

# EVOLUCIÓN DEL ACERO NAVAL DESDE LA TÉCNICA DEL REMACHADO HASTA EL AH-36

Raúl VILLA CARO  
Teniente de navío ingeniero  
Ingeniero naval y oceánico  
Capitán de la Marina Mercante  
Doctor por la Universidad de La Coruña

## Introducción histórica

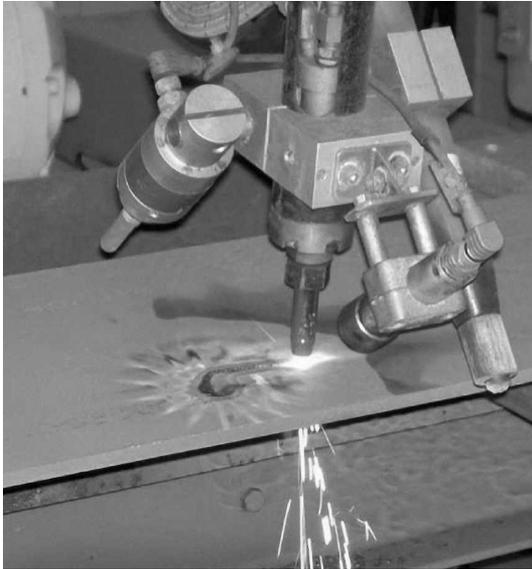


A construcción de un buque es un proceso técnico y muy complejo que exige la coordinación de numerosos trabajadores bajo el control del armador o contratista principal. Esta construcción puede tener carácter civil o militar.

Girando la cabeza hacia el pasado, se puede observar que los metales comenzaron a usarse en antiguos buques, con el objetivo de blindarlos, durante las guerras napoleónicas. En cualquier caso, solamente se usaban para proteger exteriormente la construcción de madera. No fue hasta la Revolución Industrial, con el desarrollo de la máquina de vapor y el conocimiento sobre el acero, cuando comenzó a utilizarse este material como componente estructural. En aquella época surgió la técnica del remachado para la unión de las distintas piezas de acero. No obstante, también continuó la construcción de buques de madera.

A mediados del siglo XIX se inició la construcción mixta, utilizando de forma conjunta el acero y la madera, lo que permitió un considerable aumento del tamaño de los buques. Así apareció el modelo clíper, esbelto, con una proa estrecha y prominente que sustituyó a las proas macizas del pasado. Los primeros buques de hierro aparecieron en 1790 y los de acero soldado sobre 1880. La mayor resistencia del hierro y la posibilidad de ensamblarlo con facilidad desplazó a la madera del puesto privilegiado que ocupaba en la construcción naval.

En el siglo XX se produjeron grandes cambios en la forma de construir buques. Se introdujo la soldadura y se estableció el sistema de construcción



Máquina de oxicorte para el corte automático de los perfiles.

modular. De esta manera se abandonaron los trabajos tradicionales de la grada, y se pasó a montar en ella únicamente aquellos bloques que previamente hubieran sido fabricados y armados anticipadamente en los talleres. Con este sistema se modificó la estrategia constructiva para optimizar los recursos, acortando plazos y reduciendo costes.

Los talleres de ribera se encargaban de producir en sus instalaciones los elementos del casco del barco y llevarlos a la grada, donde los armaban. Producían piezas como las varengas, cuadernas, mamparos, esloras, palmejares o las chapas del forro. Y para ello

utilizaban planchas de acero que mecanizaban mediante cilindros de curvar o aplanar, cizallas, remachadoras, etcétera.

El componente básico que se empleaba en la construcción naval era la plancha de acero, que se cortaba, conformaba y trabajaba de la forma necesaria para darle la configuración definida en el diseño. Por lo general, los cortes se hacía con equipos automáticos de corte con soplete, y posteriormente se soldaban. Finalmente se enviaban a los talleres de construcción, donde se ensamblaban para formar otras unidades.

### ¿Qué es el acero?

El acero normal no es más que hierro al que se le ha añade un poco de carbono (2 por 100) durante el proceso de fundición para dotarlo de mayor tenacidad. Debido a que el acero es básicamente hierro altamente refinado (98 por 100), su fabricación comienza con la reducción de hierro, que se convierte más tarde en acero.

