador.
- **Aplicación manual de capas.** La resina mezclada con el catalizador y el acelerador se deposita a discreción sobre el recubrimiento de gel o sobre un contrachapado de refuerzo previamente impregnado a brocha, rodillo o pulverizador.

Estas técnicas permiten la aplicación eficaz de refuerzos muy resistentes (se han utilizado con éxito tejidos de hasta 4.000 g/m<sup>2</sup>, aunque para la fabricación a gran escala son preferibles los de 1.500 a 2.000 g/m<sup>2</sup>), que aceleran la laminación con bajos costes de mano de obra. De forma similar se recubren rápidamente los paneles planos o casi planos de cubiertas y mamparas. Se ha logrado fabricar en serie un tipo de cascos de 49 m, incluidos mamparas y cubiertas, con un plazo de 10 semanas por casco.

**Moldeo por compresión.** El moldeo por compresión se hace aplicando presión, normalmente acompañada de calor, a la superficie de un laminado aún en fresco para incrementar su contenido en fibra y reducir los vacíos presionando hasta eliminar el exceso de resina y aire.

**Moldeo por bolsa de vacío.** Este proceso, que podría considerarse como una variante del moldeo por contacto, consiste en colocar sobre el molde una membrana flexible de polietileno o de cualquier otro material equivalente, separada del laminado fresco por una película de PVA, sellar los bordes y someter a vacío el espacio situado bajo aquella para someter el laminado a una presión de hasta 1 bar. El secado se acelera colocando el componente envuelto por la bolsa en un horno o calentando el molde.

**Moldeo en autoclave.** Se alcanzan presiones mayores (de 5 a 15 bar) y temperaturas más elevadas, condiciones que incrementan el contenido de fibra y mejoran las cualidades mecánicas, realizando el moldeo con bolsa de vacío en el interior de un autoclave (horno presurizado).

**Moldeo en matriz adaptada.** El material de moldeo sin endurecer, que en el caso de componentes de gran tamaño, como el casco de una embarcación, probablemente sea una mezcla pulverizada

a base de resina y fibra de vidrio suelta, o un tejido de fibra de vidrio cortado e impregnado, se comprime entre moldes positivo y negativo igualados, casi siempre de metal, con aplicación de calor en caso necesario. Como los moldes son muy caros, esta técnica sólo es rentable para grandes tiradas, por lo que raras veces se emplea en la construcción de embarcaciones pequeñas.

**Devanado de filamentos.** Esta técnica consiste en devanar fibras de refuerzo en forma de hilaza continua que se impregna con resina justo antes del devanado (devanado en mojado) o que está previamente impregnada con resina parcialmente endurecida (devanado en seco), en un mandril que define la geometría interna.

**Construcción en sandwich.** Los cascos, cubiertas y mamparas del tipo sandwich se fabrican mediante moldeo por contacto con resina de poliéster de secado a temperatura ambiente, de manera muy parecida a las estructuras de monocapa. En primer lugar se extiende sobre el molde en negativo la capa externa de GRP. Las tiras de material del núcleo del molde se incrustan en una capa de poliéster o de resina epoxi. La última operación consiste en extender la capa interna de GRP.

**Poliéster y resinas epoxi.** Las resinas de poliéster no saturadas son, con mucho, los materiales para matrices más utilizados en los laminados estructurales para aplicaciones navales. Estos materiales deben su eficacia al coste moderado, a la facilidad de utilización en técnicas de fabricación por tendido manual o pulverización y a sus buenas prestaciones generales en entornos marinos. Se comercializan tres tipos básicos:

1. **Poliéster ortoftálico**, producto de la combinación de anhídridos maleicos y ftálicos con un glicol (normalmente propilenglicol); es el material para matrices menos costoso y más utilizado en la construcción de embarcaciones pequeñas.
2. **Poliéster isoftálico**, que contiene ácido isoftálico en vez de anhídrido ftálico; es más costoso, presenta cualidades mecánicas algo mejores, es resistente al agua y suele utilizarse en la construcción de embarcaciones deportivas de altas prestaciones y en recubrimientos a base de gel marino.
3. **Sistemas epoxi bifenólicos**, en los cuales el ácido o el anhídrido ftálicos se sustituyen parcial o totalmente por bifenol A; aportan, a un coste sustancialmente más elevado, mayor resistencia al agua y a los productos químicos.

