

CAPÍTULO 2

MATRICES, MOLDES Y UTILLAJES

MATERIALES FÉRREOS

1. OBTENCIÓN DE LA FUNDICIÓN.

Fundición de primera fusión <arrabio>.- Se obtiene en forma de lingotes para volver a fundir o para la obtención de aceros.

Fundición de segunda fusión.- Se obtiene a partir de la fusión del lingote procedente de la primera fusión en hornos denominados CUBILOTES.

2. PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO

Los tres elementos básicos que se utilizan en la producción de hierro y de acero son el mineral de hierro, fundente y el coque además de la aportación de aire.

Mineral de hierro.-Las menas de hierro que se extraen de las minas, contienen hierro en proporciones diversas.

Los principales minerales de los que se extrae el hierro son:

NOMBRE	FORMULA	PORCENTAJE DE HIERRO
Magnetita	Fe_3O_4	72,4%
Hematita	Fe_2O_3	70%
Limonita	$2\text{Fe}_2\text{O}_3, 3\text{H}_2\text{O}$	59,8%
Goetita	$\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$	62,9%
Siderita	FeCO_3	48,2%
Taconita	Fe_3O_3	25-35%

La mena con más del 70% de hierro es la mejor para la producción de hierro. Existen grandes yacimientos de este mineral en Estados Unidos y en Suecia. En todo el mundo se pueden encontrar grandes cantidades de pirita, pero no es utilizable por su gran contenido de azufre.

Una vez obtenido el mineral de la mina se tritura, se separan las impurezas por métodos magnéticos y se transforma en bolas o pelets, con un contenido en hierro puro del 65%.

Coque.-Se obtiene del carbón piedra calentándolo en hornos verticales (hornos de coque) a temperaturas de 1150°C, enfriándolo luego en torres de enfriamiento; obteniéndose así un residuo que es el coque. De los hornos de coque se obtienen otros elementos muy útiles en la industria, como son: gas combustible, azufre, aceite y alquitranes. El coque es un material duro, frágil y poroso que contiene un porcentaje de carbono de 80 a 90 %. La función del coque en el proceso de obtención del acero es la de:

- Generar la temperatura necesaria para que se produzcan las reacciones químicas para la producción del acero.
- Producir CO₂ (gas reductor), para la reducción del óxido hierro. La reducción es un proceso por medio del cual el oxígeno se elimina de un compuesto como el mineral de hierro y se combina con el carbono. Así, cuando el mineral de hierro se pone en contacto con el coque en el horno alto, se libera hierro metálico en su estado de óxido por reducción.

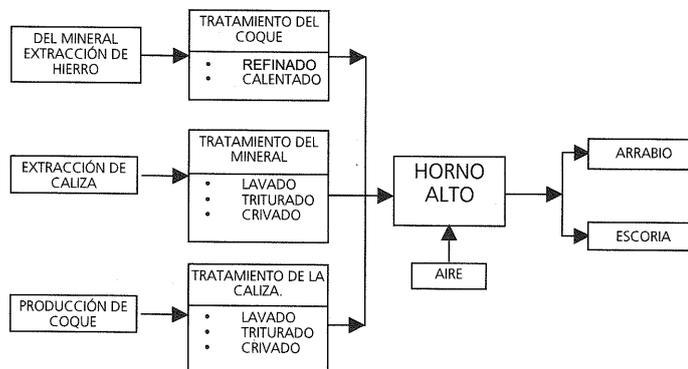
Piedra caliza.-La misión principal de la piedra caliza (carbonato cálcico) es la de eliminar las impurezas. La forma de eliminar estas se realiza mediante dos procesos:

- Actuar como fundentes. La caliza reacciona químicamente con las impurezas, haciendo que éstas fundan a baja temperatura.
- Formando escorias. El carbonato cálcico reacciona químicamente con las impurezas produciendo escorias con poca densidad, las cuales se pueden retirar fácilmente porque flotan sobre el metal fundido.

La preparación de la caliza, del mineral del hierro y del coque, antes de ser introducidos en el horno alto, se realiza por medio del lavado, del triturado y del cribado para obtener calidad y tamaño.

