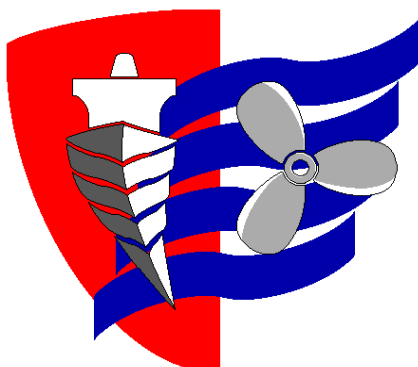


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NAÚTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo fin de grado

**LA OPTIMIZACIÓN Y SOSTENIBILIDAD EN LA
MANUFACTURA DEL ACERO DE
CONSTRUCCIÓN NAVAL**

**OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY IN THE
STEEL SHIPBUILDING MANUFACTURING**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARINA

Autor: Miguel Valcárcel González

Directora: María Victoria Biezma Moraleda

Septiembre - 2016

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NAÚTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo fin de grado

**LA OPTIMIZACIÓN Y SOSTENIBILIDAD EN LA
MANUFACTURA DEL ACERO DE
CONSTRUCCIÓN NAVAL**

**OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY IN THE
STEEL SHIPBUILDING MANUFACTURING**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARINA

Septiembre – 2016

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
Preámbulo	
I. Resumen	6
II. Abstract	6
III. Palabras clave (keywords)	8
Capítulo 1. Justificación y objetivos	9
Capítulo 2. Estado del arte	
I. Introducción	10
II. Proceso de manufactura actual	11
II.I. Selección de chatarra	12
II.II. Cesta	17
II.III. Horno	18
II.IV. Extracción de muestra	22
II.V. Adición generalizada	23
II.VI. Inyección de oxígeno	23
II.VII. Sistema de vuelco	24
II.VIII. Cucharas	26
II.IX. Aditivos (afino)	26
II.X. Colada en lingotes	27
II.XI. Laminación	30
II.XII. Control de calidad	33
Capítulo 3. Acero en la construcción de un buque	40
I. Diagrama parcial de equilibrio Fe-C	44
Capítulo 4. Metodología	47

Capítulo 5. Optimización pormenorizada del proceso	49
I. Introducción	
II. Llegada de la chatarra a la fábrica	49
III. Organización en el parque de chatarra	51
IV. Precalentamiento de chatarra	53
V. Vertido de la cesta al H.E.A.	54
VI. Toma de muestra robótica	55
VII. Aspiración	56
VIII. Sensores en los silos	57
IX. Seguridad y salud	58
Capítulo 6. Sostenibilidad	
I. Introducción	64
II. Reutilización de la escoria	64
III. Gases nocivos	65
Capítulo 7. Análisis de los resultados	
I. Enfoque económico	67
II. Enfoque medioambiental	67
III. Cálculo del costo de la construcción de un buque	72
Capítulo 8. Conclusiones	77
Referencias bibliográficas	78
Anexo I. Resumen de la ISO 14001:2015	81
Anexo II. Radiactividad en la chatarra. Protocolo de actuación.	83
Anexo III. Electrodo (H.E.A.)	85
Anexo IV. Cilindros de laminación	87

Anexo V. Efecto de los elementos de aleación, elementos residuales y gases	90
Anexo VI. Aviso responsabilidad UC	95

PREÁMBULO

I. RESUMEN

El acero es el material predominante en la construcción de un buque. En base a este hecho, su coste va a influir de forma determinante en los costes de producción de un navío.

La base sobre la que se sustenta este estudio es el abaratamiento de los costes de manufactura de un acero de construcción naval para su impacto en los costes de construcción de los buques en general.

Aunque la tecnología ha avanzado mucho en las últimas décadas, aún se detectan puntos de mejora plausibles en las acerías convencionales en las que se elaboran estos aceros.

Este trabajo aporta, por un lado, mejoras con un gran impacto económico y medioambiental que se pueden poner en marcha en el momento actual y, por otro lado, dota a las acerías de un sistema continuo de *autochecking* basado en el análisis, detección de fallos y propuesta de soluciones.

El objetivo es que las acerías persigan por si solas la excelencia en su proceso y que eso repercuta de forma positiva en el producto final y en la naturaleza.

II. ABSTRACT

Steel is the predominant material in the shipbuilding sector. Based on this fact, its cost will have a major impact on the manufacture costs of a ship.

This study has been based on the lower costs of manufacturing of shipbuilding steel due to its impact on construction total costs of ships. Although technology has advanced greatly in recent decades, some gaps are still undefined in conventional steel plants, wherein these steels are processed.

This work provides two ways of manage this purpose; on the one hand, improvements with great economic and environmental impact that could be developed currently and, on the other hand, gives mills a continuous system of

autochecking based on the analysis, detection failure and propose the proper solutions.

The goal is that mills pursue excellence for themselves in the process and that influencing positively on as the final product such as environment, so important sustainable impact.

II. PALABRAS CLAVE (KEYWORDS)

Acero	Steel
Construcción naval	Shipbuilding
Acería	Steel plant
Optimización	Optimization
Sostenibilidad	Sustainability
Tecnología	Technology
Chatarra	Scrap
Radiactividad	Radioactivity

Capítulo 1. Justificación y objetivos

El punto de partida que se establece en este Trabajo Fin de Grado es una acería ordinaria en la que se elabora un acero utilizado para la construcción naval. La acería es el escenario (Figura 1) y el proceso de elaboración del acero va a ser el hilo conductor.

La justificación por la que surgió la idea para desarrollar esta temática de Trabajo Fin de Grado, fue la observación in situ de la problemática de la falta de precisión en algunos de los puntos del proceso ya que son, en la actualidad, tareas muy operador dependiente. En contraste con otras industrias, la tecnología no se ha introducido de manera plena para ayudar a mejorar el proceso y, de esta situación se deducen fallos o dificultades presumiblemente evitables.

El objetivo, en este caso, es el establecimiento de una serie de mejoras en una acería actual ordinaria de forma que se convierta en una fábrica:

- Más eficiente, tanto desde el punto de vista económico como energético.
- Más sostenible con el medio que la rodea.

Todo ello manteniendo un producto final de calidad.

De esta forma, las repercusiones en la construcción naval con este “acero sostenible” son prácticamente las mismas que se alcanzan en la fábrica. A modo de ejemplo, se presenta en la Figura 1 la acería que se ha tomado de referencia para desarrollar el estudio de mejora.



Figura 1. Vista aérea del conjunto de instalaciones de una acería tipo (Gerdau en Reinos).

Capítulo 2. Estado del arte

I. INTRODUCCIÓN

Los materiales para la construcción naval han ido evolucionando a lo largo de los años ofreciendo modificaciones en los buques (tamaño, robustez, ligereza...) y estableciendo así el transporte marítimo como uno de los más rentables en cuanto a grandes mercancías se refiere.

Desde los buques a vapor, de principios del siglo XIX, los principios básicos de la construcción naval han variado relativamente poco. Lo que sí ha variado son los materiales y las técnicas utilizadas.

En el siglo XIX se inició la construcción mixta de buques de madera-hierro, hasta entonces solo se había utilizado madera. Esto permitió un considerable aumento del tamaño de los buques. A continuación, en la Figura 2, se presenta un ejemplo de buque mixto, es decir, acorazado.

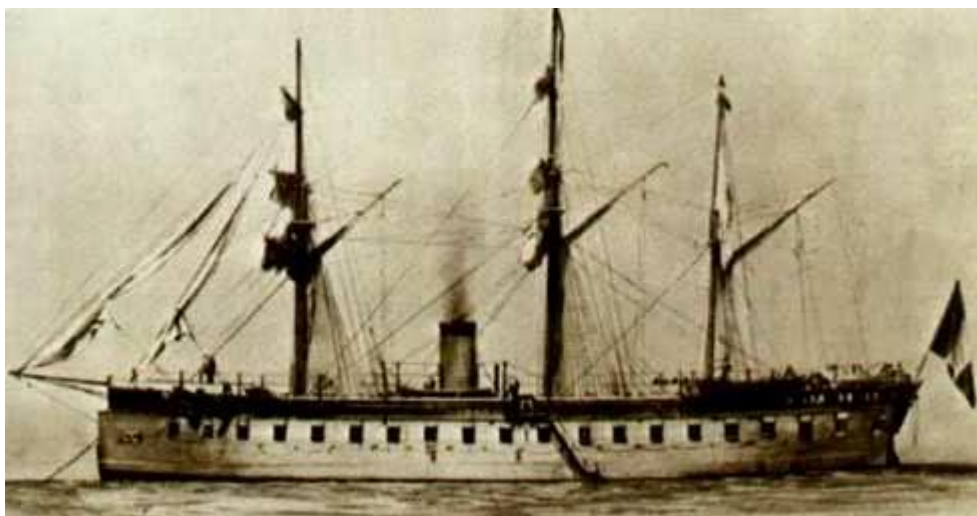


Figura 2. Primer buque acorazado de la historia.

En 1790 apareció la primera nave construida íntegramente por hierro.

El acero soldado no fue utilizado hasta 1880 creando una gran revolución ya que establecía una mayor fortaleza y homogeneidad además de ofrecer la posibilidad de ensamblarlo eficazmente.

El continuo progreso tecnológico nos ha permitido evolucionar de tal manera en los procesos de fabricación de los distintos tipos de acero que la diversificación de usos en el campo naval es prácticamente inagotable.

En 2007 el consumo de acero, dado en miles de toneladas, alcanzaba las 23.401, disminuyendo progresivamente hasta alcanzar su punto más bajo en 2012 con solo 10.625. Los últimos datos avanzan una leve recuperación, subiendo en el año 2014 a 11.478 miles de toneladas [1].

El acero es una aleación de hierro y carbono, con pequeñas cantidades de impurezas, entre las que destacan S, Mn, Si y P. A la aleación férrea, se añaden elementos químicos que establecen las propiedades mecánicas específicas de cada acero. De esta forma, podemos jugar con las características en pos de la obtención del mejor material para cada aplicación.

En este capítulo se revisará el proceso de elaboración de un acero de construcción naval actual en una acería estándar que cumpla las exigencias legales en materia de medio ambiente, salud y seguridad impuestas por la ISO 14001:2015¹. Partiendo desde su preselección en el parque de chatarra, pasando por el horno, afino, vertido y laminación hasta la obtención del producto final.

De esta forma, se establece el punto de partida para las mejoras que se detallarán en sucesivos capítulos que hacen el proceso de fabricación más eficiente.

II. PROCESO DE MANUFACTURA ACTUAL

En este epígrafe se va a proceder al análisis del proceso de manufactura de un acero en una acería convencional según el método más comúnmente utilizado. Ciertos puntos concretos pueden diferir entre fábricas al existir en la actualidad diferentes procedimientos válidos [6].

¹ Anexo I. Resumen de la ISO 14001:2015 (<http://www.iso.org>)

II.1. SELECCIÓN DE CHATARRA

Para cualquier acería, el origen de todo el proceso reside en el Parque de Chatarra.

La chatarra puede provenir de distintos sitios, tanto de dentro de la propia fábrica (de recuperación interna o transformación) o comprada a una empresa dedicada exclusivamente al sector de la venta de ésta (de desgüace).

El flujo de chatarra mundial se ha incrementado en los últimos años, ya que la concienciación por el medio ambiente ha generado el aumento de su consumo y con ello una cierta preocupación por la disponibilidad de chatarra de calidad en el futuro. Por ello, se están buscando alternativas como el arrabio líquido o prerreducidos. A modo de ejemplo, en la Figura 3 se presenta el flujo de chatarra en Europa.

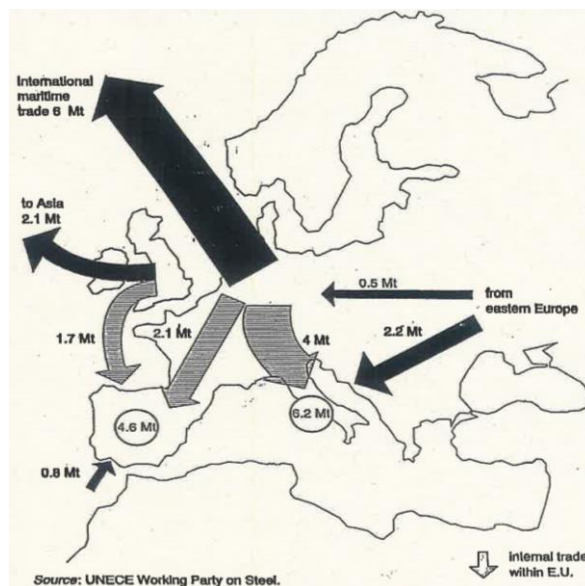


Figura 3. Flujo de chatarra en Europa.

Esta chatarra se distribuye en el interior del parque de chatarra después de un proceso de preselección. El objetivo de esta fase es doble, por un lado, se eliminan los elementos perjudiciales o indeseados tanto para la seguridad de los operarios como para la calidad del acero y, por otro lado, se clasifica dependiendo de su composición.

Así distinguimos diferentes tipos de chatarra:

- **Paquete 4A.** Procedente de sobrantes de coches, es un prensado de chapa fina, libre de cualquier material recubierto, estañado, galvanizado, etc. Tiene aspecto brillante y de gran calidad.

Muy alto rendimiento, de alrededor del 97% y densidad mayor o igual a 1000Kg/m³.

Tabla 1. Contenido muy bajo de elementos químicos residuales en la chatarra tipo Paquete 4A (%):

P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
0.010	0.025	0.040	0.040	0.020	0.050	0.004

Como inconvenientes se encuentra su alto consumo eléctrico y las posibles roturas que pueden ocasionar en los electrodos o en los paneles del horno durante su fusión.

- **OA/Estructural.** Compuesto de chapa y estructurales, puede incluir chatarra de vagón y tubos debidamente preparados.

Posee un rendimiento muy alto, alrededor del 93%, su densidad según el tamaño de corte es a 1.5m de 500-600Kg/m³ y cortado a 1m de 800-900Kg/m³.

Tabla 2. Contenido de elementos químicos residuales en la chatarra tipo OA (%):

P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
0.025	0.045	0.250	0.250	0.040	0.280	0.015

Tiene varios inconvenientes, si procede de demolición de talleres pueden aparecer contenidos de cobre que originarán desenchajes y pérdida de calidad, además, suele incluir piezas de gran tamaño que si no son retiradas a tiempo pueden causar grandes problemas, como rotura de electrodos o incluso de los paneles del horno.

Dentro de estas se distinguen tres tipos:

- Oxicorte (buena calidad)

- OA (normal)
- Numero 1 (mala calidad)
- **Viruta de compra.** Procede de talleres de mecanizado de piezas de acero aleado al carbono. Son lotes muy diferentes entre ellos pero deben coincidir en que no sea de aceros de fácil maquinabilidad, que no tienen que contener metales no férricos, polvo de esmerilado, viruta oxidada o aceite en exceso que perjudiquen al rendimiento y composición.

Tiene un rendimiento del 89% y su densidad varía según el tipo, puede ser rizada de 600Kg/m³ o rota de 1100Kg/m³.

Tabla 3. Contenido de elementos químicos residuales en la chatarra tipo Viruta de compra (%):

P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
0.025	0.070	0.450	0.450	0.140	0.350	0.020

A parte de su falta de homogeneidad, en ocasiones se haya viruta con contenido en aluminio y bronce, perjudicial para la calidad del producto.

- **Recuperación Interna.** Es chatarra limpia procedente de piezas rechazadas, de despuntes de palanquillas, mazarotas de lingote, etc.

Su rendimiento es del 96% y su densidad es menor de 2000Kg/m³.

En cuanto a sus residuales varían dependiendo del acero de procedencia.

Dentro de estas se encuentra:

- Grupo Carbono, con bajo Azufre.
- Grupo Carbono, con alto Azufre.
- Recuperación CrNiMo
- Recuperación CrMo

El principal problema que tiene es su correcta distribución, ya que viene de distintas zonas de la fábrica.

- **Recorte.** Son recortes ligeros de espesor menor a 3 mm, así en la carga del horno se asegura la compactación, pueden incluir revestimiento (estaño o cobre). Su tamaño varía, en cuanto menor tamaño, más homogéneo y con ello mejor calidad.

Su rendimiento es del 94% y las densidades oscilan entre los 600Kg/m³ a los 1000Kg/m³.

Tabla 4. Contenido de elementos químicos residuales en la chatarra tipo Recorte (%):

P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
0.015	0.030	0.060	0.050	0.020	0.100	0.008

Se suele recibir con elevado contenido de tierra, escoria, cascarilla.

- **Otros.**
 - **Fragmentada.** Chatarra de acero viejo, normalmente procedente de vehículos. Está fragmentada en piezas menores a 200mm, no debe contener metales no férreos, extraños, hierro colado, limaduras, cascarilla, virutas, etc.

Su rendimiento esta alrededor del 91% y su densidad es de 900 Kg/m³.

Tabla 5. Contenido de elementos químicos residuales en la chatarra de tipo Fragmentada (%):

P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
0.025	0.040	0.150	0.120	0.025	0.300	0.025

Suele contener hilos de cobre, altos contenidos de fósforo y azufre que pueden crear problemas en la calidad del producto, además de que trae elevado contenido de elementos estériles (tierra, escoria, etc.)

- **Estampación de forja.** Son recortes procedentes del proceso de estampación del acero. Su rendimiento es de alrededor del 95% y

su densidad es de 1000Kg/m³. Su contenido en residuales en general es de elevado Cr, Ni y Mo. Su principal problema es la falta de homogeneidad entre lotes, que suele limitar la fabricación de calidades de acero aleado.

- **Artesas.** Su rendimiento es del 89% y su densidad de 1500Kg/m³. La composición de residuales es muy variable según el tipo. Suele llevar escoria y hay que tener especial cuidado en cuanto al tamaño de los trozos, que pueden causar rotura de electrodos o tapado del EBT.