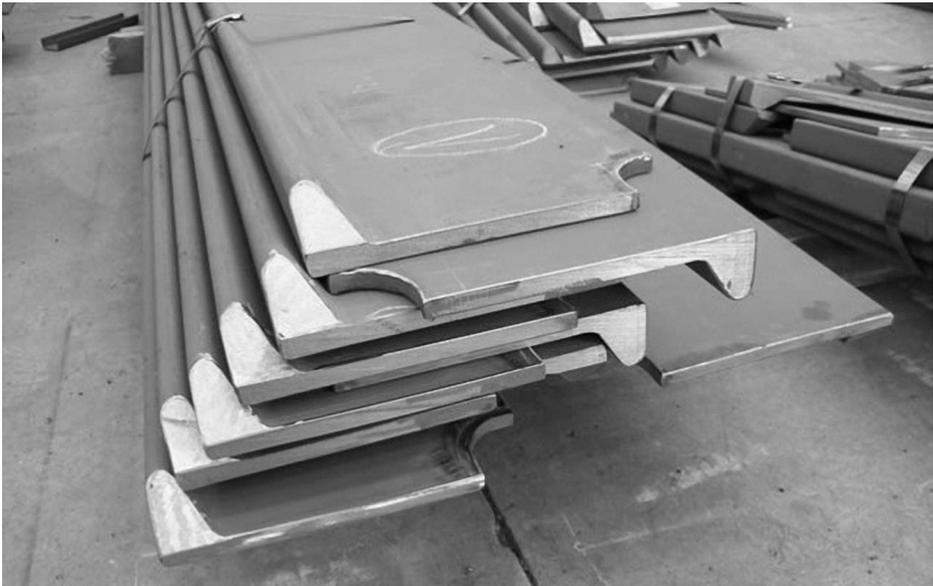
Nuestros antepasados metalúrgicos se las ingenieron para efectuar la «reducción directa» del mineral que contenía el hierro, rodeándolo totalmente de carbón de leña y provocando la combustión de este último. Pero estos métodos no permitían obtener una temperatura lo suficientemente elevada

para fundir el metal. En su lugar obtenían una masa esponjosa que había que martillar repetidamente al rojo vivo para eliminar la escoria e impurezas. Estos martilleos, además, lo endurecían, consiguiendo así barras de hierro forjado que formaron el acero primitivo. Más tarde conseguirían pasar el mineral a la forma líquida mediante la combustión del carbono vegetal. Para llegar al acero que ahora conocemos hubo que sustituir el carbono vegetal por el coque y aumentar las alturas de los hornos y la ventilación.

En España la clasificación de los aceros está regulada por la norma UNE-EN 10020:2001, que sustituyó a la anterior norma UNE-36010. No obstante, existen otras normas reguladoras con gran aplicación internacional, como las americanas AISI (American Iron and Steel Institute) y ASTM (American Society for Testing and Materials). Según la norma UNE-EN 10020:2001, la proporción de carbono debe ser generalmente inferior al 2 por 100, con la excepción de un limitado número de aceros al cromo.

El hierro puro es uno de los elementos del acero que no se encuentra libre en la naturaleza, ya que químicamente reacciona con facilidad con el oxígeno del aire para formar óxido de hierro. El óxido se encuentra en cantidades significativas en el mineral de hierro, que crea una concentración que posee impurezas.

El acero inoxidable es una aleación de acero con distintas proporciones de otros metales, como el níquel, el cromo o el titanio. Dependiendo de la canti-



Planchas de acero.

dad de estos otros metales se consiguen distintas calidades que lo hacen más o menos inoxidable, aunque todos se acaban oxidando lentamente mostrando unas «picaduras» más o menos profundas. El acero inoxidable más utilizado consiste en una aleación de 18 por 100 de cromo y 8 por 100 de níquel. Por debajo del 12 por 100 en cromo el acero pierde su capacidad de protección a la oxidación.

La oxidación no es más que la combinación química del oxígeno con el hierro, de modo que la mejor manera de protegerlo de ella es mediante una capa que aisle el hierro del exterior. Así ocurre con el aluminio, que al oxidarse produce una fina pero durísima e impermeable capa de óxido de aluminio capaz de proteger al resto de la aleación del aluminio.