En la primera fusión, el producto que se obtiene es el arrabio, que es un hierro con un porcentaje de carbono y de impurezas (sobre todo azufre) incontrolado que hace que no sea utilizable comercialmente. El arrabio o hierro cochino, es el hierro a partir del cual se obtiene aceros de calidad en procesos posteriores.

La fusión primaria del hierro se ve en el siguiente diagrama.



3. HORNO – ALTO

Los hornos altos pueden llegar a producir diariamente hasta 1600 toneladas de arrabio. Consta de dos troncos de cono unidos por sus bases mayores, finalizando en una parte cilíndrica llamada <crisol>. La parte superior, denominada tragante, permite la entrada del carbón, del mineral y del fundente por capas alternadas. La parte más ancha se denomina vientre. El cono inferior se llama etalaje.

En su parte superior puede llegar a tener 8 metros de diámetro y una altura de 60 metros. Exteriormente está construido de acero y revestido interiormente por materiales refractarios.

La caliza, el coque y el mineral de hierro se introducen por la parte superior del horno por medio de vagones. Para producir 1 toneladas de arrabio, se necesitan 2 toneladas de mineral de hierro, 0.8 toneladas de coque, 0.5 toneladas de piedra caliza y 4000 toneladas de aire caliente.

El aire necesario para la combustión se introduce, previo calentamiento, por medio de toberas distribuidas de forma equidistante alrededor del horno. El calentamiento del aire se realiza en unas estufas denominadas COWPER que aprovechan la temperatura de los gases de la combustión del horno alto. Mediante la inyección de aire caliente a 550°C, se reduce el consumo de coque en un 70%.

Las reacciones que se producen en el horno alto para producir metal por reducción de los óxidos con coque y monóxido de carbono como reductor son las siguientes:

- Zona de precalentamiento:
 $Fe_2O_3 + nH_2O \rightarrow FeO_3 + nH_2O$
- Zona de reducción:
 $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$
 $3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$
- Zona de carburación:
 $3FeO + 3CO \rightarrow 3Fe + 3CO_2$
 $3Fe + C \rightarrow Fe_3C$

Materiales de entrada y salida en el horno - alto:

>De entrada: Mineral<27%>, Carbón<13%>, fundente<8%> y aire<52%>.

>De salida: Arrabio<13%>, escorias<8%> y gases<79%>.

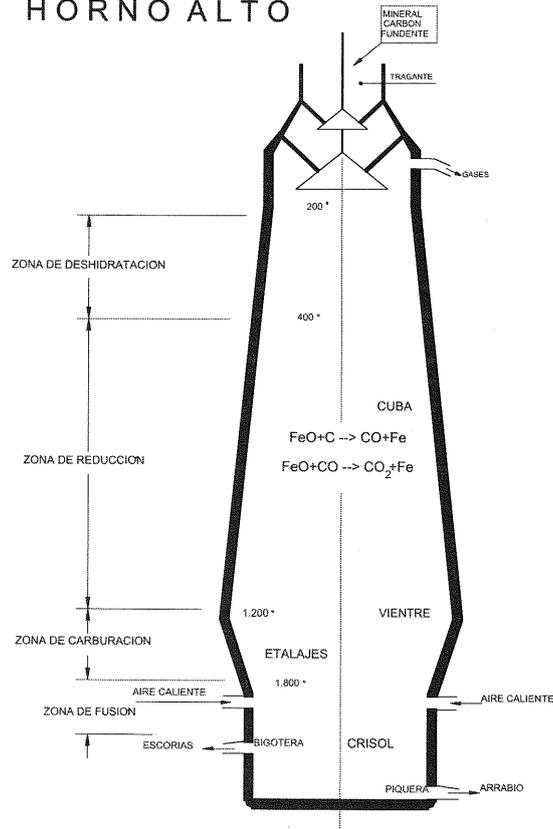
Los gases del horno alto tienen doble aplicación una para calentar el aire atmosférico que se insufla en el Horno - Alto y otra, como combustible en los motores de gas de la instalación.

Las escorias se emplean en materiales aislantes térmicos y en la fabricación de cementos.

Productos finales.-Los sangrados del horno se hacen cada 5 ó 6 horas; por cada tonelada de hierro se produce media tonelada de escoria.