### Riesgos para la salud y la seguridad

Aunque muchos de los riesgos químicos, físicos y biológicos que la construcción naval entraña para la salud y la seguridad son comunes a la construcción de embarcaciones pequeñas, el motivo principal de preocupación reside en la exposición a una diversidad de emanaciones de disolventes y de polvos de epoxi. La exposición incontrolada a estos riesgos puede producir trastornos en el sistema nervioso central, lesiones hepáticas y renales y reacciones de sensibilización. Los controles para estos riesgos potenciales son esencialmente los ya descritos en la sección dedicada a la construcción: controles técnicos, controles administrativos y controles de protección personal.

## CUESTIONES AMBIENTALES Y DE SALUD PÚBLICA

Frank H. Thorn, Page Ayres y Logan C. Shelman

Para las normativas sobre emisiones atmosféricas, vertidos y residuos, lo esencial es la protección de la salud pública y el cuidado del bienestar general de la población. Normalmente, la

“población” está formada por los trabajadores de las instalaciones y quienes habitan en sus proximidades. No obstante, las corrientes de aire transportan los contaminantes de un lugar a otro, e incluso más allá de las fronteras nacionales; los vertidos a las aguas de ríos, lagos y mares viajan de igual forma y van de unos países a otros; y los residuos se transportan dentro del país en que se han producido o a cualquier otro lugar del mundo.

Los astilleros llevan a cabo una gran variedad de actividades durante la construcción o reparación de buques y embarcaciones pequeñas. Muchas de estas actividades generan contaminantes atmosféricos o de las aguas de los que se sabe o se sospecha que causan trastornos y lesiones fisiológicas y metabólicas, como el cáncer o el envenenamiento por plomo. Los contaminantes también actúan de manera indirecta, como agentes mutágenos (que afectan a la bioquímica de la reproducción de las generaciones futuras) o teratógenos (que dañan al feto).

Los contaminantes del aire y el agua pueden inducir efectos secundarios en el hombre. Cuando caen arrastrados por la precipitación, los contaminantes atmosféricos afectan a la calidad del agua que los recibe o de los cultivos y, por tanto, también a la salud pública. Los contaminantes vertidos directamente en el agua degradan su calidad hasta el extremo de que beber ese agua o hasta bañarse en ella supone un peligro para la salud. La contaminación de la tierra, el agua y el aire también afecta a la vida marina y, en última instancia, también a los seres humanos.

### Calidad del aire

Prácticamente todas las actividades relacionadas con la construcción, la reparación y el mantenimiento de buques y embarcaciones pequeñas causan emisiones atmosféricas. Entre los contaminantes atmosféricos regulados en numerosos países se incluyen los óxidos de azufre y nitrógeno, el monóxido de carbono, las partículas (humo, hollín, polvo, etc.), el plomo y los compuestos orgánicos volátiles (COV). Las actividades relacionadas con la construcción y la reparación de buques que generan contaminantes del tipo “óxido” incluyen calderas y otras fuentes de combustión y el calor para el tratamiento de metales, generadores y hornos. Forman partículas los humos de combustión y el polvo formado al trabajar la madera o limpiar con chorro de arena y al lijar, esmerilar y pulir.

En ocasiones hay que fundir parcialmente lingotes de plomo para moldearlos en las formas que exige la protección de los generadores navales de energía nuclear. Se forma polvo de plomo al eliminar la pintura de buques sometidos a revisión general o reparación.

Los contaminantes atmosféricos peligrosos (HAP) son compuestos químicos con propiedades nocivas para la salud confirmadas o sospechadas. Se forman en muchas actividades desarrolladas en los astilleros, como fundición y galvanoplastia, que emiten cromo y otros compuestos metálicos.

Algunos COV, como los alcoholes y las naftas, utilizados como disolventes de pinturas, diluyentes y limpiadores, y numerosas colas y adhesivos, no son HAP. Otros disolventes, utilizados principalmente en pinturas, como xileno y tolueno y diversos compuestos clorados, como tricloroetileno, cloruro de metilo y tricloroetano, sí son HAP.

### Calidad del agua

Dado que los buques y las embarcaciones de recreo se construyen junto al agua, los astilleros han de cumplir con las normativas establecidas por sus respectivos gobiernos en materia de vertidos de aguas residuales. La mayor parte de los astilleros norteamericanos, por ejemplo, aplican un programa denominado “Prácticas

Óptimas de Gestión” (BMP) considerado como una importante compilación de tecnologías de control para ayudar a los astilleros a cumplir con los requisitos establecidos en materia de vertidos.