Esto no ocurre con el acero normal, ya que el óxido de hierro es permeable al agua, dejando de nuevo al hierro expuesto a una nueva oxidación. En el acero inoxidable, es el cromo el que realmente ofrece la protección al oxidarse, al formar una capa impermeable de óxido de cromo sobre la superficie de la aleación.

### **¿Por qué el acero?**

Entre las ventajas por las que el sector naval seleccionó al acero como el material principal que diera vida a los buques destaca su resistencia estructural, la cual se mantiene a diferentes temperaturas, que pueden variar entre los  $-40^{\circ}$  C hasta  $40^{\circ}$  C. También hay que destacar su gran facilidad de conformado, ductilidad y soldabilidad. Y para mejorar lo que ya existía se redujo su contenido en carbono, que se reemplazó por elementos como el manganeso, níquel y cromo, asociados a tratamientos de templado y revenido.

Los tipos de acero más usados para la construcción de buques son los que poseen bajo contenido de carbono, entre los que destacan los de grado A y B, principalmente.

La internacionalización de la industria de construcción naval está obligando a desarrollar tecnologías cada vez más competitivas de cara al trabajo con el acero.

### **Propiedades de los aceros**

Podemos decir que el último siglo se ha caracterizado por el gran uso que se ha realizado del acero. El motivo principal de ello se debe a la multitud de usos que se le puede dar y la versatilidad de sus propiedades mecánicas. Otra ventaja que posee es que algunas de estas propiedades pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se le quiera dar al producto.

Dentro de las propiedades, podemos mencionar las siguientes:

- Ductilidad: se refiere a la capacidad del acero para deformarse, al soportar esfuerzos de tracción sin llegar a la rotura.
- Dureza: se define como la propiedad del acero a oponerse a la penetración de otro material.
- Resistencia: fuerza máxima, por unidad de área, que puede soportar el acero al ser estirado (tracción).
- Maleabilidad: capacidad que presenta el acero de soportar la deformación sin romperse, al ser sometido a un esfuerzo de compresión.
- Tenacidad: es la conjugación de dos propiedades, ductilidad y resistencia. Un material tenaz será aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo.

La forma en que se determina con qué propiedades cuenta un material es mediante la realización de diferentes pruebas o ensayos. En base a ellos es posible determinar qué material es el que emplearemos, por ejemplo, para fabricar una determinada estructura.

Dentro de los ensayos a que se someten los aceros se podrían destacar como más utilizados los siguientes: tracción, dureza, impacto o choque, y doblado.

### **Clasificación de los aceros**

Es muy difícil establecer una clasificación precisa y completa para todos los tipos de aceros existentes. Más complicado aún es determinar una equivalencia exacta entre los aceros de diferentes denominaciones, ya que el ordenamiento de estos materiales en clasificaciones y normas difiere según el país de origen. En nuestro caso, atendiendo a la composición química, y según la norma UNE EN 10020:2001, pueden ser:

- Aceros al carbono (no aleados): aquellos en los que están presentes el carbono y los elementos residuales, como el manganeso, silicio, fósforo y azufre, en cantidades consideradas como normales. El contenido de cualquiera de estos elementos aleantes debe ser inferior a la cantidad mostrada en la tabla 1 de la UNE EN 10020:2001. Como aleantes que se añaden están, entre otros, el manganeso (Mn), el cobre (Cu), el boro (Bo), el cromo (Cr), el níquel (Ni), el vanadio (V) o el titanio (Ti). Por otro lado, en función del contenido de carbono presente en el acero se obtienen otros grupos diferentes.
- Aceros aleados de baja aleación: aquellos en los que están presentes nuevos elementos aleantes cuya cantidad total no sobrepasa un valor determinado definido en la tabla de la norma. En este tipo de acero, la cantidad total de elementos aleantes no es suficiente para alterar la

microestructura de los aceros resultantes, así como la naturaleza de los tratamientos térmicos a que deben ser sometidos (elementos aleantes <5 por 100).

- Aceros aleados de alta aleación: aquellos en que la cantidad total de elementos aleantes se encuentra en el valor de la tabla de la norma. En estas condiciones, no solamente la microestructura de los aceros correspondientes puede ser profundamente alterada, sino que igualmente los tratamientos térmicos comerciales sufren modificaciones, exigiendo técnicas, cuidados especiales y, frecuentemente, múltiples operaciones (elementos aleantes >5 por 100).
- Aceros inoxidable: son aquellos que contienen un mínimo del 10,5 por 100 en cromo y un máximo del 1,2 por 100 de carbono.

