

Estudio de los riesgos para la salud asociados a la construcción naval con acero y aluminio

Trabajo de Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
María del Mar Fuentes Sánchez

Dirigido por:
Jordi Torralbo Gavilán

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Barcelona, 5 de Septiembre de 2017

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona



Agradecimientos

Me gustaría mencionar especialmente al profesor Jordi Torralbo, como tutor por su dedicación, apoyo y trato recibido durante los meses de la realización del trabajo. También, quisiera agradecerle su paciencia y consejos ante las dificultades que se han presentado a lo largo de estos meses. Con su ayuda he conseguido profundizar y adquirir nuevos conocimientos sobre la construcción naval y, en concreto, sobre la utilización del acero y del aluminio y el impacto que tienen sobre la salud.

Por último, quisiera agradecer a todos los profesores que a lo largo del Grado me han despertado interés por este ámbito del sector marítimo.

Resumen

A lo largo de los años, la construcción naval ha experimentado grandes cambios debido a los avances tecnológicos que se han producido. Éstos han permitido la aparición de un gran número de nuevos materiales de construcción, como por ejemplo el acero, aluminio, los materiales compuestos, entre otros. Estos materiales están destinados principalmente a la construcción de cascos, superestructuras u otras zonas del buque.

La elección del material durante la fase de diseño del buque presenta una gran importancia ya que en este momento se deben tener en cuenta diversos factores. Algunos de éstos están relacionados con aspectos técnicos propios de la construcción del buque, como por ejemplo: el tipo de buque, resistencia estructural del material, resistencia a la corrosión, el peso, fatigas, mantenimiento y reparación, entre otros. Durante la construcción y el posterior funcionamiento del buque, estos aspectos técnicos son inspeccionados por unas organizaciones no gubernamentales denominadas Sociedades de Clasificación. Éstas garantizan que los buques sean construidos de acuerdo con los requisitos establecidos por aquella que se encarga del buque y ofrecen una mayor seguridad para el propio buque, las personas que navegan en él y también para el medio marino.

Además de los factores mencionados, los cuales hacen referencia a características técnicas propias de la construcción del buque y del material seleccionado para su construcción, también se deben tener en cuenta aquellos relacionados con los costes económicos, durabilidad, riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores, entre otros.

Este trabajo se centra en el estudio de los riesgos, tanto físicos como químicos, que pueden afectar a la salud de los trabajadores que se encuentran en el astillero durante el proceso de construcción de un buque fabricado con acero o aluminio. Concretamente, este proyecto trata sobre aquellos que son originados durante los procesos de laminación, soldadura, corte y pintura de los buques construidos con estos dos materiales. Previamente, el trabajo consta de una descripción de las características generales de éstos, los requerimientos establecidos por las Sociedades de Clasificación en relación con estos dos materiales y una comparativa entre ellos. Al mismo tiempo, también se hace una mención de las medidas y equipos que se deben utilizar como elementos preventivos para evitar o disminuir a mínimos los peligros que pueden producirse durante estos trabajos.

Abstract

Over the years, shipbuilding industry has experienced major changes due to technological advances that have occurred. These have enabled the emergence of a large number of new materials such as steel, aluminum, composite materials, among others. These materials are mainly destined to the construction of hulls, superstructures, or other areas of the vessel.

The choice of the material during the design phase of the vessel presents a great importance because at this moment they have to take into account several factors. Some of them are related to technical aspects of the vessel as for example: the type of the vessel, structural strength of the material, resistance to corrosion, weight, fatigue, maintenance and repair, among others. During the construction and subsequent operation of the vessel, these technical aspects are inspected by non-governmental organizations known as Classification Societies. These ensure that ships are built in accordance with the requirements established by the one that is in charge of the vessel and provide greater security for the own ship, the people that sail on it and also for the marine environment.

In addition to the above factors, which refer to the technical characteristics of the construction of the ship and the selected material for its construction, also must be considered those related to the economic costs, durability, hazards to the health and safety of workers, among others.

This project focuses on the study of risks, both physical and chemical, which can affect the health of workers who are in the shipyards during the process of construction of a vessel made with steel or aluminum. Specifically, this project is about those who are caused during the processes of rolling, welding, cutting and painting of ships built with these two materials. Previously, this work is composed of a description of the general characteristics of these, the requirements established by the Classification Societies in relation to these two materials and a comparison between them. At the same time, it is also mentioned the measures and equipment that should be used as preventive elements to avoid or reduce to minimum the hazards that can occur during these works.

Índice

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE	VII
INTRODUCCIÓN	1
<hr/>	
CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ACERO	3
1.1 PROCESO DE OBTENCIÓN	3
1.2 PROPIEDADES	10
1.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS	11
1.2.2 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	14
1.3 PRINCIPALES DESVENTAJAS DEL ACERO	18
1.3.1 LA CORROSIÓN	18
1.3.2 COSTES DE MANTENIMIENTO	20
1.4 ALEACIONES Y CLASIFICACIÓN DEL ACERO	20
1.4.1 ALEACIONES DEL ACERO	21
1.4.2 CLASIFICACIÓN DEL ACERO	23
1.4.3 ACERO INOXIDABLE	27
1.5 APLICACIONES DEL ACERO EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL	28
CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ALUMINIO	31
2.1 PROCESO DE OBTENCIÓN	31
2.2 PROPIEDADES	35
2.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS	35
2.2.2 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	38
2.3 PRINCIPALES DESVENTAJAS DEL ALUMINIO	41
2.3.1 LA CORROSIÓN	41
2.3.2 COSTES DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	42
2.4 ALEACIONES Y CLASIFICACIÓN DEL ALUMINIO	43
2.5 APLICACIONES DEL ALUMINIO EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL	45

CAPÍTULO 3. REQUERIMIENTOS DE LAS SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO Y ALUMINIO	49
3.1 ACERO	50
3.2 ALUMINIO	56
CAPÍTULO 4. COMPARATIVA ENTRE EL ACERO Y EL ALUMINIO PARA LA CONSTRUCCIÓN NAVAL	59
CAPÍTULO 5. RIESGOS PARA LA SALUD ASOCIADOS CON LA CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE CON ACERO	65
5.1 NORMATIVA	66
5.2 LAMINACIÓN	71
5.2.1 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES FÍSICOS	74
5.2.2 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES QUÍMICOS	82
5.3 SOLDADURA Y CORTE	84
5.3.1 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES FÍSICOS	91
5.3.2 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES QUÍMICOS	95
5.4 PINTURA	99
5.4.1 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES FÍSICOS	103
5.4.2 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES QUÍMICOS	105
CAPÍTULO 6. RIESGOS PARA LA SALUD ASOCIADOS CON LA CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE CON ALUMINIO	109
6.1 NORMATIVA	109
6.2 LAMINACIÓN	111
6.2.1 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES FÍSICOS	112
6.2.2 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES QUÍMICOS	115
6.3 SOLDADURA Y CORTE	115
6.3.1 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES FÍSICOS	119
6.3.2 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES QUÍMICOS	122
6.4 PINTURA	125
6.4.1 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES FÍSICOS	126
6.4.2 RIESGOS PROVOCADOS POR AGENTES QUÍMICOS	129
CAPÍTULO 7. MEDIDAS Y EQUIPOS DE PROTECCIÓN	131
7.1 MEDIDAS PREVENTIVAS EN EL LUGAR DE TRABAJO	132
7.2 MEDIDAS PREVENTIVAS RELACIONADAS CON LOS EQUIPOS DE TRABAJO	133
7.3 MEDIDAS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	134
7.3.1 EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL PARA LAS OPERACIONES DE SOLDADURA Y CORTE	135

7.3.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL PARA LAS OPERACIONES DE PINTURA	136
7.4 FORMACIÓN DE LOS TRABAJADORES	139
CONCLUSIONES	140
BIBLIOGRAFÍA	145
ANEXOS 1 Y 2	154

Introducción

Este proyecto tiene como objetivo principal proporcionar información relacionada con los riesgos para la salud de las personas que trabajan en los astilleros durante el proceso de construcción naval. Concretamente, aquellos asociados con la construcción de buques con dos de los principales materiales que se utilizan en este sector, el acero y el aluminio. De esta manera, se pretende indicar los efectos que determinados procesos que se llevan a cabo durante la construcción de un buque tienen sobre la salud de los trabajadores. Estos riesgos son principalmente originados por agentes físicos y químicos, como el ruido, vibraciones, calor, accidentes (caídas a elevadas alturas, cortes, etc.), radiaciones, ácidos, gases y humos nocivos, respectivamente.

A lo largo de la carrera se han estudiado en términos generales diferentes riesgos ocupacionales que se pueden producir en el sector naval. Por este motivo, la motivación por la que he decidido realizar este trabajo consiste en ampliar mis conocimientos sobre los riesgos a los que están expuestos los trabajadores a lo largo del proceso de la construcción de buques con acero y aluminio.

Debido a la gran cantidad de materiales que se utilizan en los astilleros actualmente para la construcción de buques, este trabajo se centra en el estudio del acero y aluminio. La elección de estos dos materiales radica en que éstos son dos de los materiales que se utilizan con una frecuencia elevada en esta industria como consecuencia de las numerosas ventajas que proporcionan a los buques construidos con ellos. Sin embargo, es importante saber también las diferentes repercusiones que estos materiales pueden ocasionar en las personas encargadas de desarrollar determinados trabajos durante la construcción de un buque determinado. Especialmente, aquellos derivados de las operaciones de laminación, soldadura, corte y pintura.

Durante la elaboración de este proyecto, se han consultado diversas fuentes de información relacionadas con los aspectos técnicos de estos materiales, las técnicas que se utilizan en los procesos mencionados durante la construcción naval con acero y aluminio, los requisitos que estos éstos han de cumplir de acuerdo con las pautas establecidas por las Sociedades de Clasificación, los riesgos para la salud de los trabajadores encargados de la realización de estas operaciones y las medidas de prevención que se han seguido con la finalidad de evitar o reducir estos peligros. Esta información se ha obtenido a partir de diversas fuentes electrónicas, libros, enciclopedias, normativas nacionales e internacionales,

artículos técnicos, apuntes de determinadas asignaturas estudiadas a lo largo de la carrera y trabajos académicos.

Este proyecto se ha desarrollado en diversas etapas. La primera de ellas consistía en la búsqueda de la información relativa al tema del trabajo y posteriormente a la especificación del trabajo y la definición del índice. La segunda etapa se centraba en el desarrollo del borrador del proyecto cuya fecha límite era a mediados de agosto. Finalmente, la última etapa se basaba en la revisión del borrador y la realización de las modificaciones pertinentes para mejorarlo y así darlo por acabado. Esta última etapa tiene como fecha límite finales de agosto.

Capítulo 1. Características generales del acero

El acero es uno de los materiales básicos que se utiliza en la construcción naval, especialmente en buques de gran eslora, debido a las numerosas propiedades que presenta.

Su aparición a mediados del siglo XIX permitió que hacia el año 1880 se construyeran los primeros buques de acero soldado, lo que provocó que la construcción con acero fuera sustituyendo de manera gradual a la construcción con madera.

Actualmente la fabricación de acero y la construcción naval con este material ha experimentado una gran cantidad de mejoras a través de los avances tecnológicos, los cuales le permiten seguir siendo el material más importante para la construcción de buques.

1.1 Proceso de obtención

La fabricación del acero se desarrolló principalmente durante el siglo XIX como consecuencia de la invención de los procesos de fusión, los hornos de hogar abierto o Crisol, el procedimiento Bessemer, quién inventó en el año 1855 un horno especial llamado Convertidor, el horno de arco eléctrico, entre otros. Esta industria ha evolucionado de manera considerable durante los dos últimos siglos permitiendo de este modo, la producción de acero de alta calidad con unos costes de producción relativamente bajos y en unos intervalos de tiempo reducidos.

El acero es una combinación de componentes que contiene hierro como elemento básico y carbono en un porcentaje comprendido entre 0,03 y 1,4. Existen diversos modos de clasificar el acero, uno de los principales es en función de la composición química de éste. Según lo establecido en la normativa UNE-EN 10020:2001 *Definición y clasificación de los tipos de aceros*¹, en España el acero se puede clasificar en

¹ AENOR. *Definición y clasificación de los tipos de aceros*. Madrid: AENOR, 2001.

tres grupos: aceros no aleados (o al carbono), aceros inoxidables y aceros aleados. En el caso de los aceros no aleados, teniendo en cuenta la concentración de carbono, se pueden distinguir tres tipos:

Tipo de Acero	Concentración de Carbono
Aceros bajos en carbono	< 0,25 %
Aceros medios en carbono	0,25 - 0,60 %
Aceros altos en carbono	0,60 - 1,4 %

Tabla 1: Tipos de acero según la concentración de carbono – Fuente: Propia

Este material se puede obtener a partir de dos materias primas: el arrabio y la chatarra o acero reciclado. Según la materia prima que se emplee, el proceso de obtención varía. A continuación se explica el método de fabricación para cada uno de los dos procesos.

a) Proceso de obtención a partir de arrabio

En primer lugar, es necesario obtener el arrabio a partir de mineral de hierro, coque y caliza en el alto horno. En este caso, el coque actúa también como combustible y la caliza como material fundente. En cuanto a los minerales de hierro, también denominados menas de hierro, son incorporados en el alto horno para así refinarlos y poder obtener el hierro necesario para fabricar acero. Los que se utilizan con mayor frecuencia son los siguientes: siderita (FeCO_3), magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3), limonita ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), ilmenita (FeTiO_3) y pirita (FeS_2).

Cuando el horno presenta una temperatura de 1.600°C , el arrabio se funde y se acumula en la solera. Mientas que debido a que el silicato de calcio y otras impurezas presentan un punto de fusión menor, se forma la escoria. De esta manera el arrabio obtenido en el alto horno presenta la siguiente composición:

Componente	Porcentaje (%)
Hierro	92
Carbono	3 – 4

Silicio	0,5 – 3
Manganeso	0,25 - 2,5
Fósforo	0,04 – 2
Azufre	Partículas

Tabla 2: Composición del arrabio – **Fuente:** Propia

Una vez se ha obtenido y separado el arrabio de la escoria se pasa al segundo proceso de refinamiento para reducir el contenido de carbono, oxidar y eliminar impurezas y producir así un material de alta elasticidad que sea fácil de manejar y trabajar. En este punto se convierte el arrabio en acero. Esta fase tiene lugar en el horno de oxígeno básico o convertidor de oxígeno.

El arrabio se introduce en el horno de oxígeno al que se le añade una cantidad de acero reciclado (chatarra) y otros materiales fundentes. A continuación se introduce una lanza, tubo refrigerado con agua, que inyecta un flujo continuo de oxígeno puro durante 20 minutos a alta velocidad. Éste reacciona con el exceso de carbono, el cual se oxida, y quema las impurezas. En este proceso se obtienen los siguientes productos:

- Acero líquido
- Monóxido de carbono
- Dióxido de carbono



Figura 1: Volcado del arrabio líquido en el horno de oxígeno básico – **Fuente:** http://www.poscoenc.com/esp/business/steel_plants.asp

A continuación se analiza el contenido de carbono y la composición química de diversas muestras de la masa fundida para determinar si es la correcta. Si el análisis es el adecuado, cuando la concentración de carbono presente en el acero oscila entre 0,1 y 1,4%, el acero se vierte en una máquina de colada, lo que se denomina proceso de colada. Concretamente, el más utilizado es la colada continua. En esta fase se extrae el acero líquido del horno de oxígeno básico y se vierte en moldes con la forma que desea obtener (palanquillas, tochos o placas). Tras solidificarse, se extrae la pieza para su posterior laminación.

En la siguiente imagen se puede observar un esquema en el que se representa el proceso de obtención del acero a partir de arrabio.

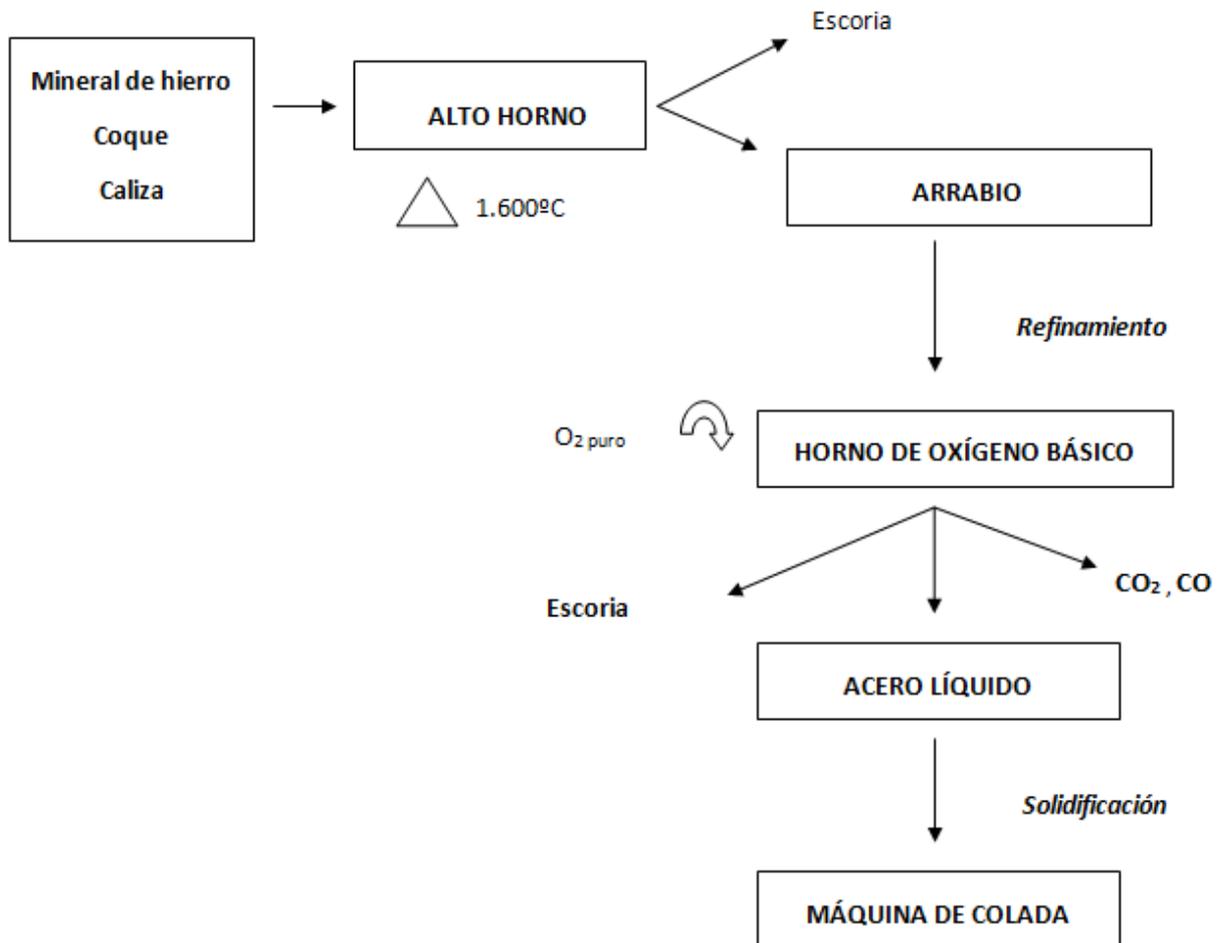


Figura 2: Proceso de obtención del acero a partir de arrabio – Fuente: Propia

b) Obtención de acero a partir de chatarra

El acero puede fabricarse también a partir de chatarra de acero. Ésta es cuidadosamente seleccionada tanto en el lugar de origen como en el de recepción, para obtener un acero de mayor calidad y garantizar unas condiciones de fundición adecuadas durante el proceso. Para ello la chatarra está sometida a controles e inspecciones por parte del fabricante. En algunas ocasiones, además de la chatarra de acero, también se añaden pequeñas cantidades de chatarra de hierro, las cuales han sido previamente sometidas a un proceso de reducción directa, con la finalidad de facilitar la reducción de carbono y otras impurezas.

A diferencia del proceso de fabricación de acero mediante arrabio, el acero producido con chatarra de este material utiliza únicamente el horno de arco eléctrico (Electric Arc Furnace, EAF). Este tipo de horno, es el más versátil y además de alcanzar elevadas temperaturas, hasta 1.930°C, permite obtener acero de gran calidad y con un pequeño porcentaje de impurezas ya que no utiliza ningún tipo de combustible.



Figura 3: Horno de arco eléctrico – **Fuente:**
<http://constructoraindustrialyminas.com/blog/tag/horno-electrico/>

Después de llenar el horno con chatarra de acero y de hierro, se inicia la fase de fundición. Este proceso se lleva a cabo mediante el suministro de energía en el interior del horno. Esta energía utilizada puede ser de dos tipos: energía eléctrica o química.

- **A partir de energía eléctrica:**

La energía es suministrada por medio de los electrodos de grafito que dispone este tipo de horno. Los electrodos son unas barras de grafito de hasta 700 mm de diámetro que se introducen a través de unos orificios que presenta la bóveda del horno. Al mismo tiempo, éstos tienen la capacidad de desplazarse, de manera que permite regular su distancia respecto a la carga que se va fundiendo. Los electrodos proporcionan unos niveles de voltaje e intensidad variables durante el proceso de fusión gracias a un transformador al que están conectados. Inicialmente se selecciona un nivel intermedio de voltaje hasta que se calibran los electrodos. Aproximadamente un 15% de la chatarra se funde durante este intervalo inicial de calibración de los electrodos. Al cabo de unos minutos, cuando los electrodos penetran en la chatarra se crea un largo arco eléctrico (alto voltaje) entre ellos y aumenta la temperatura provocando que se funda la chatarra. Este tipo de energía es la que más se utiliza en las operaciones de fundición.

En la Figura 4 se puede observar un horno de arco eléctrico en el que han sido introducidos tres electrodos, los cuales han permitido fundir la chatarra que había sido incorporada previamente.



Figura 4: Horno de arco eléctrico con presencia de tres electrodos – **Fuente:**
<http://constructoraindustrialyminas.com/blog/tag/horno-electrico/>

- **A partir de energía química:**

La energía se abastece por medio de diversas fuentes, entre las cuales se encuentran los quemadores de combustible de oxígeno y los tubos o lanzas de oxígeno. De esta manera, el oxígeno reacciona con los diferentes componentes de la chatarra de acero y de hierro provocando un aumento de la temperatura y por consiguiente, la fundición.

Tras la realización de los controles pertinentes para comprobar que la composición del acero es adecuada, éste es vertido en unas máquinas de colada continua con el fin de obtener palanquillas, placas o tochos.



Figura 5: Colada continua del acero – **Fuente:**

<https://technoindustria.wordpress.com/2015/07/01/evolucion-del-sector-siderurgico-en-espana/>

En ambos casos, el acero obtenido en los hornos es sometido a un segundo proceso de refinado en un tanque de vacío o desgasificador recirculante con el fin de obtener un acero de mayor pureza y homogeneidad. Este proceso de vacío o desgasificación del acero se lleva a cabo antes de que éste sea vertido en la máquina de colada continua, es decir, antes de que el acero se solidifique. La desgasificación del acero se realiza exponiéndolo al vacío ya que al reducir la presión sobre la superficie del líquido, los gases (especialmente hidrógeno, oxígeno y nitrógeno) escapan.

En la página siguiente se puede apreciar un esquema del proceso de obtención de acero a través de chatarra de acero.

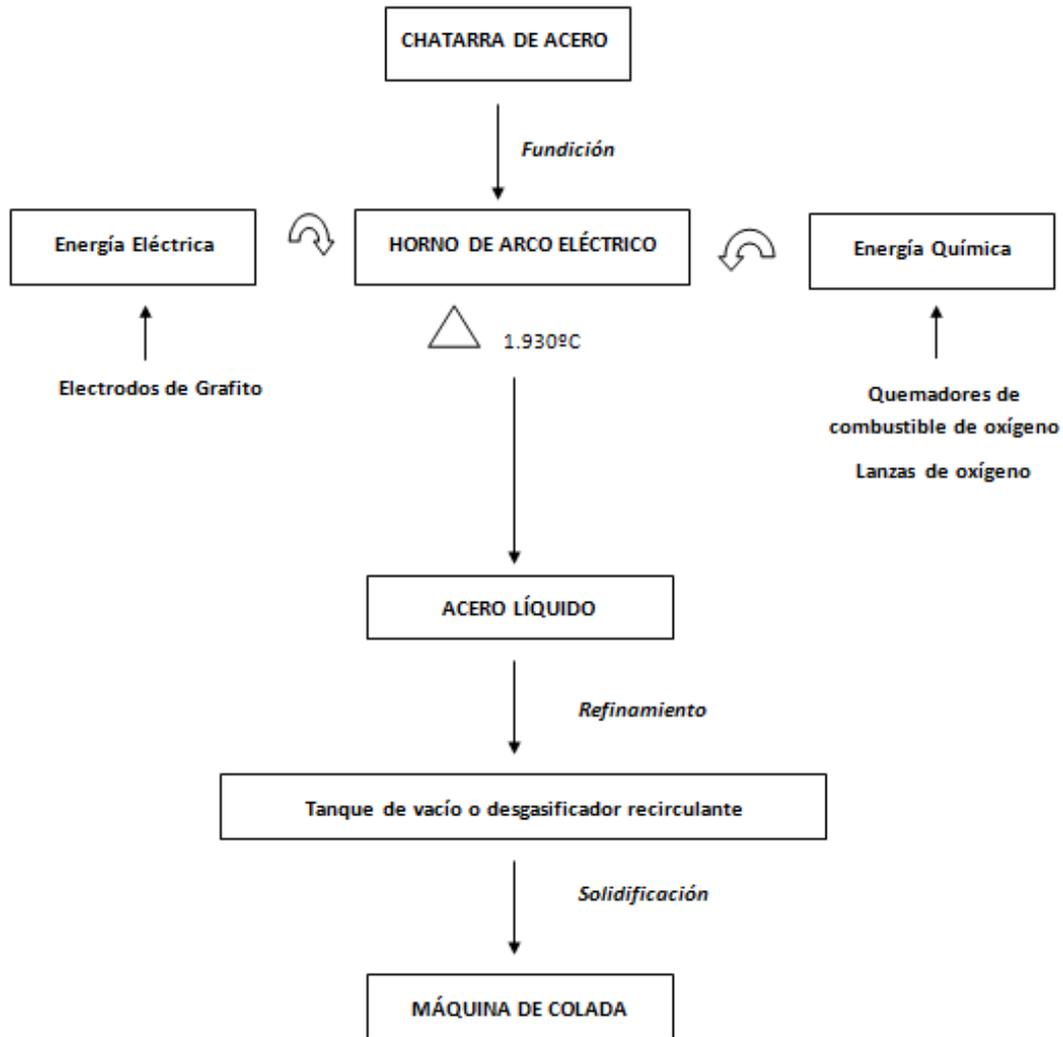


Figura 6: Proceso de obtención de acero a partir de chatarra – Fuente: Propia

1.2 Propiedades

El acero presenta numerosas propiedades influenciadas en gran medida por su composición. En muchas ocasiones, a este material se le incorporan durante su proceso de fabricación otros elementos como es el caso del níquel, cromo o manganeso, entre otros, con la finalidad de mejorar sus propiedades de acuerdo con el uso específico y la aplicación a la que esté destinado. El resultado de la adición de estos elementos son las denominadas aleaciones del acero.

Es importante mencionar que no existe una normativa internacional en la que se establezcan las características que han de cumplir los productos fabricados con acero. Es decir, no hay unas normas

comunes aplicables para todos los fabricantes de acero. De manera que organizaciones de desarrollo de estándares (SDOs) tales como las americanas ASTM (American Society for Testing and Materials) y AISI (American Iron and Steel Institute), a nivel internacional la Organización Internacional de Normalización (ISO), entre otras, fabrican aceros con composiciones parecidas, pero sin embargo cada uno de ellos dispone de propiedades distintas.

En los siguientes apartados, se expondrán las principales propiedades mecánicas y físico-químicas que presenta el acero.

1.2.1 Propiedades mecánicas

Las principales propiedades mecánicas del acero son las que se mencionan a continuación.

- **Resistencia**

El acero presenta alta resistencia por unidad de peso. De manera que el escantillón (espesor) y el peso del acero no han de ser elevados para alcanzar una resistencia alta. En función de la concentración de carbono que presente el acero, la resistencia varía. En la siguiente tabla se pueden apreciar valores aproximados de resistencia que presenta el acero.

Tipo de Acero	Valor de Resistencia
Acero con bajo nivel de carbono	Baja (400 MPa)
Acero con nivel medio - alto de carbono	Alta (hasta 650 MPa)

Tabla 3: Resistencia aproximada del acero – **Fuente:** Propia

- **Límite de fluencia**

El límite de fluencia constituye el punto a partir del cual el material presenta un incremento continuado de sus deformaciones en ausencia de un aumento del esfuerzo que se aplica sobre éste. Su valor varía en función del tipo de acero y del porcentaje de carbono, siendo el valor reflejado en la tabla de la página siguiente un valor aproximado.

Tipo de Acero	Valor del Límite de Fluencia
Acero con bajo nivel de carbono	290 - 300 MPa
Acero con nivel medio-alto de carbono	> 450 MPa

Tabla 4: Límite de fluencia aproximado del acero – Fuente: Propia

- **Límite elástico o de elasticidad**

El límite elástico de un material consiste en el esfuerzo máximo que se puede aplicar a un material sin que se cause una deformación permanente. Este límite puede tener una gran variedad de valores en función de la clase de acero, es decir, de la concentración de carbono que este material presente en su composición. Al mismo tiempo, esta propiedad puede presentar valores elevados cuando contienen pequeñas o grandes cantidades de elementos de aleación.

Propiedad	Valor
Límite de elasticidad	Variable (Ejemplos: 235, 355 y 400 MPa)

Tabla 5: Límite elástico del acero – Fuente: Propia

- **Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad, también denominado módulo de Young, de un material indica la relación entre la fatiga y la correspondiente deformación de éste cuando está sometido a un esfuerzo que se encuentra por debajo de su límite de elasticidad. Los valores que puede presentar el acero son los que se muestran en la Tabla 6.

Propiedad	Valor
Módulo de elasticidad	190 - 210 GPa

Tabla 6: Módulo de elasticidad del acero – Fuente: Propia

- **Coeficiente de Poisson**

Esta constante elástica determina la relación entre la deformación lateral y la correspondiente deformación longitudinal cuando el material está sometido a un esfuerzo longitudinal. Los valores que puede poseer este material son los que se reflejan en la siguiente tabla.

Propiedad	Valor
Coeficiente de Poisson	0,27 - 0,30

Tabla 7: Coeficiente de Poisson del acero – **Fuente:** Propia

- **Ductilidad**

El acero es capaz de deformarse en frío sin romperse cuando está sometido a esfuerzos. Esta propiedad está estrechamente relacionada con la concentración de carbono ya que dependiendo de ésta, la ductilidad del material puede cambiar.

Tipo de Acero	Valor de Ductilidad
Acero con bajo nivel de carbono	Medio – alto
Acero con nivel medio - alto de carbono	Bajo

Tabla 8: Ductilidad del acero – **Fuente:** Propia

- **Tenacidad**

El acero presenta una buena tenacidad. La tenacidad es aquella propiedad por la cual un material tiene la capacidad de absorber energía cuando éste está sometido a deformaciones antes de alcanzar la rotura. Para que un material sea tenaz, debe poseer al mismo tiempo una resistencia alta y ductilidad. Por este motivo, en el caso de los aceros, se ha de tener en cuenta que a medida que aumentamos el porcentaje de concentración de carbono reducimos esta propiedad. Es decir, los aceros con un contenido alto de carbono son menos tenaces que los aceros bajos en carbono.

Tipo de Acero	Valor de Tenacidad
Acero con bajo nivel de carbono	Media – alta
Acero con nivel medio - alto de carbono	Bajo
Nivel de carbono ↑ valor de tenacidad ↓	

Tabla 9: Tenacidad del acero – Fuente: Propia

- **Dureza**

Este material dispone de una gran dureza. Su valor varía en función de la composición, es decir, del porcentaje de carbono que el acero contiene y de los aleantes. También, además de los elementos de aleación y del carbono, oscila según los procesos térmicos o químicos a los que el acero ha sido sometido.

Tipo de Acero	Valor de Dureza ²
Acero con bajo nivel de carbono	< 135 HB
Acero con nivel medio – alto de carbono	> 220 HB

Tabla 10: Dureza del acero – Fuente: Propia

- **Maleabilidad**

El acero es un material maleable ya que tiene la capacidad de deformarse sin llegar a romperse. Un ejemplo consiste en que a partir de él se pueden obtener láminas con un espesor reducido (entre 0,5 y 0,12 mm) sin que éstas se rompan.

1.2.2 Propiedades físico-químicas

Las principales propiedades físico-químicas que presenta el acero son las que se detallan seguidamente.

² Los valores indicados corresponden a valores de dureza Brinell.

- **Densidad**

Por lo general, se considera que la densidad del acero es 7850 kg/m^3 . Este valor puede oscilar entre 7750 y 8050 kg/m^3 en función de la aleación del acero.

- **Peso específico**

El acero es un material que presenta un peso elevado en comparación con otros materiales como el aluminio o los materiales compuestos. Concretamente, el peso específico que presenta este material es el que se expresa a continuación:

$$\text{Peso específico} = \text{densidad} \times \text{gravedad}$$

$$\text{Peso específico del acero} = 7850 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Peso específico del acero} = 76.930 \text{ N/m}^3$$

- **Punto de fusión**

Dependiendo de la concentración de carbono que presente el acero, se pueden distinguir diversos puntos de fusión. En la Tabla 11 que se muestra a continuación se pueden observar los puntos de fusión aproximados que dispone el acero dependiendo del porcentaje de carbono que éste presente.

Tipo de Acero	Valor de Punto de Fusión
Acero con bajo nivel de carbono	1530°C
Acero con nivel medio de carbono	1430°C
Acero con nivel alto de carbono	1370°C

Tabla 11: Puntos de fusión aproximados del acero – **Fuente:** Propia

- **Conductividad térmica**

El acero es un material que dispone de una buena conductividad térmica. Los valores que el acero puede poseer quedan indicados en la Tabla 12.

Propiedad	Valor de Conductividad Térmica
Conductividad Térmica	11,2 – 48,3 W/m·K

Tabla 12: Conductividad térmica del acero – Fuente: Propia

- **Expansión térmica**

La expansión térmica, también denominada coeficiente de dilatación, que dispone el acero presenta el siguiente valor.

Propiedad	Valor de Expansión Térmica
Expansión Térmica	$12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Tabla 13: Expansión térmica del acero – Fuente: Propia

- **Soldabilidad**

Es un material que es fácil de soldar. Sin embargo, los aceros con concentraciones mayores de carbono son más difíciles de soldar que los que presentan concentraciones menores.

- **Resistencia al fuego**

La resistencia que ofrece el acero frente al fuego es buena en comparación con otros materiales. A pesar de ello, cabe mencionar que el acero pierde paulatinamente su resistencia a partir de los 300°C. Este material puede llegar a alcanzar hasta el 60% de su resistencia inicial cuando la temperatura adquiere un valor de 550°C. Un ejemplo de las consecuencias que el fuego ocasiona al acero es el derrumbamiento de las Torres Gemelas de Nueva York. Debido a las elevadas temperaturas producidas por los numerosos incendios que tuvieron lugar, el acero de las vigas y columnas fueron debilitándose paulatinamente hasta que no pudieron sostener la estructura y finalmente se derrumbaron.

En la página siguiente se muestra a modo de resumen una tabla en la que quedan reflejadas todas las propiedades mencionadas, tanto mecánicas como físico-químicas, que posee el acero.

Propiedades mecánicas	
Resistencia	- Acero con bajo nivel de carbono: Baja (aprox. 400 MPa). - Acero con nivel medio – alto de carbono: Alta (aprox. hasta 650 MPa).
Límite de fluencia	- Acero con bajo nivel de carbono: 290 – 300 MPa. - Acero con nivel medio – alto de carbono: < 450 MPa.
Límite elástico o de elasticidad	Variable (Ejemplos: 235, 355 y 400 MPa).
Módulo de elasticidad	190 - 210 GPa
Coeficiente de Poisson	0,27 – 0,30
Ductilidad	- Acero con bajo nivel de carbono: Medio – alto. - Acero con nivel medio – alto de carbono: Bajo.
Tenacidad	- Acero con bajo nivel de carbono: Medio – alto. - Acero con nivel medio – alto de carbono: Bajo.
Dureza	- Acero con bajo nivel de carbono: < 135 HB. - Acero con nivel medio – alto de carbono: > 220 HB.
Maleabilidad	Elevada
Propiedades físico-químicas	
Densidad	7850 Kg/m ³
Peso específico	76.930 N/m ³
Punto de fusión	- Acero con nivel bajo de carbono: 1530°C - Acero con nivel medio de carbono: 1430°C - Acero con nivel alto de carbono: 1370°C
Conductividad térmica	11,2 – 48,3 W/m·K
Expansión térmica	$12 \cdot 10^{-6} \text{°C}^{-1}$
Soldabilidad	Fácil de soldar.

Resistencia al fuego	Buena, aunque disminuye paulatinamente a partir de los 300°C.
----------------------	---

Tabla 14: Propiedades del acero – Fuente: Propia

1.3 Principales desventajas del acero

Además de proporcionar una gran cantidad de beneficios relacionados con las propiedades que han sido comentadas anteriormente, el acero también presenta algunos inconvenientes cuando es utilizado. Los principales problemas del acero son: la corrosión y los costes que supone su correspondiente mantenimiento. A continuación se explican estas dos desventajas que presenta este material.

1.3.1 La corrosión

El acero es un material que se ve afectado por la acción de la corrosión. Ésta puede ser de dos tipos: corrosión originada por oxígeno y corrosión electrolítica.

- **Corrosión originada por oxígeno**

Este tipo de corrosión, también denominada oxidación, es provocada por el oxígeno del aire y del agua del mar. Cuando este elemento entra en contacto con el acero, se produce una reacción química que tiene como resultado la formación de óxido férrico. En los aceros de alta resistencia a los que se les han incorporado una pequeña cantidad de elementos de aleación son más resistentes a este tipo de corrosión y sufren un menor deterioro. Este hecho se debe a que el óxido que se forma sobre ellos se convierte en un recubrimiento protector que previene un mayor desgaste. Éstos se denominan aceros intemperizados. En comparación con estos aceros, las demás clases se corroen fácilmente.

Este tipo de corrosión es el que afecta mayoritariamente al acero a diferencia de otros materiales como el aluminio o los materiales compuestos, los cuales presentan un comportamiento óptimo frente a ésta.

- **Corrosión electrolítica**

La corrosión electrolítica que se puede dar en el acero es originada por el contacto entre dos materiales con potenciales eléctricos dispares y por la presencia de una corriente eléctrica externa. Esta corrosión provoca que uno de los materiales actúe como un ánodo, es decir, que ceda electrones mientras que el otro actúa como un cátodo, gana electrones. De esta manera, se produce un desgaste progresivo del material. Los efectos que este tipo de corrosión produce en el acero son inferiores a los que se dan en el aluminio.

En la Figura 7, se puede apreciar parte del casco de un buque construido con acero afectado por la corrosión.



Figura 7: Parte de la obra viva de un buque de acero afectado por la corrosión – **Fuente:** <https://www.clubmarine.com.au/internet/clubmarine.nsf/docs/mg25-4+water+wise>

Para proteger el acero de los buques que están contruidos con este material de estos tipos de corrosión se utilizan varios sistemas. Éstos son los siguientes: pintura anticorrosión, ánodos de sacrificio o bien una combinación de ambos. En el caso de las pinturas, es importante que éstas no presenten componentes de cobre en su composición ya que éste oxida el acero. Los ánodos de sacrificio que se utilizan con mayor frecuencia en buques con casco de acero son los ánodos de zinc. Éstos se colocan en zonas próximas a las uniones de los metales distintos.