A modo de esquema ilustrativo del consumo de los diferentes tipos de chatarra se presenta la Figura 4.

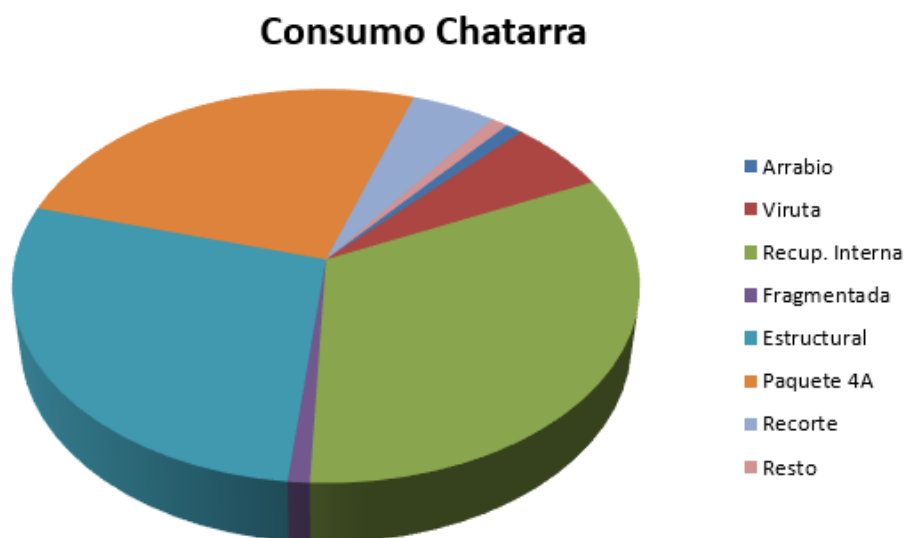


Figura 4. Consumo de los diferentes tipos de chatarra en el año 2016.

- **Arrabio.** Es la recuperación de la escoria creada en el horno, después de haber sido tratada para conseguir que sea lo más limpia posible. No es utilizada ya que tiene un rendimiento muy bajo.

Elementos perjudiciales:

- Piezas de gran tamaño. Pueden perforar los paneles del horno o causar la rotura de electrodos al no fundir correctamente.
- Botes cerrados. Pueden dar lugar a explosiones en la fusión.

- Elementos que disminuyen la calidad del acero. Piezas que contienen cobre como motores eléctricos o cables.

Finalmente, la chatarra es transportada por medio de un imán electromagnético al interior de las cestas. La cantidad de cada tipo de chatarra a adicionar a las cestas es establecida a través de un software que, dependiendo del acero que queramos obtener nos indicará la cantidad de cada tipo de chatarra que debemos añadir.

II.II. CESTA

Esta se encuentra en un peso. De esta forma, conociendo el peso propio de la cesta, se puede calcular la cantidad de chatarra que se adiciona a la misma.

Existen dos tipos de cestas cuyas representaciones gráficas pueden apreciarse en la Figura 5:

- **Cesta bivalva:** dos valvas que se abren por un sistema de palancas. El depósito de la chatarra se produce en forma cónica, pero tiene la ventaja de que con ella misma se puede compactar.
- **Cesta de malla:** tiene un sistema de apertura por cadenas, se abren accionando un cerrojo y su vez tirando de un cable. La colocación de la chatarra en el horno de este tipo de cesta es mejor, ya que cae con más fuerza y uniforme. Tiene el inconveniente de que hay que volver a colocar las mallas y el cerrojo de nuevo en la posición y es trabajoso.

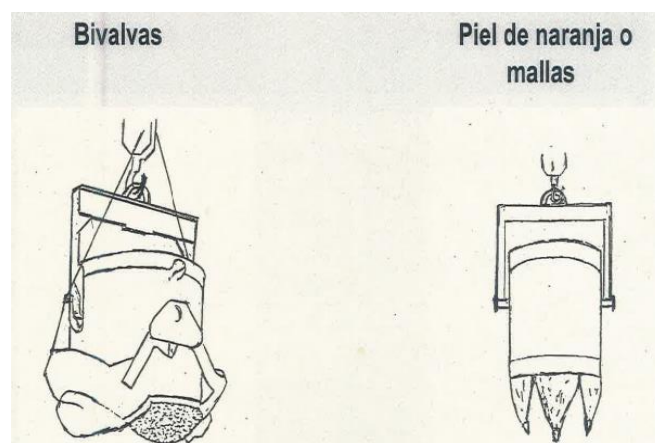


Figura 5. Tipos de cestas

En cuanto a la adición, debe tener un correcto orden en la cesta para que la acción en el horno sea la adecuada. Se deposita en el fondo la capa ligera, sirviendo de “colchón” para no dañar la solera, encima se establece la chatarra de gran tamaño o chatarra pesada, que al estar abajo evita la rotura de los electrodos al caer. Después se introducen la cal y los escorificantes, fuera de la acción de los electrodos, ya que éstos no son conductores.

En la Figura 6, se presenta de forma ilustrada las capas que se han citado anteriormente en este apartado.



Figura 6. Esquema posicionamiento chatarra en cesta.

II.III. HORNO

Durante los últimos años, en la industria se ha producido un desplazamiento de las plantas integrales tradicionales, de *alto horno*, a las basadas en la utilización del *Horno de Arco Eléctrico*. Esto se ha producido por el alto consumo energético que ofrecían además de por sus emisiones de gases, que son muy contaminantes para el medio ambiente.

El horno se encarga de fundir la carga en el menor tiempo posible para así disminuir costes de consumo.

Hay dos tipos de H.E.A. los que se alimentan de corriente continua y los de alterna, ambas tienen un consumo, potencia y tiempo de fusión similares.

Las principales diferencias son de mantenimiento, los electrodos utilizados en corriente continua realizan un menor consumo, pero son de mayor diámetro y más caros, lo que a la larga se traduce en mayores costes.

El precio de estos hace que sea más rentable el uso de electrodos de corriente alterna.

En la Figura 7, se muestra el esquema de un Horno de Arco eléctrico (H.E.A.), donde vemos diferenciadas las partes fundamentales de las que consta.

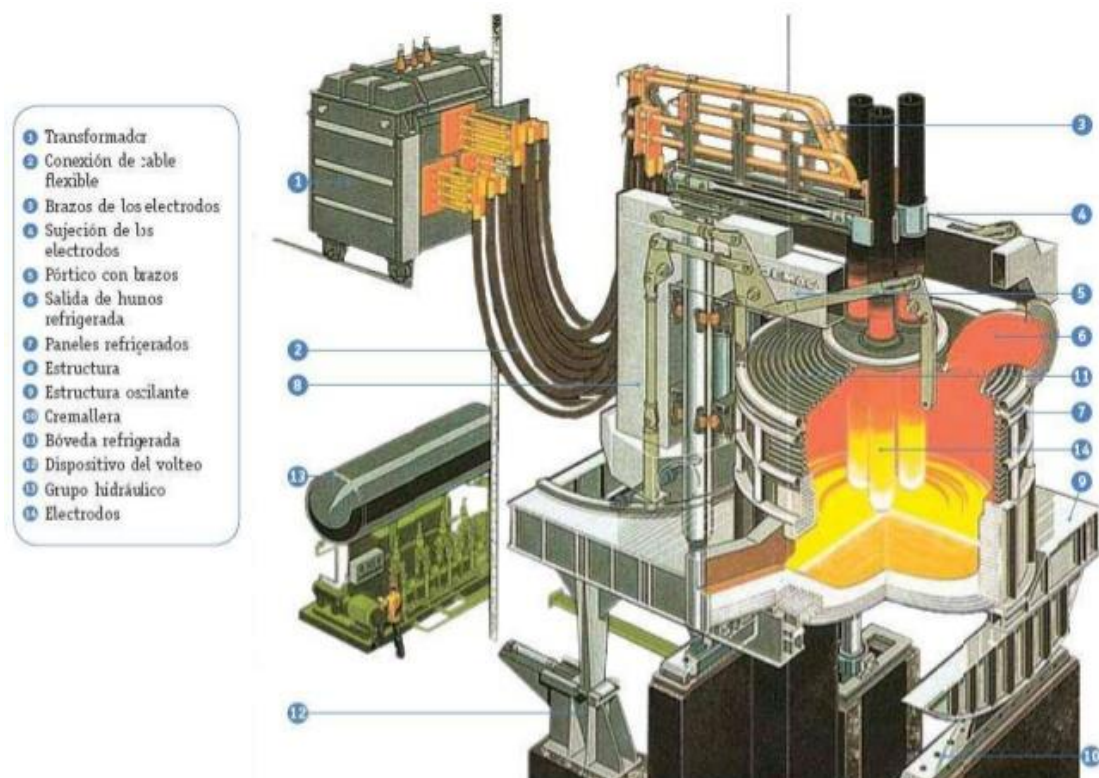


Figura 7. H.E.A. y sus partes

Muy lejos de ser una máquina autosuficiente, el H.E.A. necesita:

- Controlar los elementos residuales y eliminar el fósforo. Para ello se ha añadido cal a las cestas y durante la fusión.
- Mantener unas condiciones oxidantes concretas, autodesescoriar y evitar que pase la escoria al Afino.

Se compone de un recipiente, llamado cuba y constituido por ladrillo refractario en la zona de contacto con el acero líquido. La parte donde se encuentra la escoria está formada por paneles de cobre, al ser buen conductor evacua muy bien el calor, ya que es la zona con mayor temperatura.

Además, consta de un circuito de refrigeración, encargado de mantener a una temperatura adecuada los paneles de acero que hay en la parte superior en contacto con la escoria.

La escoria creada al fundir tiene alto porcentaje de Óxido de Hierro (FeO) y sílice, que disuelve la magnesita del revestimiento refractario, por ello cuanto mayor sea el contenido de Oxido de Magnesio, que aporta la cal, menor será el ataque químico contra él.

Cuando hay un excesivo desgaste se repara, adicionando por una gunitadora material refractario, mientras el horno permanezca caliente.

En la tapa, llamada bóveda, se encuentran también paneles de acero refrigerados. En ella hay tres orificios por donde se introducen los electrodos. Es móvil, es decir, tiene un sistema de apertura para poder realizar el llenado del horno.

La aspiración de los gases, humo y polvo del horno se realiza por un agujero que también se encuentra en la bóveda.

Consta de mecanismos de basculación, elevación de puertas, movimiento de bóveda, etc.

El oxígeno, la cal micronizada y el grafito se inyectan a través de tres lanzas consumibles de acero con inmersión en el baño, y que permiten su empalme con nuevos repuestos.

La cal y el carbón son inyectados a través de la misma lanza, cada uno tiene su propio inyector. La conexión entre ambos se realiza a través de una "Y" dotada de electroválvulas y los temporizadores adecuados para evitar la mezcla de ambos en las tuberías.

Estas lanzas son introducidas por una pequeña ventana (también utilizada para desescoriar) por un robot controlado por un operario, situado en la cabina de mando.

La energía eléctrica es transmitida desde la punta de los electrodos de grafito que se internan a través de la bóveda hasta el baño metálico a través de una columna de plasma creando el arco eléctrico el cual puede llegar a una temperatura de unos 15000 °K.

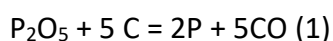
Una vez finalizada la fusión se obtiene el metal fundido y una capa sobrenadante, la escoria, que atrapa las impurezas. La separación es espontánea debido a la diferencia de densidad y a que no son miscibles entre sí.

El proceso básico de operación es el siguiente:

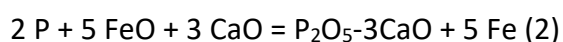
1. Fusión y corte de la chatarra.
 - a. El inicio de la fusión de la chatarra se hace a baja potencia para estabilizar el arco y así no dañar las paredes. Con esto se consigue la perforación de la chatarra y penetración de los electrodos en ella. Pasados unos 3 minutos los electrodos ya han penetrado lo suficiente y las paredes están protegidas por la chatarra, es entonces cuando se puede trabajar a máxima potencia, pasando a la etapa de fusión.
 - b. La etapa de fusión en el H.E.A. comienza cuando los electrodos han perforado la chatarra y se le da la máxima potencia en el arco. En esta etapa se trabaja a tensión máxima, intensidad baja y gran potencia. Al comienzo de esta etapa solo se funde con el arco eléctrico entre los electrodos y la chatarra, pero cuando se ha fundido la suficiente chatarra y se forma un caldo de acero lo suficientemente grande se comienza con la inyección de O_2 .
2. Oxidación y defosforación.
 - a. La introducción de oxígeno se realiza una vez que se ha conseguido fundir un mínimo de chatarra. Con ello se busca la oxidación del acero líquido. Eliminando en esta etapa el exceso de C, Si, Mn y el P. También se oxida parte del Fe, formando óxido ferroso (FeO) y óxido férrico (Fe_2O_3), que pasa a la escoria de

donde se recupera en la etapa de escoria espumosa. La principal finalidad de esta etapa es la eliminación del P en el caldo y la presencia de FeO en la escoria en un 30-60% para tener una buena escoria espumosa en la siguiente etapa.

- b. El P se oxida, dando anhídrido fosfórico (P_2O_5), pero a elevadas temperaturas a las que nos encontramos en esta etapa de la fusión, es reducido por el carbono de acuerdo con la siguiente reacción:



Por ello, la eliminación del P no tendría lugar hasta que se hubiese realizado la descarburación del caldo, por lo que se fija el P_2O_5 a la cal. Por ello es muy importante la adición de escorificantes, en este caso el P se fija en forma de fosfato de cal ($P_2O_5 \cdot 3CaO$) que no se reduce por el carbono.



- 3. Formación de escoria espumosa. El mecanismo químico para la formación de la escoria espumosa se basa en la reacción de reducción del FeO de la escoria por el C del carbón inyectado. El mecanismo físico de la espumación se origina por la presión que ejerce el gas CO formado. Las burbujas de CO tienden a salir a la atmósfera del H.E.A. y en su paso a través de la escoria producen su espumación.
- 4. Obtención de temperatura y control del baño
- 5. Vuelco a la cuchara

II.IV. EXTRACCIÓN DE MUESTRA

En este punto del proceso se realiza un ajuste general, que ya venía precedido del mix óptimo. Se realiza un análisis de la composición del acero a través de unas toberas localizadas en la parte superior.

Esta pequeña muestra es mandada al laboratorio y sometida a distintos procesos:

- “Chispazo”
- Pistola de PMI.

En la Figura 8 se presenta una foto a modo de ejemplo del proceso de extracción de muestra.



Figura 8. Proceso de extracción de muestra.

II.V. ADICIÓN GENERALIZADA

Los resultados arrojados por el laboratorio son transmitidos a los operarios, los cuales se encargarán de ajustar lo más posible la composición a la requerida por el cliente. A este proceso de ajuste óptimo le llamamos, adición generalizada.

II.VI. INYECCIÓN DE OXÍGENO

El oxígeno se empezó a utilizar durante la fusión de la chatarra en el H.E.A. para acortar el tiempo de fusión y disminuir el consumo de energía eléctrica.

Esta disminución del consumo de energía eléctrica se debe principalmente al calor generado por las reacciones exotérmicas de oxidación de los elementos de la carga en el interior del horno.

Se realiza mediante lanzas consumibles con inmersión total en el baño, pueden ser operadas de forma manual pero lo ideal, para no poner en peligro la seguridad del operario, es la introducción por medio de un manipulador.

También se puede realizar la inyección por encima de la escoria mediante lanzas supersónicas.

- Se utiliza para disminuir el tiempo de fusión en el horno acelerando el corte de chatarra y así reducir el consumo eléctrico.
- Mantiene unas condiciones oxidantes adecuadas para cada elemento. Las reacciones de oxidación que se producen en el horno.

Un exceso de aportación de oxígeno alargará la colada por necesitar mayor tiempo de afino y obligará a un mayor consumo de desoxidantes y de energía eléctrica, por ello se debe controlar cuidadosamente para obtener el máximo rendimiento del oxígeno consumido.

II.VII. SISTEMA DE VUELCO

El sistema de colada o vuelco a la cuchara es un factor determinante en cuanto al control de paso de escoria oxidada con el caldo de acero. Además, hay que tener en cuenta el trabajo con pie de baño.

El caldo de acero ha de salir a una temperatura adecuada, ya que en el traslado al Afino a través de la cuchara la temperatura cae provocando el recalentamiento y con ello aumentando el tiempo de fabricación y consumo de energía.

Los principales sistemas de colada en el HEA son:

- Piquera clásica.
- Piquera sumergida (submergedtaphole) o piquera sifón.
- Piquera con taponamiento del agujero de colada (tapholestopper).
- Cierre de corredera (tapholeslidegate).
- Colada excéntrica horizontal.
- Colada por el fondo en hornos ovales (OBT).
- Colada excéntrica vertical (EBT).

El sistema de colada excéntrica vertical o EBT es el más utilizado ya que permite trabajar con pie de baño y reduce al mínimo el paso de escoria.

Éste se caracteriza por la situación del agujero de colada, localizado en el fondo del horno en una posición excéntrica, como se puede apreciar en la figura siguiente.

En la Figura 9 se muestra la arquitectura interna del tipo de horno EBT anteriormente explicado.