En otra clasificación de los aceros, esta vez atendiendo a la aplicación a que se quieran destinar, estos se dividen en:

- Aceros de construcción: este tipo suele presentar buenas condiciones para la soldadura.
- Aceros de uso general: generalmente comercializado en estado bruto de laminación.
- Aceros cementados: son aquellos que han sometidos a un tratamiento termoquímico que proporciona dureza a la pieza, aunque son aceros también frágiles (posibilidad de rotura por impacto).
- Aceros para temple y revenido: mediante el tratamiento térmico del temple se persigue endurecer y aumentar su resistencia. Para ello se calienta el material a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica y se somete a un enfriamiento más o menos rápido (según características de la pieza) con agua, aceite, etc. Por otro lado, el revenido se suele usar con las piezas que han sido sometidas previamente a un proceso de templado, disminuye la dureza y resistencia de los materiales, elimina las tensiones creadas en el temple y mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima (unos 50° C menor que el templado) y velocidad de enfriamiento (se suele enfriar al aire). La estructura final conseguida es martensita revenida.
- Aceros para herramientas de corte y mecanizado: presentan una alta dureza y resistencia al desgaste.
- Aceros rápidos: es un tipo especial para uso como herramienta de corte para ser utilizado con elevadas velocidades de corte.

Para finalizar este apartado destacar que, dentro del entorno naval, con asiduidad se utiliza la clasificación ASTM.

## Fabricación del acero y los procesos de transformación en caliente

El acero se obtiene a partir de dos materias primas fundamentales: el arrabio obtenido en horno alto y la chatarra. La fabricación del acero, básicamente, se realiza eliminando las impurezas del arrabio y añadiendo las cantidades convencionales de Mg, Si y de los distintos elementos de aleación.

Los métodos más importantes de fabricación de aceros son los siguientes:

- Tratamiento de desgasificación: el acero contiene elementos perjudiciales que deben eliminarse. Entre ellos están los gases disueltos durante el proceso de fabricación: hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Para reducir al máximo la cantidad de contenido de estos gases, en especial del hidrógeno, se somete al acero líquido al vacío, según distintos procesos.
- Tratamiento de afino de los aceros inoxidable: la chatarra se funde en un horno eléctrico de arco de inducción. Después de colada la cuchara con el acero fundido en la cámara y hecho el vacío se inyecta oxígeno con una lanza situada en la parte superior, que elimina el carbono con un mínimo de oxidación metálica. Al mismo tiempo se pasa argón a través de un tapón poroso, situado en el fondo de la cuchara, para homogeneizar la masa del acero líquido.
- Tratamiento de homogeneización por barboteo: Consiste en la agitación del baño mediante la inyección de un gas inerte, generalmente argón, a través del fondo de la cuchara o por una lanza.
- Tratamientos de desulfuración y desoxidación: se insuflan estos productos en polvo, a través de una lanza, por medio de un gas inerte. Los productos más frecuentes para insuflar son el silicio-calcio (Si-Ca) y diversas escorias sintéticas. La agitación del acero por el paso del gas produce excelente homogeneidad de composición y temperatura del baño y una mejora de la limpieza.
- Desoxidación del acero por el carbono en el vacío o VCD: al ser tratado en el vacío conteniendo carbono y oxígeno disueltos, estos elementos reaccionan entre sí dando origen a CO; de esta forma se elimina el oxígeno del acero sin dejar residuos sólidos (inclusiones no metálicas). El CO (gas) es eliminado del sistema (vacío) siguiendo la reacción hasta prácticamente la eliminación total del oxígeno. La deshidrogenación también es más elevada, al ser ayudada por el desprendimiento de burbujas de CO que facilitan el arrastre del hidrógeno.
- Tratamientos de afino con calentamiento de acero en cuchara: por este proceso pueden conseguirse aceros con muy bajo contenido de azufre y gases, muy limpios y con control de la morfología de las inclusiones. También se consigue excelente control de la composición y la temperatura. Las cucharas se montan con tampones porosos por los

que se inyecta argón. Una vez obtenido el grado de desulfuración deseado se añaden las ferroaleaciones requeridas obteniéndose el acero programado.