En la Figura 8 que se muestra en la página siguiente, se puede observar parte del casco de un buque de acero en el que se han colocado ánodos de zinc para prevenir la corrosión.



Figura 8: Parte del casco de un buque de acero con ánodos de sacrificio – **Fuente:** <https://cathodicme.com/cathodic-protection/sacrificial-anodes-system/>

1.3.2 Costes de mantenimiento

El acero es un material que exige un mantenimiento frecuente y completo para no ver reducidas sus propiedades. Por este motivo, los gastos que se han de destinar al mantenimiento y, en caso de que sea necesario, a la reparación del material son elevados. Sin embargo, estos gastos son menores a los correspondientes a otros materiales como es el caso del aluminio. Este mantenimiento constante del acero permite que éste tenga una vida útil mayor. De modo que éste reportará a la larga unos beneficios.

1.4 Aleaciones y clasificación del acero

En la mayoría de ocasiones, durante el proceso de fabricación del acero se incorporan otros elementos metálicos en su composición con el fin de aumentar los beneficios que éste aporta y que son necesarios para el uso específico que dispondrá el producto final.

Al mismo tiempo, el acero también se caracteriza por la gran diversidad de criterios con los que se puede clasificar debido a la falta de una normativa internacional común para todos los fabricantes. La carencia de una reglamentación común provoca que las organizaciones de desarrollo de estándares

presenten sus propias nomenclaturas con las que se determinan las especificaciones técnicas que ha de tener el acero a la vez que lo clasifican y designan según sus propios criterios.

A continuación, en los siguientes subapartados se expondrán de manera detallada las aleaciones que presenta el acero y los diversos métodos de clasificación que se utilizan para designarlo.

1.4.1 Aleaciones del acero

El acero es un material que se caracteriza por el hecho de que puede tener en su composición elementos adicionales que permiten mejorar sus propiedades y optimizan sus características finales. Algunos de los elementos más comunes que se añaden al acero, así como su concentración en la composición final del material (valores aproximados) y las características que aportan al acero son los que se muestran en la Tabla 15.

Elemento	Concentración (%)	Características
Manganeso (Mn)	0,50 – 1,70	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta la tenacidad y dureza del acero. - En concentraciones elevadas puede reducir la ductilidad del acero.
Cromo (Cr)	0,40 – 1,10 12 – 30 (aceros inoxidables)	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta la resistencia del acero frente a la corrosión. - Incrementa la dureza de este material. - Normalmente se combina con níquel y constituyen los aceros inoxidables.
Níquel (Ni)	0,40 – 3,80 5 – 22 (aceros inoxidables)	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta la tenacidad y resistencia del acero sin disminuir su ductilidad. - Normalmente se combina con el cromo formando aceros inoxidables.
Molibdeno (Mo)	0,08 – 0,65	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta la tenacidad y dureza del acero. - Mejora la resistencia a la corrosión del acero. - A temperaturas elevadas aumenta la resistencia.

Tabla 15: Principales elementos de aleación del acero – **Fuente:** Propia

Al mismo tiempo, entre los elementos que se pueden incorporar al acero durante su fabricación encontramos también el vanadio, silicio, boro, cobre, tungsteno, cobalto, estaño, entre otros. Estos elementos de aleación son menos comunes, por lo que normalmente se suelen añadir en concentraciones reducidas. En la Tabla 16 se puede apreciar la concentración aproximada de algunos de estos elementos que puede contener el acero y los beneficios le aportan.

Elemento	Concentración (%)	Características
Vanadio (V)	0,08 – 1,00	- Aumenta la resistencia del acero.
Silicio (Si)	0,20 – 2,20	- Aumenta la resistencia del acero. - En altos porcentajes mejora las propiedades magnéticas del acero.
Boro (B)	0,001 – 0,006	- Endurece el acero.
Cobre (Cu)	0,10 – 0,40	- Aumenta la resistencia a la corrosión.
Tungsteno (W)	0,50 – 2,50	- Aumenta el punto de fusión del acero.
Cobalto (Co)	5 – 10	- A temperaturas elevadas aumenta la dureza y la resistencia. - Aumenta las propiedades magnéticas del acero. - Aumenta la resistencia a la oxidación y a la corrosión. - Incrementa la resistencia al desgaste. - Elemento poco habitual en la composición del acero. - Se utiliza principalmente en aceros para herramientas ya que aumenta sus propiedades de corte.
Estaño (Sn)	0,014 – 0,160	- Aumenta el punto de fusión del acero. - Aumenta la resistencia a la corrosión.

Tabla 16: Elementos de aleación del acero – Fuente: Propia

1.4.2 Clasificación del acero

En la actualidad, como se ha mencionado anteriormente, no existe una normativa internacional en la que se establezcan las propiedades que han de cumplir los fabricantes del acero ni tampoco existe un único modo de clasificación del acero. Por este motivo, las organizaciones de desarrollo de estándares tienen sus propias nomenclaturas con las que clasifican los aceros siguiendo sus propios criterios y determinan las características que éstos han de tener. Los métodos de clasificación más destacables son los que establecen la American Society for Testing and Materials (ASTM) y la American Iron and Steel Institute (AISI). En relación con esta última, cabe mencionar que la clasificación del acero que determina consiste en una ampliación de la establecida por el Society of Automotive Engineers (SAE). Por esta razón, estas dos nomenclaturas presentan diversas similitudes.

A continuación se expondrán las clasificaciones de los diversos tipos de aceros según los criterios establecidos por las organizaciones comentadas.

- **Clasificación según ASTM**

La American Society for Testing and Materials establece un conjunto de normas con las que determina las especificaciones que han de cumplir un gran conjunto de materiales, entre los cuales se encuentra el acero. Las relativas al acero son aquellas que se designan de la siguiente manera: ASTM A seguido por un conjunto arbitrario de números asignados de forma secuencial a la norma. Estos números son independientes a las características que presenta el acero.

En relación con el sector naval, tanto la clasificación del acero como las propiedades que éstos han de tener se especifican en la normativa ASTM A-131/A-131M denominada *Especificación Estándar para Acero Estructural de Barcos*. Ésta establece que el acero puede clasificarse en dos grupos en función de la resistencia que presenten. El primer grupo está configurado por aquellos aceros dulces que tienen un valor de resistencia normal y su límite de elasticidad mínimo es de 235 MPa. Al mismo tiempo, este conjunto de aceros, también denominados aceros ordinarios, se puede clasificar en cuatro grados distintos: A, B, D y E. El segundo grupo corresponde a aquellos aceros con una resistencia mayor, los cuales suelen presentar pequeñas concentraciones de elementos de aleación en su composición. Al igual que en el grupo anterior, éstos se pueden dividir en tres tipos en función del grado y del nivel de resistencia. El primer grupo está formado por los aceros: AH 32, DH 32, EH 32 y FH 32. El segundo grupo lo configuran los aceros: AH 36, DH 36, EH 36 y FH 36. El último grupo son los siguientes: AH 40, DH 40, EH 40 y FH 40.

Estos dos grupos de aceros también se diferencian entre sí por el punto de fluencia mínimo que han de tener según lo establecido por la normativa. En la Tabla 17 se puede apreciar el punto de fluencia mínimo que éstos deben cumplir.

Tipo de acero	Punto de fluencia mínimo
Aceros de resistencia ordinaria	235 MPa
Aceros de alta resistencia	315, 350 o 390 MPa

Tabla 17: Punto de fluencia mínimo de los aceros – **Fuente:** <https://www.astm.org/Standards/A131.htm>

Las especificaciones que se determinan en esta normativa se aplican a las planchas, barras, remaches y las demás formas que adoptan los diversos tipos de acero para la construcción naval. En ella, también se establecen los espesores máximos que éstos deben tener.

En la siguiente tabla se puede observar a modo de resumen la clasificación del acero según las especificaciones establecidas por esta organización.

Clasificación	Grados	Espesores máximos
Aceros de resistencia ordinaria	A, B, D y E	- Planchas: 100 mm - Formas y barras: 50 mm
Aceros de alta resistencia	- AH 32, DH 32, EH 32 y FH32. - AH 36, DH 36, EH 36 y FH 36. - AH 40, DH 40, EH 40 y FH 40.	- Planchas: 100 mm - Formas y barras: 50 mm

Tabla 18: Clasificación del acero establecida por la ASTM – **Fuente:** Propia

Al mismo tiempo, en la construcción naval también se utiliza un tipo de acero cuyas propiedades y clases quedan indicadas en la norma establecida por la ASTM denominada ASTM A-572/A-572M *Especificación Normalizada para Acero Estructural de Alta Resistencia de Baja Aleación de Columbio-Vanadio*. Estos aceros, tal y como indica el nombre de la normativa, presentan pequeñas cantidades de elementos de aleación en su composición, las cuales quedan determinadas en la Sección 5 de la normativa, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas

y otras como la resistencia a la corrosión. Concretamente, estos elementos adicionales permiten aumentar su resistencia y tenacidad.

Los aceros de alta resistencia que se utilizan con mayor frecuencia en la construcción naval son los siguientes: HY-80 (con una fluencia mínima de 80.000 psi, equivalente a 550 MPa) y HY-100 (con una fluencia mínima de 100.000 psi, 690 MPa). A continuación, en la Tabla 19 se muestran los límites de fluencia y resistencia que presentan estos materiales junto con la concentración de los elementos de aleación que éstos contienen.

Tipo de acero	Composición (%)	Límite de fluencia (min.)	Resistencia
HY-80	Carbono (0,12 – 0,18), Manganeso (0,10 – 0,40), Fósforo (0,015 – 0,025), Azufre (0,008 – 0,025), Silicio (0,15 – 0,38), Cromo (1,00 - 1,80), Níquel (2,00 – 3,50), Molibdeno (0,20 – 0,65), Titanio (0,02), Vanadio (0,03) y Cobre (0,25).	550 MPa	621 MPa
HY-100	Carbono (0,12 – 0,20), Manganeso (0,10 – 0,40), Fósforo (0,015 – 0,025), Azufre (0,008 – 0,025), Silicio (0,15 – 0,38), Cromo (1,00 - 1,80), Níquel (2,25 – 3,50), Molibdeno (0,20 – 0,65), Titanio (0,02), Vanadio (0,03) y Cobre (0,25).	690 MPa	759 MPa

Tabla 19: Composición y propiedades mecánicas de los aceros HY-80 y HY-100 – Fuente: Propia

- **Clasificación según AISI y SAE**

El acero también puede clasificarse siguiendo los criterios establecidos por el American Iron and Steel Institute (AISI). Esta clasificación y designación del acero es muy similar a la determinada por la Society of Automotive Engineers (SAE) debido a que esta última fue expandida por las

normas AISI. A diferencia de la nomenclatura establecida por la ASTM, éstas clasifican el acero en función de su composición química.

En estas nomenclaturas, los aceros son designados mediante cuatro números. El primero indica el tipo de acero o aleación. El segundo corresponde al porcentaje aproximado del elemento de aleación principal presente en la composición del acero. Los dos últimos dígitos indican el porcentaje de carbono presente en la aleación expresados en centenas de 1%. A su vez, en las especificaciones del sistema AISI también pueden incluir unos prefijos, sufijos o letras entre el segundo y tercer número que aportan información sobre la composición del acero, el proceso de fabricación de éste o información sobre la propia norma.

Los principales elementos de aleación que se incluyen durante el proceso de fabricación al acero y que se indican a través del primer número son los que se reflejan en la siguiente tabla.

Primer número de la designación	Elemento de aleación principal
1	Carbono (C)
2	Níquel (Ni)
3	Níquel (Ni) y Cromo (Cr) (el aleante principal es el Cromo)
4	Molibdeno (Mo)
5	Cromo (Cr)
6	Cromo (Cr) y Vanadio (V) (el aleante principal es el Cromo)
7	Tungsteno (W) y Cobalto (Co)
8	Níquel (Ni), Cromo (Cr) y Molibdeno (Mo) (el aleante principal es el Níquel)
9	Manganeso (Mn) y Silicio (Si)

Tabla 20: Principales elementos de aleación en las normas AISI y SAE – Fuente: Propia

1.4.3 Acero inoxidable

Es importante destacar que cuando el acero incorpora en su concentración grandes cantidades de cromo y níquel forman un tipo de acero denominado acero inoxidable. Esta clase de acero proporciona mejoras en las propiedades mecánicas del material, como un aumento de la resistencia, y también una resistencia a la corrosión elevada, resistencia a altas y bajas temperaturas, buena soldabilidad y corte, costes de mantenimiento reducidos, entre otras.

El acero inoxidable puede clasificarse en cuatro grupos dependiendo de los elementos que lo integran. En la siguiente tabla quedan reflejados los tipos de aceros inoxidables existentes y los porcentajes de los componentes principales que los integran, es decir, del carbono, cromo y níquel.

Tipo de Acero Inoxidable	Componentes (%)
Aceros inoxidables ferríticos	Carbono (0,08 – 0,20) y Cromo (12 – 27)
Aceros inoxidables martensíticos	Carbono (0,15 – 1,20) y Cromo (12 – 18)
Aceros inoxidables austeníticos	Carbono ($\leq 0,25$), Cromo (16 – 25) y Níquel (6 – 22)
Aceros inoxidables dúplex	Carbono ($\leq 0,03$), Cromo (20 – 30) y Níquel (5 – 8)

Tabla 21: Clasificación del acero inoxidable – Fuente: Propia

En la construcción naval, los aceros inoxidables que más se utilizan son los austeníticos y dúplex. En referencia al primer tipo de acero presenta en su composición grandes cantidades de cromo y de níquel que le dotan de una mayor resistencia a la corrosión y resistencia mecánica. Concretamente, el más empleado es el que está compuesto por un 18% de cromo y un 8% de níquel. Este grupo de aceros corresponden a la serie 300 del AISI (American Iron and Steel Institute), dentro de los cuales los que se utilizan con mayor frecuencia son los siguientes: 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Al mismo tiempo, debido a que sus propiedades no se ven afectadas cuando las temperaturas son bajas o elevadas, éstos son utilizados principalmente para la construcción de tanques de carga.

En relación con los aceros inoxidables dúplex, éstos proporcionan unas propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión, al desgaste y soldabilidad mejores que las correspondientes a las demás clases de aceros inoxidables. Este acero, además de presentar elevadas concentraciones de cromo y níquel en su composición, también presenta altos porcentajes de molibdeno (2,5 y 3,5%). Su aplicación en el sector naval radica principalmente en los tanques de carga de los buques quimiqueros y petroleros.

Concretamente, el acero inoxidable dúplex que más se utiliza en el mercado es el AISI 318LN. Éste contiene un porcentaje de carbono reducido ($\leq 0,03\%$) y también nitrógeno (0,10 – 0,22%).

En numerosas ocasiones, los aceros inoxidables dúplex reemplazan a los aceros inoxidables austeníticos ya que proporcionan mejores propiedades mecánicas utilizando espesores más reducidos. Por lo tanto, mediante el uso de este tipo de acero inoxidable se pueden construir tanques de carga con mejores propiedades y con una reducción del peso que puede oscilar entre un 10 y un 15%. Generalmente, los espesores estándar que se utilizan para planchas de acero inoxidable son aquellos que están comprendidos en el siguiente intervalo: 5,0 y 50,0 mm.

1.5 Aplicaciones del acero en la construcción naval

En el sector naval, la aplicación de los aceros clasificados por la ASTM consiste principalmente en la construcción de buques de gran tamaño. Debido a las ventajas que ofrece la utilización de este material, como por ejemplo la facilidad de fabricación, costes reducidos, entre otros, el acero es la mejor opción para la construcción de buques con esloras a partir de los 50 metros. Algunos ejemplos de tipos de buques construidos con casco de acero son los siguientes: petroleros, graneleros, portacontenedores, frigoríficos, transatlánticos, entre otros.



Figura 9: Buque portacontenedores de acero – **Fuente:**
<https://www.marinetraffic.com/es/ais/details/ships/220417000>

En relación con los aceros de alta resistencia, HY-80 y HY-100, la aplicación de éstos en el sector naval se centra principalmente en la construcción de submarinos, la mayoría de los cuales están destinados a fines militares, ya que son lo suficientemente resistentes como para soportar la presión que ejerce el agua sobre ellos a medida que aumenta la profundidad. Generalmente, las planchas fabricadas con estos aceros presentan los siguientes espesores máximos: 203 mm en el caso de los aceros de alta resistencia HY-80 y 152 mm en los HY-100.

Cabe mencionar también, que dentro de este conjunto de aceros existen otros tipos como los aceros HTS (los cuales tienen un límite de fluencia de 50.000 psi y fueron sustituidos tras la aparición del acero HY-80 en el año 1958) o los HY-130 (cuyo límite de fluencia es de 130.000 psi) que también se utilizan en la construcción naval pero con menor frecuencia.



Figura 10: Submarino de acero HY-100 – **Fuente:** <http://www.naval-technology.com/projects/seawolf/seawolf5.html>

En cuanto a los aceros clasificados de acuerdo con las nomenclaturas establecidas por la AISI y SAE que se utilizan en la construcción naval, un ejemplo es el AISI 1042/1045. Este tipo de acero está compuesto por una gran cantidad de carbono y manganeso, cuya composición se puede observar en la Tabla 22 de la siguiente página. Generalmente este acero se ofrece en forma de planchas y láminas, las cuales

presentan unos espesores que varían en función del fabricante. Algunos ofrecen productos con un espesor que oscila entre 6 y 80 mm, mientras que otros presentan unos intervalos más extensos, como por ejemplo de 2 a 600 mm.

Componentes	Porcentaje (%)
Carbono (C)	0,42 – 0,50
Manganeso (Mn)	0,50 – 0,80
Fósforo (P)	0,025
Azufre (S)	0,025
Silicio (Si)	0,15 – 0,35
Cromo (Cr)	0,20 – 0,40
Hierro (Fe)	Resto

Tabla 22: Composición del acero AISI 1042/1045 – Fuente: Propia

Sin embargo, cabe destacar que los principales aceros designados por la AISI y SAE utilizados en la construcción naval son los aceros inoxidables, los cuales han sido expuestos anteriormente.

Capítulo 2. Características generales del aluminio

El aluminio es el segundo material más utilizado en la construcción naval. Este hecho se debe en gran medida a la óptima relación entre resistencia y peso, a sus propiedades mecánicas, la vida útil que ofrece este material, su mantenimiento y coste, entre otros. El aluminio se empezó a utilizar en este campo hacia finales del siglo XX y, en numerosas ocasiones, se encuentra aleado con otros elementos que permiten incrementar aún más sus características. De esta manera, el aluminio pasa a ser la mejor opción para la construcción de determinados buques.

2.1 Proceso de obtención

El aluminio es el tercer elemento que se encuentra con mayor frecuencia en la corteza terrestre (aproximadamente un 8%) tras el oxígeno (46,6%) y el silicio (27,7%). A pesar de estar en gran abundancia en la superficie, no fue hasta el año 1808 cuando fue descubierto por el británico Humphry Davy. A partir de ese momento, este material, al igual que la industria que se dedica a su fabricación, ha experimentado un gran avance.

En el inicio del siglo XIX, concretamente en el año 1825, Hans Christian Ørsted, físico danés descubridor del electromagnetismo, consiguió obtener aluminio a partir de una reacción entre cloruro de aluminio (AlCl_3) y una aleación de mercurio con potasio. Mediante esta reacción, se logró aislar unas primeras muestras de aluminio, las cuales resultaban ser bastante impuras. En el año 1845 Friedrich Wöhler obtuvo el aislamiento total del aluminio.

Años más tarde, Henri Deville mejoró el método propuesto por Wöhler desarrollando así un método de producción comercial para la obtención de aluminio fundamentándose en el procedimiento establecido por Ørsted. Como consecuencia de los elevados costes que suponía la fabricación de aluminio, este elemento pasó a tener un valor bastante elevado lo que provocó que no se usara en un largo periodo de tiempo.

No fue hasta finales del siglo XIX cuando la industria del aluminio experimentó una creciente producción y, por consiguiente, un mayor uso de este material para diversas aplicaciones. El francés Paul Héroult y

el americano Charles Hall desarrollaron de manera independiente un método con el que se obtenía aluminio por electrólisis de alúmina, también denominada óxido de aluminio (Al_2O_3). Este método recibe el nombre de Proceso Hall-Hérout.

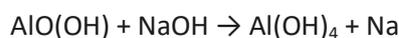
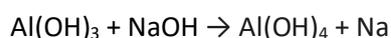
Posteriormente, en el año 1887 surgió otro método de producción de aluminio a manos del químico austríaco Karl Bayer. Este nuevo procedimiento, denominado Proceso Bayer, permitía la obtención a gran escala de alúmina a partir de bauxita (roca cuya composición es variable y está formada principalmente por óxidos de aluminio hidratados, óxidos de hierro hidratados, hidróxidos de aluminio, minerales arcillosos y otros materiales insolubles). Este proceso, junto con el Proceso Hall-Hérout, son los que más se utilizan en la actualidad.

A continuación se explicarán de manera general en qué consisten estos dos procedimientos de obtención de aluminio.

- **Proceso de Bayer**

Este método consiste en la purificación de la bauxita para obtener alúmina. Este proceso constituye la primera fase para la obtención de aluminio y parte de la extracción y purificación de la bauxita. Esta roca contiene entre un 30% y un 54% de aluminio y otros elementos como el silicio, óxidos de hierro y dióxido de titanio. El aluminio, puede estar presente en la bauxita de diversas formas como hidróxidos de aluminio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) o mezclas de hidróxidos y óxidos ($\text{AlO}(\text{OH})$).

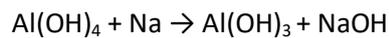
El primer paso de este método consiste en la desecación y posterior trituración de la bauxita para obtener un polvo fino. Este polvo se mezcla con sosa cáustica líquida, también conocida como hidróxido de sodio (NaOH), y se calienta a una temperatura que oscila entre 150°C y 240°C y a baja presión. De esta manera, los minerales de aluminio presentes en ésta se disuelven en el hidróxido de sodio y los demás materiales que la contienen siguen en estado sólido. Las reacciones químicas que se producen durante esta fase, dependiendo de la forma en la que esté presente el aluminio, son las siguientes:



El segundo paso se basa en retirar de la disolución las impurezas que se han mantenido en estado sólido y que no se han disuelto. Este paso se lleva a cabo principalmente mediante un

decantador y unos filtros que permiten retener esos restos sólidos, los cuales reciben el nombre de lodo rojo. Estos materiales son tratados posteriormente para recuperar el hidróxido de sodio que no ha reaccionado y que puede ser utilizado de nuevo.

En el tercer paso, tiene lugar la precipitación del hidróxido de aluminio de la solución de $\text{Al}(\text{OH})_4$ libre de impurezas. Durante este proceso se incorporan a la disolución partículas de hidróxido de aluminio para favorecer la cristalización.



Finalmente, el último paso de este proceso consiste en calentar el hidróxido de aluminio obtenido ($\text{Al}(\text{OH})_3$) a altas temperaturas, aproximadamente 1050°C . Este proceso se denomina calcinación y permite convertir el hidróxido de aluminio en alúmina (Al_2O_3) a la vez que se libera vapor de agua.



De este modo, la alúmina será utilizada posteriormente para la obtención de aluminio mediante electrólisis (Proceso Hall-Héroult).

- **Proceso Hall-Héroult**

El proceso Hall-Héroult se basa en la electrólisis de la alúmina con la finalidad de obtener aluminio puro. Este método parte de la alúmina que se ha obtenido a través del Proceso Bayer.

La electrólisis se lleva a cabo en unas células electrolíticas debidamente revestidas ya que la temperatura que se alcanza durante este proceso es elevada. Por esta razón, para que se produzca el movimiento de iones a los electrodos correspondientes, es necesario que la alúmina esté fundida. Debido a ello y al elevado punto de fusión que presenta la alúmina (superior a 1500°C), ésta se mezcla con criolita (Na_3AlF_6) que actúa como fundente. Así, se consigue reducir la temperatura de fusión que alcanza unos valores que oscilan entre 950°C y 1000°C .

Este proceso consiste en dividir la alúmina en aluminio y oxígeno aplicando corriente eléctrica continua en la célula electrolítica con la mezcla de alúmina y criolita. Mediante la corriente eléctrica que se suministra a la célula se produce la electrólisis, de manera que el aluminio se deposita en el electrodo negativo (cátodo) constituido por el fondo de la célula (revestimiento) y el oxígeno se acumula en el electrodo positivo de carbono (ánodo). A causa de la gran actividad que tiene el oxígeno, éste reacciona con el carbono del ánodo generando dióxido y monóxido de carbono (este último en cantidades inferiores). Esto provoca un gran deterioro en la parte del ánodo que está sumergida en la mezcla de alúmina y criolita. Por este motivo, el ánodo ha de ser repuesto periódicamente.

El aluminio depositado en el cátodo se extrae periódicamente y presenta una pureza comprendida entre un 99,5% y un 99,8%. En la mayoría de ocasiones, a este metal puro se le incorporan pequeñas cantidades de otros metales que le permiten mejorar sus cualidades. Posteriormente, el aluminio obtenido es utilizado para la fabricación de lingotes para fundición o planchas de laminación entre otros, que constituyen el material a partir del cual se producen los productos acabados para el mercado. El aluminio es un material que puede ser reciclado y disponer de una pureza elevada, por lo que este metal tiene una vida útil prácticamente indefinida y los costes asociados a su refinado corresponden a un 5% del coste energético que se necesitaría para fabricar aluminio a partir de bauxita.

Este Proceso Hall-Héroult requiere un elevado consumo eléctrico que obliga a las fábricas de producción de este material a estar situadas en lugares donde la electricidad resulte económica. A su vez, la mayoría de estas están en funcionamiento las 24 horas del día para evitar que la alúmina fundida pase a estado sólido.

En la imagen que se muestra en la página siguiente se puede apreciar un esquema del proceso de obtención del aluminio. El siguiente esquema explica por una parte el Proceso Bayer, que comprende desde la extracción y purificación de la bauxita hasta la obtención de la alúmina y el Proceso Hall-Héroult, que consiste en la obtención de aluminio a partir de la electrólisis de la alúmina.

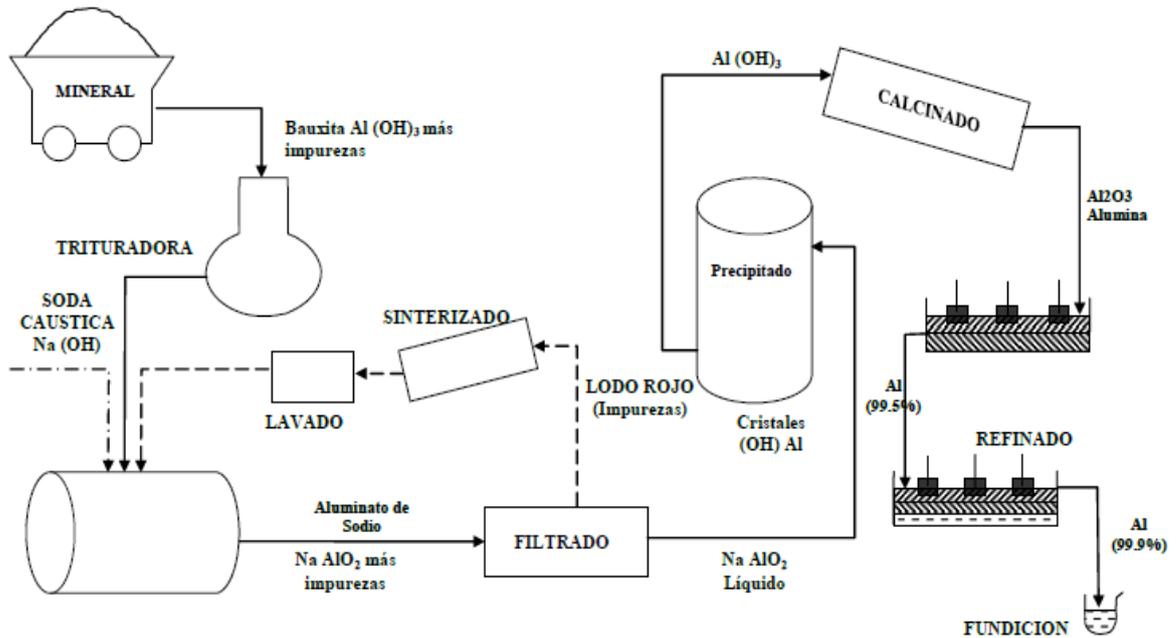


Figura 11: Proceso de obtención del aluminio – **Fuente:** Jara Calderón, W. Apuntes de Materiales en Medios Marinos. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral; Facultad Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, 2006.

2.2 Propiedades

El aluminio es un metal que presenta numerosas propiedades. Éstas pueden ser modificadas por la adición de elementos a su composición durante el proceso de fabricación de aluminio y así obtener un aluminio cuyas propiedades son mejores a las que presenta el aluminio en estado puro. Sin embargo, hay que tener en cuenta el tratamiento térmico que se aplica a las aleaciones de aluminio, ya que dependiendo del tipo de aleación, al aplicarles un tratamiento térmico puede aumentar o disminuir sus propiedades.

En los siguientes subapartados se mencionaran las principales propiedades mecánicas y físico-químicas que presenta este tipo de material.

2.2.1 Propiedades mecánicas

Las principales propiedades mecánicas del aluminio son las que se exponen seguidamente.

- **Resistencia**

El aluminio cuando se encuentra en estado puro, es decir, sin ningún tipo de elemento de aleación, presenta una resistencia mecánica baja. Sin embargo, cuando se incorporan otros

elementos a su composición, la resistencia del aluminio aumenta. En la Tabla 23 se pueden apreciar algunos ejemplos de valores de resistencia que puede alcanzar el aluminio.

Tipo de Aluminio	Valor de Resistencia
Aluminio puro	10 MPa
Aleaciones de aluminio	Variable
Por ejemplo:	
- Con cobre	- 442 MPa
- Con magnesio y silicio	- 290 MPa
- Con zinc	- 504 MPa

Tabla 23: Resistencia del aluminio – Fuente: Propia

Hay que tener en cuenta que la resistencia del aluminio puede verse afectada por la temperatura, ya que cuando ésta se encuentra entre 150°C y 180°C desciende.

- **Límite de fluencia**

El límite de fluencia que dispone el aluminio, al igual que la resistencia mecánica, varía en función de la composición que presenta este metal y del tratamiento térmico que se le aplica durante el proceso de conformación. Por este motivo, el límite de fluencia que presenta un aluminio con una pureza elevada (aproximadamente de un 99%) tiene unos valores muy dispares a los que posee cuando éste se encuentra aleado. Y a su vez, éstos pueden cambiar para una misma aleación según el tratamiento térmico aplicado.

- **Límite elástico o de elasticidad**

El límite elástico o de elasticidad que tiene el aluminio varía en función de si éste se encuentra en estado puro o aleado con otro elemento y del tratamiento aplicado. En la tabla mostrada en la página siguiente, se pueden apreciar los valores aproximados del límite elástico que posee el aluminio.

Tipo de Aluminio	Valor de Límite de Elasticidad
Aluminio puro (99% aprox.)	70 MPa
Aleaciones de aluminio	Variable
Por ejemplo:	
- Con cobre	- 96 - 280 MPa
- Con magnesio y silicio	- 55 - 241 MPa

Tabla 24: Límite elástico del aluminio – Fuente: Propia

- **Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad del aluminio es inferior al del acero y tiene un valor de 66,6 GPa. Cuando el aluminio está aleado, el módulo de elasticidad puede alcanzar un valor de 70 GPa.

- **Coefficiente de Poisson**

El aluminio presenta un coeficiente de Poisson que varía ligeramente cuando se encuentra aleado.

Tipo de Aluminio	Valor de coeficiente de Poisson
Aluminio puro	0,35
Aleaciones de aluminio	0,33

Tabla 25: Coeficiente de Poisson – Fuente: Propia

- **Ductilidad**

El aluminio es un metal que es capaz de deformarse en frío sin romperse cuando está sometido a unos esfuerzos, es decir, presenta una elevada ductilidad. El grado de ductilidad del aluminio puede variar en función de su composición.

- **Tenacidad**

La tenacidad que presenta el aluminio es elevada. A pesar de ello, ésta puede verse reducida por efecto de la corrosión que este material puede sufrir.

- **Dureza**

Este material cuando se encuentra en estado puro posee una dureza inferior a la que presentan otros materiales. Por este motivo, a través de la incorporación de elementos de aleación se consigue incrementar su valor.

En la siguiente tabla se indican los valores aproximados que puede presentar el aluminio cuando se encuentra en estado puro o en combinación con elementos de aleación.

Tipo de Aluminio	Dureza
Aluminio puro	21 – 45 HB
Aleaciones de aluminio	45 – 140 HB

Tabla 26: Dureza del aluminio – Fuente: Propia

- **Maleabilidad**

La maleabilidad que posee este metal es elevada. Esta propiedad permite que el aluminio sea apto para la producción de láminas con reducidos espesores, cables eléctricos, para la extrusión (proceso de prensado que se utiliza para dar al metal una forma deseada, mediante un empuje o presión, los cuales hacen pasar el metal por un molde), entre otros.

2.2.2 Propiedades físico-químicas

Las principales propiedades físico-químicas del aluminio son las que se mencionan a continuación.

- **Densidad**

La densidad del aluminio es de 2700 Kg/m^3 y constituye una tercera parte de la correspondiente al acero. Al tener una densidad baja, hace que el aluminio sea un metal ligero pero esta propiedad no afecta a la resistencia que éste ofrece.

- **Peso específico**

El aluminio es un material que tiene un peso relativamente bajo en comparación con otros materiales como el acero. El valor del peso específico que presenta el aluminio es el siguiente:

$$\text{Peso específico} = \text{densidad} \times \text{gravedad}$$

$$\text{Peso específico del aluminio} = 2700 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Peso específico del aluminio} = 26.460 \text{ N/m}^3$$

Esta propiedad constituye una de las principales ventajas que ofrece este metal. Por esta razón, se considera la mejor opción para diversas aplicaciones, entre ellas la construcción naval.

- **Punto de fusión**

Este material presenta un punto de fusión relativamente bajo cuyo valor corresponde a 660°C. Esta propiedad constituye una de las principales desventajas que presenta este metal, ya que en el caso de que se trabaje con temperaturas elevadas, hay que prestar especial atención a que no aparezcan deformaciones en él o bien que no se reblandezca ni se funda.

- **Conductividad térmica**

El aluminio es un material caracterizado por una excelente conductividad térmica, ya que presenta una alta capacidad de conducción del calor a través sí mismo. Su conductividad puede oscilar entre 80 y 230 W/m·K. Este valor es cuatro veces más elevado que la conductividad que tiene el acero.

- **Expansión térmica**

La expansión térmica del aluminio tiene un valor de $23,8 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Este coeficiente de dilatación del aluminio es también superior al que tiene el acero.

- **Soldabilidad**

El aluminio es un material que es fácil de soldar pero, en comparación con otros materiales como el acero, presenta una mayor cantidad de problemas. Por este motivo, este metal ha de ser soldado por personas con los conocimientos adecuados y se ha de realizar en lugares donde se disponga de las instalaciones adecuadas. De lo contrario, en el aluminio se pueden formar fácilmente grietas.

- **Resistencia al fuego**

Esta propiedad es una de las principales desventajas que presenta el aluminio. Cuando éste está expuesto a altas temperaturas puede sufrir modificaciones. Es decir, su resistencia, límite elástico y dureza se ven afectadas (cuando se eleva la temperatura, estas propiedades del aluminio descienden) a la vez que también pueden aparecer deformaciones en el producto. En caso de que el aluminio se encuentre aleado con magnesio, éste puede arder.

En la siguiente tabla quedan reflejadas las propiedades, tanto mecánicas como físico-químicas, que posee el aluminio.

Propiedades mecánicas	
Resistencia	- Aluminio puro: 10 MPa. - Aleaciones de aluminio: Variable.
Límite de fluencia	Variable
Límite elástico o de elasticidad	- Aluminio puro: 70 MPa. - Aleaciones de aluminio: Variable.
Módulo de elasticidad	- Aluminio puro: 66,6 GPa. - Aleaciones de aluminio: 70 GPa.
Coeficiente de Poisson	- Aluminio puro: 0,35. - Aleaciones de aluminio: 0,33.
Ductilidad	Elevada
Tenacidad	Elevada
Dureza	- Aluminio puro: 21 – 45 HB. - Aleaciones de aluminio: 45 – 140 HB.
Maleabilidad	Elevada
Propiedades físico-químicas	
Densidad	2700 Kg/m ³

Peso específico	26.460 N/m ³
Punto de fusión	660°C
Conductividad térmica	80 – 230 W/m·K
Expansión térmica	23,8 · 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Soldabilidad	- Fácil de soldar. - Puede producirse la aparición de grietas.
Resistencia al fuego	Baja

Tabla 27: Propiedades del aluminio – **Fuente:** Propia

2.3 Principales desventajas del aluminio

El aluminio, al igual que el acero, también presenta un conjunto de desventajas relacionadas principalmente con la corrosión y con los costes de reparación y de mantenimiento. A continuación se expondrán más detalladamente estos inconvenientes relativos al aluminio.

2.3.1 La corrosión

El aluminio es un metal que posee una buena resistencia a la corrosión originada por el oxígeno. Este hecho se debe a que sobre éste se forma una fina capa protectora de óxido de aluminio (Al₂O₃) cuando el metal entra en contacto con el oxígeno. De esta manera, el aluminio (tanto si se encuentra en forma de metal puro o de aleaciones) se encuentra protegido del medio ambiente.

Sin embargo, existe otro tipo de corrosión, la cual se denomina corrosión electrolítica, que afecta en gran medida al aluminio. Esta corrosión se produce cuando este metal está en contacto con otro metal diferente en un medio húmedo o en un electrolito (por ejemplo, el agua del mar) y entre estos metales circula corriente eléctrica. Este hecho provoca que uno de ellos se corra, es decir, que experimente un desgaste.



Figura 12: Buque de aluminio afectado por la corrosión – **Fuente:**

http://www.fondear.org/infonautic/barco/Diseno_Construccion/Aluminio_Veleros/Aluminio_Veleros.htm

Por este motivo, es necesaria una protección catódica ya que con ésta se garantiza que el aluminio no experimente este tipo de corrosión. La protección se lleva a cabo mediante la utilización de una pintura adecuada y/o unos ánodos de sacrificio. En el caso del aluminio, en la mayoría de ocasiones se utilizan ánodos de zinc y magnesio debido a que éstos, al ser más electropositivos que el aluminio (tienen la tendencia de ceder electrones), se van desgastando y lo protegen. Los ánodos de sacrificio están situados cerca del material que se quiere proteger. Este tipo de corrosión exige una vigilancia periódica para garantizar el buen estado del aluminio.

2.3.2 Costes de reparación y mantenimiento

Por otro lado, el aluminio es también un material en el que aparecen grietas cuando se somete a elevadas fatigas. Estas grietas aparecen especialmente en aquellas zonas que se encuentran más afectadas por la acción de esfuerzos cíclicos repetidos. Este factor, junto con otros, provoca que el aluminio presente un elevado coste de reparación, ya que es un tipo de metal que presenta diversos problemas cuando ha de ser reparado. Al mismo tiempo, exige un mantenimiento que se ha de llevar a cabo periódicamente con la finalidad de no perder sus propiedades.