- ARRABIO.- El arrabio o lingote tiene en torno a un 4% de C; le acompañan como impurezas el Si, Mn y P en una proporción conjunta aproximada al 10%; es duro, quebradizo, no maleable y al calentarlo funde bruscamente. Se extrae del horno alto a través de la PIQUERA.
- ESCORIA.- Lo forma el fundente con la ganga, y se extrae por flotación a través de la BIGOTERA.

HORNO ALTO

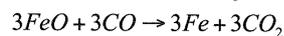
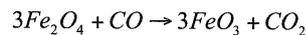


4. REDUCCIÓN DIRECTA DEL MINERAL DE HIERRO

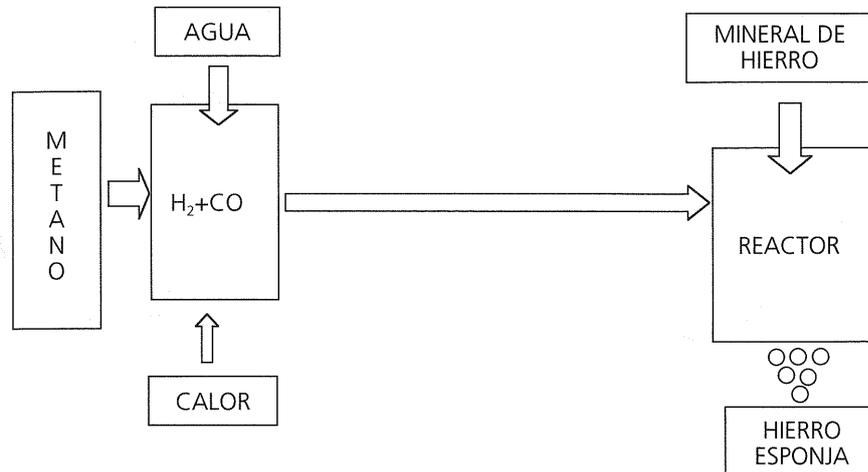
Para producir polvo de hierro también se puede utilizar el método de reducción directa, en el cual se emplea agentes reactivos reductores como gas natural, coque, aceite combustible, monóxido de carbono, hidrógeno o grafito. Para conseguir el hierro esponja, formado por unos pequeños pelets de hierro con un porcentaje de hierro del 95%, se ha de triturar la mena de hierro y pasarla por un reactor con los agentes reductores, con lo que algunos elementos no convenientes para la fusión del hierro son eliminados. Los pelets de mineral de hierro se pueden utilizar posteriormente para la producción de hierro con características controladas.

El método de reducción directa necesita para procesar 1 toneladas de mineral de hierro, 491 metros cúbicos de metano y, con ello, se obtiene 0.63 toneladas de hierro esponja.

La ecuación de la reducción es:

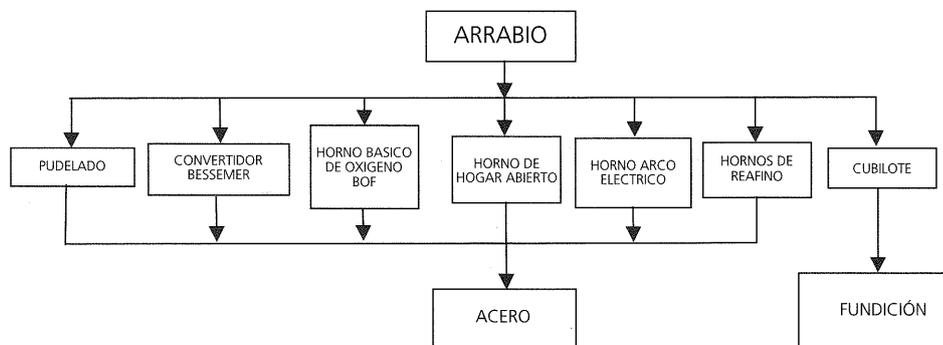


Producción de hierro esponja

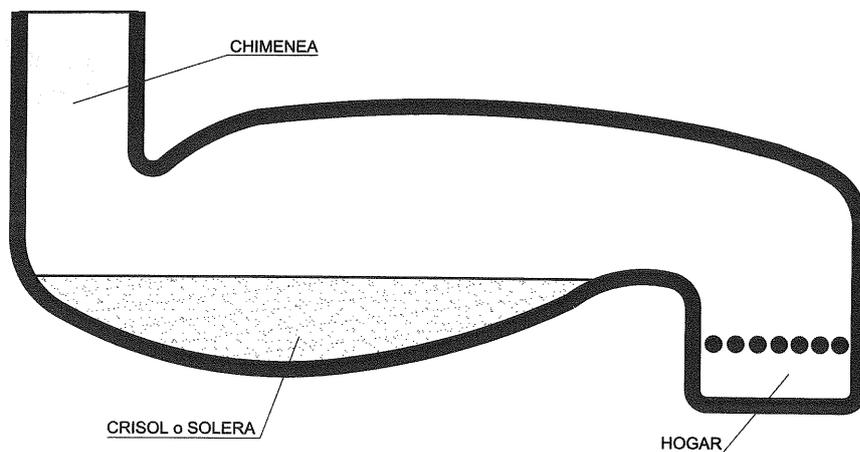


5. PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO.

Una vez obtenido el arrabio o el hierro esponja es necesario afinar al hierro para que se transforme el material en hierro o en acero comercial. A continuación se presentan los principales procesos de fabricación de hierros y aceros comerciales.



Proceso de pudelado.- El hierro pudelado o hierro dulce tiene un contenido en carbono de menos del 0.1% y el contenido en escoria no supera el 0,003%. El proceso conocido como pudelado, consiste en fundir arrabio y chatarra en un horno de reverbero de 230Kg, este horno es calentado con combustible tipo carbón, gas natural o aceites. La temperatura se eleva lo suficiente para eliminar por oxidación el carbono, el silicio y el azufre. Para eliminar todos los elementos diferentes al hierro, el horno de pudelado debe estar recubierto con refractario de línea básica (ladrillos refractarios con magnesita y aluminio).

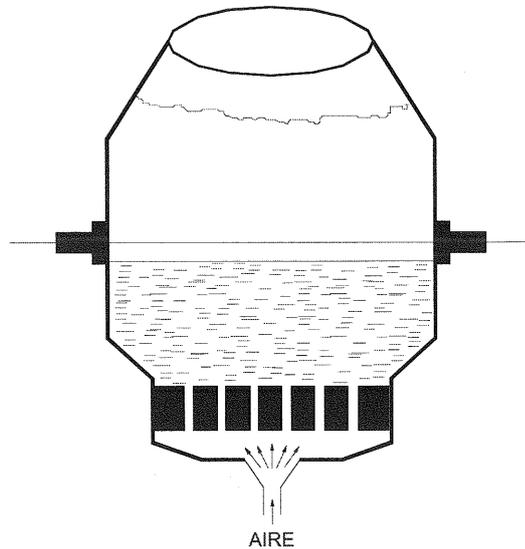


El material se retira del horno en grandes bolas en estado pastoso. Este material se utiliza para la fabricación de aleaciones especiales de metales. Existen otros procedimientos como el llamado proceso Aston, en los que en lugar del horno de reverbero, se usa un convertidor Bessemer, con lo que se obtiene mayor cantidad de material.

Horno de afino.-La principal característica de estos hornos es que pueden controlar el carbono por medio de aire u oxígeno, así como la eliminación de elementos como el P, S, Si y el Mn. El acero se obtiene por la transformación del mineral del hierro a temperatura de 1600°C, en esta transformación se desprende el C en forma de CO₂ además de formarse óxidos de azufre y de fósforo en forma de escoria. Si además se hace pasar una corriente de oxígeno por la colada, se producen las siguientes reacciones químicas en forma de óxidos:

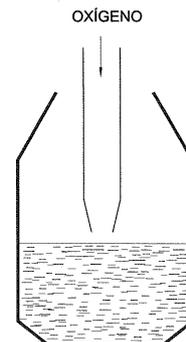
- el fósforo se oxida en forma de óxido de fósforo.
- el azufre se oxida en forma de dióxido de azufre.
- el silicio se oxida en dióxido de silicio.
- el manganeso se oxida en forma de óxido de manganeso.
- el carbono se oxida en forma de dióxido de carbono.