- Adición de aluminio y calcio por medio de alambre o de proyectiles: el alambre se introduce a gran velocidad en el acero mediante un mecanismo especial. Al mismo tiempo se remueve el acero de la cuchara inyectando argón. En el caso de adición por proyección, los proyectiles se lanzan a una velocidad controlada, por medio de un aparato que funciona como una metralleta de aire comprimido, para que almacenen el fondo de la cuchara.
- Refusión por arco bajo vacío (VAR) y baja escoria electro-conductora (ESR): por estos métodos se producen lingotes de acero de gran pureza. Ambos consisten en la refusión de un electrodo de la composición química deseada, en un crisol enfriado por agua, realizándose simultáneamente la fusión del electrodo y la solidificación del acero.

### **La colada del acero**

Permite pasar directamente del acero líquido a un producto transformable posteriormente por laminación.

- La colada del acero en lingotera (recipientes de paredes gruesas construidos normalmente con fundición): las lingoteras se colocan sobre unas placas de hierro fundido que tienen una serie de canales o ramificaciones, en donde se colocan los conductores de ladrillo refractario y el bebedero o «reina».
- La colada continua: de la cuchara se vierte el chorro en una «artesa» (es una especie de distribuidor del caldo), y de la artesa se vierte en un molde de fondo desplazable y cuya sección transversal tiene la forma de palanquilla o producto que se quiera fabricar. Se denomina continua porque el producto sale sin interrupción de la máquina hasta que la cuchara o cucharas de alimentación se hayan agotado. El chorro, tanto al pasar de la cuchara a la artesa como al pasar de esta al molde, es protegido de la atmósfera con buzas sumergidas.

### **La transformación en caliente del acero**

Tanto la laminación en caliente como la forja son tratamientos metalúrgicos que mejoran la homogeneidad del acero reduciendo los efectos de la segregación, aumentan la compacidad soldando las discontinuidades internas no oxidadas y afinan el grano de austenita. La formación de fibra (estiramien-

to de las impurezas o inclusiones) genera propiedades direccionales, mejorando las longitudinales en detrimento de las transversales:

- Laminación en caliente: consiste en hacer pasar un material (lingote) entre dos rodillos o «cilindros» que giran a la misma velocidad en sentidos contrarios y reducir la sección transversal mediante la presión ejercida por estos. El enfriamiento debe estar muy controlado para que no se produzcan agrietamientos superficiales.
- La forja: es el proceso que modifica la forma de los metales por deformación plástica producida por presión o impacto. Esta deformación controlada del metal, realizada a alta temperatura, produce mejor calidad metalúrgica y mejora las propiedades mecánicas. Al calentarla es importante conseguir la uniformidad de temperatura en toda la pieza. Si el corazón del lingote o desbaste está «frío» (menos de 1.250° C) pueden aparecer roturas internas al no tener la misma plasticidad que la superficie.
- El moldeo del acero: consiste en verter (colar) el acero en un molde hueco cuya cavidad reproduce la forma deseada de la pieza, y se deja solidificar el metal en dicho molde. La calidad es mucho menor, pero también es mucho más económico.

### Los tratamientos térmicos de los aceros especiales

Son operaciones de calentamiento y enfriamiento a temperaturas y en condiciones determinadas a que se someten los aceros para conseguir las propiedades y características más adecuadas a su empleo o transformación. No modifican la composición química, pero sí otros factores, tales como los constituyentes estructurales y, como consecuencia, las propiedades mecánicas. Constan de tres fases:

- Calentamiento hasta la temperatura fijada (temperatura de consigna): la elevación de temperatura debe ser uniforme, por lo que el calentamiento de una pieza se hace aumentando la temperatura muy lentamente o manteniendo un tiempo a temperaturas intermedias, antes del paso por los puntos críticos; este último es el calentamiento escalonado.
- Permanencia a la temperatura fijada: su fin es la completa transformación del constituyente estructural de partida. Puede considerarse como suficiente una permanencia de unos dos minutos por milímetro de espesor en el caso de querer obtener una austenización completa en el centro y superficie. Largos mantenimientos, sobre todo a altas temperaturas, son «muy peligrosos», ya que el grano austenítico crece rápidamente, dejando el acero con estructuras finales groseras y frágiles.

- Enfriamiento desde la temperatura fijada hasta la temperatura ambiente: este enfriamiento tiene que ser rigurosamente controlado en función del tipo de tratamiento que se realice.