2.4 Aleaciones y clasificación del aluminio

Dado que el aluminio es un metal que presenta una resistencia mecánica y dureza bajas, en la mayoría de ocasiones se le incorporan unos elementos que permiten mejorarlas. De esta manera, obtenemos aleaciones de aluminio cuyas propiedades son incrementadas. Los principales elementos de aleación son los siguientes: magnesio, manganeso, silicio, zinc y cobre. También pueden incorporarse otros elementos como el titanio, cobalto, níquel, cromo o hierro.

Estas aleaciones pueden ser clasificadas de varias maneras según los estándares definidos por diversas organizaciones de estandarización. Como por ejemplo, la americana Aluminum Association (AA), las normativas británicas, normativas DIN (German Institute for Standardization), las establecidas por la Organización Internacional de Normalización (ISO), entre otras. Al mismo tiempo, estas normativas distinguen dos tipos de aleaciones de aluminio en función de si se tratan de aleaciones de forjado o de fundición.

En la Tabla 28 se muestra la clasificación de las aleaciones de aluminio forjado de acuerdo con el Sistema Internacional de Designación de Aleaciones ya que ésta es la que se utiliza con mayor frecuencia.

Serie	Designación	Aleante Principal	Características
1000	1XXX*	Es aluminio puro (99,9%)	<ul style="list-style-type: none"> • Impurezas: hierro y silicio. • Suele incorporarse un 0,1% de cobre para aumentar su resistencia. • Alta resistencia a la corrosión, conductividad térmica y eléctrica y una buena maleabilidad. • Ejemplos: 1100, 1200 y 1350.
2000	2XXX*	Cobre (Cu)	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica elevada, pero se reduce su resistencia a la corrosión. • Contiene magnesio en cantidades inferiores. • Ejemplos: 2011, 2014 y 2024.

3000	3XXX*	Manganeso (Mn)	<ul style="list-style-type: none"> • Contiene un 1,2% de cobre. • Se utiliza para reforzar el aluminio • Presenta una resistencia mecánica moderada. • Tiene una resistencia a la corrosión alta. • Disponen de una buena maleabilidad. • Ejemplos: 3003, 3004 y 3105.
4000	4XXX*	Silicio (Si)	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de fusión bajo sin que éste pase a ser frágil. • Son resistentes al calor. • Ejemplo: 4043.
5000	5XXX*	Magnesio (Mg)	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración entre 2 y 5%. • Resistencia mecánica entre moderada y alta. • Son fáciles de soldar. • Elevada resistencia a la corrosión que le hace adecuada para ser utilizada en entornos marinos. • Ejemplos: 5083, 5086 y 5754.
6000	6XXX	Silicio y Magnesio	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica y resistencia a la corrosión moderadas. • Fácil de soldar. • Ejemplos: 6061, 6082 y 6106.
7000	7XXX*	Zinc (Zn)	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil de soldar. • Resistencia mecánica elevada. • Ejemplos: 7010, 7020 y 7075.
8000	8XXX*	Otros elementos	-

Tabla 28: Clasificación del aluminio – Fuente: Propia

* El primer número indica el elemento principal de la aleación y los tres restantes son los que especifican la aleación en su correspondiente serie.

Las aleaciones del aluminio se suelen agrupar al mismo tiempo en dos grupos en función del tratamiento que se les puede suministrar. Los tratamientos aplicados tienen una repercusión en las propiedades que éstas presentan ya que mediante éstos se pueden modificar (mejorar o no) algunas de sus propiedades.

Las aleaciones de aluminio quedan agrupadas de la siguiente manera:

Tipo de aleación	Series
Aleaciones no tratables con calor	1000, 3000, 4000 y 5000
Aleaciones tratadas térmicamente con calor	2000, 6000, 7000 y 8000

Tabla 29: Clasificación del aluminio según el tipo de tratamiento aplicado – **Fuente:** Propia

En el primer grupo, mediante un endurecimiento por acritud (endurecimiento que se obtiene a través de una deformación plástica en frío) se consigue mejorar las propiedades mecánicas y dureza del aluminio. Sin embargo, su capacidad de maleabilidad y deformación se ven reducidas. El segundo grupo, lo configuran aquellas aleaciones de aluminio que pueden incrementar sus propiedades mecánicas por medio de tratamientos térmicos con calor.

2.5 Aplicaciones del aluminio en la construcción naval

La industria del aluminio experimentó durante el siglo XX un gran avance en los procesos de producción, una constante búsqueda de mejoras en el desarrollo de éste, entre otros. Estos factores permitieron su utilización e incorporación en una gran diversidad de ámbitos. Su aplicación también se debe a las propiedades que presenta, como por ejemplo su resistencia, conductividad térmica y eléctrica, peso, maleabilidad, entre otras. Los diferentes usos que puede experimentar este metal dependen en gran medida del elemento principal de la aleación. A causa de que en función de éste, el producto final tendrá unas determinadas propiedades.

El uso de este material en la construcción naval ha ido incrementando gradualmente con el paso del tiempo como consecuencia de los numerosos beneficios que éste aporta. Entre ellos se encuentran su ligereza, resistencia, densidad reducida, elevada ductilidad, entre otros. Todos ellos permiten construir barcos y embarcaciones con la capacidad de alcanzar velocidades elevadas, con una larga vida útil, ligeras y con la capacidad de ser fácilmente recicladas. Como consecuencia de estos beneficios, el aluminio ha pasado a ser el segundo material más utilizado en la construcción naval, tanto en buques militares como civiles, y ha restituido al acero en determinados tipos de buques.

Este metal se utiliza con mayor frecuencia en embarcaciones pequeñas como pesqueros, yates de recreo, pequeños buques de pasajeros, ferris de alta velocidad, hidrodesslizadores, botes salvavidas y barcos militares de alta velocidad. Sin embargo, en aquellas embarcaciones cuyas esloras sean iguales o superiores a 50 metros, el acero tiene ventaja sobre el aluminio.



Figura 13: Velero de aluminio – **Fuente:**

http://www.fondear.org/infonautic/barco/Diseno_Construccion/Aluminio_Veleros/Aluminio_Veleros.htm

En la imagen de la siguiente página se puede apreciar otro ejemplo de un casco de una embarcación construida con este material. Concretamente, ésta corresponde a la parte interior del casco de una embarcación de Salvamento Marítimo.



Figura 14: Casco de aluminio de una embarcación de Salvamento Marítimo – **Fuente:** Propia

Para construir estos barcos, las aleaciones de aluminio más adecuadas son las que están integradas en la serie 5000. Entre ellas encontramos distintos tipos en función de su composición, con el magnesio como elemento de aleación principal. Las que se utilizan con mayor frecuencia son las siguientes: 5059, 5083, 5086, 5383, 5454, 5456 y 5754. En algunas ocasiones, también se usa alguna aleación de la serie 6000, como la aleación 6082. Estas aleaciones, generalmente se encuentran en forma de láminas, planchas o barras. En la siguiente tabla quedan reflejados algunos ejemplos de estas aleaciones y sus usos en la construcción naval.

Tipo de Aleación de Aluminio	Componentes (%)	Usos
5086	Silicio (0,40), Hierro (0,50), Cobre (0,10), Manganeso (0,20 – 0,70), Magnesio (3,40 – 4,50), Zinc (0,25), Titanio (0,15), Cromo (0,05 – 0,25), Otros (0,15) y Aluminio (resto).	Cascos, cubiertas, mamparos y cuadernas maestras.

5454	Silicio (0,25), Hierro (0,40), Cobre (0,10), Manganeso (0,50 – 1,0), Magnesio (2,40 – 3,60), Zinc (0,25), Titanio (0,20), Cromo (0,05 – 0,20), Otros (0,15) y Aluminio (resto).	Cascos pequeños y pasamanos.
5456	Silicio (0,25), Hierro (0,40), Cobre (0,10), Manganeso (0,50 - 1,00), Magnesio (4,70 – 5,50), Cromo (0,05 – 0,20), Zinc (0,25), Titanio (0,20), Otros (0,15) y Aluminio (resto).	Cascos.
6082	Silicio (0,70 - 1,30), Hierro (0,50), Cobre (0,10), Manganeso (0,40 - 1,00), Magnesio (0,60 - 1,20), Cromo (0,25), Zinc (0,20), Titanio (0,10), Otros (0,10) y Aluminio (resto).	Cascos, superestructuras, mástiles y timones, etc.

Tabla 30: Ejemplos de usos de las aleaciones de aluminio en la construcción naval – **Fuente:** Propia

Este material, además de utilizarse para la construcción de cascos, superestructuras, entre otros, también se utiliza para formar tanques esféricos en buques de gas natural licuado (GNL). El uso de este material en la construcción de tanques de este tipo se debe a que el aluminio es un material muy resistente a bajas temperaturas, de modo que permite transportar en el interior de éstos cargas a temperaturas reducidas, hasta -200°C . En el caso del gas natural licuado, éste ha de ser transportado a una temperatura correspondiente a -160°C . Inicialmente, los tanques de aluminio que se utilizaron en los primeros buques eran tanques prismáticos que disponían de una capacidad de 5.000 m^3 . Actualmente, este tipo de buques, cuya capacidad puede llegar a alcanzar unos valores de 265.000 m^3 , se caracterizan por el hecho de que la carga está distribuida en un conjunto de tanques esféricos de aluminio aislados por una capa de PVC, poliuretano o fibra de vidrio. Este tipo de tanques son independientes al buque, de manera que se apoyan sobre unos soportes cilíndricos de acero inoxidable que se une tanto al tanque como al casco del buque.

Capítulo 3. Requerimientos de las Sociedades de Clasificación para la construcción con acero y aluminio

En el sector de la construcción naval, las Sociedades de Clasificación son unas organizaciones no gubernamentales que establecen unas normativas en las que se detallan las especificaciones que han de cumplir los materiales utilizados para la construcción de los cascos, maquinaria y equipos de los buques con la finalidad de garantizar la seguridad de las personas y de los bienes (buques) y proteger el medio marino.

En la actualidad existen un gran número de Sociedades de Clasificación, las cuales establecen su propia clasificación, identificación y especificaciones técnicas relacionadas con el acero, aluminio y demás materiales. Las principales Sociedades de Clasificación son: Lloyd's Register of Shipping (LR), Det Norske Veritas AS (DNV), American Bureau of Shipping (ABS), Bureau Veritas (BV), Germanischer Lloyd (GL), Registro Italiano Navale (RINA) y Russian Maritime Register of Shipping (RS). Otras Sociedades de Clasificación que también son conocidas a nivel mundial pero en menor grado son las siguientes: China Classification Society (CCS), Croatian Register of Shipping (CRS), Nippon Kaiji Kyokai (NK), Polish Register of Shipping (PRS), Indian Register of Shipping (IRS) y Korean Register of Shipping (KRS).

El cumplimiento de las especificaciones técnicas que establecen estas organizaciones, la navegabilidad del buque y su buen estado son comprobados regularmente a través de unas inspecciones con las que se obtienen los certificados de clase. Estas inspecciones son realizadas por inspectores de la Sociedad de Clasificación encargada y se realizan periódicamente cada cinco años. En concreto, durante este intervalo se llevan a cabo tres inspecciones, las cuales se dividen en: inspecciones anuales, intermedias (en un plazo de tres años) e inspección especial o de renovación de la clase al finalizar este periodo de tiempo. Las exigencias y el alcance de las inspecciones son distintas entre ellas y generalmente incrementan a medida que envejece el buque.

En la construcción de buques con acero y aluminio, las normativas dictaminadas por las Sociedades de Clasificación contienen generalmente información sobre las características técnicas del material (propiedades mecánicas, físico-químicas, entre otras), el escantillón que éste debe tener en el casco del

buque, los requisitos generales que se deben tener en cuenta durante los procesos de soldadura del material, los requisitos que han de cumplir los elementos especiales del casco del buque, la documentación necesaria que se ha de tener, entre otros. De este modo, se verifica que el buque está diseñado, construido, equipado y mantenido de acuerdo con las reglas que establece la Sociedad de Clasificación encargada.

En la mayoría de ocasiones, las Sociedades de Clasificación, además de las especificaciones técnicas que han de presentar los materiales con los que se construyen los buques, determinan el tipo específico de material que se ha de utilizar para cada tipo de buque. Asimismo, algunas de las reglas emitidas por las Sociedades de Clasificación, también indican las características específicas que deben tener los materiales dependiendo de la zona concreta en la que éstos se situarán en el buque.

A continuación se expondrán a modo de ejemplo algunas de las características que han de cumplir tanto el acero como el aluminio en función de lo establecido por la Sociedad de Clasificación noruega Det Norske Veritas AS. Cabe indicar que a partir del año 2013, esta organización y la alemana Germanischer Lloyd están unidas e integran el DNV GL Group. A pesar de ello, cada una dispone de sus propias normativas en las que establecen los requisitos que deben cumplir los buques. Por este motivo, seguidamente se mencionarán algunos de los requisitos que el acero y el aluminio han de presentar de acuerdo con la normativa dictaminada por la Det Norske Veritas AS.

3.1 Acero

Tal y como se ha comentado, cada organización tiene sus propios estándares y métodos de clasificación, la mayoría de los cuales son muy parecidos entre sí. De este modo, el acero que se utiliza para la construcción naval ha de cumplir los requisitos establecidos por la Sociedad de Clasificación encargada del buque, la cual realiza las inspecciones pertinentes para garantizar su cumplimiento.

En la tabla que se muestra en la página siguiente se indican los grados en los que este material queda clasificado en función de los estándares establecidos por las principales Sociedades de Clasificación mencionadas. En ésta también se muestran los correspondientes a la nomenclatura establecida por la American Society for Testing and Materials.

Lloyd's Register	Det Norske Veritas	Germanischer Lloyd	Bureau Veritas	American Bureau of Shipping	RINA	Russian Maritime	ASTM A131
A	NV A	GLA	A	A	A	A	A
B	NV B	GL-B	B	B	B	B	B
D	NV D	GL-D	D	D	D	D	D
E	NV E	GL-E	E	E	E	E	E
							CS
AH 27 S							
DH 27 S							
EH 27 S							
AH 32	NV A32	GLA 32	AH 32	AH 32	AH 32	A 32	AH32
DH 32	NV D32	GL-D 32	DH 32	DH 32	DH 32	D 32	DH32
EH 32	NV E32	GL-E 32	EH 32	EH 32	EH 32	E 32	EH32
AH 36	NV A36	GLA 36	AH 36	AH 36	AH 36	A 36	AH36
DH 36	NV D36	GL-D 36	DH 36	DH 36	DH 36	D 36	DH36
EH 36	NV E36	GL-E 36	EH 36	EH 36	EH 36	E 36	EH36
AH 40	NV A40	GLA 40	AH 40	AH40	AH 40	A 40	AH40
DH 40	NV D40	GL-D 40	DH 40	DH40	DH 40	D 40	DH40
EH 40	NV E40	GL-E 40	EH 40	EH40	EH 40	E 40	EH40
	NV A420						
	NV D420						
	NV E420						
	NV 2-4						
	NV 4-4						

Tabla 31: Clasificación del acero establecida por las Sociedades de Clasificación – **Fuente:** Duferco Clabecq S.A.

Al mismo tiempo, cada una de estas organizaciones establece sus propias especificaciones que regulan los aspectos técnicos relativos al acero utilizado en la construcción naval, como por ejemplo: el espesor, los límites elásticos y de fluencia, la resistencia, entre otras propiedades. Algunas de las características que deben tener las planchas de acero según los requisitos indicados por las principales Sociedades de Clasificación son las que quedan reflejadas en la Tabla 32.

STANDARD	GRADE	PLATE THICKNESS (MM)	PLATE WIDTH
LR NV BV	Grade A, B, D, E	3 - 120	- thickness ≤ 25,40 mm (1"): depends on steel grade and thickness (max. 2730 mm) - thickness >25,40 mm (1"): max. 2750 mm
	Grade A(H)32, D(H)32, E(H)32		
	Grade A(H)36, D(H)36, E(H)36		
ABS GL	Grade A, B, D, E	3 - 100	
	Grade A(H)32, D(H)32, E(H)32		
	Grade A(H)36, D(H)36, E(H)36		
ASTM A 131	Grade A, B, D, E	6,36 - 100	
	Grade AH32, DH32, EH32		
	Grade AH36, DH36, EH36		

Tabla 32: Espesor y anchura del acero según las Sociedades de Clasificación – **Fuente:** Duferco Clabecq S.A.

Seguidamente, se expondrá un ejemplo de los requisitos que ha de cumplir el acero de acuerdo con lo establecido en la regla denominada *Rules for Classification of Ships* emitida por la Sociedad de Clasificación Det Norske Veritas AS. Esta normativa fue editada en Julio del 2016 y está integrada por diversas partes, las cuales se dividen a su vez en capítulos. Aquellos que hacen mención a los estándares que debe cumplir el acero están agrupados en la Parte 3 denominada *Hull and Equipment – Main Class*. Ésta está formada por tres capítulos que son los siguientes.

- Capítulo 1: *Hull structural design – Ships with length 100 meters and above*.
- Capítulo 2: *Hull structural design – Ships with length less than 100 meters*.
- Capítulo 3: *Hull equipment and safety*.

A continuación se mencionarán de manera general las características que se determinan en los dos primeros capítulos de esta regla, los cuales tratan sobre el diseño estructural del casco para buques con eslora igual o superior a 100 metros e inferior a 100 metros, relacionados con el acero. Cabe indicar que estos capítulos también incluyen requisitos relativos al aluminio, los cuales se expondrán en el siguiente apartado.

- **Capítulo 1: Hull structural design – Ships with length 100 meters and above**

Este capítulo fue editado en enero del año 2016 y está integrado por 16 secciones y un apéndice, en los que se establecen los requisitos estructurales que han de cumplir los cascos de aquellos buques cuya eslora sea igual o superior a 100 metros. Las secciones tratan sobre requisitos generales (definiciones, documentación requerida, etc.), materiales, principios de diseño, estructuras del fondo, de los laterales, cubierta, mamparos, superestructura, soldadura y conexiones soldadas, entre otras. Aquella que hace referencia al acero es la Sección 2 denominada *Materials*. Concretamente, en el apartado *B. Hull structure steel* de esta regla se determina la clasificación y designación de los distintos tipos de acero y los requisitos básicos que se han de cumplir. Todas las especificaciones que contiene esta sección se pueden observar en el Anexo 1 de este trabajo.

En relación con la clasificación de los distintos tipos de este material, en la tabla que se muestra en la página siguiente se indica la designación de los de aceros utilizados en el casco del buque en función de su resistencia y de su límite de fluencia.

Tipo de acero	Designación	Límite de fluencia
Acero de resistencia ordinaria (NS-steel)	NV- NS	> 235 N/mm ²
Acero de alta resistencia (HS-steel)	NV- 27	> 265 N/mm ²
Acero de alta resistencia (HS-steel)	NV- 32	> 315 N/mm ²
Acero de alta resistencia (HS-steel)	NV- 36	> 355 N/mm ²
Acero de alta resistencia (HS-steel)	NV- 40	> 390 N/mm ²

Tabla 33: Clasificación y designación del acero según la Det Norske Veritas AS – **Fuente:** Det Norske Veritas AS. Hull structural design – Ships with length 100 meters and above.

Al mismo tiempo, estos aceros mencionados son agrupados en varios grados en función de su resistencia. Éstos quedan indicados en la siguiente tabla.

Tipo de acero	Grados
Acero de resistencia ordinaria	A,B,D y E
Acero de alta resistencia	AH, DH y EH

Tabla 34: Clasificación y designación del acero según la Det Norske Veritas AS – **Fuente:** Det Norske Veritas AS. Hull structural design – Ships with length 100 meters and above.

Para poder determinar los requisitos para una zona específica del casco del buque en función del grado del acero, se establecen diversas clases del material. Concretamente, se clasifican en cuatro. De esta manera, el grado del material corresponderá al escantillón de la placa de acero y de la clase de éste. En la Tabla 35 de la página siguiente se pueden ver cómo quedan clasificados los grados del acero.

Thickness in mm	Class			
	I	II	III	IV
$t \leq 15$	A/AH	A/AH	A/AH	A/AH
$15 < t \leq 20$	A/AH	A/AH	A/AH	B/AH
$20 < t \leq 25$	A/AH	A/AH	B/AH	D/DH
$25 < t \leq 30$	A/AH	A/AH	D/DH	D/DH
$30 < t \leq 35$	A/AH	B/AH	D/DH	E/EH
$35 < t \leq 40$	A/AH	B/AH	D/DH	E/EH
$40 < t \leq 50^*)$	B/AH	D/DH	E/EH	E/EH
*) Plating of Class III or IV and with a thickness between $50 \text{ mm} < t \leq 150 \text{ mm}$, shall be of grade E/EH. For other cases, D/DH (according to Class II) will be minimum quality for thicknesses above 50 mm				

Tabla 35: Clases de las placas de acero establecidas por la Det Norske Veritas AS – **Fuente:** Det Norske Veritas AS. Hull structural design – Ships with length 100 meters and above.

Esta sección también incorpora un conjunto de tablas en las cuales quedan indicados el grado y la clase del acero que se han de utilizar para la construcción de diversos tipos de buques. En ellas, se especifica el tipo de acero según la zona del buque a la que está destinada. Los tipos de buques son los siguientes: buques en general, buques de eslora superior a 150 m, gaseros de gas licuado con tanques del tipo membrana y con eslora superior a 150 m, buques de eslora superior a 250 m, graneleros con un único revestimiento sujetos al Capítulo XII (6.4.3) del Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (Convenio SOLAS) y buques con refuerzos para el hielo. Estas tablas se pueden observar en el Anexo 1 de este trabajo. Cabe indicar que es importante tener en cuenta que el grado de las placas de este material no será menor que el correspondiente a la clase y grado especificados en estas tablas y en aquellas ocasiones en las que el material estructural no sea mencionado en ninguna de ellas, se deberá aplicar la Clase I.

En esta normativa, también se hace mención a los requisitos que han de cumplir los aceros inoxidables utilizados en la construcción de buques. En relación con el acero austenítico, el cual es el que se utiliza con mayor frecuencia en este sector, la organización DNV indica que se debe prestar especial atención a la reducción del valor de la resistencia que estos materiales poseen cuando la temperatura es elevada.

- **Capítulo 2: Hull structural design – Ships with length less than 100 meters**

Este capítulo fue editado en enero del 2015 y está formado por 12 secciones y dos apéndices en los que se establecen los requisitos del diseño estructural del casco de aquellos buques cuya eslora es inferior a 100 metros. En estas secciones, al igual que en el capítulo anterior, se indican los requisitos generales, requisitos relacionados con los materiales de construcción, principios

de diseño, requisitos relacionados con la estructura del fondo, de la cubierta, mamparos, entre otras. Las especificaciones que debe cumplir el acero vienen determinadas en la Sección 2 denominada *Materials*. Esta sección tiene diversos apartados entre los cuales el apartado denominado *B. Hull structure steel* hace referencia a los requisitos relativos al acero. Las especificaciones establecidas en esta sección de la normativa se pueden observar en el Anexo 2 de este trabajo.

En esta sección, la clasificación y designación del acero establecidas es la misma que la mencionada en el capítulo anterior. Por lo que el acero recibe diferentes nombres en función de su resistencia y del límite de fluencia, los cuales al mismo tiempo quedan clasificados en varios grados dependiendo de la resistencia que posea. En las Tablas 33 y 34 mostradas anteriormente se pueden observar estas clasificaciones y designaciones del acero. A su vez, en esta regla establecida por la DNV las placas de acero utilizadas se dividen en cuatro clases, a cada una de las cuales le corresponde unos grados determinados. De esta manera, se pueden distinguir los requisitos que ha de cumplir una zona determinada del buque en función del grado del acero. Los grados que pertenecen a cada clase son los mismos que los indicados en el capítulo relativo a los buques de eslora igual o superior a 100 metros, por lo que las clases y grados que le corresponden a los espesores especificados para buques de eslora inferior a 100 metros son los que aparecen en la Tabla 35.

Al igual que en el capítulo anterior de esta regla, esta sección presenta unas tablas en las que se indican los requisitos generales que deben cumplir las placas de este material utilizado para la construcción de buques. Concretamente, en ellas quedan reflejados las clases y grados que ha de disponer el acero dependiendo de la zona y tipo de buque. A diferencia del caso anterior, en este capítulo estas tablas van destinadas a los buques en general y a aquellos que presentan refuerzos para el hielo. Asimismo, se debe tener en cuenta que en aquellas zonas donde las placas de acero aplicadas presenten un espesor mayor al determinado en las reglas, es necesario utilizar un grado de acero menor tras tomar especiales consideraciones. Al igual que en el capítulo destinado a buques con eslora igual o superior a 100 metros, las placas de acero no pueden presentar un grado inferior al correspondiente al grado y clase de material mencionados en las tablas. Del mismo modo, para aquellas placas destinadas a unas zonas determinadas del buque, las cuales no son incluidas en estas tablas, se han de aplicar aquellos grados pertenecientes a la Clase I.

3.2 Aluminio

El aluminio que se utiliza para la construcción de un buque, al igual que el acero, ha de cumplir las especificaciones técnicas que determinan las Sociedades de Clasificación, principalmente, por aquella encargada de garantizar que los materiales y construcción del buque cumplen con las directrices establecidas en sus reglas a través de las pertinentes inspecciones. De esta manera, se proporciona una mayor seguridad para las personas que se encuentran en el buque, para el propio buque y también para el medio marino.

Especialmente, estas normas están relacionadas con el escantillón que han de tener las placas de aluminio destinadas al casco, los requisitos generales que se han de cumplir para la construcción de un buque con aluminio relacionados con los procesos de soldadura, especificaciones que deben seguir elementos especiales del casco de aluminio de las embarcaciones, entre otras.

Cada Sociedad de Clasificación emite sus propios reglamentos, en los que se indican los requisitos técnicos que se han de seguir durante el proceso de construcción de los buques y que deben disponer los materiales empleados. Por este motivo, a continuación se expondrá un ejemplo de la normativa relacionada con el aluminio emitida por la organización Det Norske Veritas AS en el año 2016 llamada *Rules for Classification of Ships*. Esta regla está integrada por diversas partes, las cuales se dividen al mismo tiempo en capítulos en los que se tratan diversos aspectos y se establecen los criterios técnicos que se deben cumplir.

En el caso de los buques construidos con aluminio, al igual que el acero, la parte de esta regla que se centra en los requisitos sobre el casco del buque y sus equipos es la Parte 3 denominada *Hull and Equipment – Main Class*. Esta parte, está integrada por tres capítulos en los que los dos primeros contienen los criterios técnicos que estos materiales deben disponer. Estos capítulos son los siguientes:

- Capítulo 1: *Hull structural design – Ships with length 100 meters and above.*
- Capítulo 2: *Hull structural design – Ships with length less than 100 meters.*

Los criterios relativos al aluminio que se han de cumplir de acuerdo con los establecidos en estos capítulos de esta regla de la organización Det Norske Veritas AS son los que se mencionarán de manera general en las siguientes páginas.

- **Capítulo 1: Hull structural design – Ships with length 100 meters and above**

Este capítulo está integrado por diversas secciones que contienen diferentes aspectos relacionados con las propiedades que deben tener los materiales utilizados en la construcción de buques con una eslora superior o igual a 100 metros, requerimientos generales, principios relacionados con el diseño del buque, entre otros. Los requisitos que esta normativa contiene sobre el aluminio son más reducidos que los correspondientes al acero. Éstos están indicados en la sección 2 denominada *Materials*, concretamente, en el apartado *C. Alternative structural materials*. En el Anexo 1 de este trabajo se puede observar los fragmentos de la normativa de la Sociedad de Clasificación Det Norske Veritas AS destinados al aluminio y al acero.

En esta sección se indica que las aleaciones de aluminio pueden utilizarse para la construcción de superestructuras, tapas de escotillas, entre otras, siempre y cuando la resistencia de las estructuras de aluminio sea equivalente a la requerida para una estructura de acero.

Otro requisito que este apartado de la normativa especifica consiste en que para aquellos productos laminados de aluminio que forman parte de los refuerzos longitudinales, las aleaciones de aluminio marcadas con la letra A, es decir, aquellas que no son templables y que han sido sometidas a un endurecimiento por acritud, son las que se recomienda que se deben emplear. Es importante tener en cuenta en el momento de elección de la aleación de aluminio el nivel de estrés que deberá soportar este material.

En relación con los procesos de soldadura, este apartado determina que en las zonas de soldadura de productos laminados o extruidos, las cuales se ven afectadas por el calor, las propiedades mecánicas dadas para productos extruidos deben utilizarse generalmente como base para los requisitos del escantillando. A su vez, los electrodos consumibles que depositan material soldado cuyas propiedades mecánicas no son inferiores a las especificadas para zonas de soldadura del material inicial deben ser utilizados en los procesos de soldadura.

- **Capítulo 2: Hull structural design – Ships with length less than 100 meters**

Del mismo modo que en el capítulo anterior, las propiedades técnicas que deben seguir los productos de aluminio utilizados en la construcción del casco de aquellos buques cuya eslora es inferior a 100 metros se mencionan en la sección 2 denominada *Materials*. Esta sección está formada por diversos apartados, entre los cuales, el apartado *C. Alternative structural materials* presenta un subapartado en el que quedan indicados los requisitos que deben tener los elementos de aluminio que se utilicen en el casco del buque. Éstos pueden apreciarse de

manera detallada en el Anexo 2 de este trabajo, el cual contiene el fragmento de esta normativa relativa al acero y al aluminio utilizado para la construcción de buques de eslora inferior a 100 metros.

Como se ha comentado, estas especificaciones son más reducidas que las correspondientes al acero y la mayoría de ellas son las mismas que las establecidas en el Capítulo 1 de esta parte de la regla relativas al diseño estructural del casco de los buques cuya eslora es igual o superior a 100 metros.

En este apartado se indica que las aleaciones de aluminio aplicadas en el sector naval deben utilizarse en las superestructuras, tapas de las escotillas y otras zonas locales del buque. Al igual que en capítulo anterior, en relación con la soldadura se determina que en aquellas zonas de soldadura en las que se utilicen productos laminados o extruidos, las propiedades mecánicas dadas para estos últimos han de ser en general usadas como base para los requisitos relativos con el escantillonado. Asimismo, se indica que aquellos electrodos consumibles que depositan metal de soldadura cuyas propiedades mecánicas no son inferiores a las especificadas para las zonas de soldadura del material inicial deben ser los seleccionados.

Capítulo 4. Comparativa entre el acero y el aluminio para la construcción naval

El acero y el aluminio son dos de los principales materiales que se utilizan en la construcción naval (casco, superestructuras, tanques...). La aplicación de uno u otro vienen determinada en gran medida por las propiedades intrínsecas de cada uno de ellos. Es decir, en función de sus propiedades se puede asignar el material que más se adecúe a las características que ha de tener el producto final. Además de las propiedades, un aspecto importante que se ha de tener en cuenta son los elementos de aleación que poseen estos dos materiales en su composición. Este hecho se debe a que el tipo concreto de aleante influye de manera considerable en las propiedades, tanto mecánicas como físico-químicas, que presente el producto final ya que proporciona un mejor comportamiento de estos materiales en aquellos aspectos que son más desfavorables. Por este motivo, se ha de prestar especial atención a los elementos de aleación que están integrados en el acero y el aluminio en el momento de la elección del material.

A continuación se expondrán las principales diferencias existentes entre el acero y el aluminio, las cuales influyen de manera notable en su aplicación en este sector, mencionando las ventajas y desventajas que presentan cada uno de ellos.

En primer lugar, en relación con la resistencia mecánica de estos dos materiales, a partir de lo mencionado anteriormente se puede decir que el acero dispone de una resistencia superior a la del aluminio. Cuando este último se encuentra en estado puro, el valor de su resistencia es muy bajo (aproximadamente 10 MPa). Sin embargo, con la incorporación de elementos de aleación a su composición se consigue aumentar su valor. A pesar de la adición de estos componentes adicionales, el acero sigue disponiendo de unos valores de resistencia mayores con un peso menor. De esta manera, el escantillón del acero es menor al que requieren los productos de aluminio para poder alcanzar el mismo valor de resistencia.

En la siguiente página se pueden observar dos tablas en las que se muestran varios ejemplos de planchas de acero y aluminio, indicando los espesores y medidas de éstas, que se utilizan en el sector de la construcción naval. En el caso del acero, éstos han sido producidos por la empresa denominada SSAB

Swedish Steel, S.L., la cual está especializada en la fabricación de acero a escala global. En el caso del aluminio, la empresa Alu-Stock S.A. dedicada a la comercialización y distribución del aluminio.

Acero			
Tipo	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)
Grado A	4,76 – 76,2	1828,8 – 3299,47	6096,01 – 25908,05
Grado B	4,76 – 50,8	1828,8 – 3299,47	6096,01 – 25908,05
Grado D	4,76 – 100,08	1828,8 – 3299,47	6096,01 – 25908,05
Grado E	5,00 – 100,08	1905 – 3299,47	6096,01 – 14986,03
Grado AH 32	6,38 – 38,1	1828,8 – 3048,01	6096,01 – 25908,05
Grado DH 32	6,38 – 38,1	1828,8 – 3048,01	6096,01 – 25908,05
Grado AH 36	6,38 – 50,8	1828,8 – 3299,47	6096,01 – 25908,05
Grado DH 36	6,38 – 50,8	1828,8 – 3299,47	6096,01 – 25908,05
Grado EH 36	6,38 – 100,08	1905 – 3299,47	6096,01 – 14986,03

Tabla 36: Planchas de acero fabricadas por SSAB Swedish Steel, S.L. – **Fuente:** SSAB Swedish Steel, S.L.

Aluminio			
Tipo	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)
5083	1,5 – 200,0	2000,0 – 6280,0	1000,0 – 2200,0
5754	0,5 – 50,0	2000,0 – 6000,0	1000,0 – 2000,0
6082	1,0 – 200,0	2000,0 – 4020,0	1000,0 – 2020,0

Tabla 37: Planchas de aluminio comercializadas por Alu-Stock S.A. – **Fuente:** Alu-Stock S.A.

Al mismo tiempo, relacionado con el peso de estos dos materiales, una de las principales ventajas que dispone el aluminio frente al acero consiste en que éste es un material ligero. De este modo, el aluminio resulta ser un material de construcción óptimo para buques y embarcaciones ligeros como los hidrodeslizadores, pequeñas embarcaciones como pesqueros, pequeños buques de pasajeros, ferris,

entre otros. Al tratarse de embarcaciones con un peso reducido, permite que éstas puedan alcanzar velocidades más elevadas que las correspondientes a buques contruidos con acero.

En segundo lugar, el acero y el aluminio presentan una dureza variable en función de los componentes que configuran su composición. En el caso del acero, la dureza oscila según la cantidad de carbono que éste presente, por lo que aquellos con una concentración reducida de carbono poseen unos valores inferiores a 135 HB. En aquellos tipos de acero que dispongan de un mayor nivel de carbono, la dureza de éstos puede ser superior a 220 HB. En el caso del aluminio, cuando éste se encuentra en estado puro su dureza es baja y varía entre 21 y 45 HB. Cuando este material presenta elementos de aleación, su dureza puede incrementar hasta alcanzar valores comprendidos entre 45 y 140 HB. A partir de estos valores, se puede observar que el acero, al presentar una dureza superior a la del aluminio, se utiliza para la construcción de buques, los cuales requieren un material con valores elevados de esta propiedad.

Material	Dureza
Acero	- Acero con bajo nivel de carbono: < 135 HB. - Acero con nivel medio – alto de carbono: > 220 HB.
Aluminio	- Aluminio puro: 21 – 45 HB. - Aleaciones de aluminio: 45 – 140 HB.

Tabla 38: Comparativa entre la dureza del acero y aluminio – **Fuente:** Propia

En tercer lugar, el acero también se caracteriza por tener un mejor comportamiento durante el proceso de soldadura que el aluminio. Estos dos materiales son fáciles de soldar, pero en el caso del aluminio, durante la realización de estas operaciones es más propenso a que se produzcan problemas. Éstos consisten principalmente en la formación de deformaciones y la aparición de grietas. Esta desventaja del aluminio está estrechamente relacionada con el punto de fusión de este material. El aluminio tiene un punto de fusión bajo, concretamente 660°C. De este modo, cuando se realicen trabajos de soldadura en los que se alcance una temperatura con este valor o superiores, el aluminio puede resultar gravemente afectado. También, a pesar del buen comportamiento del acero en estos trabajos, cabe indicar que aquellos en los que la concentración de carbono es elevada son más difíciles de soldar.

En relación con el punto de fusión, a causa de que el correspondiente al aluminio tiene un valor reducido, este material es poco resistente al fuego. A diferencia de éste, el acero presenta un mejor comportamiento frente al fuego ya que su punto de fusión es más elevado. Sin embargo, éstos pueden variar según la cantidad de carbono integrada en el acero. Al mismo tiempo, la resistencia al fuego del acero desciende de manera gradual cuando la temperatura alcanza los 300°C.

En cuarto lugar, relacionado con los aspectos mencionados, el acero y el aluminio también presentan diferencias entre ellos relativas al coeficiente de dilatación, también denominado expansión térmica. El aluminio tiene un coeficiente de dilatación más elevado que el acero, de manera que durante la soldadura de este material se ha de prestar atención para evitar que se produzcan deformaciones en el material. En la siguiente tabla se pueden apreciar los valores del coeficiente de dilatación de estos dos materiales.

Material	Coefficiente de dilatación
Acero	$12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Aluminio	$23,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Tabla 39: Comparativa entre el coeficiente de dilatación del acero y aluminio – Fuente: Propia

En quinto lugar, una de las desventajas más importantes que presentan tanto el acero como el aluminio es la resistencia a la corrosión. El primero, se caracteriza principalmente por corroerse fácilmente cuando entra en contacto con el oxígeno. También, el acero se ve afectado por la corrosión electrolítica pero en menor grado que el aluminio. En el caso de este último, su comportamiento frente a estos dos tipos de corrosión es el inverso al del acero. El aluminio presenta una buena resistencia a la corrosión ocasionada por el contacto con el oxígeno debido a que se crea una capa protectora sobre el material de óxido de aluminio. En el caso de la corrosión electrolítica, este tipo de material sufre graves consecuencias que derivan en el desgaste del material. Por este motivo, en los buques construidos con aluminio es necesaria una buena protección catódica.

En sexta lugar, cabe mencionar que una de las principales ventajas que presenta el aluminio frente al acero consiste en que este material dispone de una vida útil superior. De este modo, las embarcaciones construidas con aluminio ofrecen una mayor durabilidad respecto a aquellas construidas con acero.

Acerca del mantenimiento y reparaciones del acero y de aluminio, estos dos materiales no presentan grandes diferencias. Los gastos relativos al mantenimiento y a las reparaciones son bastante similares entre sí, aunque los costes correspondientes a la reparación del aluminio son mayores. Al mismo

tiempo, las reparaciones de los buques construidos con aluminio han de ser desarrolladas por personas especializadas debido a que se pueden producir graves problemas durante el transcurso de éstas. Asimismo, los costes derivados de la construcción de buques y embarcaciones con aluminio son superiores a los del acero.

A partir de las propiedades comentadas, el acero y el aluminio presentan aplicaciones dispares en el sector de la construcción naval. En el caso del acero, este material es utilizado con mayor frecuencia para la construcción de buques cuya eslora sea igual o superior a 50 m. Algunos ejemplos son los siguientes: petroleros, gaseros, portacontenedores, transatlánticos, buques frigoríficos, submarinos y también buques militares. A diferencia del acero, el aluminio está destinado principalmente para la construcción de embarcaciones ligeras y que requieran velocidades elevadas. Entre sus aplicaciones encontramos la construcción de pequeñas embarcaciones de pesqueros, hidrodeslizadores, yates de recreo, ferris de alta velocidad, entre otros. Otro uso de este material consiste en la construcción de tanques esféricos destinados a los buques que transportan gas natural licuado a causa de su alta resistencia a bajas temperaturas. A pesar de que el aluminio se utiliza principalmente para buques con eslora inferior a 50 m, en la actualidad se están construyendo buques fabricados con este material cuyas esloras superan este valor. Un ejemplo es el ferry Ro-Pax AMPERE, el cual está construido exclusivamente por aluminio y presenta una eslora de 80 m.