Hornos BESSEMER.-Es un horno en forma de pera que está forrado con refractario de línea ácida o básica. El convertidor se carga con chatarra fría y se le vacía arrabio derretido, posteriormente se le inyecta aire a alta presión con lo que se eleva la temperatura por encima del punto de fusión del hierro, haciendo que este hierva; de esta manera las impurezas son eliminadas y se obtiene acero de alta calidad. Este horno ha sido substituido por el BOF.

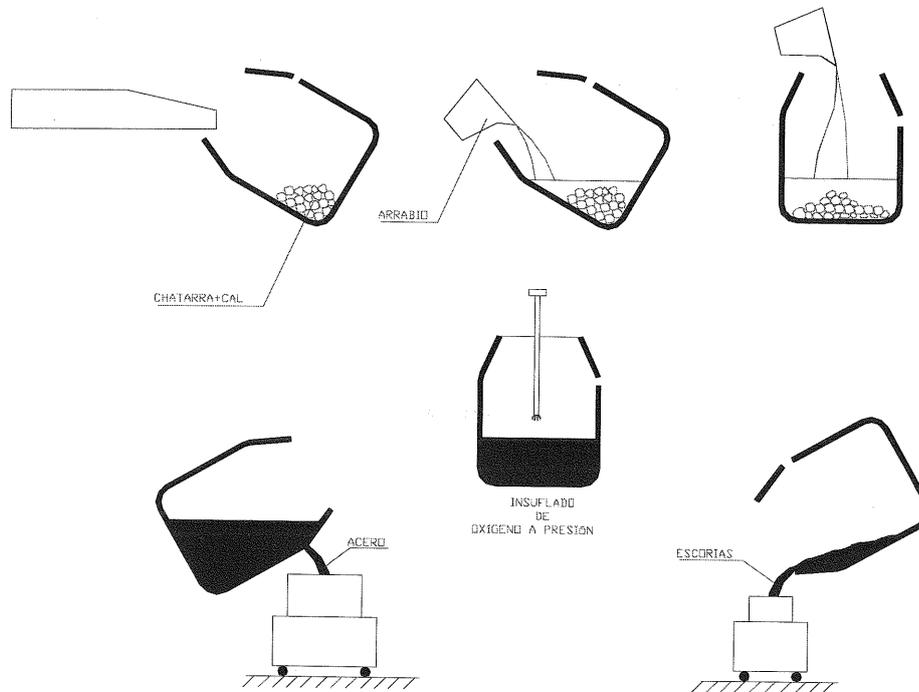


Horno básico de oxígeno (BOF).-Es un proceso de producción de acero, rápido y eficiente. Se trata de un horno similar al Bessemer, con la diferencia de que, en lugar de inyectar aire a presión, se le inyecta oxígeno a presión; con ello se eleva mucho más la temperatura que en el Bessemer y en un tiempo muy reducido.

El nombre del horno se debe a que tiene un recubrimiento de refractario de línea básica y a la inyección del oxígeno. La carga del horno está constituida por 200 toneladas de arrabio y 90 toneladas de chatarra y cal que actúan como fundente. A continuación se insufla oxígeno puro en el horno durante 20 minutos a través de una lanza refrigerada por agua a presión de 1250KPa. La temperatura de operación del horno es superior a los 1650°C y es considerado como el sistema más eficiente para la producción de acero de alta calidad, consiguiéndose reafinar 250 toneladas acero en un tiempo de 45 minutos.



Los aceros conseguidos mediante este procedimiento tienen bajos niveles de impurezas.