### **Aceros para construcción naval**

Son aceros estructurales que se utilizan en la construcción de los cascos de los buques y que están tipificados por las Sociedades de Clasificación. Han de poseer una resistencia suficientemente elevada como para soportar sin romperse, ni sufrir deformación permanente, las cargas a que se ven sometidos en servicio, sin que ello exija recurrir a grandes escantillones que sean incompatibles con la limitación de peso de las estructuras navales. Las características exigibles a los aceros de construcción naval son las siguientes:

- Su resistencia.
- Ser deformable.
- Poder ser mecanizada.
- Su aptitud para el corte por gas.
- Soldabilidad.

### **Especificaciones de las Sociedades de Clasificación**

Estas, en cuanto a los aceros tipificados para la construcción de los cascos de buques, deben contener exigencias relativas a:

- Características mecánicas.
- Composición química.
- Práctica de desoxidación o tamaño del grano.
- Estado del tratamiento térmico.

Los aceros del primer grupo se identifican, según las Sociedades de Clasificación, con las letras A, B, C, D o E; los del segundo grupo se designan con algunos pares de letras AH, DH o EH, seguidos del número 32 si pertenecen al primer subgrupo (AH32, DH32 o EH32) o del número 36 si pertenecen al segundo subgrupo (AH36, DH36 o EH36).

La clasificación de la identificación de los aceros es la siguiente:

- Calidad A es un acero dulce normal. Es aceptable hasta un espesor de 12,7 mm.
- Calidad B es similar al A, pero un poco más resistente en las aberturas a la formación de grietas. Aceptable hasta un espesor de 25,4 mm.

- Calidad C, D y E son aceros más tenaces que los anteriores y también más resistentes en las aberturas a la formación de grietas. De los tres, la calidad E es la más resistente y la C es la menos.

Destacar que los aceros de alta resistencia a la tracción se clasifican añadiendo la letra H a las siglas anteriores.

Otra clasificación de los aceros sería la correspondiente a su resistencia:

- Aceros de resistencia ordinaria con carga de rotura comprendida entre 400 y 490 N/mm<sup>2</sup> (41 y 50 kg /mm<sup>2</sup>).
- Aceros de alta resistencia, que se subdividen a su vez en dos subgrupos:
  - Aceros con carga de rotura comprendida entre 440 y 590 N/mm<sup>2</sup> (45 y 60 kg/mm<sup>2</sup>) y carga de fluencia no inferior a 315 N/mm<sup>2</sup> (32 kg/mm<sup>2</sup>).
  - Aceros con carga de rotura comprendida entre 490 y 620 N/mm<sup>2</sup> (50 y 63 kg/mm<sup>2</sup>) y carga de fluencia no inferior a 355 N/mm<sup>2</sup> (36 kg/mm<sup>2</sup>).

La composición química de los aceros de construcción naval de alta resistencia puede considerarse, según los casos, como la de aceros no aleados o de



Acero AH-36.

baja aleación. Se consideran aceros microaleados los que contienen Nb, Ti, V, Al, Ta, Zr en pequeñas proporciones y elementos generadores de carburo y nitruros, de forma que en su conjunto el contenido de todos ellos no exceda del 0,15 POR 100. En función de sus características mecánicas, están clasificados dentro de los llamados aceros estructurales de alta resistencia o de alto límite elástico, y se dividen en dos grupos:

- Aceros perlíticos, que se usan sin tratamiento térmico y cuya carga de fluencia en las condiciones de laminado en caliente o normalizado está comprendida entre 275 y 350 N/mm<sup>2</sup> (28 y 36 kg/mm<sup>2</sup>).
- Aceros que se utilizan bonificados o envejecidos y presentan en esos estados cargas de fluencia comprendidas entre 375 y 1.030 N/mm<sup>2</sup> (38 y 105 kg/mm<sup>2</sup>).

Estos aceros pueden ser utilizados en cualquiera de las aplicaciones de la construcción naval. Por lo general, se suministran bajo la supervisión de Sociedades de Clasificación (SS. CC.), aplicándose las normas correspondientes en cada caso. Las chapas pueden suministrarse en estado bruto de laminación, granallado o granallado y prepintado.