Figura 15: Ro-Pax AMPERE – **Fuente:** http://www.naucher.com/es/actualidad/el-ro-pax-ampere-primero-del-mundo-alimentado-por-baterias-inicia-su-operativa-en-noruega/_n:3453/

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre el acero y el aluminio en la que se reflejan los aspectos mencionados anteriormente.

- Mejor
- Peor

	Acero	Aluminio
Resistencia mecánica		
Peso específico		
Dureza		
Soldabilidad		
Resistencia al fuego		
Coefficiente de dilatación		
Resistencia a la corrosión por oxígeno		
Resistencia a la corrosión electrolítica		
Costes de mantenimiento y reparación		
Vida útil		

Tabla 40: Tabla comparativa entre el acero y el aluminio – **Fuente:** Propia

Capítulo 5. Riesgos para la salud asociados con la construcción de un buque con acero

Durante el proceso de construcción de un buque se llevan a cabo diversos trabajos que comportan un elevado riesgo para la salud de los trabajadores. Muchos de éstos se realizan en lugares peligrosos (espacios cerrados, lugares a alturas elevadas...), con maquinaria y equipos pesados, se utilizan productos como pinturas, disolventes o productos químicos que presentan una elevada toxicidad, entre otros aspectos. Además, estos riesgos pueden ser incrementados debido a condiciones meteorológicas adversas, ya que un gran número de las actividades que se han de desarrollar se producen al aire libre. Como consecuencia de estos factores, la construcción naval es considerada como una de las tres actividades industriales con un mayor nivel de peligrosidad.

Los riesgos a los cuales los trabajadores del astillero están expuestos se pueden clasificar en dos grupos dependiendo de su origen, es decir, del agente que los genera. Éstos son los siguientes: riesgos provocados por agentes físicos y por agentes químicos.

- **Riesgos provocados por agentes físicos**

Este conjunto hace referencia a aquellos que se producen a causa de que gran parte de los trabajos de construcción del buque se han de realizar manualmente a pesar de los avances tecnológicos que han permitido la automatización de algunos procesos. Algunos ejemplos son los siguientes: ruidos, vibraciones, calor excesivo, radiaciones ionizantes y no ionizantes, caídas y deslizamientos, entre otros.

- **Riesgos provocados por agentes químicos**

Por otra parte, los riesgos químicos son aquellos que se dan como consecuencia del uso de productos químicos en los trabajos de construcción de un buque y de la composición de los propios materiales y elementos que se utilizan. Entre ellos se encuentran: riesgo por inhalación de gases y partículas procedentes de las técnicas de soldadura, corte y preparación de la superficie, productos tóxicos

procedentes de pinturas, vapores tóxicos derivados de los disolventes o diluyentes de las pinturas, polvo originado por las operaciones de limpieza de la superficie de buque, entre otros.

Al mismo tiempo, hay que tener presente que el grado de afectación a la salud de las personas que trabajan en los astilleros derivados de los agentes mencionados dependen de varios factores. Algunos de los principales son: el tipo específico de exposición, la duración de la exposición laboral al agente perjudicial, el nivel de exposición (si ésta ha sido con gran intensidad o de manera ligera), la concentración a la que el trabajador ha estado expuesto, el lugar donde se realizan los trabajos (al aire libre o en espacios cerrados), la maquinaria y equipos utilizados, entre otros. Otros factores que también influyen de manera considerable en la evolución de algunas de las enfermedades que pueden padecer los trabajadores como consecuencia de los riesgos a los que los están expuestos son: el tabaquismo, el alcoholismo y los antecedentes de enfermedades previas de la persona afectada.

Como se ha mencionado, a medida que se va formando el buque va incrementando el número de trabajos que se han de realizar para finalizar la construcción de éste. Para ello, intervienen diversos trabajadores (fijos o eventuales) de oficios distintitos, es decir, soldadores, personal dedicado a la preparación de la superficie, pintura, etc. Muchas de estas tareas están relacionadas entre sí, de manera que el producto final de una de ellas puede suponer un riesgo para la salud de los trabajadores dedicados a otras o bien, estos peligros pueden producirse por encontrarse en las proximidades durante su realización.

El acero es uno de los materiales básicos que se utilizan para la construcción naval debido a los numerosos beneficios que éste aporta. Sin embargo, este material presenta diversos riesgos durante los trabajos de laminación, soldadura, corte y pintura que se realizan en los astilleros, los cuales pueden causar lesiones, dolencias, accidentes, enfermedades o incluso el fallecimiento de los trabajadores. Éstos pueden ser originados por agentes físicos o químicos y pueden afectar en gran medida a la salud de los trabajadores.

En los siguientes subapartados, se expondrán los riesgos, tanto los causados por agentes físicos como químicos, que pueden tener lugar durante la realización de estos procesos y que provocan lesiones en la salud de los trabajadores de los astilleros.

5.1 Normativa

Antes de iniciar el estudio de los riesgos para la salud de los trabajadores durante los procesos de laminación, soldadura, corte y pintura del acero, es importante indicar que a nivel internacional y

nacional se han emitido un conjunto de normativas con el objetivo de prevenir los riesgos laborales a los que están expuestos los trabajadores. Estas normativas además de establecer los límites de exposición a los agentes físicos y químicos, contienen un conjunto de medidas orientadas a la prevención de estos riesgos. De esta manera, se intenta evitar que los trabajadores puedan contraer enfermedades derivadas de estas exposiciones o bien reducirlas. Al mismo tiempo, muchas de las disposiciones que éstas establecen, otorgan a los empresarios y dueños de las instalaciones donde se realizan estos procesos un conjunto de responsabilidades relacionadas con las condiciones del lugar de trabajo, el estado y mantenimiento de las máquinas, la formación de los trabajadores, entre otras.

A nivel nacional, la Ley 31/1995 de *Prevención de Riesgos Laborales*³, emitida el 8 de noviembre del año 1995 y modificada el 29 de diciembre de 2014 tiene como objetivo promover la salud y la seguridad de los trabajadores a través de un conjunto de medidas y actividades con las que se puedan prevenir los riesgos derivados del trabajo. En los artículos que esta ley contiene se encuentran por ejemplo los relacionados con las inspecciones de trabajo y seguridad social, la obligación de la elaboración de un plan de prevención de riesgos laborales, evaluación de riesgos, la formación de los trabajadores, los equipos de trabajo y medios de protección, entre otros.

Como se ha mencionado anteriormente, los trabajos de laminación, soldadura, corte y pintura pueden ocasionar a los trabajadores numerosos tipos de enfermedades, algunas de las cuales son consideradas enfermedades de carácter provisional mientras que otras son consideradas profesionales, a causa de la exposición continua y diaria de los agentes externos, como es el caso del ruido, vibraciones, radiaciones, emisión de gases y humos perjudiciales para la salud. Por el contrario, otros riesgos son producidos a raíz de accidentes. A continuación, se indicarán los límites de exposición a estos agentes que deben cumplir los trabajadores según lo establecido por las normativas correspondientes.

Uno de los agentes a los que están expuestos los trabajadores encargados de la realización de estas actividades es el ruido. Este agente físico puede generar graves secuelas en la salud de éstos, las cuales serán estudiadas en los siguientes subapartados. En el Real Decreto 286/2006, *Sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido*⁴, tal y como indica el nombre, se establece un conjunto de disposiciones mínimas para la prevención de los

³ España. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. *Boletín Oficial del Estado*, 10 de noviembre de 1995, núm. 269.

⁴ España. Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, Sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. *Boletín Oficial del Estado*, 11 de marzo de 2006, núm. 60, p. 9842 – 9848.

trabajadores que están expuestos a este tipo de agente en el lugar de trabajo. Esta normativa está integrada por un conjunto de artículos, entre los cuales destaca el Artículo 5 denominado “Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción” ya que regula los límites de exposición permitidos. En aquellas ocasiones en las que se superen estos valores, tal y como se determina en el Artículo 8 “Limitación de exposición”, el empresario deberá tomar las medidas pertinentes con la finalidad de reducir la exposición a niveles inferiores a los establecidos, determinar las causas que han generado la superación de estos límites, corregir las medidas de prevención y protección e informar a las personas encargadas de la prevención.

En la siguiente tabla, quedan reflejados los valores límites de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción establecidos por el Real Decreto 286/2006.

Valores límite de exposición	Nivel de exposición diaria: 87 dBA ⁵
	Nivel de pico: 140 dBA
Valores superiores de exposición que da lugar a una acción	Nivel de exposición diaria: 85 dBA
	Nivel de pico: 137 dBA
Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción	Nivel de exposición diaria: 80 dBA
	Nivel de pico: 135 dBA

Tabla 41: Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción – **Fuente:** Real Decreto 286/2006

Otros riesgos para la salud de los trabajadores son aquellos que se originan a causa de las vibraciones. Este tipo de agente físico, en la mayoría de ocasiones viene derivado del uso de ciertos tipos de maquinarias que se emplean durante la realización de los procesos de laminación, soldadura, corte y pintura. En relación con este agente, la normativa que establece los tiempos máximos de exposición permitida a nivel nacional es el Real Decreto 1311/2005, *Sobre la protección de la salud y la seguridad*

⁵ Los valores que determinan la exposición al ruido están expresados en Decibelios ponderados A (dBA).

de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas⁶.

Concretamente, en el Artículo 3 “Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción” de esta norma se establecen estos límites para la vibración transmitida al sistema mano – brazo y transmitida al cuerpo entero. Dado que las vibraciones que presentan una mayor afectación a los trabajadores que llevan a cabo los trabajos mencionados son las transmitidas al sistema mano – brazo, en la Tabla 42 se indican los valores de exposición diaria⁷.

Valor límite de exposición diaria normalizado para un periodo de referencia de ocho horas	5 m/s ²
Valor de exposición diaria normalizado para un periodo de referencia de ocho horas que da lugar a una acción	2,5 m/s ²

Tabla 42: Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción – **Fuente:** Real Decreto 1311/2005

En el transcurso de los procesos de soldadura y corte, los trabajadores pueden sufrir diversas enfermedades o lesiones originadas por la exposición de radiaciones. Generalmente, éstas son la infrarroja y ultravioleta. Los principios que se deben cumplir para evitar los riesgos para la salud son los que se establecen en el Real Decreto 486/2010, *Sobre la protección de la salud y de la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales*⁸. Esta normativa establece un conjunto de disposiciones mínimas con las que se pretende proteger a los trabajadores de los riesgos para la salud y seguridad causados por la exposición a radiaciones ópticas artificiales durante la realización de su trabajo. Este tipo de radiaciones, tal y como se indica en el

⁶ España. Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, Sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. *Boletín Oficial del Estado*, 5 de noviembre de 2005, núm. 265.

⁷ La magnitud de valores de exposición de la vibración se expresan como el valor de la aceleración eficaz ponderada en frecuencia para una exposición diaria de 8 horas.

⁸ España. Real Decreto 486/2010, de 23 de abril, Sobre la protección de la salud y de la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales. *Boletín Oficial del Estado*, 24 de abril de 2010, núm. 99.

Artículo 2 “Definiciones”, consiste en toda radiación electromagnética con una longitud de onda que se entra entre el siguiente intervalo: 100 nm y 1 mm. En este conjunto de radiaciones se incluyen las radiaciones ultravioleta e infrarrojas. Las primeras, presentan una longitud de onda que varía entre 100 y 400 nm. Las segundas, disponen de una longitud de onda comprendida entre 780 nm y 1 mm. Los valores límites de exposición dependen de tres factores: del rango espectral, del ángulo subtendido por la fuente y del tiempo de exposición. Estos valores, los cuales están determinados en el apartado A del Anexo I de este Real Decreto 486/2010, se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tipo de radiación	Longitud de onda (nm)	Tiempo de exposición	Ángulo de exposición	Límite de exposición ⁹ (unidades)
Radiación ultravioleta	180 – 400	8 horas	-	H = 30 (J/m ²)
Radiación ultravioleta	315 – 400	8 horas	-	H = 10 ⁴ (J/m ²)
Radiación ultravioleta	300 – 400	t ≤ 10 ⁴ s	α ≥ 11 mrad	L = 10 ⁶ /t (W/m ² ·sr)
			α < 11 mrad	L = 100 (W/m ² ·sr)
		t > 10 ⁴ s	α ≥ 11 mrad	E = 100/t (W/m ²)
			α < 11 mrad	E = 0,01 (W/m ²)
Radiación ultravioleta y Radiación Infrarroja	380 – 400	t > 10 s	C = 1,7 si α ≤ 1,7 mrad	L = 2,8 · 10 ⁷ /C (W/m ² ·sr)
	780 – 1400	10 ⁶ ≤ t ≤ 10 s	C = α si 1,7 ≤ α ≤ 100 mrad C = 100 si α > 100 mrad	L = 5 · 10 ⁷ /C t ^{0,25} (W/m ² ·sr)
Radiación Infrarroja	780 – 1400	t > 10 s	C = 11 si α ≤ 11 mrad	L = 6 · 10 ⁶ /C

⁹ Las magnitudes radiométricas más importantes con las que se indican los límites de exposición son la exposición radiante (H), radiancia (L) e irradiancia (E). La exposición radiante consiste en la irradiancia integrada con respecto al tiempo; se expresa en julios por metro cuadrado (J/m²). La radiancia es el flujo radiante o la potencia radiante por unidad de ángulo sólido y por unidad de área; se expresa en vatios por metro cuadrado por estereorradián (W/m²·sr). La irradiancia o densidad de potencia consiste en la potencia radiante que incide, por unidad de área, sobre una superficie; se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m²).

			$C = \alpha$ si $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad	$(W/m^2 \cdot sr)$
		$10^{-6} \leq t \leq 10$ s	$C = 100$ si $\alpha > 100$ mrad	$L = 5 \cdot 10^7 / C t^{0,25}$ $(W/m^2 \cdot sr)$
Radiación Infrarroja	780 – 3000	$t \leq 10^3$ s	-	$E = 18 \cdot 10^3 t^{0,25}$ (W/m^2)
		$t > 10^3$ s		$E = 100 (W/m^2)$
Radiación ultravioleta y Radiación Infrarroja	380 – 400 780 – 1400	$t < 10$ s	-	$H = 20 \cdot 10^3 t^{0,25}$ (J/m^2)

Tabla 43: Valores límite de exposición a radiaciones – **Fuente:** Real Decreto 486/2010

5.2 Laminación

El proceso de laminación del acero consiste en reducir el espesor de la placa de acero inicial con la finalidad de obtener planchas de acero con el escantillón deseado para la construcción de un buque determinado. Al mismo tiempo, el buque está integrado por un conjunto de planchas de acero de diversos espesores ya que dependiendo de la zona a la que estén destinadas, éstas deberán tener un espesor mayor o inferior. La distribución y los espesores de las planchas vienen determinados por el plan de planchas que se establece previamente durante la fase de diseño del buque.

El proceso de laminado de una placa de acero se puede realizar en caliente o frío en función del resultado final que se desee. De manera general, el proceso de laminación continua en caliente de una placa de acero es el siguiente. Inicialmente, la placa de acero sale de un horno de recocido denominado horno de termodifusión que permite el recalentado de las placas de acero. Tras su calentamiento, éstas pasan por unos trenes de laminación donde se alargan y se les dota del escantillón deseado por medio de unos rodillos metálicos horizontales colocados en pares. Estos trenes de laminación están configurados por un conjunto de varios rodillos, los cuales están dispuestos a una distancia determinada entre ellos para disminuir progresivamente el espesor del acero.

El primer par de rodillos configuran el denominado tren de desbaste y permiten eliminar la cascarilla superficial (asperezas) que presenta la placa de acero caliente. Una vez que el acero ha pasado por el tren de desbaste, se dirige al tren de laminado en bruto y, posteriormente, al tren de acabado. La distancia que hay entre ellos va disminuyendo a medida que el escantillón del acero se va reduciendo. Al

mismo tiempo, la velocidad de este proceso incrementa (puede alcanzar una velocidad de 80 Km/h) para así evitar que el acero se enfríe antes de terminar el proceso. A través de unos rodillos verticales situados en la parte final del proceso de laminación se controla la anchura de las planchas y éstas normalmente se enrollan para obtener bobinas de planchas de acero.

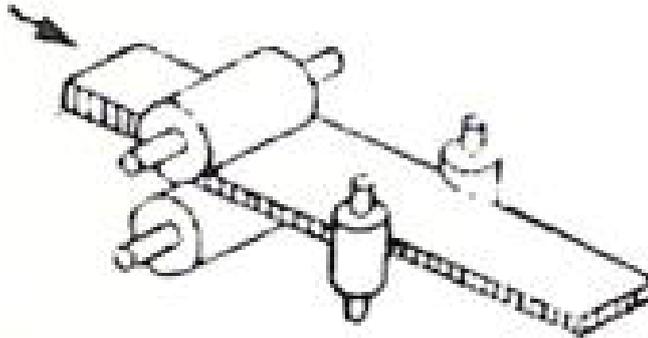


Figura 16: Representación gráfica de un par de rodillos horizontales y verticales – **Fuente:** https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cajas_universales_de_laminaci%C3%B3n.JPG

En numerosas ocasiones, estas bobinas o planchas de acero se limpian (proceso de decapado) mediante un baño de ácido sulfúrico o clorhídrico y agua a presión, con el que se facilita la eliminación del óxido que se genera en la superficie durante este proceso de laminado continuo en caliente.

En cuanto al proceso de laminado en frío, se desarrolla generalmente a temperatura ambiente y permite obtener un acero con una relación resistencia – peso mejor que la obtenida en el tipo de laminado anterior. A su vez, este proceso de laminación en frío proporciona un producto final más fino y liso (con un acabado superficial óptimo) a pesar de que la ductilidad del material disminuye.

Finalmente, una vez que las planchas de acero presentan el escantillón deseado, son trasladadas a una zona de almacenamiento intermedio que dispone el astillero donde se clasifican en distintos grupos, los cuales formarán posteriormente el casco del buque.



Figura 17: Almacenamiento del acero en el astillero – **Fuente:** Ivelic K. B; Jolly M. V. *Astilleros y Servicios Navales ASENAV, Construcción y Estructura Náutica II*. 2011

Durante el proceso de laminación de una placa de acero, tanto en caliente como en frío, los trabajadores están expuestos a diversas situaciones que presentan una elevada peligrosidad para su salud. La mayoría de los riesgos son originados por agentes físicos, los cuales pueden provocar la aparición de enfermedades, dolencias, entre otros. Sin embargo, también pueden darse algunos riesgos causados por agentes químicos utilizados a lo largo de estos procesos. Seguidamente, se expondrán los agentes físicos y químicos que afectan a la salud de las personas que realizan estos trabajos.

En la tabla que se ofrece a continuación, quedan reflejados los agentes físicos y químicos que originan los riesgos a los que están expuestos los trabajadores que realizan los procesos de laminación en caliente y frío.

Riesgos producidos durante el proceso de laminación	Agentes Físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Calor - Accidentes - Ruido - Vibraciones
	Agentes Químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Ácidos

Tabla 44: Riesgos originados por agentes externos durante la laminación del acero – **Fuente:** Propia

5.2.1 Riesgos provocados por agentes físicos

En relación con estos riesgos, los agentes que afectan principalmente a los trabajadores a lo largo de los procesos de laminación en caliente y en frío del acero se pueden diferenciar en varios tipos en función del origen del agente. Dentro de este conjunto de agentes físicos, aquellos que más consecuencias tienen para la salud de las personas encargadas de estos trabajos son los que se mencionan a continuación.

- **Calor**

En el proceso de laminación de una placa de acero, se suelen alcanzar elevadas temperaturas que pueden ocasionar enfermedades con graves lesiones a los trabajadores derivadas del estrés por calor que éstos padecen. La realización de trabajos en condiciones de estrés térmico provoca al trabajador una “sobrecarga” fisiológica a raíz de que los mecanismos fisiológicos de pérdida de calor tratan de eliminar el exceso de calor y poder así disminuir la temperatura corporal. Estos mecanismos son la transpiración y aumento de flujo de sangre hacia la piel. En aquellos casos en los que ésta no descienda de los 38°C, las lesiones que este tipo de agente térmico conlleva en el trabajador pueden ser de elevada gravedad.

Las consecuencias derivadas del estrés por calor no afectan únicamente a un trabajador individual ya que, en determinados casos, puede desencadenar en accidentes en los que se ponga en riesgo la salud de otros trabajadores que se encuentran en zonas próximas. Es decir, el exceso de calor corporal puede fomentar las siguientes situaciones: un aumento de la probabilidad de que sucedan accidentes, aumentan las patologías previas que el trabajador presente (enfermedades respiratorias, cardiovasculares, cutáneas, renales, entre otras) y puede tener diversas consecuencias relacionadas con el calor.

En la página siguiente se puede apreciar una tabla en la que se determinan los efectos sobre la salud de los trabajadores derivados de una exposición elevada al calor obtenidos a partir de diversas fuentes bibliográficas. En ella también se indican su etiología (causas) y clínica (síntomas y signos que presentan).

Efectos sobre la salud	Etiología	Clínica
Erupción cutánea	<ul style="list-style-type: none"> - Exceso de sudoración. 	<ul style="list-style-type: none"> - Erupción roja de la piel. - Picores intensos. - Molestias. - Pueden producirse infecciones.
Deshidratación	<ul style="list-style-type: none"> - Exceso de sudoración. - Falta de ingesta de agua o líquidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Boca pegajosa o reseca. - Sed. - Fatiga. - Ausencia de producción de lágrimas. - Disminución o ausencia de producción de orina. - Aturdimiento (estado letárgico o comatoso, en deshidratación severa). - Taquicardia¹⁰.
Calambres	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida excesiva de sodio a causa de la extrema sudoración. - Nivel bajo de sodio provoca un aumento de la concentración de calcio en las fibras musculares. 	<ul style="list-style-type: none"> - Espasmos (movimientos involuntarios de los músculos). - Contracción muscular. - Dolores musculares (brazos, piernas, abdomen, etc.).
Síncope por calor	<p>Se produce cuando el trabajador ha estado de pie durante un tiempo prolongado. En estos casos, la vasodilatación cutánea y sudoración excesiva pueden causar una disminución de la presión arterial (hipotensión ortostática) causando una</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sed. - Visión borrosa. - Mareo. - Náuseas y vómitos. - Debilidad. - Pulso débil.

¹⁰ Taquicardia: Alteración de la frecuencia cardíaca (pulso) que se caracteriza por un incremento de la velocidad de los latidos. En esta arritmia, la contracción de los ventrículos del corazón es rápida y por consiguiente, la frecuencia cardíaca es superior a 100 latidos por minuto.

	reducción del riego sanguíneo al corazón, al cerebro y a otras partes del cuerpo.	- Desvanecimiento (pérdida de conocimiento temporal).
Agotamiento por calor	- Deshidratación severa en la que se ha perdido gran cantidad de agua y sales (debido a la sudoración profusa) y no se ha repuesto.	- Debilidad y fatiga extremas. - Sed intensa. - Náuseas y vómitos. - Piel pálida, fría y húmeda. - Desmayos. - Taquicardia. - Hipotensión ¹¹ . En algunos casos, el agotamiento por calor puede transformarse rápidamente en un golpe de calor.
Golpe de calor	Se produce a causa de la elevada temperatura corporal del trabajador (puede superar los 40°C) y de la incapacidad del cuerpo a enfriarse (cuando se ha superado la capacidad de termólisis ¹²).	El golpe de calor puede aparecer de manera espontánea y sin síntomas previos. Los principales síntomas y signos son los siguientes. - Elevada temperatura corporal (40°C o superior). - Piel seca, enrojecida y caliente o húmeda debido a una sudoración excesiva. - Mareos. - Náuseas.

¹¹ Hipotensión: Consiste en que la presión arterial durante y después de cada latido es más baja de lo usual. Esto provoca que el corazón, el cerebro y otras partes del cuerpo de la persona afectada no reciban suficiente sangre.

¹² Termólisis: Consiste en la reacción fisiológica del organismo cuando se produce un aumento de la temperatura corporal. La función de este mecanismo consiste en la eliminación del calor a través de la ventilación pulmonar, vasodilatación cutánea y sudoración.

		<ul style="list-style-type: none"> - Dolor de cabeza. - Pérdida de conocimiento. - Convulsiones. - Pulso rápido y fuerte. - Graves daños en el sistema nervioso central. - Lesiones permanentes en el hígado, riñones, entre otros órganos. - Fallecimiento (en casos extremos).
--	--	---

Tabla 45: Efectos sobre la salud de los trabajadores causados por el calor – **Fuente:** Propia

Es importante tener en cuenta que estos síntomas y signos pueden agravarse por diversos factores externos al trabajador como es el caso de una mala aclimatación del lugar de trabajo o la realización de las tareas de manera continuada y sin descanso. También, éstos pueden ser influenciados por factores propios del trabajador como su condición física, patologías previas, medicamentos que ha de tomar, obesidad, entre otros.

- **Ruido**

El ruido constituye uno de los principales agentes físicos causantes de lesiones (inmediatas o a largo plazo) a los trabajadores durante el transcurso de las operaciones pertinentes al laminado de acero, tanto en caliente como en frío. Este agente es originado principalmente por el funcionamiento de la maquinaria y de los equipos que se utilizan para el desarrollo de estas actividades. Algunos ejemplos de estas máquinas son los siguientes: reductores de los rodillos, bombas de agua a presión, hornos de recocido, entre otras.

Estos equipos pueden alcanzar unos valores de intensidad que oscilan entre 84 y 90 dBA, y en algunas situaciones pueden incluso superar un nivel de 115 dBA. Inicialmente, las lesiones que provoca el ruido son reversibles, pero como consecuencia de la exposición prolongada a estos niveles de ruido produce graves lesiones auditivas permanentes que pueden finalizar con la pérdida de audición. Asimismo, los ruidos provocados por exposiciones de elevada intensidad pero de corta duración, como los impactos o golpes, pueden ser los causantes de lesiones auditivas graves como la rotura del tímpano.

Al mismo tiempo, el ruido no afecta únicamente a la audición, ya que éste puede afectar al sistema cardiovascular (taquicardia e hipertensión) y al sistema inmunitario (provocados por el estrés generado por el ruido) y puede provocar alteraciones en el sistema digestivo (disminuye la actividad de los órganos digestivos). Los principales efectos que genera este agente a los trabajadores que se encargan de estas tareas de laminación del acero son los que se muestran en la siguiente tabla.

Sistemas afectados	Efectos sobre la salud
Sistema Cardiovascular	<ul style="list-style-type: none"> - Taquicardia. - Hipertensión. - Aumento de la vasoconstricción. - Incremento moderado del riesgo de infarto de miocardio.
Sistema Inmunitario	<ul style="list-style-type: none"> - Estrés agudo: aumento de la secreción de hormonas suprarrenales (adrenalina, cortisol y norepinefrina). - Estrés crónico: deterioro de la función inmune, cambios hormonales (incremento de la segregación de hormonas suprarrenales y de la hormona adrenocorticotropa (ACTH)). - Aumento de la susceptibilidad a infecciones virales. - Deterioro de la capacidad del sistema inmune.
Sistema Digestivo	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en la motilidad gastrointestinal. - Aumento de la prevalencia de úlcera péptica.

Tabla 46: Efectos sobre la salud provocados por el ruido – **Fuente:** Propia

Además, el ruido también tiene repercusiones psicológicas sobre el trabajador causados por síntomas como la fatiga, insomnio, cefalea, mareos e irritabilidad. Es decir, éstos afectan

adversamente al rendimiento del trabajador (memoria, lectura, concentración, capacidad de resolución de problemas, etc.) y a la relación con los demás (puede causar conductas agresivas y problemas psiquiátricos).

Por otro lado, estos niveles del ruido también reducen la capacidad de alerta del trabajador e impiden una buena comunicación entre ellos (el nivel adecuado para una conversación a una distancia normal, a 1 metro, se encuentra entre los 60 y 70 dBA). Estos factores pueden tener como desenlace situaciones de peligrosidad derivados de la imposibilidad de comunicación entre los trabajadores.

- **Vibraciones**

Este agente físico, al igual que el ruido, afecta a la salud de los trabajadores como consecuencia del funcionamiento de determinadas máquinas que se utilizan en los trenes de laminación o para la limpieza de las planchas de acero. Este tipo de vibraciones penetra en el cuerpo por los dedos o por la palma de las manos, por este motivo, suelen denominarse vibraciones transmitidas a las manos o vibraciones mano - brazo. Las exposiciones elevadas a las vibraciones pueden generar alteraciones vasculares, alteraciones neurológicas y trastornos musculoesqueléticos.

En las Tablas 47 y 48, que se muestran en las siguientes páginas, se pueden apreciar los efectos, clasificados en vasculares y no vasculares, que provocan las vibraciones mano-brazo sobre la salud de los trabajadores.

Efectos no vasculares	
Esqueléticos	En relación con las lesiones óseas y articulares que se generan como consecuencia de las vibraciones, los estudios presentan diversas controversias. Sin embargo, algunos estudios recientes determinan que una exposición prolongada a vibraciones puede causar alteraciones esqueléticas en las manos, muñecas y codos. Concretamente, estas alteraciones son las siguientes: osteoartritis ¹³ de la muñeca, codo, de la articulación acromio - clavicular, articulación del hombro y de la unión del cúbito y el radio. También se pueden producir lesiones en los huesos escafoide y semilunar.
Musculares	Los trastornos musculares se caracterizan por el dolor (suele ser progresivo) y disminución de la fuerza (debilidad muscular) de las manos y los brazos. Se pueden producir también tendinitis y contracturas.
Neurológicos	La exposición continua a vibraciones puede provocar hormigueo y adormecimiento de los dedos y las manos. Estas afectaciones pueden verse incrementadas si el trabajador sigue expuesto a las vibraciones. Determinados estudios indican que estos agentes físicos pueden ocasionar alteraciones patológicas en los nervios de los dedos, como el edema perineural, que pueden evolucionar hacia la fibrosis y a la pérdida de fibra nerviosa.

Tabla 47: Efectos no vasculares provocados por las vibraciones – **Fuente:** Propia

¹³ Osteoartritis: También denominada artrosis, es la forma más común de la artritis y consiste en un trastorno degenerativo de las articulaciones. Esta enfermedad es producida por una degeneración del cartílago (tejido que protege los extremos de los huesos en una articulación y que favorece su movimiento). A causa del desgaste de este tejido, los huesos friccionan entre sí provocando dolor, inflamación y rigidez de las articulaciones.

Efectos vasculares	
<p>Fenómeno de Raynaud o Dedo blanco inducido por vibración (VWF)</p>	<p>Este tipo de enfermedad profesional se caracteriza por presentar los dedos blancos o pálidos causados por una oclusión de las arterias digitales palmares. Durante los episodios de dedos blancos, el trabajador puede perder totalmente la sensibilidad táctil. En los casos más avanzados, este tipo de enfermedad vascular puede derivar en úlceras o gangrenas en la piel de las puntas de los dedos.</p>

Tabla 48: Efectos vasculares provocados por las vibraciones – **Fuente:** Propia

- **Otros accidentes**

En esta fase de la construcción de un buque se pueden dar una gran variedad de situaciones que pueden ser las causantes de accidentes y, por lo tanto, de lesiones (leves o graves). Estos riesgos pueden ser originados por la maquinaria y equipos que se utilizan para el desarrollo de estas actividades o bien, por la manipulación del material final.

En primer lugar, como consecuencia de la mecanización y automatización de diversas tareas que se realizan en los trenes de laminado han permitido reducir los accidentes que pueden sufrir las personas encargadas de éstas. Sin embargo, continúa existiendo un riesgo de atrapamiento en la maquinaria que puede generar lesiones graves. Éstas se producen especialmente en los trenes de laminación en frío y en los de acabado. A su vez, en todo el proceso de laminación existe también el riesgo de atrapamiento en los rodillos. Este tipo de accidentes generalmente se producen cuando el trabajador intenta limpiar los rodillos, los cuales se encuentran en funcionamiento, o cuando se intentan cambiar.

En segundo lugar, durante el transcurso de estos procesos también pueden producirse lesiones graves a causa de las máquinas que se utilizan para el laminado de las placas de acero (máquinas de corte, despuntado, rebanado y guillotinas). Este tipo de maquinaria puede producir quemaduras y cortes, los cuales pueden presentar una elevada gravedad. Asimismo, en algunas ocasiones se han dado situaciones de amputación de miembros de la persona afectada. En cuanto a los cortes, éstos también son ocasionados por la manipulación del material final que se encuentra laminado. A su vez, durante la manipulación de la maquinaria y equipos, los trabajadores pueden verse también afectados por riesgos eléctricos

En tercer lugar, los trabajadores también están expuestos a caídas y deslizamientos como consecuencia de la aplicación de aceites, antioxidantes y otros productos por medio de la pulverización. Este método de aplicación conlleva la acumulación de estos productos en el suelo y en las vías de paso provocando estas situaciones de peligro.

En cuarto lugar, las personas dedicadas a la laminación del acero, especialmente las dedicadas a procesos de laminación en caliente, pueden sufrir lesiones graves cuando atraviesan los transportadores de los rodillos por zonas que no están autorizadas.

En quinto lugar, a lo largo del proceso de laminado, principalmente en los correspondientes a la laminación en caliente, se pueden producir lesiones y quemaduras oculares. Éstas son provocadas por las proyecciones de cascarilla y de agua caliente que se desprenden en el transcurso de las operaciones pertinentes. La gravedad de estas lesiones puede variar en función de distintos aspectos como el tamaño de la partícula proyectada, su velocidad, el tipo de contacto con que se ha producido (si ha sido directo), entre otros. Por esta razón, se pueden producir desde lesiones leves como la irritación del ojo hasta lesiones graves que cuyo desenlace puede ser la pérdida de la visión. Algunos ejemplos son los siguientes: la erosión de la córnea por salpicaduras de cascarilla, desgarramientos de iris y daños en el cristalino cuando la córnea se ha perforado, cataratas, entre otras.

Al mismo tiempo, éstas también pueden originarse por el nivel de iluminación de algunos procesos. Es decir, en algunos casos de lesiones oculares se producen fruto de los deslumbramientos causados en algunos trabajos del proceso de laminación del acero.

5.2.2 Riesgos provocados por agentes químicos

Los riesgos químicos que se pueden dar en los trabajos de laminación del acero, tanto en caliente como en frío, son menores que los provocados por agentes físicos. Principalmente, este riesgo químico es originado por el uso de ácidos durante los procesos. A continuación se expondrán los efectos que estos productos químicos pueden ocasionar sobre la salud de los trabajadores que realizan las actividades y que también pueden padecer aquellos que se encuentren en zonas adyacentes.

- **Ácidos**

Los ácidos son productos químicos que se utilizan especialmente durante los procesos de decapado para poder eliminar el óxido que se forma sobre la superficie del material. Los ácidos

que se utilizan mayoritariamente para el decapado de las placas de acero son: ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. Estos dos tipos de ácidos son tóxicos y altamente corrosivos, de manera que pueden provocar graves lesiones cuando entran en contacto con la piel y en las membranas mucosas de los trabajadores. En aquellos casos donde estos ácidos son inhalados por los trabajadores, pueden llegar a afectar gravemente a los pulmones provocando un edema pulmonar (acumulación anormal de fluidos en los alvéolos pulmonares), el cual provoca dificultad respiratoria, expectoración de sangre, labios y uñas azules, asfixia, pulso rápido, mareos, entre otros síntomas. En los casos más graves, puede llegar a suponer una amenaza para la vida de la persona afectada.

En los casos en los que se produce un contacto directo con estos ácidos, al ser corrosivos generan inmediatamente quemaduras graves y daños en los tejidos de la piel o de las membranas mucosas. Algunos de los síntomas que provoca el contacto de estos ácidos tóxicos con la piel son los siguientes: aparición de ampollas, quemaduras y dolor.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los síntomas y signos que los ácidos sulfúrico y clorhídrico originan en la persona afectada.

Ácido sulfúrico	Vía respiratoria	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad respiratoria. - Debilidad corporal. - Labios, uñas y piel azulados (cianosis). - Dolor en el pecho. - Asfixia. - Tos. - Expectoración con sangre. - Mareos. - Hipotensión arterial. - Taquicardia. - Insuficiencia respiratoria.
	Contacto con la piel u ojos	<ul style="list-style-type: none"> - Ardor en la piel o en los ojos. - Supuración. - Dolor. - Pérdida de la visión en casos extremos.

Ácido clorhídrico	Vía respiratoria	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad respiratoria. - Debilidad corporal. - Labios y uñas azulados. - Dolor en el pecho (opresión). - Asfixia. - Tos. - Expectoración con sangre. - Mareos. - Hipotensión arterial. - Taquicardia.
	Contacto con la piel u ojos	<ul style="list-style-type: none"> - Ampollas. - Quemaduras. - Dolor. - Pérdida de visión (en casos extremos).

Tabla 49: Efectos sobre la salud producidos por el ácido sulfúrico y clorhídrico – **Fuente:** Propia

5.3 Soldadura y Corte

Una vez que las planchas de acero presentan el escantillón deseado, se trasladan al taller de soldadura que dispone el astillero para así poder ensamblar diversas piezas y formar los denominados bloques. Estos bloques posteriormente serán enviados a la zona final del montaje donde se unirán y configurarán el casco del buque. Durante estas etapas de la construcción, la soldadura es un trabajo que se realiza en la mayor parte del astillero. Del mismo modo, el corte de las planchas de acero también presenta cierta importancia, ya que éste es necesario para poder disponer del tamaño deseado y por consiguiente, poder construir el buque según lo especificado en el diseño.

Estas dos operaciones pueden desarrollarse siguiendo una gran variedad de métodos con los que se obtienen el resultado requerido. Sin embargo, a continuación se expondrán las técnicas de soldadura y de corte que se utilizan con mayor frecuencia en la construcción naval con acero.

Técnicas de soldadura

Las técnicas de soldadura que se utilizan con mayor frecuencia son aquellas en las que las piezas de acero se unen por medio de una fuente calorífica que es el arco eléctrico. Esta técnica de soldadura por fusión se caracteriza por que establece un circuito entre la pieza soldada y un electrodo, varilla o alambre. Estos tres últimos elementos constituyen un material de relleno y pueden ser consumibles o no consumibles, es decir, pueden fundirse junto con las piezas. El resultado final de la soldadura ha de tener unas propiedades similares a las que presenta el material inicial. Por este motivo, normalmente se selecciona un material de relleno que permita obtener unas características mejores a las que presentaba el material original.

Un factor importante en este tipo de soldaduras consiste en que se ha de proteger la atmósfera de la zona de la soldadura. Debido a que esta operación se realiza a unas temperaturas muy elevadas (por encima del punto de fusión de los metales y pueden alcanzar valores superiores a 4.000°C) el oxígeno y nitrógeno atmosféricos reaccionan fácilmente y quedan retenidos entre la pieza soldada y el material de relleno. Este hecho provoca una debilitación de la soldadura que tiene como consecuencia la disminución de la resistencia. Por esta razón, se utiliza un elemento fundente, un gas o una combinación de ambos, que protegen el resultado final y evitan el contacto con la atmósfera. Estos materiales de protección, junto con los electrodos, reaccionarán durante la soldadura produciendo un conjunto de vapores que protegen a la soldadura de la entrada de oxígeno y nitrógeno.