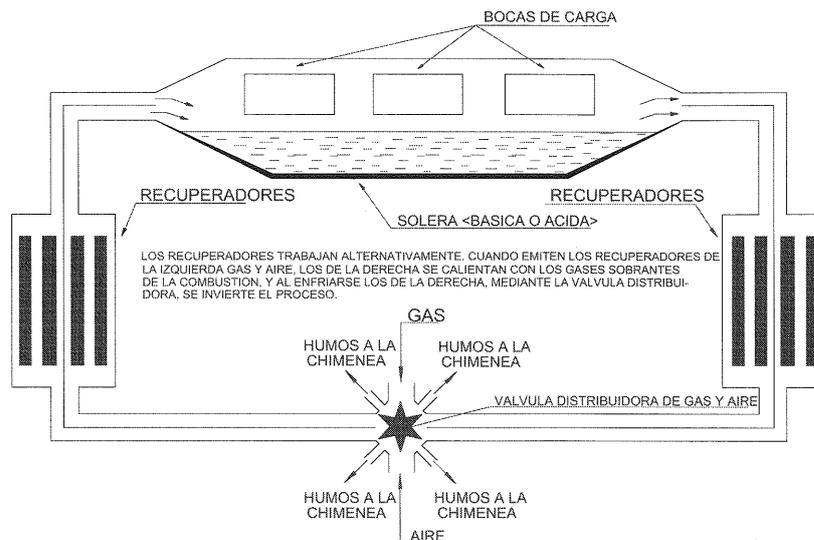
Horno de hogar abierto (MARTIN SIEMENS).-Estos hornos pueden producir entre 100 y 375 toneladas de metal por colada; la duración de cada colada es de 8 a 10 horas, si no se utiliza soplete de oxígeno, en cuyo caso la duración se reduce a 4 horas, además de que se ahorra el 25% de combustible. Durante este tiempo, el arrabio fundido, la chatarra, el mineral de hierro y otros elementos, tales como el manganeso, se agregan para controlar la colada.

Tienen un fondo poco profundo y la llama está en contacto directo con la carga, por lo que es considerado como un horno de reverbero. El combustible utilizado puede ser gas, breá o petróleo; estos hornos tienen chimeneas laterales las cuales además de expulsar los gases, sirven para calentar el aire y el combustible, por lo que se consideran hornos regenerativos.

La temperatura de fusión y oxidación que se alcanza es de 1800°C y el aire que se emplea para realizar la combustión está precalentado a 1100°C. El proceso de afinado se produce por un exceso de oxígeno, formando óxidos no solubles de silicio y manganeso en forma de escoria con cal. Durante el proceso se genera CO que ayuda por agitación a un buen mezclado. Antes de terminar la fusión se añaden aleantes como níquel, cromo etc. con lo que se obtiene aceros de baja aleación.

Se añade ferrosilicio, aluminio o manganeso si el acero ha de ser calmado. Un acero calmado es aquel que ha sido suficientemente desoxidado para que no se produzca gas en la lingotera, lo que hace que el acero sea muy uniforme. Si la colada no es calmada, se produce gas en el lingote que al solidificar se producen unas oquedades en el interior. A estos aceros se les

denominan efervescentes. Estos defectos se pueden eliminar mediante la laminación. Los recubrimientos de estos hornos pueden ser de línea básica o de línea ácida. Los refractarios de línea básica pueden controlar o eliminar el fósforo, el azufre, el silicio, el magnesio y el carbono. Con los refractarios de línea ácida (ladrillos con sílice y paredes de arcilla), sólo se puede controlar el carbono. Los hornos con refractarios de línea básica son los más habituales, pero también más caros.



Horno de arco eléctrico.-En este tipo de hornos la fuente de calor es generada por un arco eléctrico de corriente continua, llegándose a producir temperaturas de hasta 3800°, lo que permite obtener aleaciones con tungsteno (3370°C de temperatura de fusión) y aleaciones con molibdeno (2600°C de temperatura de fusión). Como la fuente de calor no es producida por combustión hace que esté libre de impurezas, sobre todo de azufre, lo que permite un mayor control de la fundición. Los hornos de arco eléctrico funcionan con tres electrodos de grafito que pueden llegar a tener 760mm de diámetro y una longitud de hasta 12m. Estos hornos suelen funcionar a una tensión de 40V y una corriente eléctrica de 12000 A. La corriente pasa desde un electrodo a través de un arco hacia la carga metálica y, luego, a través de un arco al otro electrodo.

El calor se genera por la Ley de Joule:

$$Q = I_s^2 \cdot R \cdot t$$

Q = Calor.

I_s = Intensidad en el secundario.

t = Tiempo.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

L = longitud de la resistencia.