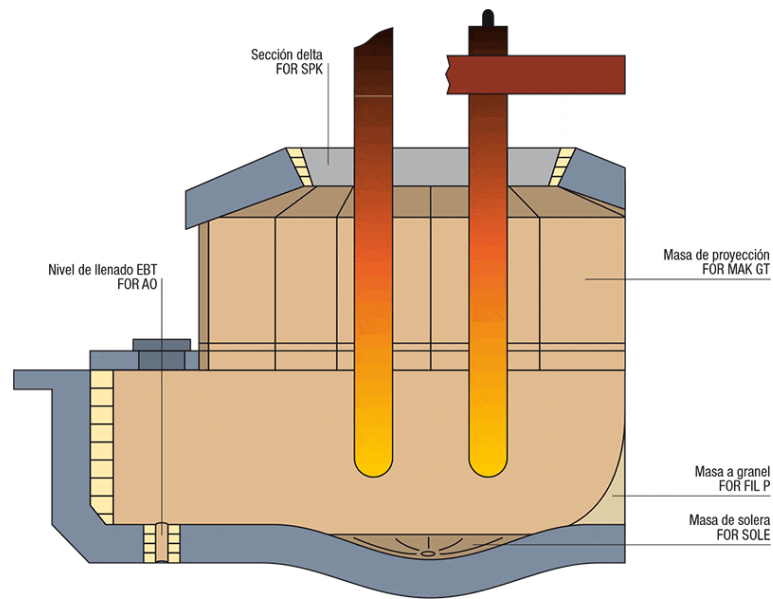


Figura 9. Esquema del H.E.A. con sistema de colada excéntrica (EBT)

La forma de realizar la colada con este sistema es la siguiente:

1. Se sitúa la cuchara debajo del agujero de colada.
2. Se inclina el horno 3 – 5 grados y se procede a la apertura del agujero mediante un brazo hidráulico.
3. Se aumenta gradualmente la inclinación del horno hasta alcanzar 10 – 12° para garantizar la altura del baño sobre el agujero de colada constante.
4. Cuando se ha colado el 85% del total se cierra el agujero y el horno retrocede rápidamente.

Estos movimientos del H.E.A. para realizar la colada se realizan gracias al asentamiento de éste, ya que cuenta con unas cremalleras sobre las que se desplaza permitiendo el giro como se puede apreciar en la Figura 10.

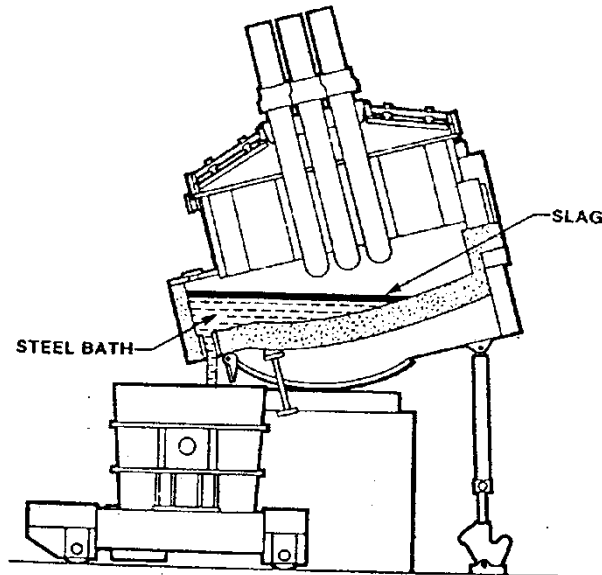


Figura 10. Movimiento de inclinación del horno sobre la cremallera gracias a pistones hidráulicos.

II.VIII. CUCHARA

El revestimiento de una cuchara que va a servir como sistema de afino del acero es la siguiente:

- **Revestimiento de trabajo.** Magnesio-Cromo de 60% MgO y espesor de 155 mm en las paredes y de 250 mm en la solera. Las últimas hiladas superiores de la pared suelen ser de alta alúmina aglomerada químicamente de unos 155 mm de espesor.
- **Revestimiento de seguridad.** Este suele ser de material aluminoso (42% Al_2O_3), de 65 mm de espesor.

Lleva un calentamiento previo a través de unos mecheros para que el gradiente de temperatura sea el menor posible.

II.IX. ADITIVOS (AFINO)

Una vez realizado el vuelco de caldo a la cuchara, ésta es transportada al afino reductor o afino secundario donde se realizará el ajuste exhaustivo de los componentes del acero que requiere el cliente.

Los objetivos principales de este afino secundario son:

- Control de gases, desgasificación (reducción de oxígeno, nitrógeno e hidrógeno).
- Bajar los contenidos de azufre (alcanzar porcentajes menores de 0.01%).
- Conseguir aceros más limpios, eliminar inclusiones no metálicas.
- Controlar la morfología de las inclusiones, al no ser posible eliminar la totalidad de las inclusiones podemos variar la morfología de éstas para que sean aceptables y compatibles con las propiedades mecánicas del acero final.
- Mejora de las propiedades mecánicas.

La instalación de afino más moderna es conocida como VAD (Vacuum Arc Degassing / Vacío Arco Desgasificación) ésta cuenta con distintas posiciones, una de carga/descarga/vacío, otra de adiciones y otra de calentamiento bajo vacío parcial. En la zona de carga/descarga, el vacío se consigue con el acoplamiento de una tapa deslizante.

Los movimientos entre las diferentes posiciones se realizan con un carretón guiado por raíles. Para la agitación y homogeneización del caldo se introduce a través de un tapón poroso del propio carretón, Argón o Nitrógeno, dependiendo del tipo de acero a obtener.

Además, la forma de introducir el gas inerte tiene su importancia. Así, si se quiere agitar el baño necesitaremos burbujas grandes, si necesitamos eliminar inclusiones, burbujas muy pequeñas y si se quiere eliminar gases, burbujas de tamaño intermedio. Para una buena desulfuración debemos utilizar burbujas de tamaño intermedio. La velocidad de desulfuración aumenta a mayor contacto entre escoria y acero, por ello la mayor velocidad se obtiene durante el proceso de vacío, ya que se produce una mayor agitación.

II.X. COLADA EN LINGOTES

Una vez ajustada la composición y temperatura del acero, éste sale del afino secundario mediante la acción de un puente grúa que se encarga de transportar la cuchara al foso de colada.

Este es el momento en el que se transforma el acero líquido en productos útiles tras su solidificación. Para ello hay tres procesos diferentes:

- Moldes, se vierte el acero en moldes con la forma de la pieza.
- Lingoteras, se vierte en recipientes prismáticos para su transformación posterior por laminación o forja.
- Colada continua, que permite pasar directamente del acero líquido a un semiproducto transformable posteriormente por laminación.

En el caso de los aceros de construcción naval el tipo de colada es en lingoteras, ya que posteriormente se procede a su laminación dejando a estas en forma de plancha.

Para proceder al proceso de colada se debe preparar una estructura, en la cual, primeramente, se colocan los conductos de refractario en los canales de las placas que van todos a coincidir en el centro, pieza conocida como “reina”, ya que se ocupa de repartir el acero por los diferentes canales a los lingotes. Este tipo de colada se conoce como colada por sifón.

Posteriormente esta placa es introducida en el foso de colada, para después colocar los lingotes sobre los finales de las ramificaciones de las placas y el bebedero sobre la reina.

En la parte superior de las lingoteras se colocan unas placas llamadas mazarotas, éstas son de material exotérmico y se utilizan para que el enfriamiento sea más lento en la parte superior del lingote ya que debe ser la última en solidificar, de tal forma que constituya en todo momento una reserva de acero líquido que compense la contracción del resto del lingote. Esto se traduce en una menor penetración del rechupe en el cuerpo del lingote.

La mazarota utiliza el calor del acero, consiste en rodear la parte superior del lingote de materiales exotérmicos, de esta forma la solidificación del acero en la parte superior se retrasa y así el acero líquido va compensando las contracciones que se producen durante la solidificación del resto del lingote.

La mazarota consta de dos partes:

- Placas de mazarota: constituidas por material aislante y/o exotérmico, estas aíslan lateralmente.
- Cobertura: Generalmente de material exotérmico, reducen las pérdidas de calor por la superficie superior del lingote.

Todos estos conductos que atraviesa el caldo de acero deben estar limpios y secos para evitar inclusiones y absorción de humedad. Por ello las lingoteras además de ser calentadas a temperaturas de 35-60°C también son cepilladas previamente en cada colada y cada cierto tiempo son esmeriladas para eliminar posibles restos que puedan crear defectos en la superficie del lingote.

Una vez realizada esta preparación previa de colada se comienza con el proceso. El puente grúa sitúa la apertura de la cuchara sobre el bebedero de la pieza reina. Esto actualmente se realiza por indicaciones de diversos operarios.

Cuando la posición es la correcta para proceder a la colada se realiza la apertura de la buza, esta puede ser a través de un pistón hidráulico o a través de un sistema corredera. Este último es el más utilizado en sistemas de colada en lingoteras.

El acero se deja enfriar en las lingoteras de una a diez horas, depende del tamaño del lingote. Normalmente para su posterior laminación se utilizan lingotes de 2500-3000Kg, estos se dejan sobre una hora y cuarenta y cinco minutos.

Una vez solidificado, éste es extraído de la lingotera, ya que esta actúa como un radiador y enfría demasiado rápido los lingotes. Por ello hay que respetar al máximo los tiempos de desmoldeo.

Para proceder al desmoldeo del lingote se emplea un puente grúa que agarra la lingotera con el lingote dentro, esta lo posiciona en un lugar en el cual está colocado un punzón fijo que hace que el lingote quede en una posición más elevada que la lingotera, pudiendo así transportarlo a la zona de enfriamiento por medio de un tobogán.

Una vez en esta zona, hay dos posibilidades a seguir:

- Enfriamiento al aire (para aceros “normales”).
- Enfriamiento en campana o en foso (para aceros “especiales” o si contienen Al o Ti, ya que estos pueden estallar).

Cuando los lingotes se han enfriado, estos son clasificados y transportados a la zona de laminación.

Para aceros de alta exigencia como es el acero de construcción naval, el chorro de caldo de acero es protegido con argón, evitando así el contacto con los componentes del aire.

En el proceso de colada es imprescindible el control de la temperatura del caldo y tiempo de vertido para evitar los defectos relacionados con la solidificación del acero. Por ello se establecen una serie de tablas en las cuales, dependiendo del tipo de acero y cantidad, se establecen los tiempos de llenado para establecer la velocidad adecuada de vertido.

II.XI. LAMINACIÓN

Los lingotes, una vez completado el proceso de enfriamiento, son llevados al parque de lingotes, en él se les inspeccionan, y si tienen defectos superficiales se sanean.

El saneado consiste en pasar un esmeril por la superficie del lingote.

La laminación es un tratamiento mecánico en caliente, y tiene como objeto la transformación de lingotes en perfiles diversos.

Básicamente consiste en hacer pasar el lingote entre dos rodillos, que giran a la misma velocidad y en sentido opuesto, reduciendo así la sección transversal mediante la presión ejercida.

El cambio de forma del lingote, va acompañado de un cambio de forma de los cristales de solidificación primaria y de las heterogeneidades, que, por alargamiento, dan lugar al fibrado del acero, creando con ello un acero mucho más compacto.

En la Figura 11 se representa el proceso de recrystalización que se produce durante la laminación.

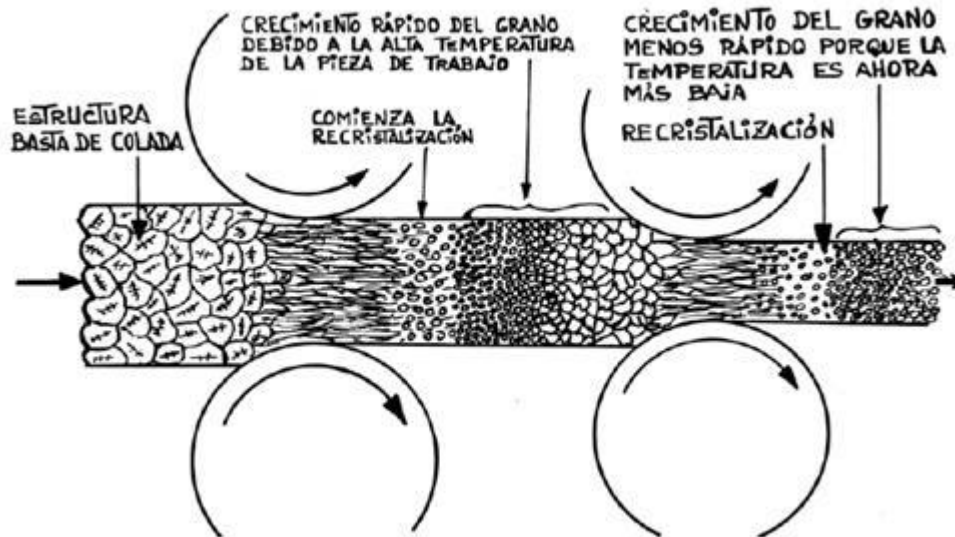


Figura 11. Procesos de recrystalización producidos en la laminación.

Las dendritas se alargan en el sentido de la laminación y lo mismo las inclusiones plásticas a la temperatura de laminación, como los sulfuros y silicatos de manganeso.

Es, por tanto, la laminación la que ha transformado la heterogeneidad dendrítica inicial en la heterogeneidad conocida como fibrado del acero.

El grado de reducción tiene su influencia en las características mecánicas de los productos laminados.

Para un grado de reducción de sección del lingote a palanquilla pequeña las propiedades mecánicas mejoran en todas las direcciones, principalmente por haber eliminado la porosidad del acero fundido, pero, cuando el grado de reducción

aumenta, disminuyen las propiedades de ductilidad transversal y aumentan las longitudinales.

La laminación transforma secciones de gran grosor, de forma generalmente cuadrada, en otras más pequeñas de diferentes formas. Esta deformación se logra mediante el uso de compresión con objeto de producir alargamiento. El alargamiento es la relación entre la longitud de la barra inicialmente y después de haber pasado por los cilindros.⁴

El lingote a laminar debe tener un grosor concreto, ya que si este es demasiado grueso no entrará por los rodillos. Estos tienen un ángulo de agarre que depende del rozamiento entre el acero y los cilindros.

El acero laminando, normalmente, se gira noventa grados después de cada dos o más pasadas, siendo conocida esta operación con el nombre de “volteo”.

Los lingotes se pueden reducir a desbastes, palanquillas y llantones, que serían los productos semielaborados, o directamente al producto final.

En resumen, la laminación en caliente es un tratamiento metalúrgico que mejora la homogeneidad del acero reduciendo los efectos de la segregación, aumentan la compacidad soldando las discontinuidades internas no oxidadas y afinando el grano de austenita.

Este proceso puede ser realizado en frío, a temperatura ambiente, o en caliente de 800-1250 °C.

En el proceso de laminado en caliente, para calentar los lingotes en los hornos, hay que tener un gran cuidado para lograr la temperatura y atmósfera adecuadas, ya que, si los lingotes se calientan de manera insuficientemente pueden producirse grietas, y resultan y resultan difíciles de compactar en la laminación. Y si el acero está sobrecalentado se puede quebrar durante la laminación, presentando además propiedades inferiores.

La tecnología en los hornos de calentamiento ha avanzado considerablemente, y en la actual se disponen de hornos muy sofisticados en los

⁴Anexo IV. Cilindros de laminación

que se puede llevar un perfecto control de la temperatura y de la atmósfera oxidante, así como del tiempo de mantenimiento y el calentamiento previo.

El tamaño de grano es más elevado cuanto mayor es la temperatura y tiempo de calentamiento. Si el tamaño de grano crece demasiado, se dice que está sobrecalentado. Pero esto se puede corregir durante la laminación.

Si el acero se sobrecalienta demasiado, se puede llegar a la oxidación intergranular, por el oxígeno de la atmósfera que se introduce a través de los poros del metal. Esto se conoce como acero quemado y no es posible su corrección.

La temperatura inicial óptima para el comienzo de la laminación será la más alta posible, hasta un límite que fija el riesgo de quemado. Esto es debido a que la plasticidad del acero es mayor cuanto mayor sea la temperatura y por lo tanto más fácil será la laminación.

Cada clase de acero, dependiendo de la composición química, tiene una temperatura de quemado diferente. Del recalentamiento en estos hornos el acero sale en estado austenítico. La temperatura final de la laminación es aquella en la que la plasticidad ha desaparecido.

La principal razón que obliga a parar la laminación es la acritud. Ésta es un endurecimiento del material, en un acero laminado en frío aumenta la dureza, la resistencia y en gran proporción el límite de elasticidad, pero el aumento de estas características mecánicas implica un aumento de la fragilidad. Siendo una especie de temple mecánico.

Para deformar la pieza lo suficiente se cuenta con un tren de laminación. Como se ha dicho es la deformación por presión entre cilindros rotativos, pero además son necesarias numerosas operaciones auxiliares, como es el calentamiento y desplazamiento.

II.XII. CONTROL DE CALIDAD

En el control de calidad se van a inspeccionar defectos superficiales, defectos internos y se van a verificar las dimensiones de las planchas y las dimensiones de los defectos encontrados.

Se utiliza la técnica de ultrasonidos para defectos internos, aunque también se pueden ver mediante la utilización de un equipo de gammagrafía, pero éste sería más costoso.

Para los defectos superficiales además de la inspección visual, que es muy general y no aporta gran precisión, se utilizan líquidos penetrantes y partículas magnéticas.

Inspección de defectos internos por ultrasonidos.

El objetivo de la inspección es asegurar la fiabilidad de un producto, mediante provisión de medios para:

- Conseguir visualizar una imagen que guarde relación con la discontinuidad del material.
- Descubrir el origen y naturaleza del defecto.
- Clasificar los materiales aceptables y los no aceptables en consonancia con las normas prefijadas.

El personal que realice la inspección ultrasónica aplicando los métodos operativos descritos en este procedimiento, deberá estar cualificado según la norma UNE-EN ISO 9712 “Cualificación y Certificación del personal que realiza Ensayos No Destructivos” o SNT-TC-1A de la ASNT (American Society of Nondestructive Testing).

Los operadores estarán certificados como Nivel I y el supervisor estará en posesión del Nivel II como mínimo.

En general, las chapas que se examinan no necesitan de una especial preparación superficial, sin embargo, deberá estar libre de suciedades, películas de óxidos o cualquier otro material que puede intervenir en las condiciones de acoplamiento. Se ha de mantener una reflexión del eco fondo del 50% de altura de pantalla durante el desarrollo de la inspección.

Además, la temperatura de la pieza debe ser del rango entre 5°C y 50°C.