Las técnicas de soldadura por arco eléctrico que se utilizan normalmente en la construcción naval con acero son las siguientes: soldadura metálica por arco protegido (SMAW), soldadura por arco sumergido (SAW), soldadura por arco de tungsteno y protección gaseosa (GTAW) y soldadura por arco metálico con protección gaseosa (GMAW).

1. Soldadura metálica por arco protegido (SMAW)

La técnica de soldadura metálica por arco protegido es la más utilizada en los astilleros. Este tipo de soldadura se diferencia de las demás técnicas por el uso de un determinado tipo de electrodo consumible y por su naturaleza manual o semiautomática. El arco eléctrico se genera entre el electrodo revestido y la pieza a soldar y puede alcanzar una temperatura de 5.000°C. Este tipo de electrodo se caracteriza por el hecho de que está revestido por un material fundente que se funde, junto con la zona del material afectada a medida que se lleva a cabo la soldadura, y debido a que aporta un metal de relleno. A su vez, el fundente va recubriendo de escoria el material base fundido (en este caso el acero) y protege la zona de la soldadura con una atmósfera de un gas protector.

En la siguiente imagen se puede apreciar una descripción gráfica de este tipo de soldadura utilizada en la construcción naval con acero.

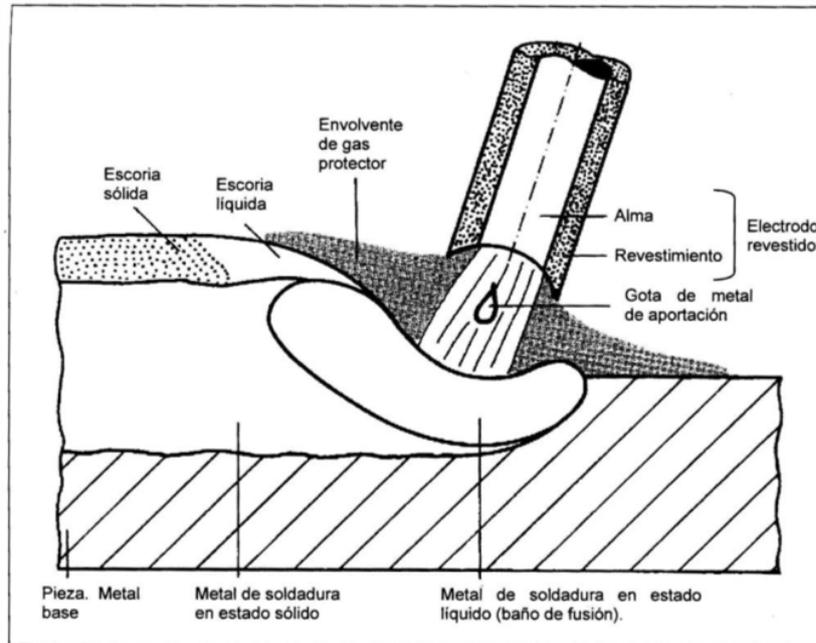


Figura 18: Soldadura metálica por arco protegido – **Fuente:** Martin Gibernau, J. *Procesos de soldadura aplicados en la construcción naval*. Proyecto Final de Carrera, UPC; FNB, 2011. [UPCommons].

2. Soldadura por arco sumergido (SAW)

La soldadura por arco sumergido es muy similar a la técnica anterior y también se utiliza frecuentemente en los astilleros, especialmente en los buques de nueva construcción. Su amplia aplicación se debe al uso de equipos totalmente automatizados.

Esta técnica de soldadura consiste en la fusión por arco eléctrico del material base y del electrodo metálico consumible sin revestir. Al no estar revestido el electrodo (el cual actúa como material de relleno), la protección de la soldadura se establece mediante una capa de material fundente granuloso que se deposita sobre las piezas a soldar.

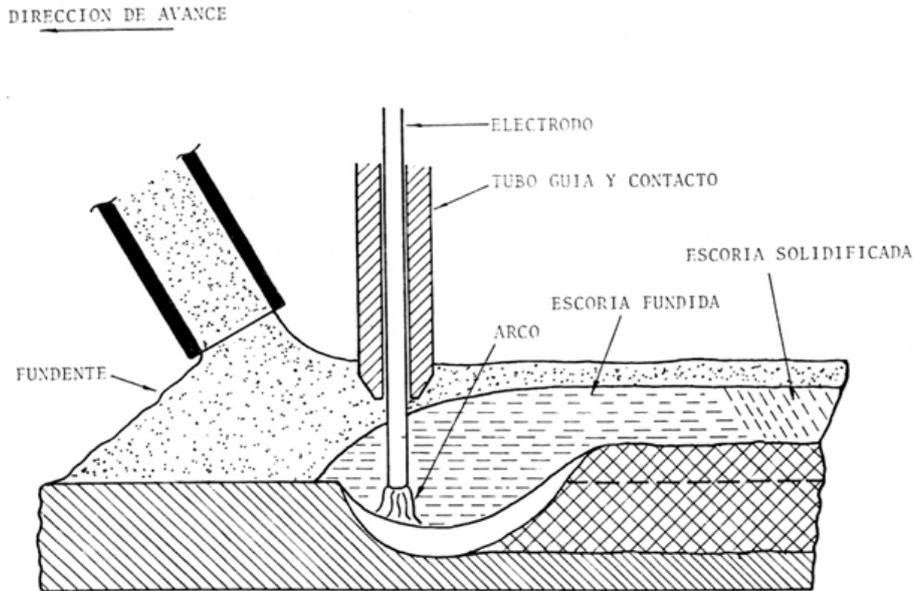


Figura 19: Soldadura por arco sumergido – Fuente: <http://www.histarmar.com.ar/Astilleros/Diccionario/LetraS.htm>

3. Soldadura por arco metálico con protección gaseosa (GMAW)

Esta técnica de soldadura se diferencia de las mencionadas anteriormente por el hecho de que la protección de la soldadura se realiza a través de dióxido de carbono, gases inertes (generalmente helio o argón) o bien una combinación de los dos. Por este motivo, este tipo también recibe el nombre de soldadura metálica en gas inerte (MIG).

En este tipo de soldadura, el arco eléctrico se establece entre el electrodo consumible (éste se aporta de manera automática y continua durante el proceso y no está revestido) y el material base fundido.

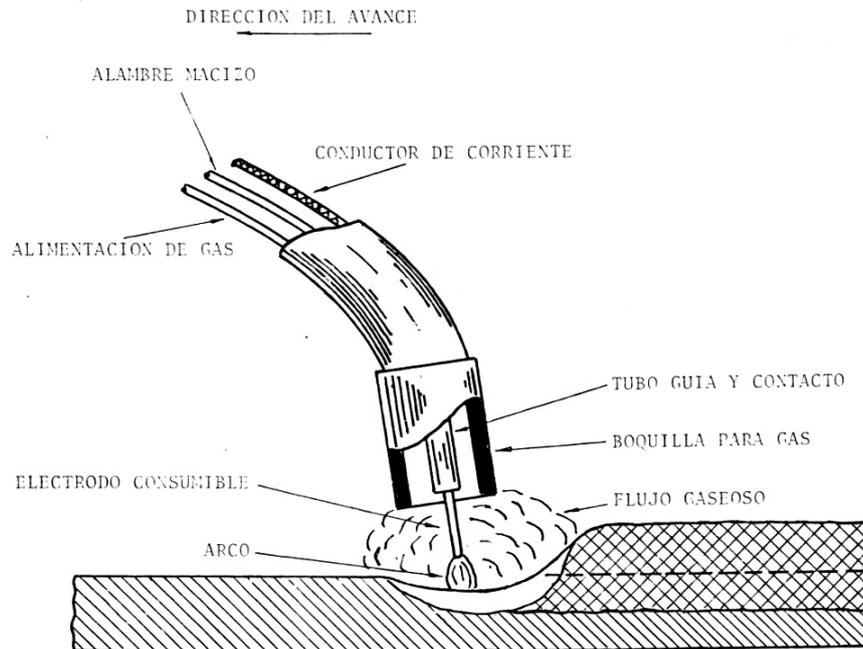


Figura 20: Soldadura por arco metálico con protección gaseosa – Fuente: <http://www.histarmar.com.ar/Astilleros/Diccionario/LetraS.htm>

4. Soldadura por arco de tungsteno y protección gaseosa (GTAW)

Este tipo de soldadura también se denomina soldadura con gas inerte y tungsteno (TIG) y es un tipo de soldadura con protección gaseosa. Ésta se caracteriza por el uso de un electrodo de tungsteno no consumible y de gases inertes (argón y helio) que proporcionan una atmósfera protectora.

En la soldadura GTAW, el arco eléctrico se genera entre el metal base y el electrodo de tungsteno (éste puede aportar o no material de relleno).

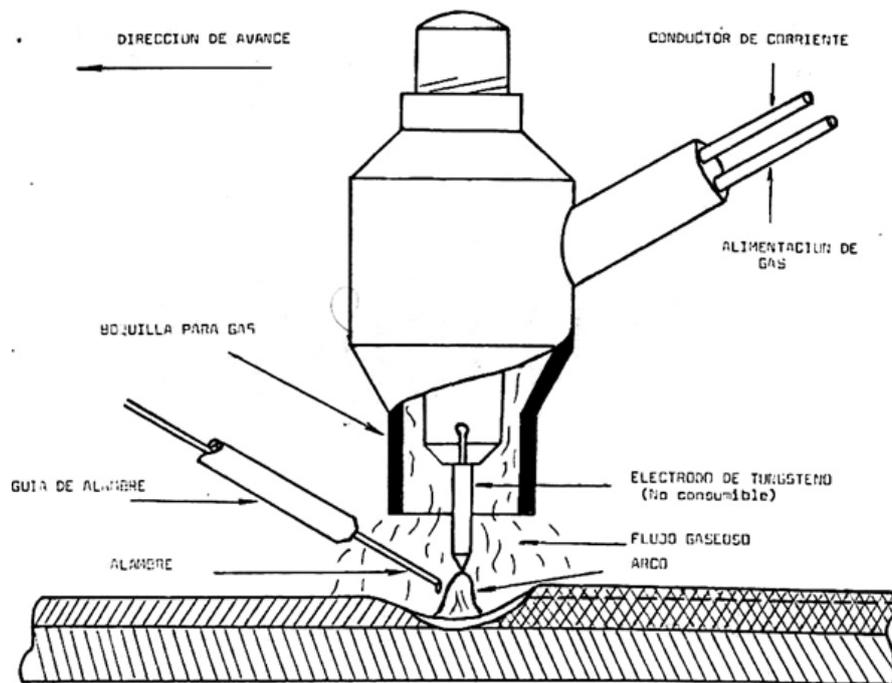


Figura 21: Soldadura por arco de tungsteno y protección gaseosa – Fuente: <http://www.histarmar.com.ar/Astilleros/Diccionario/LetraS.htm>

Técnicas de corte

En la construcción naval se aplican varios tipos distintos de cortes que permiten obtener planchas de acero con las características establecidas por el diseño. Para realizar este trabajo, igual que en la soldadura, existen varios tipos distintos de técnicas de corte. Principalmente, en los astilleros se utilizan las siguientes: corte oxiacetilénico, corte por plasma y corte por arco - aire.

1. Corte oxiacetilénico

Este tipo de corte también es denominado oxicorte y consiste en separar metales a través de una reacción química entre el oxígeno y el material base. La primera fase de este proceso se basa en calentar el acero con una llama producida por el oxígeno y un gas combustible, el cual normalmente es el acetileno. Tras calentar el acero, la segunda fase se basa en aplicar una corriente de oxígeno sobre el metal para así poder cortarlo.

2. Corte por plasma

El corte por plasma es un tipo de corte que separa el acero en dos piezas a través de un arco eléctrico generado entre un electrodo y el metal base y por la acción de un chorro de plasma que se aplica sobre la pieza. Es decir, el plasma sirve de soporte al arco ya que éste se genera cuando el electrodo entra en contacto con el metal base. Este tipo de arco generado se caracteriza por ser restringido ya que éste se suministra a través de la boquilla del soplete.

3. Corte por arco - aire

Este tipo de corte consiste en que el metal es inicialmente fundido por el calor que genera el arco eléctrico (producido por el contacto del electrodo con el metal base). Una vez que éste se ha fundido, se aplica un chorro de aire a presión que expulsa la parte del material fundida de la zona de corte.

Durante los procesos de soldadura y corte, se pueden producir una gran cantidad de situaciones peligrosas que conllevan unos elevados riesgos para la salud de las personas dedicadas a la realización de estos trabajos. Algunos de estos riesgos son generados por agentes como el calor, radiación, ruido, humos, gases, vibraciones, entre otros. Al mismo tiempo, algunos de éstos pueden verse influenciados por la composición de los humos producidos, las técnicas que se han realizado, el lugar de trabajo o las condiciones ambientales. Por este motivo, los trabajos de soldadura y corte se consideran profesiones con un alto índice de peligrosidad.

Los riesgos derivados de estas actividades pueden tener como origen diversos agentes físicos (por ejemplo las radiaciones, calor o ruido) a la vez que químicos (partículas de metales, gases tóxicos o la exposición a sustancias nocivas). Los agentes físicos y químicos que provocan estos riesgos se pueden observar en la Tabla 50.

Riesgos originados durante la soldadura y corte del acero	Agentes Físicos	<ul style="list-style-type: none">- Calor- Accidentes- Ruido- Vibraciones- Radiaciones
--	-----------------	--

	Agentes Químicos	- Humos - Gases
--	------------------	--------------------

Tabla 50: Agentes causantes de los riesgos durante la soldadura y el corte del acero – **Fuente:** Propia

A continuación se expondrán de manera más detallada los riesgos mencionados, los cuales pueden producirse durante la realización de estas tareas.

5.3.1 Riesgos provocados por agentes físicos

Los riesgos a los que están expuestos los trabajadores cuando llevan a cabo estas operaciones en los astilleros son diversos debido a la variedad de agentes físicos que intervienen. Muchos de éstos se deben a que algunas técnicas de soldadura y corte se han de realizar manualmente. Al mismo tiempo, cabe mencionar que algunos de los riesgos que se pueden originar son los mismos que se dan en los trenes de laminación de las placas de acero (tanto en caliente como en frío). Los principales riesgos físicos son los siguientes.

- **Calor**

El calor, al igual que en el caso de la laminación del acero, puede ocasionar diversas lesiones y dolencias, las cuales pueden presentar un nivel de gravedad elevado. En aquellos casos en los que el trabajador ha estado expuesto al calor generado durante la soldadura y el corte, puede tener como resultado la aparición de los efectos para la salud de éste que se han explicado anteriormente. Éstos son: erupciones cutáneas, deshidratación, calambres, síncope por calor, agotamiento por calor y, en los casos más extremos, golpe por calor.

Al mismo tiempo, durante los procesos de soldadura y corte también pueden producirse quemaduras y lesiones oculares. Las primeras generalmente son causadas por el contacto con el material fundido, soldado o por las chispas que se producen durante estas operaciones. En el caso de las lesiones oculares, éstas se pueden dar cuando hay un contacto con escoria caliente, chispas, electrodos o por virutas del metal que se pueden generar durante la soldadura y el corte.

- **Ruido**

El ruido es un agente físico que puede ocasionar situaciones de riesgo que pongan en peligro la salud de los trabajadores, a la vez que provoca daños a la salud de un trabajador en particular. Es decir, éste puede suponer un riesgo para la salud a nivel colectivo y también a nivel individual. Los efectos que este agente origina en la salud de los trabajadores son los mismos que se han descrito en el subapartado anterior (laminación del acero).

En la persona que realiza estas operaciones, el ruido puede ser el causante de lesiones en la audición (a largo plazo muchos trabajadores sufren una pérdida de audición), en el sistema cardiovascular, inmunitario, digestivo, nervioso, entre otros.

A nivel colectivo, la presencia de ruidos con un nivel de intensidad elevada provocados por la maquinaria y los equipos utilizados durante la soldadura y corte, pueden desencadenar situaciones de peligro ya que la comunicación entre los operarios puede resultar dificultosa.

- **Vibraciones**

Las vibraciones que se producen debido a la maquinaria y equipos utilizados durante estos trabajos pueden ser los causantes de diversos tipos de lesiones en las personas que las realizan. Muchas de estas dolencias son las mismas que se dan en los procesos de laminación del acero, las cuales han sido explicadas en el respectivo subapartado. Algunos de los efectos que tienen las vibraciones transmitidas a las manos son los siguientes: tendinitis, debilidad muscular, dedo blanco inducido por vibración, osteoartritis del codo, de la muñeca, entre otros.

- **Radiaciones**

Los procesos de soldadura y corte conllevan varios riesgos para la salud de los operarios derivados de las radiaciones que se utilizan en estas actividades. Concretamente, las radiaciones que se emplean para el desarrollo de éstas son las no ionizantes: infrarrojas y ultravioletas.

- a) Radiación ultravioleta**

La severidad de las lesiones producidas por la radiación ultravioleta dependen de un conjunto de factores que son los siguientes: ropa de protección, duración de la exposición, técnica de soldadura por arco eléctrico o corte utilizadas, intensidad de la radiación, distancia a la fuente de origen de ésta, longitud de onda y la sensibilidad de la

persona. Este tipo de radiación puede originar lesiones cutáneas y oculares. En el primer caso, la exposición a este tipo de radiación no ionizante puede provocar quemaduras e irritación de la piel de los soldadores y trabajadores de corte. Éstos se encuentran especialmente en las manos, brazos y cara. Algunos estudios realizados, indican que una exposición elevada a este tipo de agente radioactivo puede causar a largo plazo cáncer de piel. En cuanto a las lesiones oculares, la radiación UV puede producir daños permanentes en los ojos. La exposición a este agente puede provocar fotoqueratitis, conocida en inglés como “arc eye” o “welder’s flash”. El trabajador puede verse afectado por esta enfermedad incluso cuando la exposición se ha dado en un breve periodo de tiempo. Los principales síntomas de esta enfermedad aparecen horas después de la exposición a la radiación UV y consisten en pequeñas ulceraciones en la córnea, disminución de la visión, dolor intenso en los ojos, sensación de tener arena en los ojos, lagrimeo, entre otros.

b) Radiación infrarroja

A diferencia de la anterior, las radiaciones infrarrojas no causa daños en la piel de las personas llevan a cabo estas tareas. Sin embargo, a pesar de que no penetran profundamente en la piel, generan un aumento de la temperatura corporal, la cual puede desencadenar problemas físicos para la persona relacionados con el calor. El riesgo para la salud más destacado que este tipo de radiación produce consiste en lesiones oculares. Al penetrar en el ojo, provoca un aumento de la temperatura que tiene como resultado graves daños en la córnea, los cuales derivan en la opacidad del cristalino, es decir, causan cataratas. Este tipo de efectos causados por la radiación infrarroja son irreversibles.

- **Otros accidentes**

En los trabajos de soldadura y corte pueden tener lugar diversos accidentes relacionados con la maquinaria y los equipos utilizados, el lugar donde éstas se realizan, con las técnicas de soldadura y corte que se desarrollan, entre otros factores.

Las caídas o deslizamientos son unos de los accidentes más comunes que se pueden dar cuando se llevan a cabo este tipo de trabajos. Éstos pueden producirse como consecuencia de la falta de limpieza en los lugares de trabajo, por la maquinaria y equipos que se has de utilizar, la

presencia de cables de éstos en el suelo, entre otros. Las caídas o deslizamientos pueden suponer graves lesiones para los trabajadores (como fracturas graves o lesiones internas) o dolencias más superficiales (hematomas, fracturas más leves, etc.) en función del lugar donde se produzcan. En aquellos casos donde las caídas se produzcan desde lugares de cierta altura, los efectos de éstas en la salud de la persona afectada serán superiores a los que presente otra persona cuya caída o deslizamiento se haya producido en un nivel de altura normal.



Figura 22: Trabajo de soldadura en el casco de acero de un buque – **Fuente:** <http://www.mosingenieros.com/2013/03/timelapse-construyendo-el-buque-mas.html>

En relación con las caídas, existen también lesiones que puede sufrir el trabajador como consecuencia de caídas de objetos. Estos daños pueden tener un nivel de peligrosidad variable en función de las características que presente el objeto.

En cuanto a la maquinaria utilizada, los riesgos que éstas pueden suponer para la salud de los trabajadores están relacionados con las partes móviles que éstas presentan, las reparaciones que se les tenga que aplicar, las herramientas manuales, etc. Estos factores pueden derivar en cortes (graves o leves), amputaciones o fracturas (causadas por atrapamientos en las máquinas) o electrocuciones. Un aspecto que se ha de tener en cuenta cuando se llevan a cabo las reparaciones de estos equipos, consiste en que éstos han de estar bloqueados o apagados para así evitar que se enciendan accidentalmente durante las reparaciones.

5.3.2 Riesgos provocados por agentes químicos

En el transcurso de las operaciones de soldadura y corte del acero, los trabajadores están expuestos a diversos peligros causados por agentes químicos. Estos riesgos presentan una cierta importancia, ya que constituyen unos de los principales riesgos que se pueden originar durante la realización de estos trabajos y que más efectos generan sobre la salud de las personas que los desarrollan.

Principalmente, estos peligros son causados por la inhalación de humos y gases generados en el transcurso de las operaciones de soldadura y de corte. Tanto los daños que éstos ocasionan en la salud de los trabajadores como el nivel de gravedad que comportan, como se ha indicado en el inicio de este capítulo, son diversos debido a varios factores que los pueden modificar. Algunos de estos factores son los siguientes: el tipo de agente al que el trabajador ha estado expuesto (composición química), la duración de la exposición laboral, el nivel de la exposición (si la exposición ha sido intensa o ligera), el tipo de técnica que se ha seguido, la ventilación del lugar donde se realizan las operaciones, entre otros.

A continuación, se expondrán los diversos daños que los gases y humos, producidos durante los procesos de soldadura y corte de acero, provocan a la salud de los trabajadores de los astilleros cuando son inhalados.

- **Humos**

El humo que pueden inhalar los trabajadores se forma cuando los vapores de los metales que se sueldan o cortan reaccionan con el oxígeno del aire provocando que éstos se oxiden. Una vez oxidados, se condensan formando partículas sólidas de tamaños muy reducidos. Estos humos están compuestos por una mezcla compleja de óxidos de metales que proceden principalmente del acero que ha sido soldado o cortado y de la descomposición de los electrodos consumibles. Asimismo, la composición del humo también puede verse influenciada por los siguientes factores: los componentes procedentes de los elementos de protección que se han utilizado (tanto de los elementos fundentes como de los gases de protección), la presencia de pinturas en el acero y el tipo de soldadura y/o corte que se han realizado.

Como consecuencia de la gran variedad de elementos que forman los humos, los daños que pueden padecer los trabajadores son diversos. Al mismo tiempo, la gravedad de éstos también puede oscilar dependiendo principalmente de los componentes que integran el acero soldado o cortado. Este hecho se debe a que algunos de los elementos que componen el acero provocan graves efectos a la salud de los trabajadores debido a su elevada toxicidad.

Un ejemplo de componentes que conllevan un alto riesgo para la salud de los operarios son el cromo y níquel, los cuales configuran el acero inoxidable que se utiliza en la construcción naval.

Al mismo tiempo, los daños que provocan estos humos también se ven influenciados en gran medida por el tamaño de las partículas presentes en el humo. Dependiendo este factor, éstas podrán tener una mayor o menor penetración en el cuerpo de los trabajadores. Generalmente, las partículas presentes en el humo tienen un tamaño igual o inferior a 0,1 µm, de manera que éstas pueden quedar depositadas en los bronquiolos o alvéolos ya que penetran en el intersticio alveolar y pueden pasar a la sangre.

Debido a que en la construcción naval se utilizan una gran variedad de tipos de aceros, cuyas composiciones difieren entre ellas, en la siguiente tabla se indican los efectos que tienen sobre la salud la inhalación de los humos producidos por los procesos de soldadura y corte de los aceros no aleados y los aceros aleados.

Efectos para la salud			
Tipo de acero	Componentes	Humos generados	Clínica
Aceros no aleados	- Carbono - Hierro	- Óxidos de hierro	- Siderosis pulmonar (neumoconiosis benigna).
Aceros aleados	- Carbono - Hierro - Manganeso - Molibdeno - Níquel - Cromo - Azufre - Fósforo - Silicio	- Óxidos de hierro - Compuestos de Cromo (III y VI) - Compuestos de níquel - Óxido de manganeso (IV)	- Siderosis pulmonar. - Irritación respiratoria. - Irritación ocular. - Irritación dérmica. - Dermatitis. - Fiebre por humos de metales. - Cáncer de pulmón, senos nasales y paranasales. - Manganismo.

			- Efectos en el sistema reproductor. - Alteraciones mutagénicas.
--	--	--	---

Tabla 51: Efectos sobre la salud provocados por los humos generados en la soldadura/corte de aceros no aleados y aleados – **Fuente:** Propia

- **Gases**

Los gases a los que están expuestos los trabajadores son aquellos que se forman por la descomposición de los elementos fundentes, por la interacción de la radiación ultravioleta (la cual se produce por el arco eléctrico) o de las elevadas temperaturas con el oxígeno y nitrógeno atmosféricos. Dentro de estos gases también se incluyen aquellos que se utilizan como gases de protección de la soldadura o corte (argón y helio). Los gases que se generan, los cuales son considerados como gases tóxicos, son los siguientes: ozono, dióxido de carbono, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

En relación con el dióxido de carbono que se produce por la descomposición de los elementos fundentes en las técnicas de soldadura por arco eléctrico o cuando es utilizado como gas protector en la técnica de soldadura GMAW, cabe mencionar que éste se reduce a monóxido de carbono ya que éste es más estable.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los efectos que estos gases producen en la salud de las personas cuando se realiza la soldadura y/o corte del acero.

Gases generados	Clínica
Monóxido de carbono	- Provoca la formación de carboxihemoglobina (COHb), la cual dificulta la unión de oxígeno con la hemoglobina de la sangre. - Decrece la capacidad de la hemoglobina de transportar el oxígeno por el cuerpo. - Cuando la concentración de COHb es superior al 50% se puede producir inconsciencia, en niveles más bajos provoca dolores de cabeza, debilidad muscular, mareos y náuseas.

	<ul style="list-style-type: none"> - Fallecimiento cuando el 70 – 80% de la hemoglobina ha estado sustituida por la COHb.
Óxidos de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> - Irritación de los ojos, membranas mucosas y pulmones. - Exposición a concentraciones elevadas puede generar irritación severa en los pulmones (como por ejemplo bronquitis crónica) y edema pulmonar. - Exposiciones crónicas causan alteraciones en el mecanismo pulmonar, reducción de la capacidad respiratoria y capacidad vital.
Ozono	<ul style="list-style-type: none"> - Irritación del sistema respiratorio (concretamente la nariz, garganta y pulmones). - Exposición a pequeñas cantidades (por ejemplo, 1ppm) provoca dolor de cabeza, sequedad de los ojos, mareos, fatiga extrema, entre otros. - Cuando la exposición es de 10 ppm y durante varias horas causa edema pulmonar. - Lesiones en los pulmones (ejemplo: hemorragia). - Fallecimiento cuando la concentración de la exposición es muy elevada. - Tras años desde la primera exposición, pueden aparecer cambios significativos en el funcionamiento de los pulmones.

Tabla 52: Efectos sobre la salud provocados por los gases generados en la soldadura/corte del acero –

Fuente: Propia

Al mismo tiempo, en estas operaciones de soldadura y corte del acero, también existe un riesgo de incendios y explosiones que pueden ser causados por agentes físicos, químicos o una combinación de ambos. Como consecuencia del intenso calor que entrañan estos trabajos, las chispas que se producen y los componentes de los humos y gases generados, pueden ocasionar explosiones e incendios cuando

hay un combustible o material inflamable en la proximidad. Un ejemplo de elemento que presenta el acero en su composición y que tienen un elevado índice de riesgo de incendio y explosiones es el níquel.

5.4 Pintura

A lo largo del proceso de construcción de un buque con acero, se aplican diversas capas de pinturas sobre este tipo de material para así dotarlo de las propiedades mecánicas y protección que éste necesita y también, por motivos estéticos. Generalmente, la primera capa de pintura se aplica sobre las planchas de acero cuando aún no se ha iniciado la construcción de los bloques, los cuales posteriormente configurarán el buque. Esta primera capa de pintura recibe el nombre de imprimación de pre-construcción y se realiza en el taller de imprimación que dispone el astillero. La aplicación de ésta tiene como objetivos mantener el buen estado del acero durante el proceso de construcción y mejorar la productividad de la construcción. A medida que se van formando y uniendo los bloques, se aplica sobre el acero el tipo de pintura correspondiente.

Las pinturas están integradas por cuatro elementos que son los siguientes: disolventes, ligantes o resinas, pigmentos y aditivos. La proporción de estos elementos varía dependiendo de cada tipo de pintura. Sin embargo, las cantidades de éstos se mantienen normalmente entre los siguientes porcentajes.

- Disolventes: Oscila entre un 50 y 60%.
- Ligantes: Su concentración varía entre 15 y 45%.
- Pigmentos: La concentración de los pigmentos oscila en función de cada tipo de pintura y del color. Éstos se encuentran en porcentajes comprendidos entre un 3% y un 35%.
- Aditivos: Su concentración en las pinturas es de un 1% a un 5%.

Los disolventes que contienen las pinturas son añadidos a éstas con la finalidad de aclararla, es decir, dispersar los demás elementos que la componen y reducir su viscosidad. De esta manera, permiten facilitar la aplicación de ésta sobre la superficie. Este elemento de la pintura se evapora durante el secado/curado. Los principales tipos de disolventes que se utilizan son los siguientes: metiletilcetona (MEK), xileno, tolueno, entre otros.

Los ligantes o resinas también son denominados vehículos ya que permiten unir los pigmentos y aditivos presentes en los recubrimientos. Estos elementos también se caracterizan por el hecho de que forman la película plástica final y determinan el comportamiento de la aplicación: flexibilidad, durabilidad, resistencia a productos químicos, entre otros. Las resinas que más se emplean son: resina epoxi, resinas alquídicas, acrílicas, entre otras.

Los pigmentos son pequeñas partículas que dotan de color a las pinturas a la vez que les proporcionan una mejor resistencia mecánica. Algunos ejemplos de los pigmentos que se añaden a las pinturas son: óxido de zinc, sílice, talco, óxidos de hierro, etc.

Como se ha mencionado, las pinturas también suelen incorporar en su composición, aunque en pequeñas proporciones, aditivos. Estos elementos tienen como finalidad mejorar las propiedades químicas y físicas de las pinturas. Algunos aditivos que se añaden a las pinturas son: estabilizadores, catalizadores, secantes, antiespumantes, espesantes, etc.

Al mismo tiempo, en la construcción naval con acero también se utilizan dos tipos de pinturas que permiten prevenir la corrosión y la incrustación y proliferación de organismos marinos en el casco del buque. En cuanto a las pinturas antiincrustantes pueden ser de dos tipos: con biocidas o sin biocidas. Las primeras son aquellas que contienen en su composición productos tóxicos, los cuales son desprendidos para así evitar la adherencia de incrustaciones. Los biocidas que más se utilizan son los compuestos a base de cobre, concretamente el óxido de cobre y el tiocianato de cobre. Además de los compuestos de cobre, también se utilizan compuestos orgánicos como los carnatos o las piritionas. Estos últimos presentan un uso menor que las anteriores debido a que su efectividad es más reducida. En relación con las pinturas antiincrustantes que no disponen de biocidas en su matriz, también denominadas “fouling release coatings”, son aquellas que están formadas por polímeros de hidrogel que permiten disponer de superficies lisas y antiadherentes donde las incrustaciones no pueden adherirse ya que resbalan.



Figura 23: Casco de un buque afectado por incrustaciones – **Fuente:** <http://www.harsonic.com/professional-marine-offshore/>

Las pinturas anticorrosión que se aplican actualmente en los cascos de los buques de acero son aquellas que se fabrican con base epoxídica. Generalmente, para evitar la corrosión del acero se aplican tres capas de imprimación epoxi (de 300 micras secas).

Un aspecto importante que se ha de tener en cuenta en el momento de la imprimación consiste en que la superficie de acero que será pintada ha de ser previamente tratada y preparada. Este tratamiento de preparación de la superficie se puede realizar mediante el chorro abrasivo de arena o herramientas manuales. El primer caso consiste en el chorreado de arena impulsado por aire. De esta manera, se consigue eliminar la imprimación previa aplicada sobre la superficie del acero. En el segundo caso, la preparación de la superficie del acero se lleva a cabo a través de diversos tipos de lijadoras, entre las cuales se encuentra la lijadora roto - orbital. Al preparar las superficies se garantiza una buena adherencia de la pintura que se aplique sobre ella, a la vez que protección.



Figura 24: Tratamiento de la superficie del casco de un buque mediante el chorro abrasivo de arena –
Fuente: <http://www.carenadoscanarios.es/Realizaciones/?id=7>

Durante la realización de la imprimación, al igual que en las operaciones anteriores, los trabajadores están expuestos a un conjunto de agentes, tanto químicos como físicos, que pueden tener graves repercusiones en la salud de los trabajadores.

En la siguiente tabla quedan reflejados los agentes causantes de los riesgos originados durante la pintura del acero.

Riesgos durante el proceso de pintura	Agentes Físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Calor - Accidentes - Ruido - Vibraciones
	Agentes Químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Disolventes - Ligantes o resinas - Pigmentos

Tabla 53: Riesgos causados por agentes externos durante el proceso de pintura del acero – **Fuente:** Propia

A continuación se mencionarán los daños que pueden sufrir las personas que realizan esta operación de pintura y también de preparación de la superficie.

5.4.1 Riesgos provocados por agentes físicos

Muchos de los riesgos físicos que conlleva la realización de estas operaciones están principalmente ligados con el lugar donde éstas se desarrollan y el equipo utilizado. Los trabajos de pintura y de preparación de la superficie pueden ser los causantes de lesiones, dolencias, enfermedades como fracturas, pérdida de audición, estrés térmico, entre otros.

- **Calor**

Los trabajos de pintura del casco de un buque de acero pueden realizarse en los astilleros en unos talleres cubiertos, es decir, espacios cerrados, que permiten una mayor eficiencia y la obtención de resultados de mayor calidad. Sin embargo, no todos los astilleros disponen de estos espacios, de manera que estas tareas se desarrollan al aire libre. Este factor puede condicionar el resultado final y únicamente se puede trabajar con buen tiempo.

En los casos de pintura al aire libre, los trabajadores están expuestos a las condiciones ambientales y a temperaturas que pueden ser elevadas. Este factor, puede originar en las personas que realizan estas operaciones (incluidos también los trabajadores que se encargan de la preparación de la superficie) estrés térmico, cuya gravedad puede alcanzar un nivel elevado. Los efectos que este agente puede causar en los trabajadores son los mismos que se han mencionado en el subapartado correspondiente a la laminación del acero. Entre ellos, el que presenta una mayor gravedad debido a los daños que puede originar es el golpe de calor, por lo que se ha de tener bastante precaución en aquellas situaciones donde la temperatura ambiental alcance valores muy elevados.



Figura 25: Trabajo de pintado de un buque – Fuente:
<http://www.carenadoscanarios.es/Realizaciones/?id=7>

- **Ruido**

Los trabajos de pintura pueden realizarse por medio de diversos tipos de equipos, los cuales pueden ser simples o bien disponer de una mayor complejidad. Estos equipos son: rodillos, brochas, paint pad, pulverizadores con aire, pulverizadores sin aire y pulverizadores mixtos. En el caso de los pulverizadores, durante su utilización se puede llegar a sobrepasar el límite reglamentario de riesgo para la salud. En estas ocasiones, los trabajadores pueden padecer diversos daños que afectan al sistema auditivo, cardiovascular, inmunológico, digestivo y causan una perturbación del sueño y del descanso.

A nivel colectivo, el ruido también constituye un factor de riesgo debido a que imposibilita establecer una buena comunicación entre los trabajadores. En estas condiciones, el riesgo de que se produzcan accidentes o situaciones de peligro para la salud de las personas incrementa.

Al mismo tiempo, las personas que realizan las operaciones de chorreado abrasivo también se ven afectadas por este agente físico. Del mismo modo que en los trabajos de pintura, estos daños son causados por la maquinaria utilizada.

- **Vibraciones**

Estas operaciones de pintado del casco y de su preparación previa conllevan la manipulación reiterada de maquinaria que produce vibraciones. La exposición prolongada a las vibraciones mano - brazo puede tener como resultado la aparición de diversos daños en la salud de las personas dedicadas a estas tareas. Éstos se pueden clasificar en daños neurológicos, musculares y esqueléticos. Algunos síntomas que las personas afectadas pueden tener son los siguientes: hormigueo o adormecimiento de los dedos o de la mano, artritis en la muñeca, codo o articulaciones y tendinitis, debilidad muscular.

Al mismo tiempo, las vibraciones también pueden producir la enfermedad del dedo blanco inducida por vibración. Este tipo de enfermedad se caracteriza por episodios de dedos blancos en los que se pierde de manera completa la sensibilidad táctil. En los casos más avanzados, puede producir ulceraciones o gangrena en la piel de las puntas de los dedos.

- **Otros accidentes**

Los trabajadores que llevan a cabo la imprimación de los cascos de acero pueden sufrir accidentes relacionados principalmente con el lugar donde ésta se realiza.

Debido a que en numerosas ocasiones los buques en construcción tienen unas dimensiones elevadas, los trabajos de pintura se han de desarrollar a cierta altura. Para ello, es necesario que el astillero disponga de plataformas, equipos elevadores, andamios móviles, entre otros, con los que se pueda acceder a la superficie que se ha de pintar. Como consecuencia de estas alturas y de los dispositivos de elevación, los trabajadores están expuestos a caídas desde elevadas alturas. Dependiendo de la altura, los daños que el trabajador puede tener son variables, leves o, en el peor de los casos, pueden causar la muerte del trabajador. La caída de los trabajadores constituye una de las principales causas de fatalidad en los astilleros.

5.4.2 Riesgos provocados por agentes químicos

Las pinturas contienen en su composición elementos químicos tóxicos e irritantes que provocan graves daños para la salud de los trabajadores que realizan esta tarea. A continuación se expondrán los efectos que tienen los distintos elementos que componen las pinturas sobre la salud de las personas encargadas de la imprimación en el astillero.

- **Disolventes**

Los disolventes que contiene la pintura son unas sustancias químicas tóxicas e irritantes. Durante el proceso de secado/curado, los disolventes se evaporan originando vapores tóxicos que pueden ser inhalados por las personas que realizan las operaciones de pintura. Los efectos principales que se originan por la inhalación o el contacto de estos productos químicos son los siguientes: irritación de la piel, ojos, nariz y garganta, dificultad para respirar, problemas pulmonares, cansancio, debilidad muscular, pérdida de memoria, pérdida de conciencia, mareos, daños en el sistema nervioso, entre otros. En aquellas situaciones en las que se produzca un contacto directo con los ojos, además de la irritación, pueden desencadenar en graves daños oculares permanentes. Al mismo tiempo, en el caso de la metiletilcetona, algunos estudios determinan que ésta puede considerarse como un posible teratógeno humano.

- **Ligantes o resinas**

En el trabajo de aplicación de la pintura, la persona que la desarrolla está expuesta a productos tóxicos procedentes de las resinas que contienen las pinturas. En la actualidad, las que más se utilizan son las siguientes: resinas epoxi, acrílicas, alquídicas, poliéster - melaminas y acrílicas - isocianato.

Los daños que éstas generan en las personas durante el proceso de secado/curado dependen principalmente de su composición. Sin embargo, en la mayoría de casos tras una exposición a estos elementos se produce una irritación de la piel y de las mucosas, cuya gravedad variará en función de cada tipo determinado de resina.