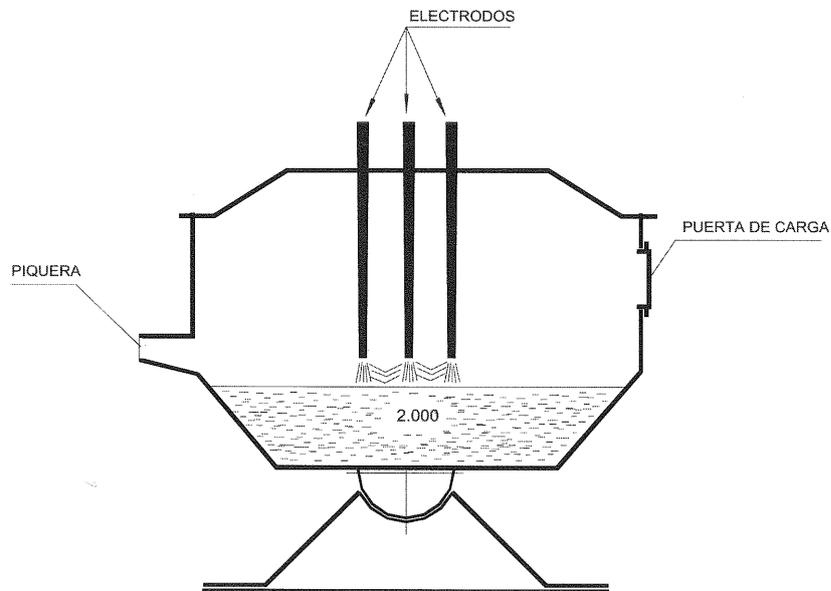
S = Sección de la Resistencia.

ρ = Resistividad de la resistencia.

Los hornos de arco eléctrico pueden llegar a producir hasta 270 toneladas de material fundido por colada. Para fundir 100 toneladas se requieren aproximadamente tres horas y 50000 KWh de potencia. También en estos hornos se inyecta oxígeno puro por medio de una lanza. Se cargan de chatarra de acero de alta calidad, de una pequeña cantidad de carbono y de cal. Los aceros que se obtienen son aceros para herramientas, de alta calidad, resistentes a la temperatura y los aceros inoxidable. Como estos hornos son para la producción de aceros de alta calidad siempre están recubiertos con ladrillos de la línea básica.

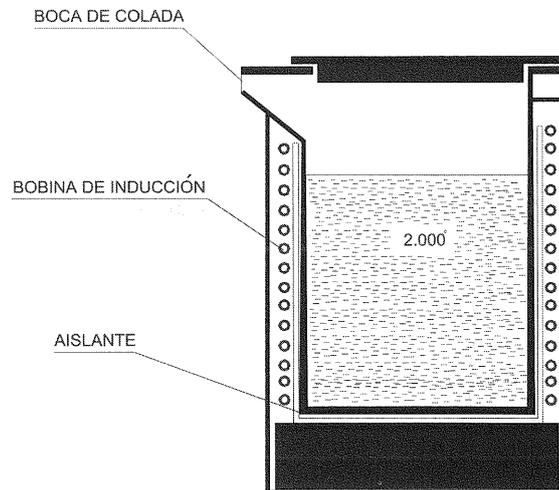
El crisol o cuerpo es una placa de acero forrado con refractario mientras que la bóveda es de refractario. Para realizar la carga del horno los electrodos y la bóveda se mueven dejando descubierto el crisol, en el que se deposita la carga por medio de una grúa.

Horno de arco eléctrico



Horno de inducción.-Existen dos tipos horno de inducción sin núcleo y horno de núcleo o de canal.

Horno de inducción sin núcleo.-Se trata de un crisol rodeado por una bobina de cobre refrigerada por agua a través de la cual se hace pasar una corriente de alta frecuencia que oscila entre 500Hz y 3000Hz. El calentamiento se produce por la acción de las corrientes parásitas de Foucault, que, al circular una corriente de alta frecuencia, produce a alrededor de la bobina un campo magnético variable de la misma frecuencia, lo cual hace inducir las corrientes parásitas en el metal (si este es magnético), produciéndose un calentamiento rápido y la fusión del metal. La acción de las corrientes parásitas en el metal fundido producen una agitación que se aprovecha para realizar la mezcla de las aleaciones. Estos hornos se cargan con chatarra de alta calidad. El tiempo de fusión oscila entre los 50 y 90 minutos, con una carga de hasta 3.6 toneladas.