### Comparativa de equivalencias de aceros entre diferentes SS. CC.

En la siguiente tabla se indican las equivalencias en las denominaciones entre los distintos tipos de aceros, comparando diversas SS. CC.:

	<b>ABS</b>	<b>BV</b>	<b>DNV-GL</b>	<b>RINA</b>	<b>Lloyd's</b>
<b>Naval A</b>	AB/A	BV-A	VL-A	Grade A	LR-A
<b>Naval B</b>	AB/B	BV-B	VL-B	Grade B	LR-B
<b>Naval D</b>	AB/D	BV-D	VL-D	Grade D	LR-D
<b>Naval E</b>	AB/E	BV-E	VL-E	Grade E	LR-E
<b>AH-27</b>	—	—	—	—	LR-AH27S
<b>DH-27</b>	—	—	—	—	LR-DH27S
<b>EH-27</b>	—	—	—	—	LR-EH27S
<b>AH-32</b>	AB/AH32	BV-AH32	VL-A32	AH32	LR-AH32
<b>DH-32</b>	AB/DH32	BV-DH32	VL-D32	DH32	LR-DH32

<b>EH-32</b>	AB/EH32	BV-EH32	VL-E32	EH32	LR-EH32
<b>FH-32</b>	AB/FH32	BV-FH32	VL-F32	—	LR-FH32
<b>AH-36</b>	AB/AH36	BV-AH36	VL-A36	AH36	LR-AH36
<b>DH-36</b>	AB/DH36	BV-DH36	VL-D36	DH36	LR-DH36
<b>EH-36</b>	AB/EH36	BV-EH36	VL-E36	EH36	LR-EH36
<b>FH-36</b>	AB/FH36	BV-FH36	VL-F36	—	LR-FH36
<b>AH-40</b>	AB/AH40	BV-AH40	VL-A40	—	LR-AH40
<b>DH-40</b>	AB/DH40	BV-DH40	VL-D40	—	LR-DH40
<b>EH-40</b>	AB/EH40	BV-EH40	VL-E40	—	LR-EH40
<b>FH-40</b>	AB/FH40	BV-FH40	VL-F40	—	LR-FH40

## Dimensiones

En la siguiente tabla se indican los espesores máximos (mm) disponibles según los certificados expedidos por las sociedades de clasificación:

	<b>ABS</b>	<b>BV</b>	<b>DNV-GL</b>	<b>RINA</b>	<b>Lloyd's</b>
<b>Naval A</b>	80	80	100	80	60
<b>Naval B</b>	80	80	100	80	60
<b>Naval D</b>	80	80	100	80	60
<b>Naval E</b>	80	80	100	80	60
<b>AH-27</b>			80	80	
<b>DH-27</b>			80	80	
<b>EH-27</b>			80	80	
<b>AH-32</b>	80	80	100	80	60
<b>DH-32</b>	80	80	100	80	60
<b>EH-32</b>	80	80	100	80	60
<b>FH-32</b>	25	25	80	25	
<b>AH-36</b>	80	80	100	80	60
<b>DH-36</b>	80	80	100	80	60

TEMAS PROFESIONALES

<b>EH-36</b>	80	80	100	80	60
<b>FH-36</b>	25	25	80	25	
<b>AH-40</b>	25	25		25	
<b>DH-40</b>	25	25		25	
<b>EH-40</b>	25	25		25	
<b>FH-40</b>	25	25	25	25	



Planchas de nuevas construcciones.