- **Pigmentos**

Los pigmentos que contienen las pinturas provocan diversos daños en función de los elementos que integren su composición. Principalmente, los efectos son originados por el contacto de la piel con ellos o bien por la inhalación. De manera que la mayoría de ellos provoca irritación cutánea, dermatitis, eczemas, tos, disnea, asma, dificultad respiratoria, entre otros.

Muchos de éstos originan diversos tipos de neumoconiosis, enfermedad producida por la inhalación de polvo, concretamente, de la sílice y de los óxidos de hierro. En el primer caso, la neumoconiosis por inhalación del polvo inorgánico sílice se denomina silicosis y es considerada como una neumoconiosis maligna debido a los graves efectos que ésta provoca en la persona afectada. Principalmente, las lesiones que genera este tipo de polvo se producen en el

intersticio pulmonar, ya que éste se acumula en los alvéolos y provoca una reacción fibrógena. Ésta consiste en que el tejido intersticial es sustituido por tejido colágeno (fibrosis pulmonar), con lo que se dificulta el intercambio normal de gases entre (O_2 y CO_2) que se produce entre los alvéolos pulmonares y los capilares sanguíneos. Cabe mencionar que, debido a que las lesiones producidas son irreversibles, esta enfermedad tiene como desenlace el fallecimiento de la persona afectada.

Por el contrario, en el caso de la inhalación de óxido de hierro, la neumoconiosis que éste genera se denomina siderosis y se considera un tipo de neumoconiosis benigna. Este tipo de neumoconiosis se caracteriza por el hecho de que la acumulación de este elemento en los alvéolos y en el tejido intersticial de los pulmones no comporta la aparición de lesiones graves ni fibrosis pulmonar progresiva.

En el caso de los óxidos de zinc, la inhalación de este tipo de elementos puede provocar la denominada fiebre de los humos metálicos, cuyos efectos desaparecen al cabo de uno o dos días.

En el transcurso de la aplicación de las pinturas a los buques, como consecuencia de los elementos tóxicos que la integran, existe también el riesgo de que se produzcan explosiones o incendios. Es decir, cuando se forman los vapores tóxicos procedentes especialmente de los disolventes y de las resinas, el nivel de inflamabilidad y volatilidad es elevado. De manera que se pueden dar situaciones en las que se produzcan incendios o explosiones. Algún ejemplo de disolvente y resina con un elevado potencial de inflamabilidad y explosividad son la metileticetona, el xileno y las resinas epoxi.

En cuanto a las operaciones de tratamiento de la superficie por medio del chorreado abrasivo de arena, cabe mencionar que ésta genera una enfermedad llamada silicoproteinosis. Esta enfermedad es un tipo de neumoconiosis maligna generada por la inhalación del polvo inorgánico sílice en su forma cristalina generado por el choque de la arena en la superficie del casco del buque. Esta enfermedad forma parte de las Enfermedades Pulmonares Intersticiales Difusas (EPID) debido a los graves daños que afectan al intersticio pulmonar. Las lesiones que se generan en los pulmones son irreversibles y los daños aparecen transcurridos unos meses o pasados 5 años desde la primera exposición. Los síntomas que presenta la persona afectada por la inhalación de sílice cristalina son los siguientes: tos crónica, dificultad respiratoria, fatiga, dolor en el pecho, fiebre, entre otros. Como consecuencia de la gravedad de los daños que la inhalación de este polvo inorgánico provoca en los pulmones de la persona afectada y la rapidez de la evolución de esta enfermedad, inevitablemente provocan el fallecimiento del trabajador.

En relación con las pinturas anticorrosivas y antiincrustaciones que se aplican en los buques construidos con aceros, también presentan en su composición elementos que pueden afectar gravemente a la salud de las personas que las aplican. En la mayoría de casos, estos daños son provocados por la inhalación de productos tóxicos presentes en su composición, como el estaño, cobre, cromatos de zinc o plomo, o bien por el contacto. Algunos de estos productos químicos, debido a la gravedad de los efectos que originan en las personas y también en el medio ambiente, no se utilizan en la actualidad.

Capítulo 6. Riesgos para la salud asociados con la construcción de un buque con aluminio

El aluminio es un material cuyo uso en la construcción naval ha experimentado un gran crecimiento debido a las ventajas que éste ofrece en comparación con otros materiales. A pesar de ello, durante el proceso de construcción naval, se pueden dar una gran variedad de situaciones en las que los trabajadores pueden sufrir diversos tipos de riesgos derivados de su uso. Éstos, pueden ser causados tanto por agentes físicos como químicos.

En este apartado, se expondrán los diversos riesgos físicos y químicos que se pueden producir durante las operaciones de laminado, soldadura y pintura de los buques construidos con aluminio.

6.1 Normativa

En el transcurso de los trabajos de laminación, soldadura, corte y pintura del aluminio, al igual que en el caso del acero, se han desarrollado un conjunto de normativas a nivel internacional y nacional que tienen como objetivo la protección de los trabajadores y la prevención de los riesgos a los que éstos están expuestos. La mayoría de estos reglamentos están integrados dentro del marco de disposiciones de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de *Prevención de Riesgos Laborales*. Esta ley presenta un conjunto de regulaciones y responsabilidades que se deben cumplir para así poder evitar riesgos de carácter laboral o bien intentar reducirlos en caso de que no se puedan eliminar.

En relación con los trabajos comentados, debido a los diversos riesgos que se pueden producir durante su realización, se han elaborado un conjunto de normativas en las que se determinan los valores límites de exposición a los agentes físicos y químicos causantes de éstos, a la vez que también mencionan medidas que se pueden tomar para proteger la salud y seguridad de los trabajadores.

En relación con el ruido, este agente físico se produce en la mayoría de los trabajos mencionados y su exposición repetitiva puede desencadenar en graves lesiones y enfermedades a las personas encargadas

de dichas tareas. La normativa que regula la exposición a este tipo de agente externo es el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, *Sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido*.

Esta normativa está integrada por un conjunto de artículos, entre los cuales el Artículo 5 “Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción” es el que determina los límites de exposición permitidos. Estos límites de exposición quedan indicados en la Tabla 41 mostrada en el capítulo anterior.

A su vez, en estos trabajos de laminación, soldadura, corte y pintura también se pueden dar enfermedades profesionales y lesiones causadas por las vibraciones que generan los equipos utilizados para desempeñarlas. Con tal de evitar o reducir los riesgos causados por éstas, la normativa que establece los tiempos máximos de exposición permitida es el Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, *Sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas*.

Este Real Decreto 1311/2005 está configurado por un conjunto de artículos, entre los cuales el Artículo 3 denominado “Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción” establece los límites para la vibración transmitida al sistema mano – brazo y transmitida al cuerpo entero. La mayoría de los riesgos para la salud son originados por las vibraciones transmitidas al sistema mano – brazo, por este motivo, se deben establecer unos límites de exposición diaria. Éstos se pueden apreciar en la Tabla 42 mostrada en el capítulo anterior.

Los trabajadores también pueden sufrir diversas enfermedades o lesiones originadas por la exposición continuada y diaria a radiaciones, concretamente a las radiaciones ultravioleta e infrarroja. Las medidas de prevención y protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente a este tipo de agente externo están recogidas en el Real Decreto 486/2010, de 23 de abril, *Sobre la protección de la salud y de la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales*. Este tipo de radiaciones, como se ha mencionado en el apartado correspondiente al acero, engloba a las radiaciones ultravioletas e infrarrojas. Los valores límites de exposición, tal y como se ha mencionado en el anterior capítulo, dependen de tres factores: rango espectral, ángulo subtendido por la fuente y del tiempo de exposición. Los límites de exposición están determinados concretamente en el apartado A del Anexo I de este Real Decreto 486/2010 y se pueden observar en la Tabla 43 mostrada anteriormente.

6.2 Laminación

En la actualidad, diversos astilleros disponen de las infraestructuras donde se puede realizar la operación de laminación del aluminio, tanto en caliente como en frío. Sin embargo, en algunas ocasiones las planchas de aluminio son transportadas al astillero con las características de forma y espesor establecidas en el diseño de construcción del buque.

A continuación se expondrá el proceso de laminación del aluminio por medio de los trenes de laminación en caliente y en frío.

En el proceso de laminación en caliente, el espesor que presentan las placas de aluminio es reducido mediante un conjunto de trenes de laminación que permiten alargarlas y alcanzar el escantillón establecido. Los trenes de laminación están formados por un conjunto de rodillos, dispuestos en pares y separados entre ellos a unas distancias determinadas, con los que se consigue disminuir progresivamente el espesor de las placas. En primer par de rodillos por el que pasa la placa de aluminio, la cual ha sido previamente calentada, se denomina tren de desbaste y permite eliminar las impurezas presentes en la superficie de este metal. Después, ésta se dirige al tren de laminado en bruto y al tren de acabado. La distancia entre los rodillos metálicos de estos dos trenes de laminación se va reduciendo para así evitar que el aluminio se enfríe. Tras el paso por estos trenes de laminación continua en caliente, se consigue obtener planchas de aluminio con el espesor establecido en el diseño del buque.

El proceso de laminación en frío se realiza a temperatura ambiente y permite obtener un producto final con mejores características mecánicas, principalmente la relación resistencia - peso y con un acabado óptimo (la superficie del aluminio se encuentra libre de óxidos). Este proceso se realiza cuando la plancha de aluminio ha sido laminada en los trenes de laminación en caliente.

En el transcurso del proceso de laminación del aluminio, tanto en caliente como en frío, los trabajadores están expuestos a un conjunto de riesgos que pueden causar una gran variedad de daños a su salud. Al mismo tiempo, los riesgos que pueden afectar a las personas que se encargan de estas operaciones pueden distinguirse en dos tipos: riesgos físicos (los cuales han sido originados por un agente físico) y riesgos químicos (causados por agentes químicos).

Es importante destacar que el grado de afectación de estos agentes externos puede variar en función de una gran cantidad de factores relacionados con el lugar, el trabajo y con el trabajador afectado. Por ejemplo, en relación con el lugar y el trabajo que realiza la persona dañada, la gravedad puede depender del tipo de exposición, el tiempo de exposición, la duración de la exposición (si ha sido leve o intensa), la ventilación del lugar en el que se desarrolla la operación, la maquinaria utilizada, entre otros. En cuanto al trabajador, los efectos que pueden producir los riesgos a los que está expuesto pueden

verse influenciados en gran medida por los siguientes aspectos: tabaquismo, alcoholismo y los antecedentes de enfermedades previas que éste presente.

En la tabla que aparece en la siguiente página, se puede apreciar de manera clara los agentes físicos y químicos que pueden afectar a los trabajadores durante el proceso de laminación en caliente y en frío.

Riesgos para la salud durante la laminación del aluminio	Agentes Físicos	- Calor - Accidentes - Ruido - Vibraciones
	Agentes Químicos	- Ácidos

Tabla 54: Riesgos originados por agentes externos durante la laminación del aluminio – **Fuente:** Propia

6.2.1 Riesgos provocados por agentes físicos

Los riesgos físicos constituyen los principales causantes de los daños a los que las personas encargadas de estos trabajos están expuestas durante el proceso de laminación continuo en caliente y en frío. Las situaciones de peligro y los daños que se producen son principalmente originados por la maquinaria y por el proceso en sí mismo. A continuación se describen los principales agentes físicos que afectan a la salud de los trabajadores.

- **Calor**

Como consecuencia de las altas temperaturas a las que se desarrollan los trabajos de laminación en caliente y en frío, los trabajadores pueden padecer estrés por calor. Los efectos que el estrés por calor puede causar en las personas afectadas abarcan desde sudoración excesiva hasta el fallecimiento. Este último, tiene lugar en los casos extremos del golpe de calor, cuya evolución de los efectos que éste provoca en el organismo puede suceder de manera rápida.

Asimismo, es importante tener en cuenta que este agente físico provoca, además de un aumento de la temperatura corporal y de los efectos relacionados con el estrés por calor, un aumento de las patologías previas que padezca el trabajador (enfermedades respiratorias, cardiovasculares, renales, entre otras).

En la Tabla 45 mostrada en el capítulo anterior, se indican los principales efectos relacionadas con el estrés por calor que pueden sufrir los operarios durante los procesos de laminación del aluminio, su etiología y la clínica que éstos presentan.

Es importante tener en cuenta que en aquellos casos en los que el calor es excesivo, además de afectar a los trabajadores a nivel individual, también puede tener repercusiones graves a nivel colectivo. De manera que el índice de posibilidad de que se produzcan accidentes se ve incrementado.

- **Ruido**

El ruido es un agente físico provocado principalmente por el funcionamiento de las máquinas y de los equipos que se utilizan en los procesos de laminación. Estos elementos generan un nivel de ruido que puede alcanzar unos valores superiores a los límites establecidos. Normalmente, los ruidos generados están comprendidos entre 84 y 90 dBA y, en algunas ocasiones, se pueden llegar a dar picos de 115 dBA o superiores.

Una exposición prolongada de 8 horas diarias a estos niveles de ruido puede generar graves daños permanentes en el sistema auditivo de los trabajadores. La lesión que se da con mayor frecuencia consiste en la pérdida de audición progresiva, la cual puede derivar en la pérdida de audición completa. Como consecuencia del deterioro auditivo, el trabajador también puede sufrir paracusis (distorsión del sonido) o tinnitus (percepción de ruidos sin que exista una fuente externa que los origine). Del mismo modo, los trabajadores pueden sufrir lesiones auditivas graves, como la rotura del tímpano, debido a ruidos de gran intensidad generados por fuertes impactos o golpes.

Este agente, también afecta a otros sistemas del cuerpo como el sistema cardiovascular, sistema inmunitario (relacionado con el estrés) y el sistema digestivo. Los efectos que el ruido genera sobre éstos son los pueden apreciar en la Tabla 46.

El ruido, al ser un sonido molesto y en ocasiones desagradable, además de provocar alteraciones físicas en los trabajadores puede generar alteraciones psíquicas. Estas alteraciones afectan al sistema nervioso y provocan irritabilidad, fatiga, disminución del rendimiento del trabajador, insomnio, conductas agresivas (cuando el ruido es superior a 80dBA), cefaleas, entre otros.

Estos efectos hacen que el ruido no afecte únicamente a la persona que está expuesta, sino que también puede tener repercusiones en las personas que le rodean. Una de las repercusiones que puede tener el ruido a nivel laboral consiste en que se pueden dar situaciones donde la

comunicación entre los trabajadores sea dificultosa. Éstas se producen debido a los elevados niveles de intensidad del ruido, ya que para poder establecer una buena comunicación la intensidad de éste ha de estar comprendida entre 60 y 70 dBA. En estos casos, incrementa la posibilidad de que se produzcan accidentes y, por lo tanto, daños a la salud de las personas.

- **Vibraciones**

Las vibraciones son un agente físico generado por el funcionamiento de determinados equipos utilizados durante la laminación del aluminio. Estas vibraciones se denominan vibraciones transmitidas a las manos o vibraciones mano - brazo ya que penetran en el cuerpo del trabajador por los dedos o por la palma de la mano.

Los efectos que éstas pueden causar en el organismo del trabajador tras una exposición elevada se pueden clasificar en dos tipos: vasculares y no vasculares. Dentro de éste último, se incluyen los daños que se generan a nivel muscular, neurológico y del esqueleto. Los efectos que las vibraciones provocan en los trabajadores durante esta operación son los mismos que se producen durante la laminación del acero. Por este motivo, estos efectos se pueden observar en las Tablas 47 y 48.

- **Otros accidentes**

Durante los trabajos de laminación del aluminio, tanto en caliente como en frío, pueden producirse diversos accidentes que afectan a las personas que se encargan de estas operaciones.

En primer lugar, a pesar de la mecanización y de la automatización de diversas tareas que se producen durante estos procesos, en los trenes de laminación en frío y en los de acabado, existe el riesgo de atrapamiento en la maquinaria. Este riesgo puede generar graves lesiones a la persona afectada como fracturas o la amputación de las extremidades que han quedado atrapadas. En los casos más extremos en los que la persona ha quedado gravemente herida, pueden ocasionar la muerte de ésta.

En segundo lugar, en relación con los equipos y las máquinas manuales que se utilizan durante el laminado del aluminio, como es el caso de las máquinas de corte, despuntado, rebanado y guillotinas, pueden causar lesiones en los trabajadores que las utilizan. Éstas principalmente pueden ocasionar fracturas y cortes. En relación con este último, la gravedad de los cortes puede ser muy variable ya que engloba desde cortes superficiales o con una profundidad

moderada hasta amputaciones de los miembros. A su vez, los trabajadores que manipulan estos equipos pueden verse afectados por riesgos eléctricos.

En tercer lugar, en los trenes de laminación de las planchas se pueden producir cortes y quemaduras. Estas lesiones se producen como consecuencia de la manipulación de los productos finales.

En cuarto lugar, otro tipo de accidentes que puede tener lugar consiste en las caídas y deslizamientos. Durante los procesos de laminación del aluminio, se aplican aceites, antioxidantes y otros productos mediante máquinas de pulverización. El uso de éstas, hace que se acumulen en el suelo estos productos. Por este motivo, aumenta el riesgo de caídas, las cuales pueden derivar en situaciones de peligro.

En quinto lugar, en aquellos casos en los que las personas encargadas intenten atravesar los transportadores de rodillos a través de puntos no autorizados, éstos pueden sufrir graves lesiones.

6.2.2 Riesgos provocados por agentes químicos

Los riesgos químicos a los que están expuestos los trabajadores durante los procesos de laminación del aluminio son originados principalmente por la acción de productos químicos, concretamente, por los ácidos utilizados. Éstos se aplican durante los procesos de decapado del aluminio para así eliminar los óxidos que se han formado en la superficie de este material.

Los ácidos utilizados en estos trabajos son mayoritariamente el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico. Éstos son dos productos químicos tóxicos y altamente corrosivos, de manera que pueden provocar en los trabajadores graves lesiones cuando se produce un contacto con la piel u ojos, o bien, cuando son inhalados. En la Tabla 49, se pueden apreciar los efectos que pueden sufrir las personas que se encargan de los procesos de decapado por la acción de estos ácidos.

6.3 Soldadura y Corte

Cuando las planchas de aluminio presentan el espesor establecido en el diseño y se le ha aplicado la imprimación de pre - construcción, se procede a las operaciones de soldadura y corte para configurar bloques, los cuales serán posteriormente ensamblados entre sí y formarán el buque. Estas operaciones

se llevan a cabo a lo largo del proceso de construcción de un buque y, en el caso de las piezas que han sido soldadas, están sometidas a inspecciones de control de calidad y pruebas para comprobar que no son defectuosas.

Los trabajos de soldadura y corte presentan una gran variedad de técnicas y métodos que se pueden utilizar. Sin embargo, a continuación se expondrán las técnicas que se utilizan en la construcción naval con aluminio para poder obtener el ensamblado de planchas de aluminio y sus formas deseadas.

Técnicas de soldadura

Las técnicas de soldadura que se utilizan en la construcción naval con aluminio son aquellas que unen piezas de este material mediante un arco eléctrico. Este tipo de soldadura por fusión establece un circuito entre las piezas y un material de relleno, el cual puede ser consumible o no. Existen tres tipos diferentes de material de relleno que son los siguientes: electrodos, varillas o alambres. En aquellos casos en los que se pueden consumir, éstos se funden junto con las piezas. Por este motivo, es importante que las características de los materiales de relleno sean parecidas a las que presenta el material inicial.

Al mismo tiempo, debido a que durante las operaciones de soldadura se alcanzan elevadas temperaturas, es necesaria la protección de la atmósfera de la zona donde se está soldando. Éstas presentan unos valores que se encuentran muy por encima del punto de fusión del aluminio y suelen oscilar entre 3600°C y 4200°C o incluso valores superiores. A estas temperaturas, el oxígeno y el nitrógeno atmosférico reaccionan fácilmente y afectan negativamente a la resistencia de la soldadura final. Esta degradación de la soldadura se produce ya que estos elementos se retienen entre el metal soldado y el material de relleno utilizado. Por este motivo, se aplica un fundente, un gas o una combinación de ambos. Éstos se evaporan y reaccionan con el electrodo y emiten un conjunto de vapores que impiden la entrada de oxígeno y nitrógeno en la soldadura.

En la construcción naval con aluminio se utilizan las mismas técnicas de soldadura que en la construcción naval con acero, a excepción de la soldadura por arco protegido (SAW). Sin embargo, la utilización de estas técnicas varía en función del material. En la construcción naval con aluminio, las técnicas que más se utilizan son: la soldadura metálica por arco protegido (SMAW), la soldadura por arco metálico con protección gaseosa (GMAW) y la soldadura por arco de tungsteno y protección gaseosa (GTAW).

1. Soldadura metálica por arco protegido (SMAW)

Esta técnica de soldadura es la que más se utiliza en los astilleros debido a su gran versatilidad ya que puede ser realizada manual o semiautomáticamente. Al ser una técnica por arco eléctrico, éste se establece entre el electrodo y la pieza que se va a soldar. A su vez, la soldadura metálica por arco protegido utiliza un electrodo consumible y revestido por un material denominado fundente se funde, junto con el aluminio de la zona que se suelda, a medida que transcurre la operación. En este tipo de soldaduras, se puede alcanzar una temperatura de 5000°C, por este motivo, al estar el electrodo revestido por el fundente, proporciona una protección de la zona soldada.

2. Soldadura por arco metálico con protección gaseosa (GMAW)

En esta técnica de soldadura, la protección de la zona soldada se realiza a través de un gas inerte, el cual puede ser argón, helio o una combinación de ambos. Este método de soldadura también se denomina soldadura metálica en gas inerte (MIG) y se caracteriza por el hecho de que el electrodo consumible se suministra automáticamente en forma de alambre.

3. Soldadura por arco de tungsteno y protección gaseosa (GTAW)

A diferencia de las técnicas anteriores, en este tipo de soldadura el arco eléctrico se produce entre un electrodo de tungsteno (electrodo no consumible) y la pieza de aluminio que se va a soldar. La protección de la zona soldada se realiza a través de un chorro de gas inerte, generalmente argón. Esta técnica de soldadura también recibe el nombre de soldadura con gas inerte y tungsteno (TIG).

Técnicas de corte

En relación con los métodos de corte, las planchas de aluminio se pueden cortar por medio de las técnicas mencionadas en la construcción de un buque con acero. Sin embargo, este tipo de metal no suele dividirse por el método de corte oxiacetilénico debido a que el aluminio se oxida más que el acero y se genera una capa de óxido con un cierto espesor. Por este motivo, para cortar aluminio normalmente se utiliza el corte por plasma y el corte por arco - aire.

1. Corte por plasma

El corte por plasma es un método de corte por arco que separa el aluminio en dos partes por medio de la fusión de la zona determinada. Este arco se caracteriza por ser restringido y el metal fundido es expulsado por la acción del plasma proyectado sobre el material.

2. Corte por arco-aire

Este tipo de corte consiste en que el metal es fundido por la acción de un arco eléctrico que funde el material. Este arco se establece entre el electrodo de grafito y la pieza de aluminio que se quiere cortar. A su vez, la parte fundida del metal se expulsa por la acción de un chorro de aire.

Los trabajadores que realizan estas operaciones de soldadura y corte están expuestos a un conjunto de agentes, tanto físicos como químicos, que pueden producirles graves daños. Algunos de estos riesgos no solo afectan a la salud de un trabajador, sino que también pueden generar situaciones en las que la salud de los trabajadores que se encuentran en las proximidades se ven afectadas. Seguidamente se mencionarán los agentes físicos y químicos a los que están expuestos las personas encargadas de estos trabajos y que quedan reflejados en la siguiente tabla.

Riesgos para la salud causados durante la soldadura y corte del aluminio	Agentes Físicos	- Calor - Accidentes - Ruido - Vibraciones - Radiaciones
	Agentes Químicos	- Humos - Gases

Tabla 55: Agentes externos causantes de riesgos durante la soldadura y corte del aluminio – **Fuente:** Propia

6.3.1 Riesgos provocados por agentes físicos

Durante el proceso de realización de la soldadura y corte del aluminio se puede producir un conjunto de situaciones de riesgo en las que la salud de los operarios puede verse gravemente afectada. Entre estos riesgos, al igual que en los procesos de laminación, encontramos los riesgos causados por el calor, el ruido, las vibraciones, caídas, entre otros.

- **Calor**

En los procesos de soldadura y corte, debido a las elevadas temperaturas en las éstas se realizan (pueden alcanzar hasta 5000°C), la salud de los trabajadores puede verse gravemente afectada por el calor. Este agente térmico provoca en la persona el denominado estrés por calor, el cual puede ocasionar los siguientes efectos: erupciones cutáneas, deshidratación, calambres, síncope por calor, agotamiento por calor y golpe calor. Éstos tienen una gran diversidad de síntomas y signo debido a que, como se han comentado anteriormente, pueden generar, por ejemplo, las siguientes patologías: sudoración extrema, elevada temperatura corporal, dolores musculares, náuseas y vómitos, mareos, desvanecimientos, taquicardia, hipotensión, entre otras.

Además de estos efectos, el calor puede provocar un aumento de las patologías que el trabajador tuviera previas a la exposición al calor, como: enfermedades respiratorias, cardiovasculares, renales, entre otras. Por este motivo, el calor también puede causar situaciones en las que se ponga en peligro la salud de las personas que se encuentran en zonas adyacentes a la persona afectada. Es decir, incrementa la posibilidad de que se produzcan accidentes.

- **Ruido**

El ruido es un agente físico que genera una gran variedad de efectos a nivel individual y colectivo. Éste es principalmente generado por la maquinaria que se utiliza para realizar la soldadura y el corte de planchas de aluminio. A continuación se mencionan los principales efectos que conllevan las exposiciones prolongadas al ruido.

A nivel individual, el ruido puede causar graves daños a los trabajadores que están expuestos frecuentemente a niveles elevados de ruido. En la mayoría de ocasiones, los trabajadores realizan los trabajos de soldadura y corte en ambientes donde se superan los límites de intensidad permitidos. Por este motivo, el trabajador puede padecer patologías relacionadas

con el sistema auditivo, cardiovascular, inmunológico, digestivo y nervioso. Los efectos que este agente origina en la salud de los trabajadores son los mismos que se dan durante la realización de estas operaciones con acero. Por este motivo, estos efectos son los que se pueden observar en la Tabla 46.

A nivel colectivo, el ruido puede ser el causante de situaciones de peligro, en las cuales se pueden dar accidentes. Éstas son producidas principalmente por la imposibilidad de comunicación entre los trabajadores cuando la intensidad del ruido es elevada.

- **Vibraciones**

Los daños y lesiones que causan las vibraciones están originados por el manejo reiterado de los equipos necesarios para poder realizar estos trabajos. Estas vibraciones, penetran en el cuerpo a través de los dedos y de las palmas de las manos, por este motivo, éstas se denominan vibraciones transmitidas a las manos o vibraciones mano - brazo.

Las lesiones que generan las vibraciones, como se ha mencionado, pueden dividirse en dos grupos distintos, vasculares y no vasculares. Algunas de las lesiones que éstos generan son los siguientes: tendinitis, debilidad muscular, dedo blanco inducido por vibración, artritis del codo, entre otras.

- **Radiaciones**

En los procesos de soldadura y de corte, los trabajadores están expuestos a los efectos sobre la salud causados por las radiaciones infrarrojas y ultravioletas. Las lesiones que éstas provocan en el organismo principalmente afectan a los ojos y a la piel.

- a) Radiación ultravioleta**

En el caso de la radiación ultravioleta, los efectos que ésta genera en la piel cuando se ha producido una exposición elevada consisten en quemaduras e irritación de la piel. Algunos estudios establecen que las exposiciones prolongadas e intensas pueden producir cáncer de piel. En relación con los daños que puede generar en los ojos, éstos suelen ser permanentes. Este tipo de radiación provoca fotoqueratitis, cuyos efectos son los siguientes: disminución de la visión, dolor intenso, ulceraciones en la córnea, lagrimeo, entre otros.

b) Radiación infrarroja

En relación con la radiación infrarroja, las principales lesiones que provoca a las personas que se encargan de la realización de los trabajos de soldadura y corte corresponden a lesiones oculares. Cuando ésta penetra en el interior de los ojos, provoca un aumento de temperatura que causan graves daños en la córnea. Estos daños pueden derivar en cataratas. Estas lesiones, a diferencia de las lesiones oculares producidas por la radiación ultravioleta, se caracterizan por ser irreversibles.

- **Otros accidentes**

Los accidentes que se pueden dar en el transcurso de las operaciones de soldadura y corte de planchas de aluminio están relacionados con el lugar donde se realizan estos trabajos y con los equipos utilizados.

En relación con el lugar de trabajo, los principales riesgos laborales a los que están expuestos los trabajadores son caídas y deslizamientos. Éstos pueden ser causados por la falta de limpieza de la zona donde se realizan los trabajos, por la presencia de cables de los equipos que se utilizan, falta de medidas de protección, pasamanos, etc. Al mismo tiempo, las caídas y deslizamientos pueden darse al mismo nivel o a niveles distintos. En función de la altura desde la que se ha producido la caída del trabajador, los daños pueden ser diversos: hematomas, fracturas leves, graves contusiones, daños en órganos internos, entre otros. En los casos más graves, es decir, cuando la altura a la que se realiza estos trabajos es elevada, puede provocar el fallecimiento de la persona afectada.

Otro riesgo que puede causar daños a los trabajadores consiste en la caída de objetos. Debido a que en los astilleros hay una gran cantidad de grúas que transportan materiales pesados, se pueden dar ocasiones en las que éstos caigan (durante su manipulación o por desplome o derrumbamiento). Las lesiones que éstos pueden generar a la persona afectada pueden ser graves o leves, en función del tipo de caída que se haya producido y de las características propias del objeto.

En las operaciones de soldadura y corte, también pueden tener lugar diversos accidentes originados por la maquinaria y equipos que se utilizan. Éstas presentan unas partes móviles que pueden dar lugar a cortes, quemaduras, fracturas o, en los casos más extremos producidos por atrapamientos, amputaciones. Al mismo tiempo, se debe tener precaución durante el uso de esos equipos debido a los peligros originados por el uso de corriente eléctrica y cuando se hayan

de realizar operaciones a estos equipos, es necesario que se encuentren bloqueados o apagados. De esta manera, se evitan daños por encendidos accidentales.



Figura 26: Soldadura del casco de un barco de aluminio –
Fuente: *El Aluminio. Clase Construcción y Estructura Náutica*. 2015

6.3.2 Riesgos provocados por agentes químicos

En los trabajos de soldadura y de corte, los trabajadores pueden sufrir una gran variedad de lesiones y enfermedades causadas por agentes químicos. La gravedad de los efectos que éstos provocan a la salud de las personas afectadas también presenta diversos niveles, ya que pueden verse alterados por varios factores como, la técnica de corte y soldadura utilizada, la duración de la exposición, el tipo de producto químico, etc.

Los principales riesgos químicos que se producen durante la soldadura y el corte del aluminio en construcción naval son causados por la inhalación de humos y gases generados durante estos trabajos. A continuación, se mencionan los efectos que éstos generan sobre la salud de las personas afectadas.

- **Humos**

El humo producido durante los trabajos de soldadura está formado por una mezcla de óxidos que se condensan formando pequeñas partículas sólidas muy finas. Estos humos se producen cuando el aluminio es calentado a las elevadas temperaturas de los procesos de soldadura y corte, ya que este material desprende unos vapores que reaccionan con el oxígeno.

Estos humos están compuestos principalmente por los óxidos de los componentes que forman parte de la composición del aluminio utilizado para la construcción del buque. Dependiendo de éstos, los efectos que la inhalación de los humos de soldadura y corte puede provocar en el organismo de la persona afectada son diversos. Sin embargo, los principales daños que se dan por la inhalación de éstos afectan al sistema respiratorio.

En la construcción naval, se utilizan principalmente las aleaciones de aluminio con magnesio y algunas aleaciones de aluminio con magnesio y silicio. Dentro de cada grupo de éstas, existen una gran variedad de aleaciones cuyos componentes son los mismos pero se diferencian entre sí por la cantidad que hay de éstos en la composición química de la aleación. Por este motivo, en la tabla que aparece en la siguiente página, se pueden ver las diversas dolencias que provocan los componentes de la aleación de aluminio con magnesio (5083) y la aleación de aluminio con magnesio y silicio (6082).

Tipo de aleación de aluminio	Componentes (%)	Clínica
5083	Silicio (0,40), Hierro (0,40), Cobre (0,10), Manganeso (0,40-1,00), Magnesio (4,00-4,90), Cromo (0,05-0,25), Zinc (0,25), Titanio (0,15), Otros (0,15) y Aluminio (resto).	<ul style="list-style-type: none"> - Irritación de la piel. - Irritación de los pulmones. - Alteraciones pulmonares. - Siderosis. - Silicosis. - Fiebre por humos de metales. - Manganismo. - Daños en el sistema nervioso. - Efectos en el sistema reproductor. - Fallecimiento.
6082	Silicio (0,70-1,30), Hierro (0,50), Cobre (0,10), Manganeso (0,40-1,00), Magnesio (0,60-1,20), Cromo	<ul style="list-style-type: none"> - Irritación de la piel. - Irritación de los pulmones. - Siderosis.

	(0,25), Zinc (0,20), Titanio (0,10), Otros (0,10) y Aluminio (resto).	<ul style="list-style-type: none"> - Silicosis. - Fiebre por humos de metales. - Manganismo. - Daños en el sistema nervioso. - Efectos en el sistema reproductor.
--	---	--

Tabla 56: Efectos sobre la salud provocados por humos de las aleaciones de aluminio – **Fuente:** Propia

- **Gases**

Los gases que se producen durante las operaciones de soldadura y de corte del aluminio son generados por la descomposición de los elementos fundentes, por la interacción de la radiación UV o de las elevadas temperaturas con el oxígeno y nitrógeno presentes en la atmósfera. Al mismo tiempo, estos gases también se forman por los gases que se utilizan como gases de protección de la soldadura y corte del aluminio, es decir, por el argón y el helio. Estos gases, la mayoría de los cuales son considerados como tóxicos, son los siguientes: ozono, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Cabe destacar que durante los procesos de soldadura del aluminio mediante las técnicas GTAW y GMAW se generan grandes concentraciones de ozono.

Los efectos que la inhalación de estos gases provocan en la salud de los trabajadores que realizan estas operaciones son los que se pueden apreciar en la Tabla 52, debido a que estos gases también se generan durante la soldadura y corte del aluminio.

Es importante tener en cuenta que las operaciones de soldadura y corte en espacios confinados pueden tener graves consecuencias debido a la presencia de humos y gases tóxicos. Cuando en estas áreas se llevan a cabo estos trabajos, los humos y gases que se desprenden desplazan el oxígeno que éstas contienen.

Al mismo tiempo, en estos procesos se pueden dar situaciones con un nivel elevado de riesgo de incendio y explosiones. Éstos pueden ser causados por la acción de agentes físicos o químicos. Algunos ejemplos son los siguientes: chispas generadas durante el proceso de soldadura y/o corte, elevadas temperaturas, la presencia de humos y gases inflamables, entre otros.



Figura 27: Soldadura de planchas de aluminio –
Fuente: *El Aluminio. Clase Construcción y Estructura Náutica*. 2015

6.4 Pintura

A lo largo del proceso de construcción con aluminio, se aplican varias capas de pintura que tienen la finalidad de proteger el material y así poder obtener un material final que presente las propiedades deseadas. Además de esta finalidad, las pinturas también se utilizan por motivos estéticos.

Las pinturas que se aplican en los cascos de aluminio, como en el acero, está integrada por cuatro elementos: disolventes, ligantes o resinas, pigmentos y aditivos. La concentración de estos elementos dependen de cada tipo de pintura, pero comúnmente éstas presentan unos valores determinados.

El componente principal que contienen las pinturas es el disolvente. Este producto químico tiene como finalidad dispersar los demás elementos que la componen y reducir su viscosidad. De este modo, se facilita la aplicación de la pintura sobre la superficie de aluminio. Los disolventes que se utilizan con mayor frecuencia son los que se han mencionado anteriormente: metiletilcetona (MEK), xileno, tolueno, entre otros.

Los demás elementos que forman las pinturas (ligantes o resinas, pigmentos y aditivos), a pesar de que están presentes en concentraciones menores, también tienen una cierta importancia por los beneficios que aportan al resultado final. Entre estos beneficios se encuentran: un aumento de la resistencia mecánica, mejora de las propiedades físicas y químicas de las pinturas y forman la película plástica final.

El aluminio es un material que se oxida con la presencia del oxígeno atmosférico, de manera que se genera una capa microscópica de óxido. Esta capa de óxido proporciona una protección al material frente a la oxidación por altas temperaturas. Sin embargo, este puede corroerse. Al mismo tiempo,

cuando este material está en contacto con el agua, sufre una fuerte corrosión galvánica. Este hecho, hace que las pinturas antiincrustaciones que se aplican sobre este material no contengan compuestos de cobre. En cuanto a las pinturas anticorrosión, las que se aplican con mayor frecuencia son las resinas epoxi. Generalmente, se aplican tres capas de imprimación epoxi y como mínimo dos capas de pintura antiincrustaciones (sin compuestos de cobre).

Antes de aplicar las capas de imprimación, es necesario realizar previamente las operaciones correspondientes al tratado y preparación de la superficie. De esta manera, se facilita la posterior adherencia de la pintura sobre el aluminio. A diferencia del acero, el chorreado abrasivo que se aplica sobre el aluminio consiste en un chorreado ligero de óxido de aluminio. El uso de este material en vez de la arena utilizada en el acero, se debe a que ésta no es lo suficientemente abrasiva como para proporcionar las características que la superficie ha de disponer. Al mismo tiempo, esta operación de preparación de la superficie se puede realizar mediante herramientas manuales con las que se realiza un lijado exhaustivo de la superficie de aluminio.

Durante la realización de las operaciones de pintura del aluminio se pueden dar diversas situaciones de peligro, las cuales pueden desencadenar en graves accidentes. Éstos pueden tener fatales consecuencias para la salud de los trabajadores que realizan estos trabajos o que se encuentran en las proximidades. Estas situaciones pueden ser provocadas por agentes físicos y químicos, muchos de los cuales han sido comentados anteriormente. En la Tabla 57 se puede apreciar estos agentes físicos y químicos.

Riesgos para la salud durante la pintura del aluminio	Agentes Físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Calor - Accidentes - Ruido - Vibraciones
	Agentes Químicos	- Ácidos

Tabla 57: Agentes externos causantes de riesgos para la salud durante la pintura del aluminio – **Fuente:** Propia

6.4.1 Riesgos provocados por agentes físicos

Los riesgos físicos a los que están expuestos los trabajadores que se encargan de la pintura del casco de aluminio están relacionados con el lugar de trabajo y con la maquinaria utilizada. Algunos de estos agentes que pueden generar daños en la salud de éstos son los siguientes: calor, ruido, vibraciones,

caídas, entre otros. A continuación se exponen las consecuencias que éstos tienen sobre la salud de las personas afectadas.

- **Calor**

A diferencia de los procesos descritos anteriormente, este agente afecta a la salud de los trabajadores que realizan las operaciones de pintura debido al lugar donde éstas se realizan. Es decir, algunos astilleros disponen de unos espacios cerrados que permiten llevar a cabo estas operaciones sin verse afectados por las condiciones ambientales. Sin embargo, en la mayoría de ocasiones, estos trabajos de pintura se realizan al aire libre y únicamente cuando las condiciones meteorológicas son favorables, ya que de esta manera no se producen defectos en el acabado final. Por este motivo, en algunos casos se pueden alcanzar elevadas temperaturas que tienen como consecuencia la aparición de síntomas relacionados con el estrés por calor.