La inspección se realiza sobre la superficie mayor de la chapa. Para la aceptación de defectos próximos a la superficie de entrada del haz, se debe realizar la inspección por la otra superficie de la chapa.

La exploración se debe realizar a lo largo de las líneas perpendiculares que formen unas cuadrículas de 9 pulgadas (225mm).

Cuando se requiere un examen al 100% de toda la superficie, las zonas exploradas deberán solaparse con las adyacentes un mínimo del 10% de cada pasada.

Durante el análisis, si se detecta una discontinuidad o se reduce el eco de fondo sin motivo aparente, se debe inspeccionar toda la superficie de la cuadrícula originaria de esa discontinuidad y las cuadrículas adyacentes.

Para delimitar el defecto, hay que buscar la mayor altura de eco de la indicación y, desplazando hacia todos los lados, buscar el punto donde la altura de eco se reduzca al 50% de la altura nominal. Se marcarán esos puntos y se medirá su extensión estableciendo, según el criterio de la normativa aplicable, si estas chapas son aceptadas o rechazadas.

En el caso en que fueran aceptadas, se procede al estudio superficial.

Líquidos penetrantes

La utilización de líquidos penetrantes permite aumentar la agudeza visual destacando los defectos e imperfecciones de la pieza. El ensayo, representado en la Figura 12, consiste en la aplicación del líquido penetrante sobre una superficie de la chapa con el objetivo de poner de manifiesto las irregularidades una vez se ha

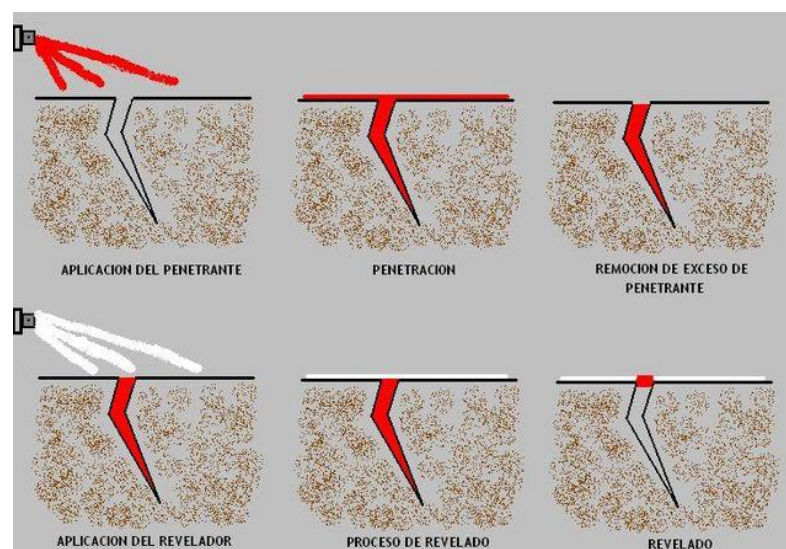


Figura 12. Fases del funcionamiento del procedimiento de los gases penetrantes.

vertido el eliminador de propio líquido penetrante y el líquido revelador. La base sobre la que asienta esta técnica es que por mucho que se intente eliminar el líquido penetrante, siempre se queda en los defectos. El revelador, simplemente hace que el líquido salga de nuevo a la superficie.

El ensayo ha de realizarse en el 100 % de la superficie de la chapa.

Los líquidos penetrantes de mayor uso son los coloreados (rojos) eliminables con agua o con disolvente.

La inspección se realiza utilizando los componentes (penetrante, eliminador y revelador) de la misma marca y correspondientes al mismo proceso según indicaciones del fabricante de los líquidos.

El nivel de sensibilidad de una familia de productos debe determinarse usando el bloque de referencia 1 descrito en UNE-EN ISO 3452-3:1999, debiéndose alcanzar S3 (alta). El nivel evaluado siempre se refiere al método usado para el ensayo tipo de la familia de productos aprobados.

Las superficies a examinar de las chapas deberán estar exentas de óxidos, arena cascarilla, residuos del molde o su recubrimiento, aceite, grasa, pintura y, en general, de cualquier material extraña que pudiera dificultar la buena realización del examen.

Para la limpieza superficial podrá utilizarse una acetona, eliminador, disolvente, soluciones detergentes, etc. que cumpla los requisitos establecidos.

De la misma forma que con los defectos internos, una vez detectados los defectos superficiales, la pieza podrá ser aceptada o rechazada según la normativa aplicable.

Partículas magnéticas

El ensayo de partículas magnéticas (Figura 13) consiste en la visualización de las discontinuidades superficiales o subsuperficiales, por acumulación de partículas férricas en las mencionadas discontinuidades, mientras que el material es o ha sido magnetizado con un yugo.

El personal que evalúe las indicaciones estará calificado como nivel 2 de acuerdo con EN-473 o ISO 9712.

Las zonas a ensayar deben estar libres de suciedad, calamina, cascarillas, óxido suelto, proyecciones de soldadura, grasa, aceite y todo cuerpo extraño que pudiese afectar a la sensibilidad del ensayo.

De la misma forma que con los líquidos penetrantes, una vez detectados los defectos superficiales, la pieza podrá ser aceptada o rechazada según la normativa aplicable.

Indicaciones que se pueden encontrar en la superficie del material.

En la Figura 13, se muestra como ejemplo, el aparato con el que se examinan



Figura 13. Ejemplo de uso de la técnica de las partículas magnéticas.

las superficies.

1. Una indicación lineal debe considerarse aislada cuando no este alineada con ninguna otra alineación lineal, o cuando este alineada con otra indicación lineal, pero separada de esta más de cinco veces la longitud de la más larga de las dos indicaciones consideradas.
2. Las indicaciones lineales agrupadas son dos o más indicaciones lineales que están alineadas y deben ser consideradas como una sola

indicación de longitud continua, si la distancia entre dos indicaciones sucesivas es inferior o igual a cinco veces la longitud de la más larga de las dos indicaciones consideradas. La longitud de indicaciones agrupadas es la longitud medida entre los extremos opuestos de las dos indicaciones alineadas más separadas.

3. La longitud acumulada de indicaciones lineales es la suma de todas las longitudes de las indicaciones lineales aisladas y/o agrupadas detectadas en la superficie de referencia.

El inspector debe efectuar todos los ensayos que se han nombrado y realizar las observaciones necesarias para eliminar las falsas indicaciones.

Verificación dimensional y de defectos.

Finalmente, las chapas pasan el control dimensional tanto de medidas longitudinales como de espesor. Para el examen dimensional de la longitud se emplean cintas métricas y medidor de espesores.

Para realizar el control del material utilizamos una pistola de PMI (Positive Material Identification) para comprobar que no se han mezclado las chapas de una colada con la de otra.

En esta verificación final también se valoran los defectos obtenidos en los ensayos no destructivos, y se esmerilan los defectos que sean posible esmerilar.

Una vez terminada la verificación final se procederá al envío al cliente junto con el informe de calidad.

La norma aplicable requerida para este tipo de chapas conlleva la máxima restricción (nivel X). Esto es debido a que el medio de contacto que van a tener estos materiales es el marino, es decir, agua salada, altamente corrosiva.

La corrosión, que se puede apreciar en la Figura 14, es uno de los mayores problemas a los que se enfrenta día a día la industria del transporte. Provoca innumerables pérdidas económicas, ya que afecta a los metales haciendo que estos disminuyan sus propiedades físicas hasta límites insospechados.



Figura 14. Buque afectado por la corrosión.

En el caso que nos ocupa, la industria naval, el problema crece exponencialmente, ya que los materiales están sometidos a unos niveles de corrosión altísimos al encontrarnos continuamente en contacto con el agua de mar, el electrolito corrosivo por naturaleza. El alto contenido salino que tiene hace que se comporte como una pila de corrosión.

Existen varios tipos de corrosión, pero la más común es la galvánica o electroquímica. Se produce cuando dos metales diferentes se encuentran sumergidos en el agua, (electrolito) provocando que el metal de menos potencial pierda masa pasando esta al metal con mayor potencial (pila de corrosión).

Existen diversos factores que afectan la corrosión, como puede ser la salinidad, la temperatura, contenido de oxígeno, azufre, cloruros, etc.

La zona del buque más afectada por la corrosión será la zona de salpicaduras, ya que se encuentra cubierta intermitentemente por una fina capa de agua y está expuesta al oxígeno ambiental.

Capítulo 3. Acero en la construcción de un buque

Los aceros de bajo carbono han sido utilizados en múltiples aplicaciones; sin embargo, los aceros de alta resistencia (highstrength low alloy steels, HSLA) han experimentado un significativo aumento de sus usos.

Los aceros de alta resistencia más corrientes de los que hoy se dispone para construcción naval incluye los HTS, HY-80 y HY-100.

Debido a que el HY-80 fue el primer acero que superó a los denominados HTS y en cierto modo constituye el punto de referencia para los aceros modernos.

Hoy en día el HY-80 y el HY-100 son los aceros básicos de fabricación para casco de submarinos. El punto de referencia del desarrollo del HY-80 lo representa un acero fabricado por la Krupp a comienzos de siglo, que consideraba la adición de níquel y cromo para aumentar la resistencia.

El HY-80 adicionalmente contempla un proceso de templado y revenido (Q & T) donde la combinación de los elementos de aleación contribuye a balancear su alta resistencia compatible con una buena tenacidad. El contenido de manganeso está destinado a control de los sulfuros y el molibdeno a minimizar la fragilización por temple. El níquel se utiliza para aumentar la tenacidad del acero. Además, el efecto combinado del níquel y el molibdeno contribuyen a mejorar su templabilidad. En 1951 se construyó el primer buque de guerra con HY-80 el USS Albacore, y en 1952 lo sigue el USS Forrestal. A partir de 1956, comienza una amplia aplicación del HY-80, sin embargo, en 1958 y en los años siguientes varias fallas en las soldaduras fueron detectadas, que hicieron recomendables disponer de precauciones especiales en el control de tales defectos. De esta manera el panorama en el desarrollo de los aceros de alta resistencia para construcción naval muestra la siguiente cronología, al menos en el caso de sumergibles, que serán lo más representativo en exigencias para estos aceros.

El otro acero en esta línea es el HY-130, llamado originalmente HY-140; sin embargo, más tarde se descubrió que sólo podía garantizar 8963,18 bares, 91,4 (Kg/mm), de fluencia cuando se utiliza en 2 estructuras soldadas. En 1969, el primer

vehículo de rescate submarino para grandes profundidades, DSRV, fue fabricado por la Lockheed Missile and Space Co., usando el HY-130. Este vehículo es capaz de descender hasta profundidades de 1800 mts. Es así como la Armada estadounidense ha planificado el empleo del acero HY-130 para la construcción de nuevos submarinos; también, ha desarrollado un vehículo de investigación, DSSV, capaz de descender 6100 mts. con un acero en HY-180.

Las aplicaciones de aceros de alta resistencia a estructuras comerciales, incluidos buques, puentes y vasijas de presión, ha ocurrido desde hace varios años, estando la mayoría de estas aplicaciones limitada a valores de esfuerzo de fluencia bajo 8273,70 bares, 84,4 Kg/mm. Sin embargo, la aplicación más corriente de estos 2 tipos de acero, templados y revenidos, está limitada a aceros navales como HY-80 y HY-100 y otros comerciales como ASTM A 514/517, teniendo estos aceros una excelente resistencia a la fractura a bajas temperaturas.

En contraposición a estos aceros templados y revenidos, que basan su alta resistencia en una estructura de tipo Martensítica surgen los aceros de tipo Ferrítico, de características fácilmente soldables. Estos aceros denominados HSLA tienen potencialmente la misma o mejor resistencia y tenacidad que los HY, pero son obtenidos por una combinación de acero altamente limpio, cantidades pequeñas y seleccionadas de elementos microaleantes (0.15%), siendo el cobre y el níquel sus principales componentes de aleación. El resultado ha sido, que, a causa de su bajo contenido de carbono, son extremadamente soldables sin las exigencias y restricciones que se requiere para el HY.

La clave de su ventaja está en que no requiere precalentamiento previo, estimándose que la reducción de costo sólo por este concepto alcanza entre US\$ 0.40 a US\$ 0.90 por libra. Es así como se desarrolló un acero denominado HSLA-80, un material que obtiene sus propiedades por endurecimiento de precipitación en lugar de aquellos más convencionales templados y revenidos. Como resultado de un intensivo programa conducente a caracterizar sus propiedades y determinar los procesos límites para una soldadura exitosa, el HSLA-80 fue utilizado en la construcción de cruceros de la clase "Ticonderoga".

Requerimientos en la selección de los materiales. A continuación, se enumeran las propiedades de los materiales más importantes de los miembros resistentes de la estructura de un buque:

a) Relación Resistencia v/s peso: El peso específico de un material es frecuentemente una característica crítica, así el peso estructural es una de las de mayor consideración en el diseño. En muchos casos, esto no es así absolutamente sino que también la razón resistencia/peso, representada por la relación entre el esfuerzo de fluencia del material y el peso específico de éste. Este parámetro es usualmente empleado en casos en donde se desea mantener un cierto nivel de resistencia mecánica para un mínimo peso estructural.

b) Tenacidad a la fractura: Corresponde a la habilidad del material para absorber energía de deformación plástica antes de fracturarse. Este factor comienza a ser un problema crítico cuando una estructura está sometida a bajas temperaturas.

c) Resistencia a la Fatiga: Cargas las cuales no causan fractura en una simple aplicación pueden resultar en fractura cuando son aplicadas repetidamente. El mecanismo de falla por fatiga es complejo pero básicamente involucra la iniciación de pequeñas grietas, usualmente en la superficie y el subsecuente crecimiento bajo el mecanismo de repetición de cargas.

d) Resistencia a la corrosión: Los materiales usados en componentes estructurales expuestos al agua de mar y otros ambientes deben tener una adecuada resistencia al inicio de la corrosión. La corrosión es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con el ambiente. El agrietamiento por corrosión esfuerzo es por otra parte la fractura del material bajo la presencia de ambos, esfuerzo y ciertos ambientes nocivos.

e) Otras propiedades: Otras características del material que deben ser consideradas son:

- Fácil fabricación.
- Soldabilidad.

- Durabilidad.
- Mantenimiento.
- Confiabilidad.
- Costo.

Factores de diseño en la selección de materiales. Paralelamente al desarrollo de los aceros utilizados en buques comerciales, la industria naval ha tenido su propio desarrollo. En este caso, como ningún otro, el peso de la estructura de un barco es un elemento crítico en el diseño. Para obtener la máxima eficiencia de la planta propulsora de un buque el peso debe ser optimizado. Por otra parte, las mejoras tecnológicas permanentes en sus sistemas de armas, puede originar que el equipo instalado sobre un buque deba ser alterado o reemplazado con nuevos diseños. El factor primario a considerar en este tipo de análisis de reemplazo es el impacto que ello pueda tener sobre el desplazamiento del buque.

Así, si un nuevo sistema implica un aumento de peso, de manera tal, que requiera una reducción de éste en el diseño, entonces la fuente más importante para reducción del desplazamiento incrementado será el reemplazo de materiales de baja resistencia por otros de menor espesor y altamente resistentes. El objeto al cual se orienta en general el desarrollo de aceros para construcción naval es reducir el costo de construcción a través de un mejoramiento de los procesos de soldadura, los materiales, la tecnología y los procedimientos; mientras, simultáneamente, se mejora la calidad, resistencia y tenacidad del acero.

Específicamente, existen cuatro problemas que podríamos denominar genéricos dentro de este campo y son:

- a) La soldadura representa un alto costo tanto en proceso como en mano de obra.
- b) La mano de obra calificada del soldador suele ser escasa o muy competitiva.

c) Los aceros de alta resistencia requieren mayores habilidades y toleran pocos defectos en las soldaduras.

d) Los aceros de alta resistencia son caros y en ocasiones difíciles de obtener. Aceros estructurales. Por muchos años el acero ASTM A7 fue el acero al carbono básico y fue producido para un esfuerzo de fluencia mínimo igual a 33.000 psi para estructuras soldadas. También el acero ASTM A373, con un esfuerzo de fluencia mínimo de 2275,26 bares, fue frecuentemente usado. En 1960 el acero ASTM A36 fue introducido con un esfuerzo de fluencia de 2482,11 bares e IMPROVED soldabilidad que el acero A7.

Con respecto a los buques de guerra de los Estados Unidos, éstos fueron contruidos de acuerdo a especificaciones militares. Igualmente, la sociedad clasificadora American Bureau of Shipping, ABS, reguló los requerimientos de aceros para buques en reglas, clasificando a los aceros en grados. Para los aceros de bajo carbono como: A, B, D, E, DS y CS; y para aceros de alta resistencia como: AH32, DH32, EH32, AH36 y EH36.

I. DIAGRAMA PARCIAL DE EQUILIBRIO Fe-C

En el diagrama de equilibrio o de fases hierro-carbono (Fe-C) se representan las transformaciones que sufren los aceros al carbono con la temperatura, admitiendo que el calentamiento (o enfriamiento) de la mezcla se realiza muy lentamente de modo que los procesos de difusión (homogeneización) tengan tiempo para completarse. Dicho diagrama se obtiene experimentalmente identificando los puntos críticos —temperaturas a las que se producen las sucesivas transformaciones— por diversos métodos.

Con referencia a la Figura 15, la parte derecha del diagrama corresponde a las fundiciones.

Con ello, es muy importante el concepto de eutéctico, es decir, temperatura y composición donde pasamos de líquido a sólido como si la aleación fuese un material puro dando lugar a una fase formada por la unión íntima de dos sólidos.

El punto eutéctico supone una disminución considerable de la temperatura.

En las fundiciones puede haber grafito rico en C. En el diagrama se puede observar:

- Línea continua: diagrama de la cementita como fase rica en C.
- Línea discontinua: diagrama del grafito como fase rica en C.

Estas dos líneas son las dos opciones posibles en las fundiciones.