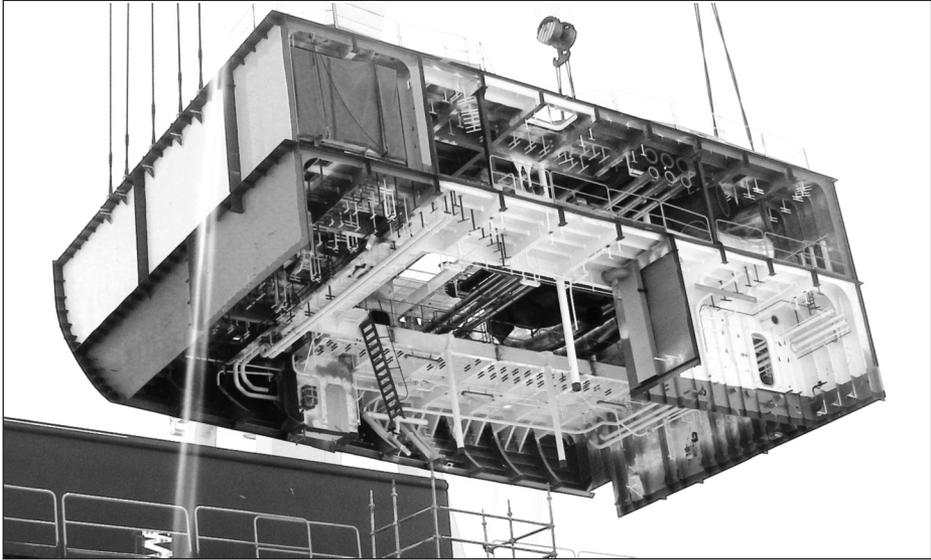
### Análisis químicos

En la siguiente tabla se indica la composición química detallada de los distintos tipos de aceros:

	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Al (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ni (%)
Naval A	≤ 0,21	≥ 2,5*Cmin	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	—	≤ 0,30	≤ 0,20	0,40
Naval B	≤ 0,21	≥ 0,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,35	—	≤ 0,30	≤ 0,20	≤ 0,40
Naval D	≤ 0,21	≥ 0,60	≤ 0,035	≤ 0,035	0,10 - 0,35	≥ 0,020	≤ 0,30	≤ 0,20	≤ 0,40
Naval E	≤ 0,18	≥ 0,70	≤ 0,035	≤ 0,035	0,10 - 0,35	≥ 0,020	≤ 0,30	≤ 0,20	≤ 0,40
AH-27	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
DH-27	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
EH-27	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
AH-32	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
DH-32	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
EH-32	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
FH-32	≤ 0,16	0,9 - 1,60	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
AH-36	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
DH-36	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
EH-36	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
FH-36	≤ 0,16	0,9 - 1,60	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
AH-40	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
DH-40	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
EH-40	≤ 0,18	0,9 - 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40
FH-40	≤ 0,16	0,9 - 1,60	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,50	≥ 0,020	≤ 0,35	≤ 0,20	≤ 0,40

### Conclusiones. Aceros utilizados en las últimas construcciones de la Armada

En el caso del LHD *Juan Carlos I* (JCI), los materiales utilizados se fabricaron y probaron de acuerdo con los procedimientos especificados en las Reglas de la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register. En general, se utilizó acero naval normal (límite elástico 235 MPa). En ciertas zonas, como las cubiertas de carga rodada y cubierta de vuelo, se utilizó acero de alto límite elástico del tipo H-36 (límite elástico 355 MPa) con el fin de reducir el peso de la estructura. También se usó H-36 con el mismo propósito anterior en elementos primarios de luz elevada y altas sollicitaciones. Los aceros del JCI cumplen con las características indicadas en las reglas del Lloyd's Register of



Bloque de un buque de guerra.

Shipping para buques mercantes, Parte 2, Capítulo 3. En general, se usó el grado A, excepto en aquellas partes donde las reglas de la Sociedad de Clasificación exigían otro diferente. Como refuerzos de plancha se utilizaron principalmente llantas con bulbo y, en menor medida, llantas planas y perfiles I-T. Elementos primarios como bulárcamas, baos, palmejares y esloras fueron fundamentalmente perfiles tipo T. Otros materiales, como las aleaciones de aluminio, se utilizaron previa aprobación de las autoridades de la Armada.

El Buque de Acción Marítima (BAM) ha sido construido en acero AH-36, aunque se pueden utilizar otros materiales de superiores prestaciones allí donde los requisitos de peso o estructurales lo requieran.

En el caso de las fragatas F-100 se utilizó igualmente acero AH-36.

#### REFERENCIAS

- American Bureau of Shipping (2014). *Rules for Classification of Ships*. ABS  
Bureau Veritas (2011). *Rules for the Classification of Naval Ships*.  
— (2012). *Rules for Classification of Ships*. BV.  
Germanischer Lloyd (2012). *Rules for Classification of Ships*. GL.  
— (2011). *Rules for Classification and Construction Naval Ship Technology*.  
Lloyd's Register of Shipping (2010). *Rules for the Classification of Ships and Naval Ships*.  
UNE-EN 10020:2001 (2001). *Definición y clasificación de los tipos de aceros*.