Principalmente, a causa de las exposiciones a elevadas temperaturas, los trabajadores pueden sufrir erupciones cutáneas, deshidratación, calambres, síncope por calor, agotamiento por calor y golpe de calor. Las patologías que éstos causan son diversas y pueden afectar gravemente a las personas expuestas a este agente.

Al mismo tiempo, este agente también puede afectar a los trabajadores que se encuentran en zonas adyacentes. Este hecho se debe a que el calor excesivo provoca un aumento de la posibilidad de que se produzcan accidentes además de aumentar las patologías previas que padezcan los trabajadores.

- **Ruido**

El ruido es un agente que puede provocar una gran variedad de daños causados por el funcionamiento de algunos equipos que se utilizan para la aplicación de la pintura. Generalmente, estos trabajos se pueden realizar por medio de rodillos, brochas, paint pad y pulverizadores (con aire, sin aire o mixtos).

En aquellos casos en los que se utilicen los pulverizadores, se pueden sobrepasar los límites reglamentarios de riesgo para la salud. Tras exposiciones elevadas y reiteradas a niveles de ruido de gran intensidad, el trabajador puede padecer diversos daños que afectan al sistema auditivo, cardiovascular, nervioso, inmunológico y digestivo. Algunos de estos efectos se caracterizan por ser irreversibles y progresivos. Algunos ejemplos de los síntomas que padece la persona

afectada pueden ser los siguientes: pérdida de audición, perturbación del sueño, fatiga, taquicardia, hipertensión, irritabilidad, etc.

Asimismo, como consecuencia del excesivo ruido que pueden generar estos equipos también se producen situaciones de riesgo que ponen en peligro la integridad física de los trabajadores que se encuentran en las proximidades del lugar donde se llevan a cabo estos trabajos. En la mayoría de casos, estas situaciones son causadas por la dificultad de comunicación entre los trabajadores.

En relación con los trabajadores especialistas en las operaciones de chorreado abrasivo, éstos también pueden padecer las dolencias mencionadas a causa del uso de máquinas que producen ruidos de gran intensidad.

- **Vibraciones**

En los trabajos de pintura de buques de cascos de aluminio y de chorreado abrasivo también se pueden producir dolencias y lesiones relacionadas con las vibraciones. Estos efectos son originados por el uso reiterado de equipos que transmiten vibraciones durante su funcionamiento a la persona que las sujeta. Este tipo de vibraciones, denominadas vibraciones mano – brazo, pueden ocasionar diversos daños neurológicos, musculares y esqueléticos. Por ejemplo: tendinitis, artritis en el codo y en la muñeca, adormecimiento de los dedos, debilidad muscular, entre otros. En algunos casos, las vibraciones también presentan efectos vasculares que se caracterizan por episodios de dedos blancos. En los casos más avanzados de esta enfermedad aparecen ulceraciones o gangrena en la piel de las puntas de los dedos.

- **Accidentes**

En el transcurso de las operaciones de pintura, el principal accidente que se produce consiste en la caída de los trabajadores desde alturas considerables. Este accidente es una de las principales causas de mortalidad en los astilleros.

Como consecuencia de las dimensiones que pueden tener los buques construido con aluminio, estos trabajos se han de realizar a elevadas alturas. Para acceder a las zonas que se han de pintar, en los astilleros se dispone de plataformas, andamios o equipos elevadores. En numerosas ocasiones, estos accidentes se producen por una falta de medidas de protección, barandillas, pasamanos, superficies antideslizantes, entre otros.

La gravedad de las lesiones que se producen derivadas de las caídas de los trabajadores están directamente relacionadas con la altura desde la se ha producido la caída. En las caídas desde un nivel normal, los daños son de menor gravedad en comparación con los que se pueden producir como consecuencia de caídas desde alturas elevadas.

6.4.2 Riesgos provocados por agentes químicos

Principalmente, los riesgos químicos son producidos por los cuatro componentes que integran las pinturas. Es decir, por los disolventes, ligantes o resinas, pigmentos y aditivos. A continuación se indican los principales efectos que provocan estos elementos en la salud de las personas que realizan estas operaciones.

- **Disolventes**

Los disolventes son unos productos químicos tóxicos e irritantes que generan, durante el proceso de secado/curado de la pintura, unos vapores tóxicos. Éstos pueden ser inhalados por las personas que realizan los trabajos de pintura y causan diversos daños. A su vez, estos componentes también pueden suponer un riesgo para la salud cuando se produce un contacto con la piel. Los principales efectos son los siguientes: irritación de la piel, ojos, nariz y garganta, dificultad respiratoria, problemas pulmonares, mareos, debilidad muscular, cansancio, pérdida de conciencia y pérdida de memoria.

Al mismo tiempo, cuando se produce un contacto directo entre el disolvente y el ojo puede causar graves daños oculares permanentes. Es importante tener en cuenta cuando se utiliza metiletilcetona como disolvente que diversos estudios determinan que ésta es un posible teratógeno humano.

- **Ligantes o resinas**

Las resinas que se utilizan actualmente y que contienen las pinturas que se aplican en el aluminio son las siguientes: resinas epoxi, acrílicas, alquídicas, poliéster-melaminas y acrílicas-isocianato. Este tipo de componentes de las pinturas son productos químicos que presentan un cierto nivel de toxicidad, el cual depende principalmente de su composición. Cuando se produce un contacto entre estos productos con la piel o cuando son inhalados, provocan daños en la

salud de la persona afectada. Al mismo tiempo, la gravedad de los efectos que éstos provocan en el organismo dependerá del tipo determinado de resina.

- **Pigmentos**

Los pigmentos que contienen las pinturas también son productos tóxicos que pueden ser peligrosos para la salud de las personas que realizan las operaciones de pintura de buques de aluminio. Estos productos presentan una toxicidad variable ya que ésta depende en gran medida de su composición.

Por ejemplo, la sílice que contienen algunas pinturas puede provocar graves efectos irreversibles en los pulmones, concretamente en el tejido intersticial. Estas lesiones pueden ocasionar a largo plazo el fallecimiento de la persona que ha inhalado este polvo.

Otro elemento que se utiliza como pigmento de las pinturas es el zinc. Éste puede estar en forma de óxido de zinc o cromato de zinc. En ambos casos, los efectos que producen son los siguientes: irritación de la piel, salpullidos o úlceras en la piel, irritación de los ojos, nariz y garganta e irritación del tracto gastrointestinal. Cuando la exposición es repetida, puede causar lesiones en la nariz o la perforación del tabique nasal. Este tipo de pigmentos es considerado carcinógeno.

Es también importante tener en cuenta que algunos de los componentes de las pinturas, además de ser tóxicos y corrosivos, son volátiles e inflamables. Por lo tanto, cuando se dan las condiciones adecuadas, se pueden producir situaciones de riesgo de incendio y de explosión.

Capítulo 7. Medidas y equipos de protección

Durante los procesos de laminación, soldadura, corte y pintura que se desarrollan en los astilleros para la construcción de buques, tanto de acero como de aluminio, los trabajadores encargados están expuestos a un número elevado de riesgos. Para poder evitarlos o reducirlos al mínimo, es necesario que se establezca un programa sólido de prevención de éstos. Este plan de prevención, tal y como se determina en el Artículo 16 de la Ley 31/1995 de *Prevención de Riesgos Laborales* denominado “Plan de prevención de riesgos laborales, evaluación de los riesgos y planificación de la actividad preventiva”, ha de integrarse en el sistema de gestión de la empresa y debe incluir los diferentes niveles de la actividad y toda la estructura jerárquica de ésta.

Para poder disponer de un plan de prevención óptimo, es necesario que el empresario garantice la realización de una evaluación de riesgos laborales con el fin de detectar aquellas actividades que comporten un riesgo para la salud y seguridad de los trabajadores. De esta manera, en aquellos casos en los que se ponga de manifiesto que pueden darse situaciones dañinas para la salud de los trabajadores, el empresario deberá establecer un conjunto de actividades preventivas para así evitarlas, sustituir los procesos o elementos que provoquen los riesgos o, en el caso de que no sea posible su sustitución, reducirlos al mínimo.

En relación con las medidas preventivas, tal y como se determina en los Artículos 14 y 15, “Derecho a la protección frente a los riesgos laborales” y “Principios de la acción preventiva” respectivamente de la Ley 31/1995, el empresario es la persona encargada de aplicar aquellas que sean necesarias para evitar los riesgos asociados a una actividad determinada, garantizar su cumplimiento a través de controles periódicos, modificarlas cuando sea necesario a raíz de los avances tecnológicos, evaluar los riesgos que no se puedan evitar, planificar la prevención, dar las instrucciones pertinentes a los trabajadores en materia de prevención, adaptar el trabajo a las personas proporcionando los equipos de trabajo y de protección adecuados, entre otras.

A continuación se mencionarán algunas de las medidas preventivas que se llevan a cabo en los astilleros con la finalidad de evitar los riesgos laborales o situaciones peligrosas asociados a las actividades descritas.

7.1 Medidas preventivas en el lugar de trabajo

Entre las medidas que se aplican para prevenir los riesgos a los que están expuestos los trabajadores, se encuentran aquellas que están relacionadas con el lugar donde se llevan a cabo las operaciones mencionadas. En algunas ocasiones, con el fin de evitar o reducir la exposición a agentes físicos y químicos, como por ejemplo: el ruido, calor, productos químicos nocivos, entre otros, estos procesos se aíslan de los trabajadores o se realizan en espacios cerrados. Algunos ejemplos de espacios cerrados consisten en cabinas aislantes donde se realizan tareas de soldadura, pintura, pulverización, entre otras.

Al mismo tiempo, dado que algunos de los productos químicos utilizados en varias de estas operaciones son considerados cancerígenos o mutágenos, tal y como se indica en el Artículo 6, “Medidas de higiene personal y de protección individual”, del Real Decreto 665/1997, *Sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo*¹⁴, el empresario deberá prohibir a los trabajadores comer, beber o fumar en los lugares de trabajo donde exista dicho riesgo.

También, en el Artículo 5 de este Real Decreto 665/1997, denominado “Prevención y reducción de la exposición”, se determina que se ha de procurar disponer de un lugar de trabajo en el que se aplique un mantenimiento regular. Es decir, es necesario que se lleve a cabo una limpieza periódica del suelo, de las paredes y otras zonas en las que se pueda encontrar agentes químicos nocivos para la salud de los trabajadores.

Una de las medidas de prevención relacionadas con el lugar de trabajo que presenta una relevada importancia consiste en la ventilación. En los astilleros, se suelen utilizar ventiladores o extractores para así controlar y reducir el riesgo de exposición a la cantidad de gases y vapores tóxicos generados especialmente durante los trabajos de soldadura, corte y pintura. Como consecuencia de las grandes dimensiones que presentan especialmente los buques construidos con acero, un gran número de procesos, como la soldadura, corte o pintura, se desarrollan en espacios confinados situados en el interior del buque. Para ello, se utilizan conducciones de ventilación, las cuales llegan al nivel deseado del buque y presentan un número limitado. Los ventiladores utilizados durante estas operaciones se

¹⁴ España. Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, Sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. Boletín Oficial del Estado, 24 de mayo de 1997, núm. 124.

sitúan generalmente en la cubierta principal del buque y se encargan de extraer o impulsar aire por las conducciones.

7.2 Medidas preventivas relacionadas con los equipos de trabajo

Otras medidas preventivas que presentan una cierta importancia para la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores son aquellas que están relacionadas con los equipos de trabajo. Éstos, tal y como se establece en el Artículo 2 “Definiciones” del Real Decreto 1215/1995, *Por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo*¹⁵, consisten en todos los aparatos, maquinarias, instrumentos e instalaciones que se utilizan para desarrollar una tarea determinada.

En el Artículo 3 del Real Decreto 1215/1995, “Obligaciones generales del empresario”, se indican las obligaciones que tiene el empresario ya que es la persona responsable de la salud y la seguridad de los trabajadores. Algunas de estas obligaciones son las siguientes: proporcionar a los trabajadores los equipos de trabajo adecuados para llevar a cabo las tareas que se han de desarrollar, garantizar que éstos son usados únicamente por los trabajadores que disponen de la formación adecuada para su empleo en las situaciones en las que no se pueda evitar un riesgo específico, adoptará las medidas necesarias para que el equipo de trabajo presente un mantenimiento adecuado y las operaciones de mantenimiento, reparación o transformación de éste sea realizado por las personas capacitadas para ello.

Al mismo tiempo, en este Real Decreto 1215/1995 también figuran otras medidas preventivas relacionadas con los riesgos que pueden derivar del uso de los equipos de trabajo. Algunas de éstas consisten en que las zonas y puntos de trabajo o mantenimiento de los equipos de trabajo han de estar debidamente iluminadas para evitar posibles riesgos, los equipos de trabajo deben disponer de las advertencias y señalizaciones adecuadas para proteger la seguridad de las personas que operan estos equipos, los equipos de trabajo que presenten riesgos para la salud de los trabajadores causados por

¹⁵ España. Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, Por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. Boletín Oficial del Estado, 7 de agosto de 1997, núm. 188.

vibraciones, ruido o radiaciones deben disponer de los dispositivos o protecciones adecuados para limitar la generación o propagación de estos agentes físicos, entre otras.

7.3 Medidas de protección individual

Además de las medidas anteriores, una de las más importantes debido a la elevada protección que ofrecen a las personas encargadas de desarrollar las operaciones de soldadura, corte, pintura y laminación del acero y del aluminio consiste en el uso de equipos de protección individual (EPI) adecuados para la realización de cada una de ellas.

Como consecuencia de las particularidades que el proceso de construcción de un buque presenta frente a otros trabajos tradicionales, el uso de estos equipos en las operaciones que presentan riesgos que no se pueden eliminar o limitar resulta muy necesario. En el Real Decreto 773/1997, *Sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual*¹⁶, se establece que el empresario ha de proporcionar a los trabajadores los equipos de protección individual adecuados para proteger su salud y seguridad, garantizar su correcto funcionamiento, estado higiénico y sustitución en caso de que sea necesario, proporcionar a los trabajadores la información necesaria para su uso, señalar el tipo específico de equipo que se ha de utilizar para la realización de un trabajo determinado, entre otras.

En la imagen que se muestra en la página siguiente, quedan reflejadas las señales que se han de utilizar para indicar la obligación del uso del EPI, es decir, los componentes que deben integrar los equipos de protección individual para la realización de una actividad específica.

¹⁶ España. Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, Sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. Boletín Oficial del Estado, 12 de junio de 1997, núm. 140.



Figura 28: Señalización de seguridad y salud en el trabajo – **Fuente:** Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Guía Técnica para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Al mismo tiempo, en el Real Decreto 773/1997, concretamente en el Artículo 10 denominado “Obligaciones de los trabajadores”, también se mencionan las obligaciones que tienen los trabajadores encargados de la utilización de éstos. Algunas de ellas son las siguientes: utilizar y mantener los equipos de protección individual designados de acuerdo con las instrucciones establecidas, colocar los EPI en el lugar indicado tras su utilización e informar al superior jerárquico de los defectos, imperfecciones o daños que éstos presenten.

Los elementos que configuran un equipo de protección individual varían en función del trabajo específico que vaya a realizar la persona encargada. Generalmente éstos están integrados por los elementos que ofrecen protección ocular, auditiva, respiratoria, protección frente a caídas, golpes, caídas de objetos y al contacto con productos nocivos.

A continuación se mencionarán los EPI que han de disponer los trabajadores del astillero encargados de las operaciones de soldadura, corte y pintura del acero y del aluminio.

7.3.1 Equipo de protección individual para las operaciones de soldadura y corte

En los procesos de soldadura y corte del acero se generan gases y humos perjudiciales para la salud de las personas dedicadas a realizar estas tareas. A su vez, éstas están también expuestas a riesgos originados por agentes físicos, como: el calor, el ruido, vibraciones, radiaciones, accidentes, entre otros, que comportan un riesgo para su salud y seguridad. Por este motivo, para evitar la aparición de

enfermedades o la posibilidad de que se produzcan situaciones de peligro, los trabajadores han de disponer del equipo de protección individual indicado a continuación.

- Protectores oculares y faciales: gafas de protección o pantallas para la soldadura.
- Protectores auditivos: tapones, protectores auditivos desechables o reutilizables, protectores auditivos tipo orejeras, entre otros.
- Protectores de las vías respiratorias: equipos filtrantes de partículas, equipos filtrantes frente a gases y vapores, equipos filtrantes mixtos, equipos respiratorios con casco o pantalla, equipos respiratorios con máscara amovible, entre otros.
- Protectores de manos y brazos: guantes de soldadura.
- Protectores de pies y piernas: calzado de seguridad aislante y protección.
- Protección total del cuerpo: equipos de protección contra caídas de altura, arneses, ropa de protección contra proyecciones de elementos en fusión, chispas y radiaciones infrarrojas y ultravioleta, ropa de protección contra fuentes de calor intenso o estrés térmico, etc.

7.3.2 Equipo de protección individual para las operaciones de pintura

En cuanto al equipo de protección individual que han de utilizar las personas encargadas de las operaciones de pintura de los buques de acero y aluminio, es muy similar al correspondiente a los trabajos de soldadura y corte. A continuación se indican los elementos que deben integrar los equipos de protección individual destinados a proteger a las personas dedicadas a la realización de éstas.

- Protectores oculares: gafas de protección.
- Protectores auditivos: tapones, protectores auditivos desechables o reutilizables, protectores auditivos tipo orejeras, entre otros.
- Protectores de las vías respiratorias: dispositivos respiratorios de presión positiva o negativa o dispositivos respiradores alimentados por aire (en recintos o espacios cerrados).
- Protectores de manos y brazos: guantes de protección.
- Protección de pies y piernas: calzado de seguridad aislante y protección y cubrecalzado.
- Protección del cuerpo: equipos de protección contra caídas de altura, arneses y ropa protectora del cuerpo entero.

En aquellas ocasiones en las que estos trabajos se llevan a cabo en espacios cerrados o reducidos, los EPI consisten principalmente en protectores oculares, dispositivos respiradores alimentados por aire, ropa de protección del cuerpo entero, protectores auditivos y arneses o equipos de protección contra caídas de altura en el caso de que éstas se desarrollen en zonas elevadas del buque.

Relacionado con el proceso de pintura de los buques de acero y aluminio, debido a que en la mayoría de ocasiones se han de llevar a cabo previamente las operaciones de chorreado abrasivo, los trabajadores especializados en estas operaciones también han de disponer de unos equipos de protección individuales adecuados para así poder evitar los riesgos asociados a estas operaciones. Los componentes que forman los EPI que utilizan estas personas son los siguientes.

- Protectores oculares: gafas de protección, pantallas o pantallas faciales.
- Protectores auditivos: tapones, protectores auditivos desechables o reutilizables, protectores auditivos tipo orejeras, entre otros.
- Protectores de las vías respiratorias: dispositivos respiratorios alimentados por aire.
- Protectores de manos y brazos: guantes de protección.
- Protectores de pies y piernas: calzado de seguridad aislante y protección.
- Protectores del cuerpo: equipos de protección contra caídas de altura, arneses y ropa protectora del cuerpo entero.

En los astilleros, debido a que numerosos trabajos se realizan a alturas elevadas y a la presencia de numerosas grúas, es necesario el uso de cascos en todas las áreas del astillero para así evitar posibles riesgos en los que la salud y la seguridad de los trabajadores y de las personas que se encuentran en él puedan verse afectadas.

En las imágenes que aparecen en la página siguiente, se pueden observar algunos ejemplos de los elementos que integran los equipos de protección individual destinados a los trabajadores encargados de procesos como la laminación del acero y del aluminio, la soldadura, corte y pintura de los buques contruidos con estos materiales.



Figura 29: Casco de protección – **Fuente:** SIVAT Group S.A.



Figura 30: Componentes de un EPI – **Fuente:** 3M

A su vez, como consecuencia de que algunos de los componentes presentes en los gases y humos procedentes de los procesos de soldadura y corte del acero y del aluminio o del proceso de pintura son considerados agentes cancerígenos o mutágenos, tal y como se determina en el Artículo 6 “Medidas de higiene personal y de protección individual” del Real Decreto 665/1997 mencionado anteriormente, es necesario que el empresario adopte unas determinadas medidas con la finalidad de evitar o reducir al mínimo los riesgos a los que están expuestos los trabajadores. Algunas de ellas consisten en que los trabajadores han de disponer de unas zonas determinadas donde puedan guardar su indumentaria de manera separada de la correspondiente al trabajo y disponer de un lugar concreto en el que se almacenen los equipos de protección individual. También, es responsabilidad del empresario el

mantenimiento de la ropa utilizada durante el transcurso de estas operaciones, es decir, se ha de encargar de que ésta sea lavada regularmente y de su descontaminación en caso de que sea necesario.

7.4 Formación de los trabajadores

Del mismo modo, es importante que el empresario, como indica el Artículo 19 de la Ley 31/1995 de *Prevención de Riesgos Laborales*, denominado “Formación de los trabajadores”, garantice y proporcione a los trabajadores la formación, teórica y práctica, necesaria y adecuada para poder realizar las tareas designadas. De esta manera, se pretende evitar los posibles riesgos que pueden derivarse del uso de determinados equipos de trabajo o los propios que dicha operación conllevan.

En la actualidad, un número elevado de empresas, además de adoptar las indicaciones establecidas por las normativas nacionales relativas a la gestión de la salud y seguridad de los trabajadores, adoptan otros estándares de carácter opcional con la finalidad de adquirir un sistema de gestión adecuado, eficaz y que les permita alcanzar los objetivos de salud y seguridad en el trabajo establecidos por éstas.

Un ejemplo de estos estándares consiste en los estándares OHSAS (Occupational Health and Safety Assessment Series) 18001 y 18002. Estos estándares fueron emitidos por el British Standards Institution (BSI) en los años 2007 y 2008 respectivamente y consisten en unas especificaciones adoptadas internacionalmente sobre la salud y la seguridad en el trabajo. Concretamente, en la OHSAS 18001:2007, *Sistemas de gestión de la seguridad y salud en los trabajos* se determinan un conjunto de requisitos para el establecimiento e implantación de un sistema de gestión de la salud y la seguridad en el trabajo. En cuanto a la OHSAS 18002:2008, *Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo; directrices para la implementación de OHSAS 18001:2007*, se explican los principios fundamentales del estándar OHSAS 18001:2007 y se determinan diversos aspectos relacionados con los requisitos integrados en el OHSAS 18001:2007.

Conclusiones

Tras la realización de este trabajo, se pueden extraer numerosas conclusiones relacionadas con los aspectos más técnicos del acero y del aluminio, y también otras relativas a los riesgos que el trabajo con éstos pueden ocasionar en los trabajadores del astillero. Estas conclusiones se expondrán a continuación.

En primer lugar, cabe mencionar que el acero y el aluminio constituyen dos de los principales materiales que se utilizan en la actualidad para la construcción naval. El primero es el elemento principal de construcción de buques, especialmente, aquellos que presentan grandes dimensiones, pudiendo llegar incluso a alcanzar los 400 m de eslora. Algunos ejemplos de buques construidos con este material son los siguientes: buques petroleros, gaseros, portacontenedores, transatlánticos, entre otros. El extenso uso del acero para la fabricación de estos buques se debe a las ventajas que éste proporciona. Éstas son originadas en gran medida a las propiedades que presenta este material en comparación con otros. Algunas de sus características más destacadas son su elevada resistencia, soldabilidad, resistencia al fuego, mantenimiento, entre otras. En numerosas ocasiones, este material presenta en su composición elementos, como: cromo, níquel, manganeso, entre otros, que le dotan de mejoras en sus propiedades y por lo tanto, permiten obtener un producto final con mejores prestaciones. En el sector de la construcción naval, también tienen una gran aplicación aquellos aceros denominados aceros inoxidables, los cuales son utilizados en gran medida en buques petroleros, quimiqueros y tanques de carga.

Sin embargo, cabe mencionar que este material también presenta algunas desventajas, como es el caso de su elevado peso, que tienen como consecuencia el uso de otros materiales más apropiados para la construcción de determinados buques. Entre estos materiales se encuentra el aluminio. En los últimos años este material ha incrementado su uso en este sector desplazando al acero en algunas aplicaciones a causa de determinadas propiedades que este material posee. Principalmente, este material se utiliza para la construcción de embarcaciones ligeras, como pesqueros, yates de recreo, pequeños buques de pasajeros, hidrodesslizadores, entre otros, los cuales necesitan que el material tenga un peso reducido para así poder alcanzar fácilmente velocidades elevadas. Además, estas embarcaciones presentan una vida útil elevada, la cual puede llegar a ser el doble de la correspondiente a buques fabricados con

acero. A pesar de estas ventajas, el aluminio también dispone de algunos inconvenientes, como: una resistencia más reducida, dificultad para soldar, puede deformarse con mayor facilidad en presencia del fuego, baja resistencia a la corrosión y mantenimiento más dificultoso.

Al mismo tiempo, con la realización de este trabajo se ha podido observar que el acero a pesar de ser un material utilizado en gran medida en el sector de la construcción naval y también en otros, no dispone de una normativa internacional en la que se establezca un criterio de designación internacional que deban cumplir los fabricantes de este material. Por este motivo, resulta difícil determinar las características que tiene cada tipo de acero ya que cada fabricante tiene su propia nomenclatura y por consiguiente, los diferentes tipos de acero en que quedan clasificados tienen su propia composición y propiedades. En comparación, el aluminio es un material cuyos fabricantes suelen seguir la nomenclatura establecida por el Sistema Internacional de Designación de Aleaciones. De esta manera, cada tipo de aluminio dispone de unos componentes determinados que facilitan el conocimiento de sus propiedades a la vez que sus diversas aplicaciones.

En segundo lugar, es importante mencionar el papel fundamental que tienen las Sociedades de Clasificación durante la construcción de un buque y su posterior funcionamiento. Al establecer unos requisitos técnicos en sus normativas y las posteriores inspecciones que llevan a cabo los inspectores propios de aquella que se encarga del buque, garantizan que éste es construido de acuerdo con sus estándares y ofrecen una mayor seguridad para las personas que naveguen en él, para el propio buque y también para el medio marino.

En tercer lugar, otro aspecto importante que se puede extraer de este proyecto consiste en que la construcción naval es un trabajo que presenta un nivel elevado de complejidad debido al tamaño y dimensiones de los buques y de sus componentes. Esta complejidad hace que durante el proceso de construcción de éste los trabajadores estén expuestos a su vez a un número elevado de peligros. Por este motivo, tal y como establece la Oficina Norteamericana de Estadísticas Laborales (BLS), la construcción naval es considerada como una de las ocupaciones más peligrosas.

La peligrosidad que presenta la construcción naval también se debe al reducido grado de automatización que presenta el proceso de construcción de un buque. A pesar de los numerosos avances tecnológicos que han emergido y que han permitido la automatización de muchos trabajos y procesos en una gran cantidad de industrias, en este sector hay numerosas tareas que se han de seguir realizando manualmente como es el caso de la soldadura de piezas integrantes del buque. De este modo, numerosos trabajos continúan presentando un nivel de complejidad bastante elevado en el que los trabajadores encargados de realizarlos están expuestos a una gran variedad de riesgos que pueden

afectar a su integridad. A pesar de ello, cabe mencionar que determinados avances que se utilizan durante la construcción de un buque han permitido cierto grado de automatización en este sector.

Al mismo tiempo, en relación con los riesgos asociados a los procesos de laminación, soldadura, corte y pintura, con la realización de este trabajo se puede concluir que son numerosos y que muchos de ellos son difíciles de evitar. A su vez, estos riesgos pueden proceder de diversas fuentes, físicas o químicas, causando una gran variedad de efectos en la salud de las personas afectadas.

En relación con los riesgos químicos, éstos son derivados del uso de determinados ácidos o de la generación de gases y humos nocivos durante la realización de las operaciones mencionadas, especialmente durante la soldadura y corte del acero o aluminio. Las consecuencias que estas exposiciones pueden ocasionar en los trabajadores son diversas ya que muchas de ellas dependen de los componentes que integran los materiales, de los elementos de aleación de los mismos y, en el caso de la soldadura, de los materiales que se utilizan como electrodos o su revestimiento. Algunos ejemplos de componentes perjudiciales que presentan estos materiales son los siguientes: molibdeno, manganeso, cromo y níquel. Principalmente, los efectos que estos elementos causan en la salud de las personas afectan al sistema respiratorio y nervioso, también pueden provocar daños oculares, cutáneos o incluso pueden tener consecuencias en el sistema reproductor o ser considerados mutágenos y/o teratógenos. Al mismo tiempo, el alcance de estos efectos puede ser variable ya que dependen de diversos factores. Por ejemplo: el tiempo de exposición al agente externo, el tipo de exposición, la periodicidad de los intervalos de exposición, las condiciones físicas del trabajador, los antecedentes médicos que tenga la persona afectada, entre otros. Estos aspectos influyen en la gravedad de los efectos que padezca el trabajador, los cuales pueden oscilar entre daños leves o graves. Éstos últimos, pueden llegar a tener como desenlace el fallecimiento de la persona expuesta.

Teniendo en cuenta los elementos que se encuentran integrados en la composición de las aleaciones de aluminio y del acero que se utilizan en la construcción naval y los efectos que éstos causan en la salud de los trabajadores, se puede observar que los efectos producidos por el acero aleado son más elevados y perjudiciales. De este modo, se llega a la conclusión que este material comporta una mayor cantidad de daños para la salud de los trabajadores que se encargan de llevar a cabo las operaciones estudiadas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que ambos materiales presentan en su concentración elementos perjudiciales para la salud de las personas, y es ésta la que determina el grado de peligrosidad de los materiales.

En cuanto a los riesgos físicos, muchos de ellos presentan unas normativas específicas a nivel nacional en el que se establecen unos límites de exposición. Como es el caso del ruido, las vibraciones y radiaciones. De esta manera, se pretende evitar situaciones de peligro y exposiciones elevadas a estos

agentes que pueden afectar a la salud y seguridad de las personas encargadas de la laminación, soldadura, corte y pintura de buques construidos con acero o aluminio.

En cuarto lugar, con la finalidad de erradicar los riesgos estudiados o, en caso de que éstos no puedan evitarse, reducirlos al mínimo, es de vital interés que en los astilleros se establezcan y se apliquen medidas preventivas con la finalidad de garantizar la seguridad de las personas que trabajan en él. Para ello, el empresario, además de velar por el cumplimiento de las medidas adoptadas, deberá garantizar que los trabajadores dispongan y utilicen los equipos de trabajo y equipos de protección individual adecuados y actualizados. Estas medidas y equipos han de seguir las indicaciones establecidas por diversas normativas nacionales como es el caso de la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales.

Al mismo tiempo, debido a la constante evolución de los materiales empleados en la construcción de buques y a la aparición de nuevos, los riesgos a los que están expuestos los trabajadores están en continua evolución. De este modo, las medidas preventivas que se deben cumplir con la finalidad de evitarlos o reducirlos también varían y deben adecuarse a los nuevos peligros para la salud que surjan.

En relación con estas medidas que se han de adoptar, la formación adecuada de los trabajadores que se encuentran en el astillero ha de ser una de ellas. La formación que éstos han de recibir, tanto teórica como práctica, ha de estar relacionada con los riesgos para la salud y la seguridad en el trabajo. El trabajador, además de la formación relativa a aspectos de seguridad, debe recibir los conocimientos adecuados correspondientes al trabajo que le sea designado. De este modo, al disponer de la información necesaria para realizar el trabajo de manera correcta y hacer un buen uso del equipo de trabajo y equipo de protección individual se pueden evitar posibles accidentes y determinados peligros. Por lo tanto, el trabajador ha de recibir la formación necesaria relacionada con los riesgos propios del trabajo que han de desarrollar, las instrucciones o pautas que se han de seguir con la finalidad de evitar dichos riesgos, los métodos de trabajo más seguros y la utilización correcta del equipo de protección individual que han de utilizar para llevar a cabo la operación que le ha sido asignada.

Otra medida importante para la salud de los trabajadores consiste en que éstos deben pasar unos controles médicos con la finalidad de comprobar que su salud no se ve afectada por los riesgos implícitos del trabajo que realizan. Es necesario que estas revisiones se lleven a cabo periódicamente ya que de ese modo se pueden detectar los efectos más sutiles que determinadas operaciones pueden generar en la salud de las personas encargadas.

Finalmente, con la realización de este trabajo se puede observar que los trabajadores que se dedican a la construcción de buques de acero y aluminio están expuestos a un número elevado de peligros causados por agentes externos, tanto físicos como químicos. Sin embargo, con la aplicación de los

requisitos, medidas y equipos establecidos por diversas normativas nacionales se consigue evitarlos o, en caso de que no sea posible, reducirlos.

Bibliografía

- AENOR. *Definición y clasificación de los tipos de aceros*. Madrid: AENOR, 2001.
- Aksu, Seref. [et al.]. *Hull material selection for replacement patrol boats – An overview*. Victoria: DSTO. Aeronautical and Maritime Research Laboratory, 2002.
- Allstudies.com. *Clasificación del acero por su composición química, propiedades o uso* [en línea]. Allstudies.com [Consulta: 7 julio 2017]. Disponible en: <<http://allstudies.com/clasificacion-acero.html>>.
- Alonso, J.A. *Soldabilidad de los aceros dúplex* [en línea]. [Consulta: 8 junio 2017]. Disponible en: <<https://www.fing.edu.uy/imfia/beamt/ipin/articles/0300/alonso.html>>.
- Alu-Stock S.A. *Aleaciones* [en línea]: *Composición química de las aleaciones*. Alu-Stock S.A. [Consulta: 5 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/el-aluminio/>>.
- Alu-Stock S.A. *Aluminio para la construcción naval* [en línea]. Alu-Stock S.A. [Consulta: 29 abril 2017]. Disponible en: <<http://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/construccion-naval/>>.
- Alu-Stock S.A. *Chapas de aluminio en la aleación Magnealtok 45/ EN AW 5083* [en línea]. Alu-Stock S.A. [Consulta: 17 julio 2017]. Disponible en: <<http://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/productos-laminados/chapas-aluminio-en-aw-5083/>>.
- Alu-Stock S.A. *Chapas de aluminio en la aleación Magnealtok 30/ EN AW 5754* [en línea]. Alu-Stock S.A. [Consulta: 17 julio 2017]. Disponible en: <<http://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/productos-laminados/chapas-aluminio-en-aw-5754/>>.
- Alu-Stock S.A. *Chapas de aluminio en la aleación Simagaltok 82/ EN AW 6082* [en línea]. Alu-Stock S.A. [Consulta: 17 julio 2017]. Disponible en: <<http://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/productos-laminados/chapas-aluminio-en-aw-6082/>>.
- Alu-Stock S.A. *El aluminio* [en línea]. Alu-Stock S.A. [Consulta: 29 abril 2017]. Disponible en: <<http://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/el-aluminio/>>.

- Alu-Stock S.A. *Soldadura* [en línea]. Alu-Stock S.A. [Consulta: 19 junio 2017]. Disponible en: <<http://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/soldadura/>>.
- Alu-Stock S.A. *Tratamientos* [en línea]. Alu-Stock S.A. [Consulta: 19 junio 2017]. Disponible en: <<http://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/tratamientos/>>.
- American Alloy Steel. *HY 80 / 100 (MIL-S-16216)* [en línea]. American Alloy Steel [Consulta: 15 julio 2017]. Disponible en: <<http://www.aasteel.com/hy-80-100.html>>.
- ARQHYS. *Composición del acero* [en línea]. ARQHYS [Consulta: 10 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.arqhys.com/arquitectura/acero-composicion.html>>.
- ASTM International. *ASTM A131 / A131M-14 Standard Specification for Structural Steel for Ships* [en línea]. ASTM International [Consulta: 3 mayo 2017]. Disponible en: <<https://www.astm.org/Standards/A131.htm>>.
- BBG. Bahia de Bizkaia. *Nuevos metaneros para transportar gas natural licuado* [en línea]. Vizcaya: BBG. Bahia de Bizkaia, 2015 [Consulta: 10 julio 2017]. Disponible en: <<http://www.bbg.es/es/compartiendo-ideas/noticias/nuevos-metaneros-para-transportar-gas-natural-licuado/>>.
- Cathodic Manrine Engineering PTE LTD. *Sacrificial anode cathodic protection* [en línea]: *An efficient solution for Marine and Offshore corrosion prevention and cathodic protection*. Singapur: Cathodic Manrine Engineering PTE LTD [Consulta: 10 mayo 2017]. Disponible en: <<https://cathodicme.com/cathodic-protection/sacrificial-anodes-system/>>.
- CCOHS. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. *Welding – Fumes and Gases* [en línea]. Canadá: CCOHS. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2016 [Consulta: 12 junio 2017]. Disponible en: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/welding/fumes.html>.
- CDC. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. *Signos y síntomas de advertencia de la enfermedad por calor* [en línea]. Georgia: CDC. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, 2011 [Consulta: 17 junio 2017]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/extremeheat/espanol/warning_esp.html>.
- CEPYME Aragón. *Guía para la evaluación de riesgos y procedimientos de trabajo seguro en conformado de metales, forja y fundición*. Aragón: CEPYME Aragón, 2010.
- Cerdeira, S.; Ceretti, H.; Reciulschi, E. *Obtención del aluminio* [en línea]. Educ.ar, 2011 [Consulta: 5 mayo 2017]. Disponible en: <<https://www.educ.ar/recursos/15048/obtencion-del-aluminio>>.
- Clínica DAM. *Silicoproteinosis* [en línea]. Madrid: Clínica DAM, 2017 [Consulta: 27 junio 2017]. Disponible en: <<https://www.clinicadam.com/salud/5/tag/silicoproteinosis>>.

- Club Marine Limited. *Salt assault* [en línea]. Victoria: Club Marine Limited [Consulta: 6 julio 2017]. Disponible en: <<https://www.clubmarine.com.au/internet/clubmarine.nsf/docs/mg25-4+water+wise>>.
- Construmática, Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción. *Acero* [en línea]. Construmática, Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción [Consulta: 7 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.construmatica.com/construpedia/Acero>>.
- Construmática, Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción. *Propiedades del acero aleado* [en línea]. Construmática, Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción [Consulta: 7 mayo 2017]. Disponible en: <http://www.construmatica.com/construpedia/Propiedades_del_Acero_Aleado>.
- Construmática, Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción. *Propiedades del aluminio* [en línea]. Construmática, Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción [Consulta: 15 mayo 2017]. Disponible en: <http://www.construmatica.com/construpedia/Propiedades_del_Aluminio>.
- CPWR. Center to Protect Workers' Rights. *Vapores y gases desprendidos durante el trabajo de soldadura*. Maryland: CPWR. Center to Protect Workers' Rights, 2004.
- DNV. Det Norske Veritas AS. *Part 3: Hull and Equipment –Main Class; Chapter 1: Hull structural design – ships with length 100 meters and above* [en línea]. DNV. Det Norske Veritas AS, 2016. [Consulta: 19 julio 2017]. Disponible en: <<https://rules.dnvgl.com/servicedocuments/dnv>>.
- DNV. Det Norske Veritas AS. *Part 3: Hull and Equipment –Main Class; Chapter 2: Hull structural design – ships with length less than 100 meters* [en línea]. DNV. Det Norske Veritas AS, 2015. [Consulta: 19 julio 2017]. Disponible en: <<https://rules.dnvgl.com/servicedocuments/dnv>>.
- Constructora Industrial y Minas. *El horno eléctrico* [en línea]. Constructora Industrial y Minas [Consulta: 5 julio 2017]. Disponible en: <<http://constructoraindustrialyminas.com/blog/tag/horno-electrico/>>.
- Duferco Clabecq S.A. *Shipbuilding steels* [en línea]. Bélgica: Duferco Clabecq S.A [Consulta: 20 julio 2017]. Disponible en: <<http://www.eu.nlmk.com/en/03-Products/pdf/quard/Shipbuilding.pdf>>.
- Eiroa, V. [et al.]. *Tratado para a prevención de riscos laborais*. Galicia: ISSGA. Instituto Galego de Seguridade e Saúde Laboral de Galicia.
- *El Aluminio. Clase Construcción y Estructura Náutica*. 2015.