Potencial de grafitización: es un parámetro que es función de la composición y velocidad de enfriamiento. Cuando su valor es bajo tenemos cementita, por el contrario, si su valor es alto tenemos grafito.

Obtención de grafito:

El elemento clave en la composición del grafito es el Si, el cual favorece la nucleación del grafito frente a la cementita.

Pueden ocurrir dos cosas:

- Si el potencial de grafitización es bajo: significa poca cantidad de Si y velocidad rápida. Se forma cementita y la fase rica en hierro que es austenita. Esta austenita cuando alcance la temperatura austenítica se convertirá en perlita (720°C).

Se distingue una fundición blanca cuando la superficie de fractura tiene color gris metálico.

- Si el potencial de grafitización es alto: hay una concentración alta en Si y la velocidad es lenta. Se forma austenita y grafito. Si el potencial se va manteniendo al final tendremos ferrita y, la perlita no se formará ya que no habrá C.

Se producen fundiciones grises, que se distinguen porque al romperse y observarse la superficie de fractura el color es gris oscuro.



Capítulo 4. Metodología

Una vez expuesto el proceso de manufactura actual de un acero, en concreto, de construcción naval. El objetivo de este trabajo, como se ha indicado anteriormente, es identificar puntos de posible mejora y sustituirlos por un procedimiento más eficiente y sostenible.

Para ello, la sistemática a la que se procede es la siguiente:

- **Analizar** de forma global el proceso actual de fabricación de un acero de construcción naval.
- **Identificar** los puntos del proceso de posible mejora, diferenciando los que se puedan incorporar en la red de fabricación actual a corto, medio y largo plazo.
- **Proponer** los mecanismos adecuados para la optimización de las fases relacionadas.

En la Figura 16, se anticipa la propuesta de ciclo continuo que hace este trabajo para cualquier acería convencional.

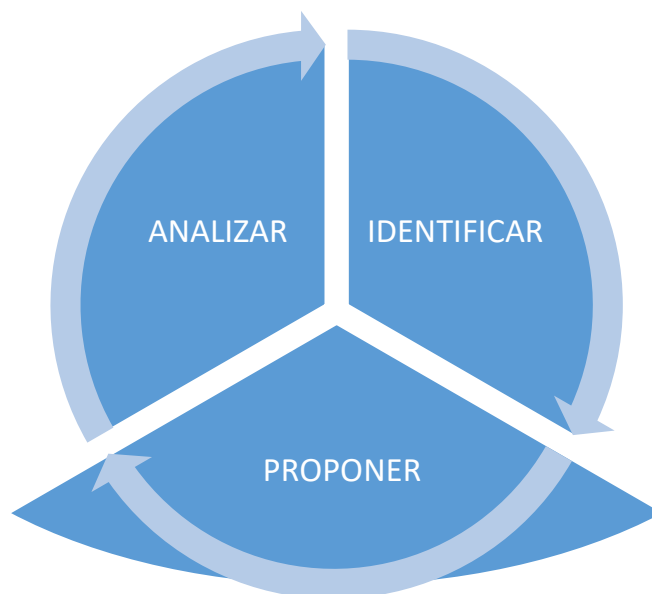


Figura 16. Esquema del sistema de autochecking.

Como muestra el diagrama superior, el objetivo es que esta metodología sea cíclica, de forma que constituya un sistema de optimización a largo plazo en el que

una empresa no deje de poner en cuestión el funcionamiento de su proceso y no deje de proponer soluciones para hacer de su fábrica un estructura más eficiente y más sostenible con el medio ambiente.

Capítulo 5. Optimización pormenorizada del proceso

I. INTRODUCCIÓN

Como es de suponer, son innumerables las gestiones que preceden al proceso de fabricación e incluso a la llegada de los camiones llenos de chatarra a la puerta de la fábrica. Esta fase previa, aunque a veces no tan visible, es vital para el funcionamiento de la cadena de manufactura y contribuye de forma muy sustancial al precio final del acero.

Por lo tanto, antes de entrar a considerar las diferentes fases, es adecuado empezar señalando que una de las cosas más importantes que siempre debe existir previo al funcionamiento de la propia fábrica, es un estudio de precios de mercado y calidades de chatarra.

Un buen estudio transversal de los distribuidores actuales analizando la calidad del producto que ofrecen en relación al coste y también en relación con la utilidad que se le vaya a dar en la propia fábrica (dependiendo del tipo de acero encargado por el cliente) será el punto de partida perfecto para realizar un acero de construcción naval eficiente económicamente hablando.

II. LLEGADA DE LA CHATARRA A LA FÁBRICA

PUNTO IDENTIFICADO DE MEJORA

Una vez llegan los camiones de la chatarra a la fábrica, vierten en contenido en una zona previa al parque de chatarra propiamente dicho. En nexo con la zona de almacenaje es una grúa de tipo gancho-pulpo que coge el material y lo transporta al parque de chatarra para su posterior clasificación.

El problema identificado se refiere a la posibilidad, más frecuente de lo que debiera, de que la carga que traen los camiones esté sustituida de forma parcial por tierra y que no sea todo chatarra.

Más problemas derivados de la falta del control de la mercancía en esa fase, es la posible existencia de material radiactivo.

Este último es menos común pero representa un grave problema tanto de salud para los operarios como de tratamiento de residuos radiactivos para el medio ambiente. Sin embargo, la presencia de tierra es un hecho intencionado por parte de las empresas distribuidoras que chatarra que es de vital importancia detectar antes de proceder al pago de la mercancía.

SOLUCIÓN PROPUESTA

- Para la detección de material del tipo no chatarra. En primer lugar, los camiones deberán pasar por un peso y entregar la documentación acreditativa del camión en la que viene especificada el peso del vehículo.

De esta forma, sabiendo el peso actual y restándole el peso específico del vehículo, tendremos un peso que nos dará una idea aproximada del contenido del mismo.

Así, un camión lleno de chatarra pesará más toneladas que uno que esté llenado parcialmente por tierra.

Este sería el primer despistaje, muy sencillo para un operario con experiencia.

El segundo despistaje se llevará a cabo durante el proceso de vuelco de la mercancía. En este punto se produciría la disgregación del material gracias al manejo de la grúa de gancho-pulpo. De esta forma, el propio gruista puede identificar materiales sospechosos de no ser chatarra y decidir no incorporarlos al parche o dar aviso a sus superiores responsables.

- Existe un protocolo de actuación en el caso de encontrar elementos radioactivos². Esta detección de material radiactivo se realiza una vez el camión entra en las instalaciones.

²Anexo II. Radiactividad en la chatarra. Protocolo de actuación (www.csn.es)

Aunque no sea un problema frecuente, si se trata de cantidades importantes de material radiactivo, se pueden producir graves problemas para la salud de los trabajadores, del público o del medio ambiente.

Por ello se debe realizar la vigilancia de chatarra a la entrada de las instalaciones mediante un sistema de detección instalado, un pórtico que mide la radiación al paso de cada partida de chatarra, activando las alarmas cuando detectan niveles de radiación anómalos. De esta forma, se podrá identificar al camión responsable antes incluso de proceder a su registro.

Esto puede no ser del todo eficaz por encontrarse elementos que puedan aislar la radiación, por ello en cada instalación de la acería (hasta finalizar el proceso de fundición) los operarios deben llevar con ellos un dosímetro acústico radiológico o un analizador de pico.

Estos equipos, tanto el pórtico como los equipos manuales, deben estar configurados a la máxima sensibilidad, para que se activen cuando el contenido de radiactividad sea mínimo, muy por debajo de los niveles que pudieran resultar nocivos para la salud.

Una vez se produzca la detección de material radiactivo se debe notificar al Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), procediendo a su almacenamiento (en un bunker o en un recinto de almacenamiento verificado por el CSN) hasta su retirada por ENRESA (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos).

III. ORGANIZACIÓN EN EL PARCHE DE CHATARRA

PUNTO IDENTIFICADO DE MEJORA

Una vez la grúa pulpo, que se puede ver un detalle en la Figura 17, ha trasladado la chatarra al interior del parque, el objetivo principal de las personas que allí trabajan es la organización de la misma por tipos.

La parte ardua de esta tarea es identificar posteriormente lo que se ha clasificado y así evitar errores de elección del tipo de chatarra que se adiciona posteriormente a las cestas.



Figura 17. Grúa de gancho pulpo seleccionando chatarra.

SOLUCIÓN PROPUESTA

La superficie de la colocación de la chatarra en el interior del parque debe estar nivelada, para ver en todo momento las cantidades de cada tipo. Además, debe haber paredes de separación entre los distintos tipos de chatarra, para que no se produzca ningún tipo de mezcla. Aunque los operarios reconozcan visualmente los distintos tipos conviene que estén identificadas mediante carteles de gran tamaño, para facilitar el trabajo.

En el interior del parque se debe disponer de dos grúas, una principal y otra auxiliar. Ambas deben estar dotas de un pulpo y un imán electromagnético con el que puedan distribuir la chatarra en el parque y realizar el llenado de las cestas. La capacidad de estas grúas debe ser la adecuada respecto a las cantidades de adición.

El imán de la grúa, la cual utilizaremos para trasladar la chatarra desde el sector en el que se encuentra hasta su adición en la cesta, contará con un electro imán de alta potencia capaz de elevar grandes cantidades de chatarra.

Además, como complemento al punto anterior y para llevar a cabo un excelente control de calidad y de la mercancía que llega a la fábrica, sería conveniente la figura de un supervisor. Es decir, un técnico cualificado que, cumpliendo unas estrictas normas de seguridad por estar trabajando dentro del parque de chatarra, realizara una inspección visual doble:

- Constatara que se cumplen las reglas que se han señalado anteriormente, como la existencia de carteles identificadores.
- Detectara la posible existencia de elementos perjudiciales en la chatarra ya colocada.

En el caso de encontrar alguna anomalía, este supervisor sería el encargado directamente de hablar con los técnicos responsables y arreglarlo.

De esta forma introducimos una figura mediadora que identifica anomalías y tiene la competencia para solucionarlas sin que el tiempo de demore más de lo debido.

IV. PRECALENTAMIENTO DE CHATARRA

PUNTO IDENTIFICADO DE MEJORA

En el traslado de la chatarra desde el interior del parque para su fusión en el horno, la chatarra ha de ser transportada por una grúa con la ayuda de un electroimán de alta potencia a la cesta. Posteriormente, cuando la cesta esté cargada con la chatarra necesaria y se hayan realizado las adiciones de cal y carbón, esta será trasladada a la parte superior del horno para proceder con el descargue y así comenzar con su fusión.

Según el proceso actual la chatarra llega fría al interior del horno teniendo que utilizar tiempo y energía en su calentamiento.

SOLUCIÓN PROPUESTA

Proceder a la colocación de un sistema de cintas transportadoras, en las cuales la grúa deposite la chatarra correspondiente y ellas mismas sean las encargadas de transportar la chatarra al interior de la cesta.

En estas cestas se colocan una serie de mecheros cuya función sea el calentamiento previo de la chatarra, llegando así al interior del horno a una temperatura mayor.

Esto ahorraría costes ya que el tiempo de fusión en el horno se reduciría, siendo además el consumo energético mucho menor por los mecheros que en la fusión del horno.

V. VERTIDO DE LA CESTA AL H.E.A.

PUNTO IDENTIFICADO DE MEJORA

Una vez que la chatarra se encuentra en el interior de la cesta, la función de ésta es abrirse por la parte inferior, justo encima de la boca superior del horno para que la chatarra debidamente colocada caiga en su interior.

Bastante a menudo ocurre, que una parte de la chatarra se queda en el borde superior del horno. El procedimiento actual que se sigue para reintroducirlo en el interior del H.E.A.³ es el balanceo de la propia cesta contra estos bordes de horno hasta que todos los trozos han caído al interior.

El inconveniente de esta práctica es triple:

- El golpeo de la cesta contra el horno que provoca que ésta se dañe y se deforme perdiendo su capacidad individual.
- El golpeo del borde superior del horno que se deforma y provoca un fallo en el cierre hermético del horno.
- Y, por supuesto, un gasto de tiempo innecesario por parte del operador de la grúa que transporta la cesta realizando este proceso.

SOLUCIÓN PROPUESTA

La solución que se propone reside en un cambio de la estructura de borde superior del H.E.A. En la actualidad tiene un perfil cuadrado [A], que facilita el depósito de material.

³ Anexo III. Electrodo H.E.A.

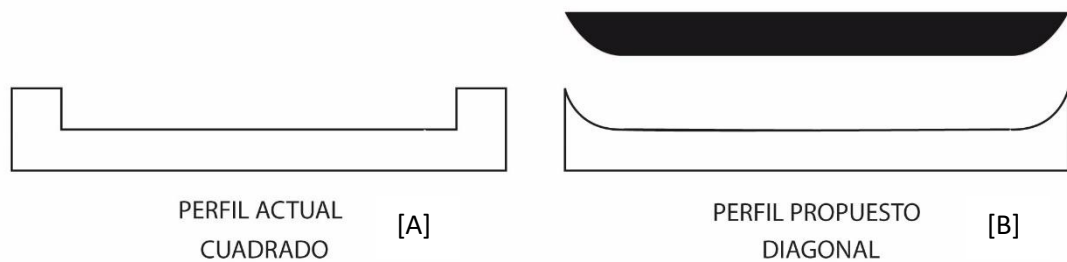


Figura 18. Comparación perfil cuadrado vs. Perfil diagonal.

La propuesta elegida es el cambio por un perfil diagonal. La comparativa entre los dos perfiles la podemos ver en la Figura 18. Este perfil carece de superficie superior en la que se quede ningún material porque solo está compuesta por un filo.

Por supuesto, la tapa de cierre hermético del horno deberá llegar un perfil diagonal complementario al inferior.

De esta forma siempre tendremos un cierre hermético perfecto aún con el uso de las coladas.

VI. TOMA DE MUESTRA ROBÓTICA

PUNTO IDENTIFICADO DE MEJORA

Una vez se ha producido la fundición de la chatarra en el interior del horno y antes del vuelco de este producto resultante, se produce un ajuste de calidad consistente en la llamada toma de muestra.

En la actualidad, la toma de muestra es un procedimiento manual que se efectúa al final del proceso de fundición y aprovechando el inicio de la fase de vuelco.

Un operario introduce una vara metálica a través de la puerta frontal del horno el tiempo justo para que una muestra del acero fundido se quede en una muesca pensada para ese propósito en el extremo distal de la vara.

Es importante que el tiempo que esté la vara en el interior del horno sea corto para que no sufra los efectos del calor. Y también es importante tener en

cuenta que la apertura de la puerta del horno es un punto crítico para el operario, el cual debe estar debidamente protegido.

SOLUCIÓN PROPUESTA

Viendo que este proceso entraña un gran riesgo para la seguridad del operario que lo realiza, la solución propuesta es la automatización del proceso.

El operario pasa de estar a pie de horno para situarse en la cabina o zona de control manejando un brazo robótico. Este brazo robótico tendrá un orificio en el H.E.A. específicamente colocado, protegido y controlado para él.

De esta forma se minimizan los riesgos porque no se produce la apertura del horno, es un proceso interno y que se controla a distancia.

VII. ASPIRACIÓN

PUNTO IDENTIFICADO DE MEJORA

Cuando el horno está en funcionamiento, la fusión del acero a tan altas temperaturas produce la emisión de gran cantidad de gases, algunos de ellos tóxicos.

En la actualidad, esto se solventa con un sistema de aspiración conectado al horno. Posibles problemas de la aspiración:

- Una aspiración muy fuerte, enfriará el horno y dará lugar a altos consumos de electrodos y energía.
- Una aspiración escasa hará que haya poco aire moviéndose dentro del horno, por lo que no se quemarán los combustibles gaseosos que existen y originará una pérdida energética. Además de originar un exceso de polvo en el interior de la nave.

En base a esto, existe una campana extractora encima del horno cuyo objetivo es aspirar aquellos gases que aún con la aspiración interna salen del horno.

Como los gases están repletos de impurezas que transportan desde el interior del H.E.A., con mucha frecuencia, este extractor se obstruye, quedando toda la sala llena de gases muy perjudiciales para la salud de los operarios.

SOLUCIÓN PROPUESTA

Para aquellos casos en los que la campana se obstruya se propone un sistema, acoplado a ésta, de detección de gases nocivos.

Consiste en la detección de los niveles de gases potencialmente nocivos. Cuando estos niveles pasen de una concentración límite, se activaría una campana auxiliar, de menos potencia, que supliría a la principal durante el tiempo que se tarde en ponerla en óptimo funcionamiento de nuevo.

En ningún caso, se podrá trabajar de forma indefinida con esta campana auxiliar ya que sus características y diseño se ajustan al cometido de elemento auxiliar y transitorio.

Con un correcto uso de este sistema se evitan los riesgos para la salud, permite detectar la obstrucción de la campana de forma más precoz y evita los parones en la producción.

VIII. SENSORES EN LOS SILOS

PUNTO IDENTIFICADO DE MEJORA

En la actualidad las ferroaleaciones que se añaden al caldo líquido para conformar la composición del acero requerido se almacenan en silos. Estos silos pueden ser de distintas capacidades dependiendo la producción de la acería.

Para comprobar la cantidad de ferroaleaciones que se encuentran en los silos un operario se encarga de anotar la cantidad de cada uno. Transmitiendo esta información al encargado de compras.

SOLUCIÓN PROPUESTA

Para optimizar el proceso descrito anteriormente, se pueden colocar una serie de sensores de nivel en cada silo (alto, medio y bajo) los cuales informen de manera directa al encargado de compras de la cantidad de cada silo.

Prescindiendo con ello de las necesidades de un operario intermedio además de con ello poder establecer un criterio de consumo totalmente automatizado.

IX. SEGURIDAD Y SALUD

Una acería en la actualidad debe seguir el artículo 40.2 de la Constitución Española, que encomienda velar por la Seguridad e Higiene en el trabajo.