Otra tecnología de control utilizada en astilleros con muelle de carena (dique seco) es el sistema de *presa y compuerta*. La presa se encarga de retener los sólidos e impide que lleguen a los sumideros y las aguas adyacentes. El sistema de compuertas evita la entrada en los sumideros de los restos de aceite y de partículas flotantes.

En muchos astilleros se ha incorporado recientemente el control de las aguas de tormenta. Las instalaciones han de disponer de un plan de prevención de la contaminación por precipitaciones tormentosas que, mediante la aplicación de diferentes tecnologías de control, impida que la precipitación arrastre los contaminantes hacia las aguas próximas a las instalaciones del astillero.

Muchas instalaciones destinadas a la construcción de buques y embarcaciones pequeñas vierten parte de sus aguas residuales a la red de alcantarillado. Estas instalaciones deben cumplir con los requisitos locales en materia de vertidos a la red pública de alcantarillado. Algunos astilleros están construyendo sus propias plantas de tratamiento previo de aguas residuales, diseñadas para cumplir con la normativa local de calidad de las aguas. Hay dos tipos básicos de plantas de tratamiento previo: en uno, la finalidad primordial es retirar los metales tóxicos, mientras que el objeto del otro es extraer los productos derivados del petróleo.

### Gestión de residuos

Los diferentes segmentos de la construcción naval producen tipos de residuos característicos que se eliminan de acuerdo con las normativas en vigor. Los trabajos de corte y conformación de aceros producen virutas metálicas; las operaciones de limpieza y recubrimiento generan residuos de pinturas y disolventes, polvos de abrasión y restos de recubrimientos viejos. Los residuos metálicos no entrañan por sí mismos peligro alguno para el medio ambiente y pueden reciclarse. Pero los de pinturas y disolventes son inflamables, y los restos de abrasión pueden resultar tóxicos, según de las características de los recubrimientos eliminados.

A medida que toman cuerpo los módulos de acero, se añaden conducciones. La preparación de éstas para su instalación en los módulos produce residuos, entre ellos las aguas sucias contaminadas con los productos ácidos y cáusticos utilizados en la limpieza de las conducciones. Estas aguas residuales han de ser tratadas de una manera especial para neutralizar sus propiedades corrosivas y la suciedad y los aceites contaminantes que contienen.

Mientras se fabrican los elementos de acero, se preparan los componentes eléctricos y de ventilación, la maquinaria y las conducciones destinados a la fase de equipamiento del buque. En estas operaciones se producen residuos como los lubricantes y refrigerantes empleados para cortar metales, los desengrasantes y los residuos de galvanoplastia. Los lubricantes, los desengrasantes y los refrigerantes han de ser tratados para eliminar de ellos la suciedad y los aceites antes de verterlos. Las aguas residuales procedentes de los trabajos de galvanoplastia son tóxicas y pueden contener compuestos de cianuro, por lo que requieren tratamientos especiales.

Los buques en reparación deben casi siempre vaciar todas los residuos acumulados durante la travesía. Las aguas residuales de sentina deben ser tratadas para eliminar de ellas los aceites contaminantes. Las aguas fecales se vierten a una red de alcantarillado, donde se someten a tratamiento biológico. Incluso los desperdicios y basuras deben ser objeto de tratamientos especiales para cumplir con las normativas vigentes y evitar así la introducción de plantas y animales foráneos.

**Otras lecturas recomendadas**

National Shipbuilding Research Program (NSRP). 1993. *Introduction to Production Processes and Facilities in the Steel Shipbuilding and Repair Industry*. NSRP 0382. Arlington, Virginia: NSRP, Office of Naval Research.

—. 1995. *Characterizing Shipyard Welding Emissions and Associated Control Options*. NSRP 0457. Arlington, Virginia: NSRP, Office of Naval Research.

Smith, CS. 1990. *Design of Marine Structures in Composite Materials*. Londres y Nueva York: Elsevier Applied Science.

Todd, WF, SA Shulman. 1984. Control of styrene vapor in a large fiberglass boat manufacturing operation. *Am Ind Hyg Assoc J* 45:817-825.