- España. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. *Boletín Oficial del Estado*, 10 de noviembre de 1995, núm. 269.
- España. Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, Por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. *Boletín Oficial del Estado*, 7 de agosto de 1997, núm. 188.
- España. Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, Sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. *Boletín Oficial del Estado*, 11 de marzo de 2006, núm. 60, p. 9842 - 9848.
- España. Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, Sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. *Boletín Oficial del Estado*, 5 de noviembre de 2005, núm. 265, p. 36386.
- España. Real Decreto 486/2010, de 23 de abril, Sobre la protección de la salud y de la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales. *Boletín Oficial del Estado*, 24 de abril de 2010, núm. 99.
- España. Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, Sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. *Boletín Oficial del Estado*, 12 de junio de 1997, núm. 140.
- España. Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, Sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. *Boletín Oficial del Estado*, 24 de mayo de 1997, núm. 124.
- Fondear S.L. *Veleros en aluminio* [en línea]. Fondear S.L. [Consulta: 15 mayo 2017]. Disponible en:
<http://www.fondear.org/infonautic/barco/Diseno_Construccion/Aluminio_Veleros/Aluminio_Veleros.htm>.
- Griffin, M.J. [et al.]. Vibraciones. A: OIT. Organización Internacional del Trabajo. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* [en línea]: *Industrias del transporte*, 2001 [Consulta: 20 junio 2017]. Disponible en:
<<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/50.pdf>>.
- Hidalgo Aznar. *Evolución del sector siderúrgico en España* [en línea]. Tecnoindustria, 2015 [Consulta: 5 julio 2017]. Disponible en:
<<https://technoindustria.wordpress.com/2015/07/01/evolucion-del-sector-siderurgico-en-espana/>>.

- InfoAcero; CAP S.A. *Producción y refinación del arrabio* [en línea]. Chile: InfoAcero, CAP S.A. [Consulta: 26 abril 2017]. Disponible en: <<http://www.infoacero.cl/acero/parrabio.htm>>.
- InfoAcero; CAP S.A. *Refinación y desgasificación* [en línea]. Chile: InfoAcero, CAP S.A. [Consulta: 26 abril 2017]. Disponible en: <<http://www.infoacero.cl/acero/hornos.htm>>.
- InfoAcero; CAP S.A. *¿Qué es el acero?* [en línea]. Chile: InfoAcero, CAP S.A. [Consulta: 26 abril 2017]. Disponible en: <http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm>.
- Ingemecánica. *Características mecánicas del acero* [en línea]. Ingemecánica [Consulta: 6 mayo 2017]. Disponible en: <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>>.
- Ingemecánica. *Estudio y clasificación de los aceros* [en línea]. Ingemecánica [Consulta: 10 mayo 2017]. Disponible en: <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>>.
- Ingemecánica. *Propiedades mecánico-químicas del aluminio* [en línea]. Ingemecánica [Consulta: 15 mayo 2017]. Disponible en: <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html>>.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. *Guía Técnica para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual*. 2ªed. Madrid: 2012.
- Ivelic K. B; Jolly M. V. *Astilleros y Servicios Navales ASENAV, Construcción y Estructura Náutica II*. 2011.
- Jara Calderón, W. *Apuntes de Materiales en Medios Marinos*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral; Facultad Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, 2006.
- Jones, J.A.T; Nupro Corporation. *Electric arc furnace steelmaking* [en línea]. American Iron and Steel Institute, 2014 [Consulta: 3 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.steel.org/making-steel/how-its-made/processes/processes-info/electric-arc-furnace-steelmaking.aspx?siteLocation=88e232e1-d52b-4048-9b8a-f687fbd5cdcb#furnace>>.
- King, H. *Bauxite* [en línea]. Geoscience News and information [Consulta: 29 abril 2017]. Disponible en: <<http://geology.com/minerals/bauxite.shtml>>.
- Lenntech. *Aluminio* [en línea]. Delft: Lenntech [Consulta: 15 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>>.
- Marín Gallego, E. *Viabilidad de nuevos materiales frente a materiales convencionales en la construcción de pantalanes*. Proyecto Final de Carrera, UPC, FNB, Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica, 2012. [UPCommons].
- Marine Traffic. *Emma Maersk* [en línea]. Marine Traffic [Consulta: 6 julio 2017]. Disponible en: <<https://www.marinetraffic.com/es/ais/details/ships/220417000>>.

- Martín Guivernau, J. *Procesos de soldadura aplicados en la construcción naval*. Proyecto Final de Carrera, UPC, FNB, 2011. [UPCommons].
- Martín Pi, M. *Tratamientos superficiales: Sistemas de aplicación de pintura utilizados en los astilleros*. Trabajo Final de Grado, UPC, FNB, Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica, 2016. [UPCommons].
- MC MUTUAL. *Prevención de riesgos laborales en el sector del metal*. Barcelona: MC MUTUAL, 2008.
- MedlinePlus; U.S National Library of Medicine. *Enfermedades causadas por el calor* [en línea]. Maryland: MedlinePlus; U.S National Library of Medicine, 2016 [Consulta: 17 junio 2017]. Disponible en: <<https://medlineplus.gov/spanish/heatillness.html>>.
- MedlinePlus; U.S National Library of Medicine. *Intoxicación con ácido clorhídrico* [en línea]. Maryland: MedlinePlus; U.S National Library of Medicine, 2017 [Consulta: 22 junio 2017]. Disponible en: <<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002498.htm>>.
- MedlinePlus; U.S National Library of Medicine. *Intoxicación con ácido sulfúrico* [en línea]. Maryland: MedlinePlus; U.S National Library of Medicine, 2017 [Consulta: 22 junio 2017]. Disponible en: <<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002492.htm>>.
- Mey Martínez, C. *Diccionario de términos constructivos navales, Letra S* [en línea]. Argentina: Histarmar [Consulta: 5 junio 2017]. Disponible en: <<http://www.histarmar.com.ar/Astilleros/Diccionario/LetraS.htm>>.
- MIPSAs, Expertos procesando metales. *Clasificación de aluminio* [en línea]. MIPSAs, Expertos procesando metales [Consulta: 20 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Clasificacion-de-aluminio>>.
- Moffit, A. [et al.]. Hierro y acero. A: OIT. Organización Internacional del Trabajo. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* [en línea]: *Industrias del transporte*, 2001 [Consulta: 12 marzo 2017]. Disponible en: <<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/73.pdf>>.
- MOSingenieros. *Timelapse: construyendo el buque más grande del mundo* [en línea]. MOSingenieros [Consulta: 17 junio 2017]. Disponible en: <<http://www.naval-technology.com/projects/seawolf/seawolf5.html>>.
- Naucher Global. *El Ro-Pax "AMPERE", primero del mundo alimentado por baterías, inicia su operativa en Noruega* [en línea]. Naucher Global, 2015 [Consulta: 1 septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.naucher.com/es/actualidad/el-ro-pax-ampere-primero-del-mundo-alimentado-por-baterias-inicia-su-operativa-en-noruega/_n:3453/>.

- Naval-technology. *SSN Seawolf Class, United States of America* [en línea]. Naval-technology [Consulta: 6 julio 2017]. Disponible en: <<http://www.naval-technology.com/projects/seawolf/seawolf5.html>>.
- New Jersey Department of Health and Senior Services. *Hoja informativa sobre sustancias peligrosas: Metiletilcetona*. Nueva Jersey: New Jersey Department of Health and Senior Services, 2002.
- New Jersey Department of Health and Senior Services. *Hoja informativa sobre sustancias peligrosas: Cromato de zinc*. Nueva Jersey: New Jersey Department of Health and Senior Services, 2002.
- NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. *Nomination of welding fumes for toxicity studies*. NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health 2002.
- Nordberg, G. Metales: Propiedades químicas y toxicidad. A: OIT. Organización Internacional del Trabajo. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* [en línea]: *Productos químicos*, 2001 [Consulta: 12 junio 2017]. Disponible en: <<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>>.
- OHSAS Project Group; BSI. British Standards Institution. *OHSAS 18002:2008 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo* [en línea]: *Directrices para la implementación de OHSAS 18001:2007*. España: AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), 2009 [Consulta: 1 septiembre 2017]. Disponible en: <<https://www.facet.unt.edu.ar/syso/wp-content/uploads/sites/36/2016/03/NormaOHSAS18002-2008-1.pdf>>.
- Ollero, D.J. *El primer ferry eléctrico del mundo* [en línea]. Madrid: El Mundo, 2015 [Consulta: 1 septiembre 2017]. Disponible en: <<http://www.elmundo.es/economia/2015/06/15/5579e1cd268e3e28118b4592.html>>.
- OSMAN. Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía. *Ruido y salud* [en línea]. OSMAN. Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, 2010 [Consulta: 21 julio 2017]. Disponible en: <www.osman.es/project/ruido-y-salud-2/>.
- Payno Herrera, M.L; Setién Marquínez, J. *Metalurgia y siderurgia* [en línea]: *Bloque 3. Metalurgia de los materiales féreos. 3.1 Metalurgia del aluminio*. Cantabria: UC. Universidad de Cantabria [Consulta: 15 de mayo]. Disponible en: <<http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/metalurgia-y-siderurgia/materiales/Bloque%203.1%20aluminio.pfd>>.

- Posco E&C. Posco Engineering & Construction. *Plantas de acero* [en línea]: *Horno de arco eléctrico / Horno de oxígeno básico*. Posco E&C. Posco Engineering & Construction [Consulta: 5 julio 2017]. Disponible en: <http://www.poscoenc.com/esp/business/steel_plants.asp>.
- Rodrigo de Larrucea, J. *Seguridad Marítima: Teoría general del riesgo*. 1ª ed. Barcelona: Marge Books, 2015. ISBN: 978-84-16171-00-2.
- Salter's Chemistry. *Composition of steels* [en línea]. Salter's Chemistry [Consulta: 10 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.4college.co.uk/a/ss/Composition.php>>.
- SIVAT Group S.A. *Seguridad industrial* [en línea]. SIVAT Group S.A. [Consulta: 28 julio 2017]. Disponible en: <<http://sivatgroup.com.ar/seguridad.html>>.
- Skillingberg, M. *Aluminum at sea; Speed, endurance and affordability*. MARINE LOG, 2007.
- SSAB Swedish Steel, S.L. *Commercial steel* [en línea]: *ASTM A131*. SSAB Swedish Steel, S.L. [Consulta: 18 julio 2017]. Disponible en: <<http://www.ssab.us/products/commercial-steel/products/astm-a131#>>.
- Thornton, J.R. [et al.]. *Construcción y reparación de buques y embarcaciones de recreo*. A: OIT. Organización Internacional del Trabajo. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* [en línea]: *Industrias del transporte*, 2001 [Consulta: 12 marzo 2017]. Disponible a: <<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/92.pdf>>.
- Torralbo Gavilán, J. *Inspección Técnica de Embarcaciones de Recreo: Acero, aluminio y materiales compuestos*. FNB; UPC.
- Torralbo Gavilán, J. *Inspección Técnica de Embarcaciones de Recreo: Corrosión galvánica*. FNB; UPC.
- Torralbo Gavilán, J. *Inspección Técnica de Embarcaciones de Recreo: ¿Por qué necesito pintar mi barco?*. FNB; UPC.
- Total Materia. *Composición del acero* [en línea]. Total Materia [Consulta: 9 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Composiciondelacero&LN=ES>>.
- Total Materia. *Equivalentes del acero* [en línea]. Total Materia [Consulta: 9 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Equivalentesdeacero&LN=ES>>.
- Total Materia. *Grados de acero* [en línea]. Total Materia [Consulta: 9 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Gradosdeacero&LN=ES>>.
- Total Materia. *Propiedades del acero* [en línea]. Total Materia [Consulta: 9 mayo 2017]. Disponible en: <<http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=PropiedadesdelAcero&LN=ES>>.

- UCA. Universidad de Cádiz. *Propiedades del aluminio* [en línea]. Cádiz: UCA. Universidad de Cádiz [Consulta: 17 mayo 2017]. Disponible en: <<http://tablaperiodica.uca.es/Tabla/elementos/Aluminio/Grupo1/Prop.%20Al>>.
- Wikijalen. *Cajas universales de laminación* [en línea]. Wikimedia Commons, 2012 [Consulta: 10 junio 2017]. Disponible en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cajas_universales_de_laminaci%C3%B3n.JPG>.
- Wikipedia. *Aleaciones de aluminio* [en línea]. Wikipedia [Consulta: 22 mayo 2017]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Aleaciones_de_aluminio>.
- 3M. *3M PPE Safety Products* [en línea]. 3M [Consulta: 28 julio 2017]. Disponible en: <http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_EU/PPE_Safety/EU/Products/>.

Anexos 1 y 2

SECTION 2 MATERIALS

A. General

A 100 Introduction

101 In this section requirements regarding the application of various structural materials as well as protection methods and materials are given.

A 200 Material certificates

201 Rolled steel and aluminium for hull structures are normally to be supplied with DNV's material certificates in compliance with the requirements given in Pt.2.

202 Requirements for material certificates for forgings, castings and other materials for special parts and equipment are stated in connection with the rule requirements for each individual part.

B. Hull structure steel

B 100 General

101 Where the subsequent rules for material grade are dependent on plate thickness, the requirements are based on the thickness as built.

Guidance note:

Attention should be drawn to the fact when the hull plating is being gauged at periodical surveys and the wastage considered in relation to reductions allowed by the Society, such allowed reductions are based on the nominal thicknesses required by the rules.

The under thickness tolerances acceptable for classification should be seen as the lower limit of a total «minus-plus» standard range of tolerances which could be met in normal production with a conventional rolling mill settled to produce in average the nominal thickness.

However, with modern rolling mills it might be possible to produce plates to a narrow band of thickness tolerances which could permit to consistently produce material thinner than the nominal thickness, satisfying at the same time the under thickness tolerance given in Pt.2 Ch.2 Sec.1.

Therefore in such a case the material will reach earlier the minimum thickness allowable at the hull gaugings.

It is upon the shipyard and owner, bearing in mind the above situation, to decide whether, for commercial reasons, stricter under thickness tolerances should be specified in the individual cases.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

B 200 Material designations and classes

201 Hull materials of various strength groups will be referred to as follows:

- NV-NS denotes normal strength structural steel with yield point not less than 235 N/mm²
- NV-27 denotes high strength structural steel with yield point not less than 265 N/mm²
- NV-32 denotes high strength structural steel with yield point not less than 315 N/mm²
- NV-36 denotes high strength structural steel with yield point not less than 355 N/mm²
- NV-40 denotes high strength structural steel with yield point not less than 390 N/mm².

Normal and high strength steel may also be referred to as NS-steel and HS-steel respectively.

202 Hull materials of various grades will be referred to as follows:

- A, B, D and E denotes NS-steel grades
- AH, DH and EH denotes HS-steel grades. HS-steel may also be referred to by a combination of grade and strength group. In that case the letter H is substituted by one of the numbers indicated in 201, e.g. A 36-steel.

203 The material factor f_1 included in the various formulae for scantlings and in expressions giving allowable stresses, is dependent on strength group as follows:

- for NV-NS: $f_1=1.00$
- for NV-27: $f_1=1.08$
- for NV-32: $f_1=1.28$
- for NV-36: $f_1=1.39$
- for NV-40: $f_1=1.47$.

For A 34-steel (with yield point not less than 335 N/mm²) the material factor may be taken as $f_1 = 1.35$.

204 In order to distinguish between the material grade requirements for different hull parts, various material classes are applied as defined in Table B1.

The steel grade is to correspond to the as-built plate thickness and material class.

Table B1 Material classes				
Thickness in mm	Class			
	I	II	III	IV
$t \leq 15$	A/AH	A/AH	A/AH	A/AH
$15 < t \leq 20$	A/AH	A/AH	A/AH	B/AH
$20 < t \leq 25$	A/AH	A/AH	B/AH	D/DH
$25 < t \leq 30$	A/AH	A/AH	D/DH	D/DH
$30 < t \leq 35$	A/AH	B/AH	D/DH	E/EH
$35 < t \leq 40$	A/AH	B/AH	D/DH	E/EH
$40 < t \leq 50^*)$	B/AH	D/DH	E/EH	E/EH

*) Plating of Class III or IV and with a thickness between 50 mm < $t \leq 150$ mm, shall be of grade E/EH.
For other cases, D/DH (according to Class II) will be minimum quality for thicknesses above 50 mm

B 300 Basic requirements

301 Materials in the various strength members are not to be of lower grade than those corresponding to the material classes and grades specified in Table B2 to Table B7. General requirements are given in Table B2, while additional minimum requirements are given in the following:

- Table B3: for ships, excluding liquefied gas carriers covered in Table B4, with length exceeding 150 m and single strength deck,
- Table B4: for membrane type liquefied gas carriers with length exceeding 150 m,
- Table B5: for ships with length exceeding 250 m,
- Table B6: for single side bulk carriers subjected to SOLAS regulation XII/6.4.3,
- Table B7: for ships with ice strengthening.

For strength members not mentioned in Tables B2 to B7, Class I may be applied.

302 Materials in local strength members shall not be of lower grades than those corresponding to the material class I. However, for heavy foundation plates in engine room, grade A may also be accepted for NS-steel with thickness above 40 mm.

Table B2 Material classes and grades for ships in general	
Structural member category	Material class/grade
SECONDARY:	
A1. Longitudinal bulkhead strakes, other than that belonging to the Primary category	— Class II within 0.4L amidships — Grade A/AH outside 0.4L amidships
A2. Deck plating exposed to weather, other than that belonging to the Primary or Special category	
A3. Side plating	
PRIMARY:	
B1. Bottom plating, including keel plate	— Class III within 0.4L amidships — Grade A/AH outside 0.4L amidships
B2. Strength deck plating, excluding that belonging to the Special category	
B3. Continuous longitudinal plating of strength members above strength deck, excluding hatch coamings	
B4. Uppermost strake in longitudinal bulkhead	
B5. Vertical strake (hatch side girder) and uppermost sloped strake in top wing tank	
SPECIAL:	
C1. Sheer strake at strength deck *)	— Class IV within 0.4L amidships — Class III outside 0.4L amidships — Class II outside 0.6L amidships
C2. Stringer plate in strength deck *)	
C3. Deck strake at longitudinal bulkhead, excluding deck plating in way of inner-skin bulkhead of double-hull ships *)	
C4. Strength deck plating at outboard corners of cargo hatch openings in container carriers and other ships with similar hatch opening configurations	
	— Class IV within 0.4L amidships — Class III outside 0.4L amidships — Class II outside 0.6L amidships — Min. Class IV within the cargo region

Table B2 Material classes and grades for ships in general (Continued)	
<i>Structural member category</i>	<i>Material class/grade</i>
C5. Strength deck plating at corners of cargo hatch openings in bulk carriers, ore carriers combination carriers and other ships with similar hatch opening configurations	— Class IV within 0.6L amidships — Class III within rest of cargo region
C5.1 Trunk deck and inner deck plating at corners of openings for liquid and gas domes in membrane type liquefied gas carriers	
C6. Bilge strake in ships with double bottom over the full breadth and length less than 150 m	— Class III within 0.6L amidships — Class II outside 0.6L amidships
C7. Bilge strake in other ships *)	— Class IV within 0.4L amidships — Class III outside 0.4L amidships — Class II outside 0.6L amidships
C8. Longitudinal hatch coamings of length greater than 0.15L including coaming top plate and flange	— Class IV within 0.4L amidships — Class III outside 0.4L amidships
C9. End brackets and deck house transition of longitudinal cargo hatch coamings	— Class II outside 0.6L amidships — Not to be less than Grade D/DH
*) Single strakes required to be of Class IV within 0.4L amidships are to have breadths not less than $800 + 5L$ (mm), need not be greater than 1800 (mm), unless limited by the geometry of the ship's design.	

Table B3 Minimum material grades for ships, excluding liquefied gas carriers covered in Table B4, with length exceeding 150 m and single strength deck *)	
<i>Structural member category</i>	<i>Material grade</i>
— Longitudinal plating of strength deck where contributing to the longitudinal strength — Continuous longitudinal plating of strength members above strength deck	Grade B/AH within 0.4L amidships
Single side strakes for ships without inner continuous longitudinal bulkhead(s) between bottom and the strength deck	Grade B/AH within cargo region
*) The requirements of Table B3 do not apply for ships where the strength deck is a double skin construction, and for ships with two continuous decks above 0.7D, measured from the baseline.	

Table B4 Minimum material grades for membrane type liquefied gas carriers with length exceeding 150 m *)	
<i>Structural member category</i>	<i>Material grade</i>
Longitudinal plating of strength deck where contributing to the longitudinal strength	Grade B/AH within 0.4L amidships
Continuous longitudinal plating of strength members above the strength deck	Trunk deck plating
	— Inner deck plating — Longitudinal strength member plating between the trunk deck and inner deck
	Class III within 0.4L amidships Grade B/AH within 0.4L amidships
*) Table B4 is applicable to membrane type liquefied gas carriers with deck arrangements as shown in Fig. 1. Table B4 may apply to similar ship types with a "double deck" arrangement above the strength deck.	

Table B5 Minimum material grades for ships with length exceeding 250 m	
<i>Structural member category</i>	<i>Material grade</i>
Shear strake at strength deck *)	Grade E/EH within 0.4L amidships
Stringer plate in strength deck *)	Grade E/EH within 0.4L amidships
Bilge strake *)	Grade D/DH within 0.4L amidships
*) Single strakes required to be of Grade E/EH and within 0.4L amidships are to have breadths not less than $800+5L$ (mm), need not be greater than 1800 (mm), unless limited by the geometry of the ship's design.	

Table B6 Minimum material grades for single-side skin bulk carriers subjected to SOLAS regulation XII/6.4.3	
<i>Structural member category</i>	<i>Material grade</i>
Lower bracket of ordinary side frame *) **)	Grade D/DH
Side shell strakes included totally or partially between the two points located to 0.125l above and below the intersection of side shell and bilge hopper sloping plate or inner bottom plate **)	Grade D/DH
*) The term "lower bracket" means webs of lower brackets and webs of the lower part of side frames up to the point of 0.125l above the intersection of side shell and bilge hopper sloping plate or inner bottom plate.	
**) The span of the side frame, l, is defined as the distance between the supporting structures.	

Table B7 Minimum material grades for ships with ice strengthening	
<i>Structural member category</i>	<i>Material grade</i>
Shell strakes in way of ice strengthening area for plates	Grade B/AH

(IACS UR S6)

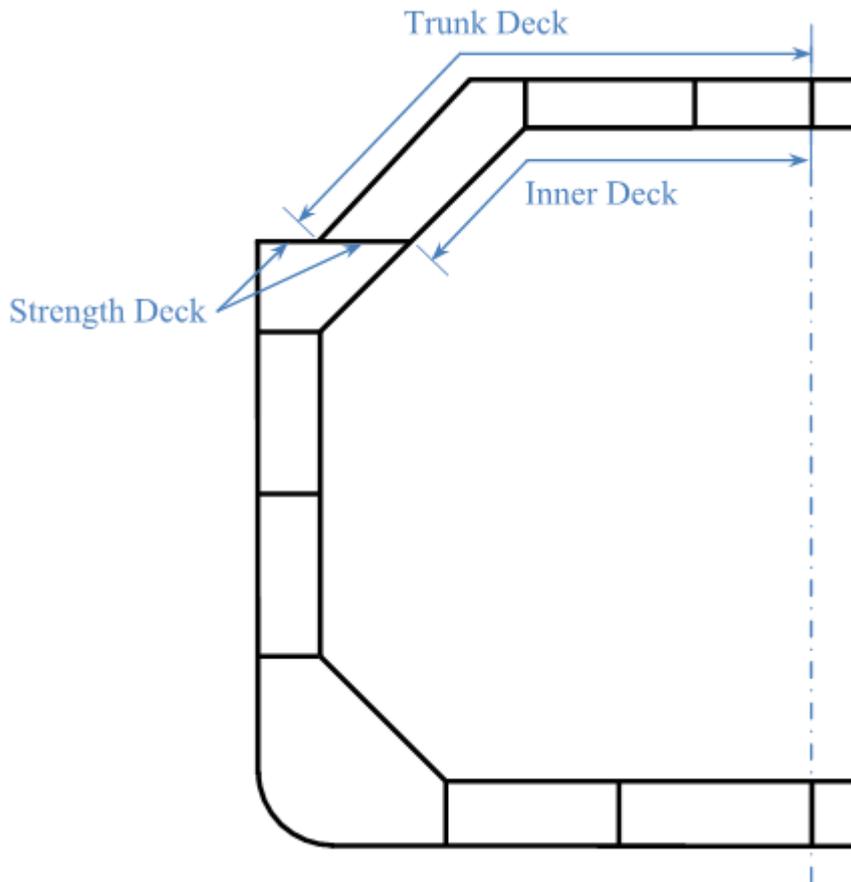


Fig. 1
Typical deck arrangement for membrane type liquefied natural gas carriers

303 For materials in:

- hull equipment and appendages (sternframes and rudders, anchoring and mooring equipment, masts and rigging, crane pedestals etc.), see Ch.3
- structure and equipment related to additional class notations, see Pt.5 and Pt.6
- hull structures related to installations for which no notation is available or requested, these will be considered and notation requirements usually maintained.

B 400 Requirements for low air temperatures

401 In ships intended to operate for longer periods in areas with low air temperatures (i.e. regular service during winter to Arctic or Antarctic waters), the materials in exposed structures will be specially considered. Applicable rule requirements are found in Pt.5 Ch.1 Sec.7.

B 500 Material at cross-joints

501 In important structural cross-joints where high tensile stresses are acting perpendicular to the plane of the plate, special consideration will be given to the ability of the plate material to resist lamellar tearing. For a special test, see Pt.2 Ch.2 Sec.1.

C. Alternative structural materials

C 100 Aluminium

101 Aluminium alloy for marine use may be applied in superstructures, deckhouses, hatch covers, hatch beams and sundry items, provided the strength of the aluminium structure is equivalent to that required for a steel structure.

102 For rolled products taking part in the longitudinal strength, alloys marked A shall be used. The alloy shall be chosen considering the stress level concerned.

103 In weld zones of rolled or extruded products (heat affected zones) the mechanical properties given for extruded products may in general be used as basis for the scantling requirements.

Note that for the alloy NV-ALMgSil the most unfavourable properties corresponding to -T4 condition shall be used.

104 Welding consumables giving a deposit weld metal with mechanical properties not less than those specified for the weld zones of the parent material shall be chosen.

105 The various formulae and expressions involving the factor f_1 may normally also be applied for aluminium alloys where:

$$f_1 = \frac{\sigma_f}{235}$$

σ_f = yield stress in N/mm² at 0.2% offset, σ_f shall not be taken greater than 70% of the ultimate tensile strength.

For minimum thickness requirements not involving the factor f_1 the equivalent minimum value for aluminium alloys may normally be obtained when the requirement is divided by $\sqrt{f_1}$.

106 For aluminium structures earthing to steel hull shall be in accordance with Pt.4 Ch.8.

C 200 Stainless steel

201 For clad steel and solid stainless steel due attention shall be given to the reduction of strength of stainless steel with increasing temperature.

For austenitic stainless steel and steel with clad layer of austenitic stainless steel the material factor f_1 included in the various formulae for scantlings and in expressions giving allowable stresses is given in 202 and 203.

202 For austenitic stainless steel the material factor f_1 can be taken as:

$$f_1 = \left[\left(3.9 + \frac{t-20}{650} \right) \sigma_f - 4.15(t-20) + 220 \right] 10^{-3}$$

σ_f = yield stress in N/mm² at 0.2% offset and temperature +20°C ($\sigma_{0.2}$).

t = cargo temperature in °C.

For end connections of corrugations, girders and stiffeners the factor is due to fatigue not to be taken greater than:

$$f_1 = 1.21 - 3.2(t-20) 10^{-3}$$

203 For clad steel the material factor f_1 can be taken as:

$$f_1 = \frac{1.67\sigma_f - 1.37t}{1000} - 41.5\sigma_{fb}^{-0.7} + 1.6$$

σ_f = yield stress in N/mm² at 0.2% offset of material in clad layer and temperature +20°C ($\sigma_{0.2}$).

σ_{fb} = yield strength in N/mm² of base material.

t = cargo temperature in °C.

f_1 is in no case to be taken greater than that given for the base material in B203.

The calculated factor may be used for the total plate thickness.

204 For ferritic-austenitic stainless steel the material factor will be specially considered in each case.

Guidance note:

For ferritic-austenitic stainless steels with yield stress 450 N/mm², the following material factor will normally be accepted:

$$\begin{aligned} f_1 &= 1.6 \text{ at } +20^\circ\text{C} \\ &= 1.36 \text{ at } +85^\circ\text{C} \end{aligned}$$

For end connection of corrugations, girders and stiffeners the factor should due to fatigue not be taken greater than:

$$\begin{aligned} f_1 &= 1.39 \text{ at } +20^\circ\text{C} \\ &= 1.18 \text{ at } +85^\circ\text{C} \end{aligned}$$

For intermediate temperatures linear interpolation may be applied for the f_1 factor.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

SECTION 2 MATERIALS

A. General

A 100 Introduction

101 In this section requirements regarding the application of various structural materials as well as protection methods and materials are given.

A 200 Material certificates

201 Rolled steel and aluminium for hull structures are normally to be supplied with Det Norske Veritas' material certificates in compliance with the requirements given in Pt.2.

202 Requirements for material certificates for forgings, castings and other materials for special parts and equipment are stated in connection with the rule requirements for each individual part.

B. Hull structure steel

B 100 General

101 Where subsequent rules for material grade are dependent on plate thickness, the requirements are based on the thickness as built.

Guidance note:

Attention should be drawn to the fact when the hull plating is being gauged at periodical surveys and the wastage considered in relation to reductions allowed by the Society, such allowed reductions are based on the nominal thicknesses required by the rules.

The under thickness tolerances acceptable for classification are to be seen as the lower limit of a total «minus-plus» standard range of tolerances which could be met in normal production with a conventional rolling mill settled to produce in average the nominal thickness.

However, with modern rolling mills it might be possible to produce plates to a narrow band of thickness tolerances which could permit to consistently produce material thinner than the nominal thickness, satisfying at the same time the under thickness tolerance given in Pt.2 Ch.2 Sec.1.

Therefore in such a case the material will reach earlier the minimum thickness allowable at the hull gaugings.

It is upon the shipyard and owner, bearing in mind the above situation, to decide whether, for commercial reasons, stricter under thickness tolerances are to be specified in the individual cases.

---e-n-d---of---G-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

B 200 Material designations and classes

201 Hull materials of various strength groups will be referred to as follows:

- NV-NS denotes normal strength structural steel with yield point not less than 235 N/mm²
- NV-27 denotes high strength structural steel with yield point not less than 265 N/mm²
- NV-32 denotes high strength structural steel with yield point not less than 315 N/mm²
- NV-36 denotes high strength structural steel with yield point not less than 355 N/mm²
- NV-40 denotes high strength structural steel with yield point not less than 390 N/mm².

Normal and high strength steel may also be referred to as NS-steel and HS-steel respectively.

202 Hull materials of various grades will be referred to as follows:

- A, B, D and E denotes NS-steel grades
- AH, DH and EH denotes HS-steel grades. HS-steel may also be referred to by a combination of grade and strength group. In that case the letter H is substituted by one of the numbers indicated in 201, e.g. A 36-steel.

203 The material factor f_1 which may be included in the various formulae for scantlings and in expressions giving allowable stresses, as specified in Sec.3, is dependent on strength group as follows:

- for NV-NS: $f_1 = 1.00$
- for NV-27: $f_1 = 1.08$
- for NV-32: $f_1 = 1.28$
- for NV-36: $f_1 = 1.39$
- for NV-40: $f_1 = 1.47$

204 In order to distinguish between the material grade requirements for different hull parts, various material classes are applied as defined in Table B1.

The steel grade is to correspond to the as-built plate thickness and material class.

Table B1 Material classes				
Thickness in mm	Class			
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
$t \leq 15$	A/AH	A/AH	A/AH	A/AH
$15 < t \leq 20$	A/AH	A/AH	A/AH	B/AH
$20 < t \leq 25$	A/AH	A/AH	B/AH	D/DH
$25 < t \leq 30$	A/AH	A/AH	D/DH	D/DH
$30 < t \leq 35$	A/AH	B/AH	D/DH	E/EH
$35 < t \leq 40$	A/AH	B/AH	D/DH	E/EH
$40 < t \leq 50^*)$	B/AH	D/DH	E/EH	E/EH

*) Plating of Class III or IV and with a thickness between $50 \text{ mm} < t \leq 150 \text{ mm}$, shall be of grade E/EH.
For other cases, D/DH (according to Class II) will be minimum quality for thicknesses above 50 mm

B 300 Basic requirements

301 Materials in the various strength members are not to be of lower grade than those corresponding to the material classes and grades specified in Table B2 to Table B3. Where the applied plate thickness is greater than that required by the Rules, a lower material grade may be applied, after special consideration. General requirements are given in Table B2, while additional minimum requirements for ships with ice strengthening in accordance with Pt.5 Ch.1 are given in Table B3.

For strength members not mentioned in Table B2, Class I may be applied.

302 Materials in local strength members are not to be of lower grades than those corresponding to the material class I. However, for heavy foundation plates in engine room, grade A may also be accepted for NS-steel with thickness above 40 mm.

303 Materials in:

- hull equipment and appendages (sternframes and rudders, anchoring and mooring equipment, masts and rigging, crane pedestals etc.) see Ch.3
- structure and equipment related to class notations, see Pt.5 and Pt.6
- hull structures related to installations for which no notation is available or requested, will be considered and notation requirements usually maintained.

Table B2 Material Classes and Grades for ships in general	
<i>Structural member category</i>	<i>Material class/grade</i>
SECONDARY:	
A1. Longitudinal bulkhead strakes, other than that belonging to the Primary category	— Class II within 0.4L amidships — Grade A/AH outside 0.4L amidships
A2. Deck plating exposed to weather, other than that belonging to the Primary or Special category	
A3. Side plating	
PRIMARY:	
B1. Bottom plating, including keel plate	— Class III within 0.4L amidships — Grade A/AH outside 0.4L amidships
B2. Strength deck plating, excluding that belonging to the Special category	
B3. Continuous longitudinal plating of strength members above strength deck, excluding hatch coamings	
B4. Uppermost strake in longitudinal bulkhead	
B5. Vertical strake (hatch side girder) and uppermost sloped strake in top wing tank	
SPECIAL:	
C1. Sheer strake at strength deck *)	— Class IV within 0.4L amidships — Class III outside 0.4L amidships — Class II outside 0.6L amidships
C2. Stringer plate in strength deck *)	
C3. Deck strake at longitudinal bulkhead, excluding deck plating in way of inner-skin bulkhead of double-hull ships *)	
C4. Strength deck plating at outboard corners of cargo hatch openings in container carriers and other ships with similar hatch opening configurations	— Class IV within 0.4L amidships — Class III outside 0.4L amidships — Class II outside 0.6L amidships — Min. Class IV within the cargo region
C5. Strength deck plating at corners of cargo hatch openings in bulk carriers, ore carriers combination carriers and other ships with similar hatch opening configurations	— Class IV within 0.6L amidships — Class III within rest of cargo region
C5.1 Trunk deck and inner deck plating at corners of openings for liquid and gas domes in membrane type liquefied gas carriers	
C6. Bilge strake in ships with double bottom over the full breadth and length less than 150 m	— Class III within 0.6L amidships — Class II outside 0.6L amidships
C7. Bilge strake in other ships *)	— Class IV within 0.4L amidships — Class III outside 0.4L amidships — Class II outside 0.6L amidships
C8. Longitudinal hatch coamings of length greater than 0.15L including coaming top plate and flange	— Class IV within 0.4L amidships — Class III outside 0.4L amidships — Class II outside 0.6L amidships — Not to be less than Grade D/DH
C9. End brackets and deck house transition of longitudinal cargo hatch coamings	
*) Single strakes required to be of Class IV within 0.4L amidships are to have breadths not less than 800 + 5L (mm), need not be greater than 1800 (mm), unless limited by the geometry of the ship's design.	

Table B3 Minimum Material Grades for ships with ice strengthening	
<i>Structural member category</i>	<i>Material grade</i>
Shell strakes in way of ice strengthening area for plates	Grade B/AH

(Adapted from IACS UR S6)

B 400 Requirements for low air temperatures

401 In ships intended to operate for longer periods in areas with low air temperatures (i.e. regular service during winter to Arctic or Antarctic water), the materials in exposed structures will be specially considered. Applicable rule requirements are found in Pt.5 Ch.1 Sec.7.

B 500 Material at cross-joints

501 In important structural cross-joints where high tensile stresses are acting perpendicular to the plane of the plate, special consideration will be given to the ability of the plate material to resist lamellar tearing. For a special test, see Pt.2 Ch.2 Sec.1.

C. Alternative structural materials

C 100 Aluminium

101 Aluminium alloy for marine use may be applied in superstructures, deckhouses, hatch covers, hatch beams and other local items.

102 In weld zones of rolled or extruded products (heat affected zones) the mechanical properties given for extruded products may in general be used as basis for the scantling requirements.

Note that for the alloy NV-A1MgSi1 the most unfavourable properties corresponding to -T4 condition are to be used.

103 Welding consumables giving a deposit weld metal with mechanical properties not less than those specified for the weld zones of the parent material are to be chosen.

104 The various formulae and expressions involving the factor f_1 may normally also be applied for aluminium alloys where:

$$f_1 = \frac{\sigma_f}{235}$$

σ_f = yield stress in N/mm² at 0.2% offset. σ_f is not to be taken greater than 70% of the ultimate tensile strength.

105 For aluminium structures earthing to steel hull is to be in accordance with Pt.4 Ch.8.

C 200 Steel sandwich panel construction

201 See Pt.3 Ch.1 Sec.2 C301 and 302.

C 300 Concrete Barges

301 Concrete may be used as a construction material for vessels with class notation **Barge**, provided that requirements in Pt.5 Ch.7 Sec.14 D100 are complied with.

D. Corrosion additions for steel ships

D 100 General

101 In tanks for cargo oil and/or water ballast the scantlings of the steel structures are to be increased by corrosion additions as specified in 200. In the following *cargo oil* will be used as a collective term for liquid cargoes which may be carried by oil carriers (see list of cargoes in appendix to Pt.5 Ch.3).

D 200 Corrosion additions

201 Plates, stiffeners and girders in tanks for water ballast and/or cargo oil and of holds in dry bulk cargo carriers are to be given a corrosion addition t_k as stated in Table D1.

Table D1 Corrosion addition t_k in mm		
Internal members and plate boundary between spaces of the given category	Tank/hold region	
	Within 1.5 m below weather deck tank or hold top	Elsewhere
Ballast tank ¹⁾	3.0	1.5
Cargo oil tank only	2.0	1.0 (0) ²⁾
Hold of dry bulk cargo carriers ⁴⁾	1.0	1.0 (3) ⁵⁾
Plate boundary between given space categories	Tank/hold region	
	Within 1.5 m below weather deck tank or hold top	Elsewhere
Ballast tank ¹⁾ /Cargo oil tank only	2.5	1.5 (1.0) ²⁾
Ballast tank ¹⁾ /Hold of dry bulk cargo carrier ⁴⁾	2.0	1.5
Ballast tank ¹⁾ /Other category space ³⁾	2.0	1.0
Cargo oil tank only/ Other category space ³⁾	1.0	0.5 (0) ²⁾
Hold of dry bulk cargo carrier ⁴⁾ /Other category space ³⁾	0.5	0.5