En este tipo de fábricas se debe extremar la precaución en todo tipo de proceso ya que se manejan materiales muy peligrosos. Por ello es muy importante concienciar a los trabajadores para que desarrollen una política de protección de la salud, mediante la prevención.

La seguridad, mediante la prevención, tiene como objetivo evitar la lesión o muerte por accidente, reducir los costos productivos y con ello mejorar la imagen de la empresa.

Un accidente de trabajo es un suceso que provoca daños a las personas e instalaciones, pero además es un coste añadido a las empresas.

Por ello la empresa y los operarios deben estar en continua comunicación en cuanto a posibles riesgos, además en cualquier incidente, aunque sea pequeño y no tenga consecuencias, se debe rellenar un parte con lo ocurrido, para analizar así las causas que lo provocaron para poder tomar las medidas necesarias para que no se vuelva a producir, y no traiga consigo consecuencias mayores.

Dentro de los riesgos laborales encontramos:

Trabajos en altura y fosos

Ya sea para construcción, como para mantenimiento y pintura, los trabajos en altura deben realizarse con la máxima precaución para evitar accidentes.

Los operarios destinados a realizar estas actividades han debido recibir la formación adecuada de trabajos en alturas, donde se especifican entre otras cosas el correcto uso del arnés o las correctas posiciones de colocación de escaleras de acceso.

Los fosos son cavidades en el terreno y, por lo tanto, aunque se esté trabajando a nivel del suelo, si existe la posibilidad de caída a un foso por proximidad se debe estar equipado y proceder como trabajo en altura. Además, en un foso pueden provocarse intoxicaciones y explosiones por los gases acumulados. Ante la menor duda hay que medir la presencia de estos gases.

Contaminantes químicos

El riesgo existente debido a la exposición depende de múltiples factores. Para facilitar su análisis conviene clasificarlos en tres tipos:

1. Factores de riesgo que aporta el agente químico: Son propiedades intrínsecas del agente, como la facilidad de la sustancia para ser absorbida por el organismo a través de las diferentes vías de entrada y su capacidad para producir daños.

2. Factores de riesgo que aportan las condiciones del puesto de trabajo: Son los que condicionan el contacto entre el agente y el individuo por causas no atribuibles a éste, como la difusión del agente en el aire, los movimientos del aire, el tipo de manipulación y proceso industrial, los movimientos y distanciamiento relativos entre el individuo y los focos de generación, la frecuencia de contacto dérmico.

3. Factores de riesgo que aporta el comportamiento del individuo: Son los debidos a hábitos personales durante el trabajo claramente diferenciables entre distintos trabajadores de un mismo puesto de trabajo. Debe tenerse en cuenta, además, que ciertas personas, debido a sus peculiaridades orgánicas o funcionales, ya sean temporales (p.e. embarazo) o crónicas (p.e. sensibilización), poseen una mayor susceptibilidad para sufrir daños. Ello supone un problema adicional difícil de valorar y a menudo no tenido en cuenta.

Exposiciones repetitivas

Son aquellas en las que ciertos factores de riesgo no varían ostensiblemente de una jornada a otra pudiéndose hablar de una concentración media acotable en el puesto de trabajo y que puede compararse con los valores límite de referencia. Los factores de riesgo que no deben sufrir una alteración considerable entre diferentes jornadas son por ejemplo:

- Ritmo de producción y producción total.
- Duración de las tareas dentro del puesto de trabajo.
- Proporción del agente en las materias primas y cantidad del agente generado.
- Número de focos de generación del agente.
- Eficacia de los sistemas de ventilación.

Exposiciones no repetitivas

Son aquéllas en las que alguno de los factores mencionados varían de forma considerable y aleatoria de un día para otro no pudiéndose establecer ningún tipo de muestreo para estimar la concentración media. Es el caso de aquellos trabajos en los que varía la proporción del agente en la materia prima dependiendo de la demanda externa de producto final, o cuando las tareas propias del puesto de trabajo varían según las necesidades de producción. Este tipo de trabajos sólo permiten la evaluación cautelar en los focos de generación del agente, realizando muestreos o mediciones que indiquen las concentraciones ambientales en su proximidad y llevando a cabo acciones preventivas para que esas concentraciones sean lo más bajas posible (operación segura).

Ruido

El ruido es la sensación recibida por la diferencia de presión en el aire provocado por un cuerpo al vibrar. Se mide en decibelios. El comienzo de la audición se encuentra en 0 dB y el comienzo del dolor en 130 dB.

El ruido provoca daños a la salud y son los siguientes:

- Sordera, que puede ser provocada lentamente por la exposición a mas Decibelios de los permitidos.
- Sistema circulatorio, taquicardia y aumento de la presión sanguínea.
- Disminución de la actividad de los órganos digestivos.
- Aceleración del metabolismo y ritmo respiratorio.
- Trastornos del sueño.
- Aumento de la tensión muscular.
- Aumento de la irritabilidad.
- Disminución de la capacidad de alerta

Lucha contra el ruido.

- Parar y arrancar las maquinas solo cuando se necesite.
- Colocar silenciadores.
- Fijar las carcasas y chapas de las máquinas para que no vibren.
- Sustituir mazas y martillos metálicos por unos de cabeza elástica, goma y nylon.
- Comprobar que los mecanismos están bien engrasados.
- Reducir alturas de caída.
- Sustituir las alarmas acústicas por otras ópticas.
- Eliminar fugas de aire.

Riesgos eléctricos.

La corriente eléctrica puede provocar accidentes de dos maneras:

- Directamente: atravesando el cuerpo de la víctima (choque eléctrico).
- Indirectamente: creando un arco eléctrico que ocasione quemaduras en la victima, provocando su caída.

Origen de los accidentes eléctricos.

- Defecto de la instalación o del aparato (cables defectuosos).

Empleo anormal del material, (utilizar herramientas eléctricas con humedad en los pies, limpiar con agua aparatos eléctricos).

Cargas muy pesadas y voluminosas en grúas

La caída de cargas, tornillos, carcasas (debido a golpes), etc., puede ser un factor de mucho peligro.

Se manejan cargas de mucho peso, con el consiguiente riesgo de rotura de cadenas o fallo de enganche, que pueden provocar tanto aplaste de personas como rebotes en muchas direcciones.

También se trasladan las cucharas en las grúas, que llevan el acero líquido y puede caer sobre las personas que estén trabajando debajo.

Prevención:

- Revisiones de gente con experiencia.
- No pasar por debajo de la carga de la grúa.
- El gruista que acaba turno debe indicar al que le comienza, si la grúa funciona incorrectamente.

Trabajos manuales pesados.

En la acería se trabaja con elementos muy pesados, por lo tanto, hay que hacer esfuerzos importantes, que pueden provocar lesiones si las posiciones de trabajo no son las correctas.

Prevención:

- Levantar y transportar con la espalda recta.

Iluminación defectuosa.

En la acería aparte de que la iluminación sea insuficiente, tiene el inconveniente del polvo de la acería que ensucia las ventanas, y que impide la correcta visión con la luz artificial.

Espacios reducidos.

Este es un problema especial existente en la fábrica de Reinoso, debido a que las instalaciones son antiguas y el nivel de producción es muy superior al que tenían cuando fueron construidas.

Prevención:

- Máxima limpieza y máximo orden en la colocación de las materias utilizadas.

Capítulo 6. Sostenibilidad

I. INTRODUCCIÓN

Partiendo de la definición que la R.A.E. da para sostenibilidad, “que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente”, en este apartado se van a dar importancia a aquellas medidas que contribuyan a la perpetuidad del proceso de manufactura de un acero de construcción naval con los recursos de los que dispone una fábrica actual.

La preocupación por la sostenibilidad en el mundo de la metalurgia no es de ahora, si no que comenzó cuando se incrementó el consumo de chatarra. Se relegó al menor protagonismo la adición de elementos vírgenes para reutilizar los aceros que la población desechaba.

Sin embargo, la parte sostenible del proceso no se puede quedar ahí. Es vital seguir optimizando el proceso teniendo en cuenta los recursos de los que contamos y las consecuencias que producimos con el mismo.

II. REUTILIZACIÓN DE LA ESCORIA

Una vez finalizada la fusión se obtiene el metal fundido y una capa sobrenadante, la escoria, que atrapa las impurezas. La separación es espontánea debido a la diferencia de densidad y a que no son miscibles entre sí.

La escoria negra o gris consiste principalmente en óxidos de calcio, silicio y hierro, con cantidades inferiores de magnesio, manganeso, aluminio y fósforo.

Un análisis mineralógico de las escorias indica que los compuestos más importantes. Como son los silicatos cálcicos anhidros, pero además están formadas por silicatos bicálcicos, compuestos de hierro en forma de óxidos, silico-aluminatos cálcicos y silicatos dobles.

La valorización de estas escorias es un objetivo prioritario, ya que el potencial de reutilización de la escoria negra es sobresaliente, dado que se trata de

un residuo con una estabilidad química importante y con magníficas características mecánicas.

Actualmente están en fase de estudio diferentes técnicas de reutilización que permitan aplicaciones como:

- Áridos para capa de rodadura y granúlales para la elaboración de hormigón.
- Asfaltos (mezclas bituminosas).
- Cementeras (materia prima en la fabricación de cemento y mezcla directa con cemento).
- Subbases de carreteras y balasto de ferrocarril.
- Rellenos.

III. GASES NOCIVOS

En una acería convencional, los gases absorbidos por la campana extractora no son soltados al exterior por ser elementos nocivos y muy contaminantes para el medio ambiente.

Existe un sistema de conductos por el cual, los humos se transforman en estado líquido. El estado líquido es una forma mucho más sencilla que facilita mucho el tratamiento de estos residuos.

El tratamiento posterior, en todos los casos será externo a las competencias de la fábrica.

En la Figura 19 se evidencia el sistema de aspiración y tratamiento de gases en acería.

Aunque la teoría es eficaz, en la práctica diaria, hay una proporción de gases que siguen el circuito sin problemas (en torno a un 75% de los gases) y otra pequeña proporción (un 25% aproximadamente) que se escapa al medio exterior.

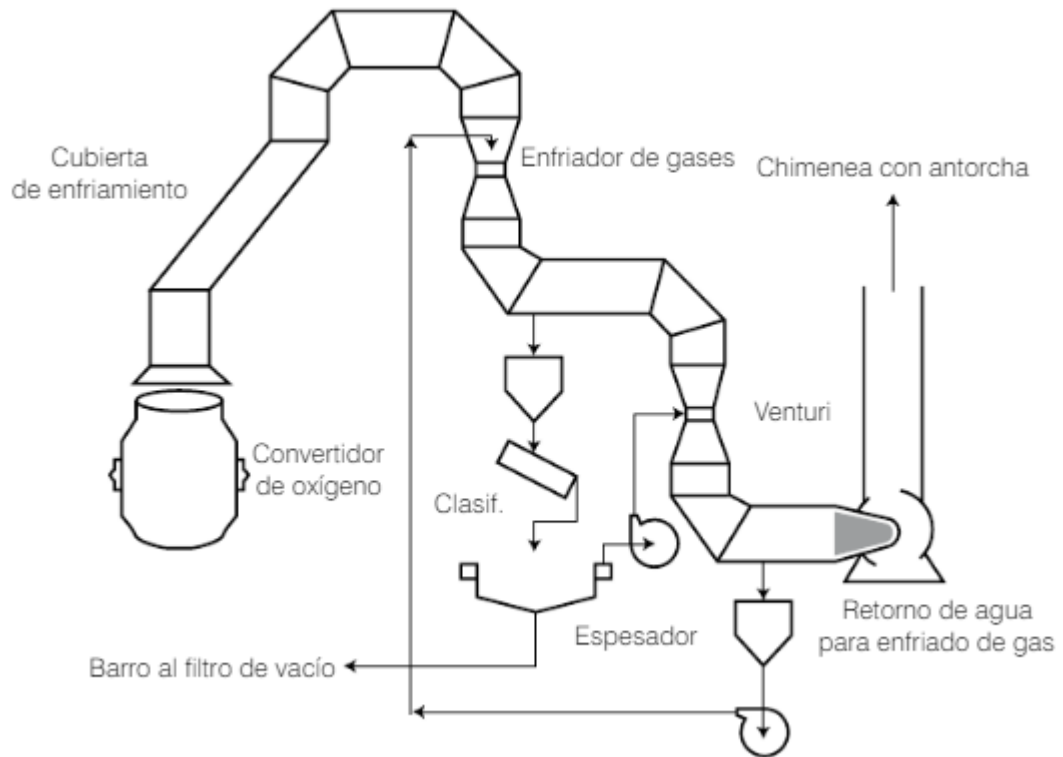


Figura 19. Aspiración y tratamiento de gases en acería.

Esto conlleva los agravios al medio ambiente correspondientes que perjudica tanto la salud de la población en general como la eficiencia de la fábrica.

Como se ha expuesto en el punto VII del Capítulo 4, el sistema de aspiración por detector de niveles de gases nocivos y campana auxiliar, a parte de las ventajas ya referidas en dicho epígrafe, minimizaría ese 25% de gases que escapan del circuito.

La medida más eficaz es que esa campana auxiliar esté también conectada al sistema de conductos y que solo se ponga en funcionamiento en 3 ocasiones:

- Cuando los niveles de gases dentro de la fábrica suban de un nivel base (indicador de obstrucción de la campana principal)
- Cuando los niveles de gases justo después de la campana superen otro nivel umbral. En este caso, el nivel deberá ser mucho más bajo e incluso próximo a cero.

- Manualmente, cuando sea preciso por diversas circunstancias.

Capítulo 7. Análisis de resultados

En este punto del trabajo se va a proceder a hacer un análisis de las medidas propuestas desde dos enfoques: económico y medioambiental.

La combinación de estas dos facetas, que han servido como objetivo primordial de toda la línea argumental, definirá la máxima eficiencia.

I. ENFOQUE ECONÓMICO

La fase que probablemente más dinero ahorre a la hora de elaborar un acero es el estudio de precios de mercado y calidades de la chatarra. El coste de la chatarra puede llegar a suponer el 50% del coste del acero final, esto significa que tiene una gran importancia y carga económica.

Cuanto mejor se realice el estudio más económico será el proceso de manufactura. Es pertinente señalar el precio actual de los precios de chatarra, como pueden verse en la Tabla 6.

Chatarra	Per Kilo	Per Ton
Hierro pesado	0,25 €	250,00 €
Hierro ligero	0,24 €	240,00 €
Hierro colado	0,26 €	260,00 €
Electrodomésticos de línea blanca	0,05 €	50,00 €

Tabla 6. Precio medio del hierro viejo en España a fecha 17/09/16 (www.preciochatarra.net)

En la tabla anterior podemos ver el precio de diferentes tipos de chatarra los cuales se actualizan semanalmente. Son precios medios, ya que cada chatarrero exhibe una carta de precios que se pueden basar en los servicios asociados o prestaciones que ofrezcan (seguridad, confianza, tonelaje, camiones, ofertas...).

Como se puede ver en el siguiente gráfico, éste es el punto crítico. Los cálculos estimados sobrarían ya que los precios oscilan cada semana y varían demasiado entre empresas. De hecho, es el punto más incontrolable y, por tanto, en el que hay que poner más hincapié.

De hecho, en las acerías en las que este aspecto no esté desarrollado cabría la formación de un departamento específico con un mínimo de dos expertos en relaciones comerciales.

En la Figura 20, se representa gráficamente el peso que tiene cada elemento del proceso en el coste final del acero.

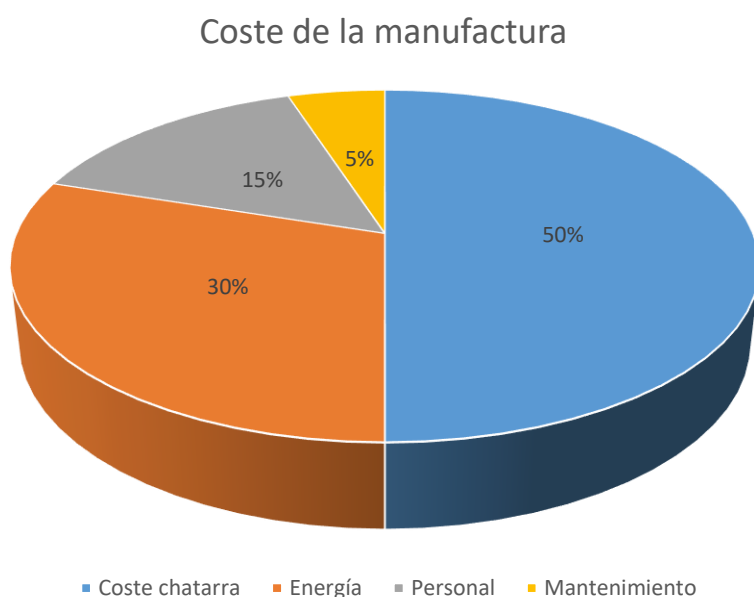


Figura 20. Coste de la manufactura expresado en %.

Respecto al resto de medidas propuestas:

- El precio medio de una báscula de pesaje para camiones ronda los 2500 euros. Sin embargo, antes de precipitar su inutilidad debemos pensar que la sustitución de la chatarra por materiales no fundentes es una práctica común entre algunos chatarreros. A tener en cuenta:

Peso medio de un camión ejemplo: 25 toneladas

Precio medio de la tonelada de chatarra: 200 euros

Suponiendo que, de las 25 toneladas, 15 no sean chatarra. El desfaldo ascendería nada más y nada menos que a unos 3000 euros en una sola entrega.

Tengamos en cuenta también que la capacidad de una cesta es de unas 100 toneladas.

- El coste de un dosímetro de radiación acústico es insignificante respecto al resto de cifras que manejamos, por lo que, la implementación de esta medida es claramente efectiva y sostenible.

El problema no será muy frecuente, pero es grave en el caso en el que se produzca, y el coste de su detección compensa con mucha holgura.

Precio medio de un dosímetro de las características especificadas: 300 euros.

- De cara a la adaptación de las infraestructuras del parque de chatarra a la propuesta en pos de la minimización de los errores de transporte de chatarra a la cesta, señalar que sería altamente rentable ya que el coste sería simplemente el derivado de trabajos de albañilería.

Para ello se procedería a la petición de distintos presupuestos y elección del más económico.

- La figura del supervisor no supone ningún gasto extra ya que surge de la recolocación del personal habitual del propio parche de chatarra.
- La energía utilizada por el horno para activar los electrodos y, en consecuencia, para subir la temperatura en su interior, supera con creces los costes de instalación y funcionamiento de la cinta transportadora de chatarra y los mecheros. Quizás, exista un periodo ventana en el que esto no se cumpla, este periodo es el correspondiente al tiempo que se tarde en amortizar el coste de las obras. Se supone que sea un tiempo corto, pero ahora no se puede poner ninguna fecha al depender del flujo de trabajo de la acería en cuestión.

Una vez se supere este punto crítico, el beneficio es obvio, ya que la energía que se consume en los mecheros es mucho menor que la que utilizaría el horno para el mismo cometido.

- Respecto al cambio de perfil cuadrado a perfil diagonal en el H.E.A. se realizaría aprovechando una parada programada de la fábrica. No sería

necesaria una intervención muy larga ya que solo se procedería al cambio del arco más superior de horno y de la tapa hermética.

Aunque el coste de elaboración de estas estructuras esté también sujeto al presupuesto final, son estructuras que van a continuar sin daños un largo tiempo reduciendo la energía necesaria para el calentamiento del material y las emisiones de gases.

- En el caso del robot propuesto para la toma de la muestra se aprovecharía el robot existente para la inyección de oxígeno. La única modificación para esta función sería la incorporación de una barra extra.

Sería un brazo multiusos de doble función.

En este caso, el coste es mínimo y el ahorro en accidentes laborales es del 100% en esta parte concreta del proceso.

- En los silos se instalarían sensores de nivel por contacto. En cada silo habría 3 sensores que detectaran los niveles: alto, medio y bajo.

Precio estimado de un sensor electrónico por contacto: 135 euros.

II. ENFOQUE MEDIOAMBIENTAL

El punto fuerte en este sentido son las mejoras que competen a la eliminación de gases perjudiciales a la atmósfera.

Aunque el beneficio es infinito por las claras repercusiones positivas que conduce la rebaja de las emisiones nocivas a niveles indetectables, en este apartado se justificará el coste de esta instalación auxiliar.

En primer lugar, este sistema cuenta con, al menos, 2 detectores de gases (antes y después de la campana principal).

Un sistema completo de instalación de los dos sensores con alarma acústica y notificación telemática rondará los 200 euros.

En segundo lugar y conectado a este sistema, debe existir una campana auxiliar cuyo coste ronda los 500 a 1000 euros.

Aunque este epígrafe se centre en el medioambiente, es notable, por descontado, el beneficio para la seguridad y salud de los trabajadores de la acería en general.

Por último, recordar y poner de manifiesto la metodología aplicada y el carácter cíclico de la misma. Más allá de las medidas concretas propuestas, este estudio pretende dar lugar a un sistema continuo de *autochecking* y mejora interna de cada acería.

III. CÁLCULO DEL COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE

El objeto de este estudio no es el cálculo de los costes de construcción de un barco, es simplemente, contribuir a abaratar el coste del acero utilizado para este propósito [6].

Aún con esto, es conveniente citar el procedimiento que se sigue para saber el dinero necesario para este menester y así poner de manifiesto el peso que tiene en toda la construcción el acero.

⁴El coste de construcción, (CC) de un buque se suele calcular como la suma del coste de los materiales a granel; CMg, del coste de los equipos, CEq; del coste de la mano de obra, CMo y de otros costes aplicados.

$$CC = CMg + CEq + CMo + CVa \quad (3)$$

CC = Coste de construcción.

CMg = Coste de los materiales a granel.

CEq = Coste de los equipos.

CMo = Coste de la mano de obra.

CVa = Costes varios aplicados.

En la construcción del buque la mayor parte del coste proviene de suministros exteriores al propio astillero, manejándose en la actualidad las cifras medias siguientes: entre el 70% y el 80% son aportaciones ajenas y entre el 30% y el 20% valor añadido por el astillero.

Coste de la mano de obra, CMo.

En esta primera etapa se desglosa en dos partes: coste del montaje de los materiales a granel, CmM y coste del montaje de los equipos, CmE.

Para el cálculo de cada una de estas dos partes se utilizarán las mismas variables independientes que se usen para el cálculo de los costes de adquisición de los diversos materiales y equipos, afectadas de unos coeficientes, previamente definidos, para obtener las horas de montaje de los distintos materiales y equipos.

$$\mathbf{CMo = CmM + CmE \text{ (4)}}$$

CMo = Coste de la mano de obra.

CmM = Coste del montaje del material a granel.

CmE = Coste del montaje de los equipos.

El coste horario medio, chm, de un astillero español puede considerarse, con muchas salvedades, entre 4000 – 5000 Pts/hora en 1996. chm = Coste horario medio.

Coste del material a granel, CMg, y de su montaje, CmM.

El material a granel más importante es el acero, las chapas y perfiles que componen la estructura principal del buque. En esta partida se suele incluir todo aquel material que no constituye equipos comerciales y sus fijaciones, tales como tuberías cables eléctricos, escalas, tecles, etc. Consideraremos que están incluidos en este apartado el coste del acero del casco y de las superestructuras y el del equipo metálico del casco (escalas, pisos, tecles, etc.); el coste del material a granel restante irá incorporado al servicio o sistema del buque a que pertenece.

Por tanto, podemos considerar que el coste del material a granel depende del coste del acero que, en estas primeras etapas del proyecto se puede calcular a partir del peso de acero del buque, PS.

$$\mathbf{CMg = cmg \times PS = ccs \times cas \times cem \times ps \times PS \text{ (5)}}$$

cmg = Coeficiente de coste de material a granel.

ccs = Coeficiente de coste ponderado de chapas y perfiles de distintas calidades de acero.

cas = Coeficientes de aprovechamiento del acero (peso bruto/peso neto).

cem = Coeficiente de incremento por equipo metálico.

ps = Precio unitario del acero de referencia.

PS = Peso de acero del buque.

Rangos normales de variación de estos coeficientes (en 1996).

$1.05 < ccs < 1.10$; si no se utiliza acero de alta resistencia y/o resiliencia, llegando a coeficientes de 1.50 y superiores.

$1.08 < cas < 1.15$; según tamaño del buque.

$1.03 < cem < 1.10$; según tamaño del buque.

ps = 85000 pesetas/tonelada.

Los mayores coeficientes, cas y cem, son para los buques pequeños.

El coste, CmM, del montaje del material a granel es primordialmente el coste de montaje del acero y se puede expresar como:

$$\mathbf{CmM = chm \times csh \times PS \text{ (6)}}$$

csh = Coeficiente de horas por unidad de peso. Entre 20 y 80 horas/tonelada según astillero y tipo de buque.

El coste de material a granel montado será

$$\mathbf{CMg + CmM = (ccs \times cas \times cem \times ps + chm \times csh) \times PS \text{ (7)}}$$

Y se puede expresar como:

$$\mathbf{CMg + CmM = pst \times PS \text{ (8)}}$$

Donde $pst = ccs \times cas \times cem \times ps + chm \times csh$, engloba todos los coeficientes del acero y representa el coste unitario del acero montado en cada astillero.

Coste de los equipos, CEq, y de su montaje, CmE.

El coste de los equipos, CEq, incluye el coste de todo el servicio o sistema asociado a dichos equipos, y su coste de montaje, CmE, es el coste de montaje de

todo equipo o sistema, y en las primeras etapas del proyecto puede descomponerse en una serie de sumandos:

$$\mathbf{CEq + CmE = CEC + CEp + CEhf + CEr} \text{ (9)}$$

CEc = Coste de los equipos de manipulación y almacenamiento de la carga.

CEp = Coste de los equipos de propulsión y sus auxiliares.

CEhf = Coste de los equipos de habilitación y fonda.

CEr = Coste del equipo restante.

El coste de los equipos de manipulación y almacenamiento de la carga, CEC, es el primero que se analiza, pero es muy difícil su sistematización de forma genérica, por lo que debe estudiarse en cada caso, es decir para cada tipo de buque.

El coste de los equipos de propulsión y sus auxiliares, CEp, se puede calcular en las primeras etapas del proyecto como función de la potencia propulsora, PB:

$$\mathbf{CEp = cep \times PB} \text{ (10)}$$

cep = Coeficiente de coste unitario de los equipos de propulsión y sus auxiliares.

PB = Potencia propulsora.

Para motores de 2T, $50000 < cep < 60000$ ptas/kW

Para motores de 24, $40000 < cep < 50000$ ptas/kW

El coste de los equipos de habilitación y fonda montados, CHf, se puede calcular como sigue:

$$\mathbf{CEhf = chf \times nch \times NT} \text{ (11)}$$

chf = Coste unitario de los equipos de habilitación y fonda.

nch = Coeficiente del nivel de calidad de la habilitación.

NT = Número de tripulantes.

$$0.90 < nch < 1.20$$

$$chf \cong 6250 \text{ kpts/tripulante (en 1966)}$$

El coste del equipo restante montado, CEr, se puede calcular en función del peso del equipo restante, PEr :

$$\mathbf{CEr = cer \times PEr = cpe \times pst \times PEr} \text{ (12)}$$

cer = Coste unitario por peso del equipo restante.

cpe = Coeficiente de comparación de coste del equipo restante.

pst = Coste unitario del acero montado.

PEr = Peso del equipo restante.

Podemos tomar, en principio, $1.25 < cpe < 1.35$.

Costes varios aplicados, CVa.

Son los costes para el astillero de todo lo que, sin intervenir en el proceso de construcción de un buque, tiene un coste directo. Estos los podemos calcular en función del coste de construcción, CC,

$$\mathbf{Cva = cva \times CC} \text{ (13)}$$

Podemos suponer: $0.05 < cva < 0.10$.

Reuniendo todos los sumandos se obtiene, para el coste de construcción, la expresión siguiente:

$$\mathbf{CC = pst \times PS + CEc + cep \times PB + chf \times nch \times NT + cpe \times pst \times PEr + cva \times CC} \text{ (14)}^3$$

Capítulo 8. Conclusiones

Tras el exhaustivo estudio metodológico y análisis de la situación en el proceso de manufactura de un acero de construcción naval en una acería convencional, se presentan a continuación las conclusiones a las que se ha llegado:

1. En la actualidad, el sector industrial de la metalurgia está altamente avanzado. Siendo francos y realistas, la nueva maquinaria y el nivel de integración de los softwares de última generación, han permitido a día de hoy, agilizar mucho el proceso de manufactura.
2. Sin embargo, a través de este análisis del funcionamiento actual de una acería estándar se puede argumentar que llegar a la excelencia en términos de eficiencia y sostenibilidad es posible.
 - a. En esta línea, se evidencia que las medidas propuestas son altamente eficientes. Desde el punto de vista económico abaratan el coste de producción de un acero, en este caso, de construcción naval.
 - b. Estas medidas no son las únicas aplicables, sino que de la metodología que se ha seguido en este trabajo se traduce un sistema de *autochecking* que busca la máxima excelencia.
3. Finalmente, podemos decir que, el abaratamiento del coste de producción del acero utilizado para construcción naval, contribuye de forma determinante al abaratamiento de los costes de construcción del buque en su conjunto como se puede comprobar en los cálculos teóricos expuestos en el capítulo 6.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

El presente Trabajo Fin de Grado se ha realizado utilizando como base los conocimientos generales obtenidos por el presente alumno sobre el proceso estándar de fabricación de un acero en las prácticas curriculares realizadas en la acería de Gerdau Reinosa.

[1]CAMACOL. *Análisis del mercado internacional de hierro y acero: evolución reciente y dinámicas regionales*. [online], [consultado el 20 de Julio de 2016] Sandra Forero Ramírez. Disponible en: http://camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/Informe%20Econ%C3%B3mico%20No%20%2059_Julio%202014.pdf

[2]REVISTA MARINA. *Materiales para la construcción de buques*. [online], [consultado el 21 de Julio de 2016] Raúl Ortúzar Maturana. Disponible en: <http://revistamarina.cl/revistas/1999/2/ortuzar.pdf>

[3]ENAVALES. *Evaluación económica*. [online], [consultado el 16 de Agosto de 2016] Disponible en: <http://enavales.com/phocadownload/Evaluacion%20econ%C3%B3mica.pdf>

[4]2013. Gerdau produjo todo su acero en 2012 a partir del reciclaje de 900.000 toneladas de chatarra. *Europa Press* [online], [consulta: 18 Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.europapress.es/cantabria/canabria-sostenible-00437/noticia-gerdau-produjo-todo-acero-2012-partir-reciclaje-900000-toneladas-chatarra-20130212102546.html>

[5]GONZÁLEZ, E. 2004. *Materias primas*. González F. Proyecto fin de carrera, Universidad de Cantabria.

[6]LASHERAS ESTEBAN, J. 1978. *Tecnología del acero*. 3ª edición. Gerona: Ediciones CEDEL. ISBN 84-352-0309-3.

[7]BIRAT, J.P. 2001. *Sustainable steelmaking paradigms for growth and development in the early 21st Century*. La Revue de Métallurgie-CIT. Janvier.

- Figura 1. *Vista aérea del conjunto de instalaciones de una acería tipo (Gerdau en Reinos). [imagen online], [consultado el 3 de Agosto de 2016] Disponible en:* <http://www.eldiariomontanes.es/20140109/local/campoo-sur/convocado-paro-fabrica-gerdau-201401091343.html>
- Figura 2. *Primer buque acorazado de la historia. [imagen online] , [consultado el 3 de Agosto de 2016] Disponible en:* <http://helepolis.blogcindario.com/2010/06/00071-primeros-buques-acorazados-i-fines-s-xix-comienzos-xx.html>
- Figura 3. *Flujo de chatarra en Europa. UNECE Working Party on Steel international trade.*
- Figura 4. *Consumo de los diferentes tipos de chatarra en el año 2016. Elaboración propia.*
- Figura 5. *Tipos de cestas. GONZÁLEZ, E. 2004. Materias primas. González F. Proyecto fin de carrera, Universidad de Cantabria.*
- Figura 6. *Esquema posicionamiento chatarra en cesta. [imagen online], [consultado el 4 de Agosto de 2016] Disponible en:* http://www.imh.eus/prototipos/GSB_v4/01/A_2/imagenes_a2/
- Figura 7. *H.E.A. y sus partes. [imagen online], [consultado el 4 de Agosto de 2016] Disponible en:* <http://es.slideshare.net/MarioAlberto2579/horno-de-arco-electrico>
- Figura 8. *Proceso de extracción de muestra. [imagen online], [consultado el 4 de Agosto de 2016] Disponible en:* <http://www.diariomotor.com/2015/06/17/industria-del-acero-frente-aluminio/>
- Figura 9. *Esquema del H.E.A. con sistema de colada excéntrica (EBT). GONZÁLEZ, E. 2004. Materias primas. González F. Proyecto fin de carrera, Universidad de Cantabria.*

- Figura 10. *Movimiento de inclinación del horno sobre la cremallera gracias a pistones hidráulicos*. GONZÁLEZ, E. 2004. *Materias primas*. González F. Proyecto fin de carrera, Universidad de Cantabria.
- Figura 11. *Procesos de recristalización producidos en la laminación*. GONZÁLEZ, E. 2004. *Materias primas*. González F. Proyecto fin de carrera, Universidad de Cantabria.
- Figura 12. *Fases del funcionamiento del procedimiento de los gases penetrantes*. [imagen online], [consultado el 5 de Agosto de 2016] Disponible en: <http://elf2lacc.blogspot.com.es/>
- Figura 13. *Ejemplo de uso de la técnica de las partículas magnéticas*. [imagen online], [consultado el 5 de Agosto de 2016] Disponible en: <http://welding-group.mx/end.html>
- Figura 14. *Buque afectado por la corrosión*. [imagen online], [consultado el 5 de Agosto de 2016] Disponible en: <http://revistamarina.cl/revistas/1999/2/ortuzar.pdf>
- Figura 15. *Diagrama parcial de equilibrio Fe-C*. LASHERAS ESTEBAN, J. 1978. *Tecnología del acero*. 3ª edición. Gerona: Ediciones CEDEL. ISBN 84-352-0309-3.
- Figura 16. *Esquema del sistema de autochecking*. Elaboración propia.
- Figura 17. *Grúa de gancho pulpo seleccionando chatarra*. [imagen online], [consultado el 6 de Agosto de 2016] Disponible en: <http://www.ferci.es/pulpos-hidraulicos-ferci-enginery-poligrapas-hidraulicas/pulpo-de-grua-fercini-2/>
- Figura 18. *Comparación perfil cuadrado vs. Perfil diagonal*. Elaboración propia.
- Figura 19. *Aspiración y tratamiento de gases en acería*. [imagen online], [consultado el 10 de Agosto de 2016] Disponible en: <http://revistamarina.cl/revistas/1999/2/ortuzar.pdf>
- Figura 20. *Coste de la manufactura expresado en %*. Elaboración propia.

ANEXO I. Resumen de la ISO 14001:2015

La ISO (International Standard Organization) se encarga de la elaboración de normas en todos los sectores. Y la cual decreta en el apartado 14000 las normas dedicadas a los aspectos ambientales de los distintos tipos de productos y organizaciones.

Destacando como norma la ISO 14001/2015 que se encarga de expresar un sistema de gestión ambiental efectivo y aplicable a cualquier tipo de organización, sin importar su tamaño o sector y que esté buscando reducir los impactos en el ambiente y cumplir con la legislación en materia ambiental.

La integración de esta norma es esencial en la actualidad, ya que el consumo de materia prima ha ido en incremento en los últimos años y debemos ser conscientes de lo perjudicial que es esto para nuestro futuro. Además de suponer un gran número de ventajas ya que nos permite un ahorro en cuanto al costo, como en la reutilización nuestros propios desechos producidos en la fábrica.

Sin olvidar la reputación que origina a nivel social una empresa sostenible que se preocupa por la situación de nuestro planeta cuyo funcionamiento se basa en la recuperación de productos que han finalizado su vida útil y produciendo materiales de calidad.

Esto trae consigo mejores oportunidades comerciales y un equipo de trabajo con mayor motivación a través de las sugerencias de mejora ambiental.

Estar comprometido con esta norma nos permite tener una cierta ventaja judicial si en algún momento dado se incumple por distintas razones como una avería en la salida de humos o algo similar que afecte al medio ambiente.

Esta norma alineada con otras normas ISO como la 9001 o la OHSAS 18001 de seguridad y salud laboral, proporcionan una mayor efectividad en cuanto al sistema de gestión de nuestra empresa.

Un ejemplo de la aplicación de esta norma se publicó en Febrero de 2013 en Europa Press en uno de sus artículos⁴ hablando de *Gerdau*, empresa siderúrgica con

el certificado ISO que nos ocupa: *“La utilización de chatarra como materia prima permite ahorrar un 40% de agua y un 80% de energía frente al proceso tradicional”*

Abstract

[Preview ISO 14001:2015](#)

ISO 14001:2015 specifies the requirements for an environmental management system that an organization can use to enhance its environmental performance. ISO 14001:2015 is intended for use by an organization seeking to manage its environmental responsibilities in a systematic manner that contributes to the environmental pillar of sustainability.

ISO 14001:2015 helps an organization achieve the intended outcomes of its environmental management system, which provide value for the environment, the organization itself and interested parties. Consistent with the organization's environmental policy, the intended outcomes of an environmental management system include:

- enhancement of environmental performance;
- fulfilment of compliance obligations;
- achievement of environmental objectives.

ISO 14001:2015 is applicable to any organization, regardless of size, type and nature, and applies to the environmental aspects of its activities, products and services that the organization determines it can either control or influence considering a life cycle perspective. ISO 14001:2015 does not state specific environmental performance criteria.

ISO 14001:2015 can be used in whole or in part to systematically improve environmental management. Claims of conformity to ISO 14001:2015, however, are not acceptable unless all its requirements are incorporated into an organization's environmental management system and fulfilled without exclusion.

ANEXO II. RADIOACTIVIDAD EN LA CHATARRA. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN

El Protocolo se basa en la existencia de un registro de las empresas adscritas, fijando los compromisos de las diversas partes firmantes. Así, mismo establece la necesidad de vigilar los materiales a la entrada de la instalación, así como, los productos finales y los de desecho y las actuaciones a realizar en caso de detección.

Cuando se detecta la presencia de material radiactivo a la entrada de la instalación se debe:

- Confirmar la alarma.
- Aislar la carga.
- Medir los niveles de radiación del contenido para localizar el material radiactivo.
- Segregar, almacenar y custodiar el material radiactivo detectado en condiciones de seguridad hasta su retirada por ENRESA.
- Notificar al CSN de manera urgente cuando los niveles de radiación sean elevados.

Cuando se detecta material radiactivo en los productos finales o en los subproductos se debe:

- Parar la producción.
- Evaluar la situación.
- Notificar al CSN.
- Preparar y llevar a cabo un programa de limpieza y recogida del material radiactivo.

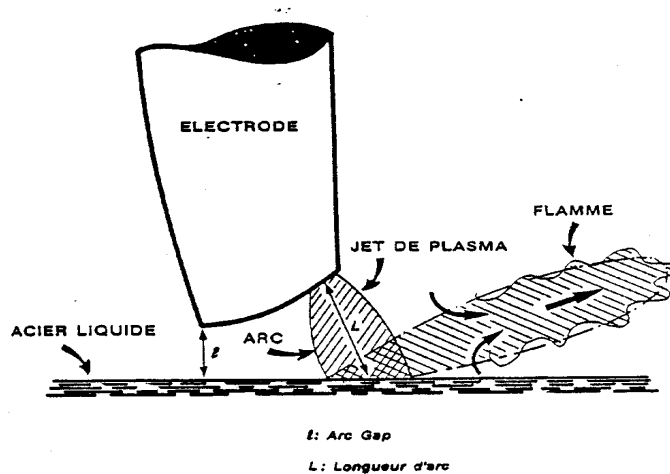
La medida de la radiación y la manipulación del material radiactivo deben realizarse por personal experto en materia de protección radiológica, por lo que cada instalación debe disponer de los apoyos técnicos especializados en cuestiones

de protección radiológica para que actúen cuando exista sospecha de la presencia de material radiactivo que requiera adoptar precauciones y medidas especiales.

ANEXO III. ELECTRODOS (H.E.A.)

Son los encargados de fundir la chatarra en el interior del horno. A través de ellos pasa corriente eléctrica y su consumo debe ser vigilado, ya que su fabricación supone un gran coste y su consumo de energía eléctrica se suma al coste de fabricación del acero en el horno.

Su consumo elevado o su rotura aumentan el tiempo de parada, influyendo además en la productividad.



Se busca un equilibrio entre las distintas fases, tal que su velocidad de fusión sea homogénea, con ello conseguimos evitar puntos fríos y calientes, además de conseguir un desgaste uniforme del refractario.

Los electrodos se pueden deteriorar de distintas formas:

- Consumo en la punta (por utilización en condiciones normales de trabajo)
- Consumo lateral (debido a la posición de la chatarra al fundir)
- Caídas de punta (Se desencaja la unión entre electrodos por la parte que se encuentra en contacto con la chatarra en la fusión)
- Rotura (por un punto intermedio, debido al golpeo contra algún lateral o por contacto con algún tipo de material en la fusión)

Los electrodos tienen un sistema de refrigeración, se coloca un anillo rodeando el electrodo, justo debajo de la mordaza. A este anillo se le llama regadera, ya que tiene varias salidas de agua que generan una película homogénea, que aparte de refrigerar al electrodo reduce la oxidación lateral.

La limpieza de los orificios de la regadera, es imprescindible para que la refrigeración sea la adecuada. Logrando así una mayor duración de la bóveda al disminuir la radiación que incide sobre ella.

Para controlar la posición de los electrodos y así conseguir mantener la intensidad, tensión y potencia en el circuito hay un sistema de regulación. Esto sirve en situaciones que los operarios no pueden actuar, un ejemplo claro es cuando la chatarra se acerca demasiado al electrodo puede ocasionar un cortocircuito por el incremento de intensidad. Lo que hace el sistema es elevar los electrodos, aumentando así la distancia con la chatarra y disminuyendo la intensidad. Es decir, el sistema de regulación de los electrodos hace que la distancia con el baño sea la mínima posible sin hacer que peligre la seguridad. El sistema esta creado por comparación a unos valores pre asignados de tensión e intensidad. Cuando existe alguna variación se crea una señal de error que actúa de forma automática sobre el mecanismo de movimiento de los electrodos (los movimientos han de ser suaves).

Además con este sistema se busca con ello que después de una interrupción el arco se restablezca lo más rápido posible, si hay contacto con un sólido parar rápidamente para evitar rotura de electrodo, evitar hundimiento de electrodos en el baño (aumenta la absorción de carbono por el acero) y moverlos arriba y abajo lo más rápido posible para la apertura de la bóveda.

Anexo IV. Cilindros de laminación

Un tren de laminar está formado mínimamente por dos cuerpos cilíndricos o casi cilíndricos, los cuales se denominan cilindros. La parte media del cilindro que está en contacto con el metal laminado, se denomina tabla. En ambos extremos de ésta se encuentran los cuellos, que se apoyan en los cojinetes.

El perfil de las tablas puede ser plano o con una ligera convexidad con objeto de compensar la flexión durante la laminación. Para la laminación de perfiles las tablas se fabrican con canales.

La dimensión característica de un cilindro es, generalmente, el diámetro nominal de su tabla y su longitud. En los cilindros con canales se considera, generalmente, que el diámetro nominal de la tabla es la distancia entre los ejes de los cilindros en el momento de la laminación (en laminadores blooming, durante la última pasada). Así ocurre que el diámetro nominal es mayor que el diámetro real o de trabajo, que es el de la circunferencia a lo largo de la cual tiene lugar el contacto en el metal laminado.

La elección del diámetro del trabajo de los cilindros se realiza teniendo en cuenta el ángulo de laminación admisible y la resistencia de los cilindros a la flexión.

La longitud de la tabla de los cilindros lisos se fija por el ancho máximo, b , de la chapa o banda laminada: $L = b + a$

Los cilindros utilizados en la laminación en caliente, pueden ser fabricados de hierro fundido, en algunos casos con aleación de níquel y cromo; o bien de acero forjado.

Los cilindros forjados para perfiles laminados en caliente se fabrican, normalmente de aceros cromo-molibdeno, con contenidos de carbono entre 0,60 - 0,75%; templados y revenidos para una dureza, correspondiente a una resistencia a la tracción de 80 a 100 Kgs/mm, dependiendo de cada laminador.

El temple y revenido hay que darle con las canales mecanizadas, con las tolerancias necesarias para evitar las deformaciones y con los radios adecuados

para evitar agrietamientos durante el temple. Nunca debe templarse un cilindro con la tabla lisa para posteriormente abrir las canales, ya que se eliminaría por mecanizado las zonas de mejor estructura metalográfica, obteniéndose un cilindro totalmente heterogéneo en cuanto a durezas y estructura. Esto posiblemente sería una causa que produjese la rotura del cilindro sin llegar a su rendimiento normal.

Una de las propiedades principales de un cilindro es la dureza superficial de trabajo del mismo. Por ello se acostumbra a clasificar los cilindros en blandos, semiduros, duros y extraduros. Esta clasificación depende mucho de las características del tren y de su función, así como del material al laminar, por lo que la gama de durezas es muy amplia.

- Los cilindros blandos tienen una dureza de 150-250 Brinell, y se emplean en laminadores primarios, en cajas desbastadoras de laminadores de perfiles grandes y laminadores intermedios. Son de fundición, acero al carbono forjado.
- Los cilindros semiduros tienen una dureza de 250-400 Brinell, y se emplean en cajas desbastadoras de laminadores de carriles y perfiles, en laminadores de perfiles de todas clases y laminadores de productos planos, en cajas acabadoras de laminadores de perfiles grandes e intermedios. Son de fundición semiendurecida, acero moldeado y acero forjado.
- Los cilindros duros tienen una dureza de 400-600 Brinell, y se emplean en cajas acabadoras de laminadores de bandas, chapa fina, carriles y perfiles ligeros. Son de hierro fundido en coquilla, acero especial y aleaciones de gran dureza.
- Los cilindros extraduros son los que se utilizan en la laminación en frío, con durezas entre 600-800 Brinell. Estos cilindros son de acero al cromo-molibdeno forjado y templados, preferentemente, por inducción.
- Los cilindros duros tienen una dureza de 400-600 Brinell, y se emplean en cajas acabadoras de laminadores de bandas, chapa fina, carriles y

perfiles ligeros. Son de hierro fundido en coquilla, acero especial y aleaciones de gran dureza.

- Los cilindros extraduros son los que se utilizan en la laminación en frío, con durezas entre 600-800 Brinell. Estos cilindros son de acero al cromo-molibdeno forjado y templados, preferentemente, por inducción.

Anexo V. Efecto de los elementos de aleación, elementos residuales y gases

Manganeso

Este elemento se emplea en la acería como elemento para neutralizar el azufre y dexasidante, aunque es menos afectivo en este aspecto que el silicio. El manganeso se incorpora al acero líquido en forma de ferromanganeso.

El manganeso como dexasidante, actúa absorbiendo oxígeno contenido en la masa del acero fundido y evitando que al desprenderse los gases en la solidificación se produzcan sopladuras.

Si no hay manganeso en el acero, el azufre tomará sulfuro de hierro que funde a las temperaturas de forja, por lo que se debilita la ligazón del grano y se puede llegar a producir un agrietamiento en caliente.

Si en el baño de acero hay una relación de cinco a ocho veces más de manganeso que de azufre, se formará preferentemente sulfuro de manganeso en lugar de sulfuro de hierro. El sulfuro de manganeso tiene un punto de fusión más elevado que el sulfuro de hierro y forma en el acero inclusiones que no funden a la temperatura de forja y son suficientemente plásticas, no ofreciendo por lo tanto, obstáculo a la conformación en caliente.

Influencia del manganeso sobre el temple: aumenta la templabilidad y disminuye la velocidad de temple. Baja el punto M_s de principio de formación de la martensita.

Influencia del manganeso en las propiedades del acero: para los aceros indeformables adquieren gran resistencia al desgaste, una de las características principales en la fabricación de los cilindros.

Cromo

El cromo tiene dos funciones principales, formador de la ferrita y formador de carburos, aumentando la dureza y la tenacidad. Con el se consigue una mayor penetración de la dureza, disminuye el crecimiento de grano y retarda la descarburación superficial.

Aumenta la templabilidad del acero, disminuye el efecto de masa e intensifica la tenacidad que se consigue por el revenido. Además de incrementar la resistencia al desgaste dota a los aceros de una acrecentada resistencia a la corrosión.

Influencia del cromo sobre el temple: Disminuye la temperatura de principio transformación de la martensita M_s . Si las temperaturas son lo suficientemente altas o se prolonga el calentamiento hasta la dilución de los carburos en la austenita, aumenta la templabilidad.

Influencia del cromo sobre el acero: además de las características antes mencionadas, el cromo limita el crecimiento del grano.

Molibdeno

Al igual que el elemento anterior (Cr) es un fortalecedor de la ferrita y formador de carburos, y además estimula a los demás elementos de aleación, elevando las propiedades deseables que ellos puedan proporcionar. Se incorpora al acero en forma de ferromolibdeno.

El molibdeno se ha utilizado para reemplazar parte del wolframio en los aceros de herramientas.

Influencia del molibdeno en el temple: El molibdeno aumenta la profundidad del temple. También aumenta la temperatura del revenido posterior al temple.

Aumenta la templabilidad cuando se calienta a una temperatura suficiente para conseguir la dilución de los carburos.

Influencia del molibdeno sobre las propiedades del acero: Eleva la dureza, debido al fortalecimiento de la ferrita, a la formación de carburos muy duros y a la

acción estimulante que ejerce el molibdeno sobre los demás elementos de aleación que lo acompañan.

Aluminio

Se emplea este elemento como dexasidante del acero. Es uno de los mejores medios para la eliminación de oxígeno y otros gases, contribuyendo a evitar sopladuras y segregaciones. Posee una gran afinidad por el nitrógeno y se combina con este elemento formando nitruros de aluminio.

El aluminio es el elemento más eficaz para realizar el afino del tamaño de grano austenítico. Una teoría que explica el proceso de afino del grano es que la precipitación de inclusiones microscópicas de alúmina en los contornos de los granos de la austenita, impide el crecimiento de grano.

Pequeñas cantidades de aluminio disminuyen la templabilidad.

Níquel

El níquel es un fortalecedor de la ferrita, soluble en el hierro en todas las proporciones. Mejora la tenacidad de los aceros, particularmente a temperaturas bajo cero. Disminuye las temperaturas de temple y aumenta la zona de temperaturas en las que pueden lograrse un tratamiento térmico eficaz. También retarda el crecimiento del grano a elevadas temperaturas e intensifica los efectos beneficiosos de otros elementos de aleación como son el cromo y el molibdeno.

Silicio

El silicio por su gran afinidad por el oxígeno se utiliza casi siempre junto con otros elementos en calidad de dexasidante. Sin embargo, es un fortalecedor de la ferrita, ya que eleva la resistencia del acero. Se añade al acero en forma de ferrosilicio.

Otros elementos

Cobre: No se suele incluir en la composición de los aceros, existe casi siempre en ellos en pequeñas cantidades como elemento residual. Aumenta la templabilidad.

Vanadio: Su adición provoca un afino en el grano. Se emplea también como dextosidante, disminuye las segregaciones y es capaz de realizar una limpieza mayor que la que se realiza con manganeso o silicio. Mejora la resistencia al desgaste.

Titanio: Energico dextosidante, formador de carburos muy potente. Junto con el aluminio se emplea para controlar el tamaño de grano aceros austenítico de los aceros. Se utiliza en pequeñas cantidades.

Wolframio: Tiene gran afinidad por el carbono. Forma carburos que son extremadamente duros y resistentes al desgaste.

Fósforo

Está presente como impureza residual, sus efectos nocivos no son fáciles de controlar, por lo que se ha de reducir todo lo posible su contenido. El fósforo provoca el crecimiento de grano y disminuye la plasticidad de la ferrita, disminuye la ductibilidad.

Azufre

Está presente como impureza residual, se ha de eliminar la mayor cantidad posible de azufre durante la fusión. Su presencia en el acero provoca la aparición de sulfuros de hierro, este compuesto tiene un bajo punto de fusión (980°C) y crea zonas débiles en los tratamientos u operaciones (forja) produciendo grietas y fisuras.

Hidrógeno

Este gas es el principal causante de la formación de copos en las piezas, por lo que deben tomarse todas las medidas necesarias para disminuir su contenido. Durante la fabricación del acero es poco posible, ya que es absorbido en el acero

líquido, desde los gases del horno , la humedad del aire, los productos de combustión, los dioxidantes, las ferroaleaciones, los agentes formadores de escoria y la chatarra.

Oxígeno

Elemento indeseable, para su eliminación se emplea aluminio y silicio principalmente.

Nitrógeno

Su contenido debe oscilar entre 0.004 y 0.009%. Se difunde dentro del acero, siendo su velocidad de difusión mayor que la del carbono, pero menor que la del hidrógeno. En porcentajes más altos hace que los aceros sean duros y quebradizos.

AVISO RESPONSABILIDAD UC

AVISO:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros.

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.