Horno de núcleo o de canal.-Este horno usa el principio de los transformadores para generar la temperatura que produce la fusión del metal. El horno es un transformador donde el primario lo forma una bobina que rodea a un núcleo de hierro dulce y la bobina del secundario lo forma el metal a fundir. La ley de los transformadores dice:

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{n_p}{n_s}$$

E_p = Fuerza electromotriz del primario.

E_s = Fuerza electromotriz del secundario.

I_s = Intensidad en el secundario.

I_p = Intensidad en el primario.

n_p = Número de espiras en el primario.

n_s = Número de espiras en el secundario.

Ley de joule:

$$Q = I_s^2 \cdot R \cdot t$$

Q = Calor.

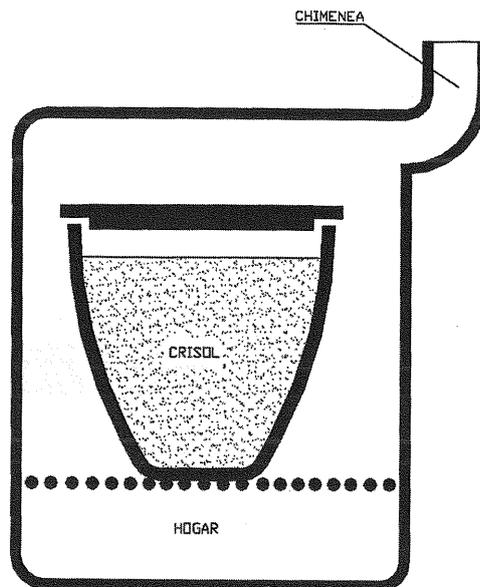
I_s = Intensidad en el secundario.

t = Tiempo.

Horno de aire o crisol.-Es el proceso más antiguo que, existe en la fundición, también se le conoce como horno de aire. Este equipo está formado por un crisol de arcilla y grafito, lo que les hace extremadamente frágiles; el crisol se coloca dentro de un confinamiento que puede contener algún combustible sólido como carbón, gas natural, petróleo e incluso electricidad.

Los crisoles son utilizados en la actualidad para la fusión de metales no ferrosos, su capacidad fluctúa entre los 50 y 100 kg.

Hornos de crisol para metales no ferrosos

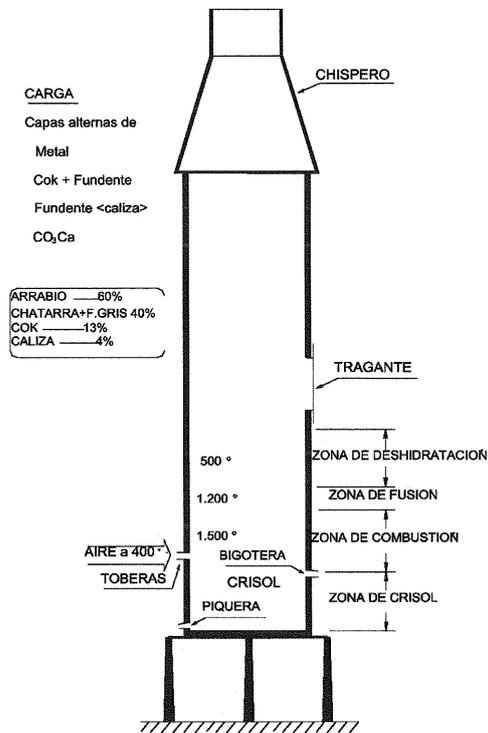


6. HORNO DE CUBILOTE

Los hornos de cubilote pueden producir fundición de hierro de hasta 20 toneladas cada tres horas. Este tipo de horno es muy parecido al horno alto, pero de dimensiones más reducidas. Estos hornos requieren equipos para el control de emisiones contaminantes, que pueden llegar a ser más costosos que el propio horno.

Se trata de equipos muy económicos y de poco mantenimiento; se utilizan para producir fundición de hierro. Están formados por un tubo vertical cilíndrico de más de 4 metros de longitud y pueden tener desde 0.8 a 1.4 m de diámetro, son de acero e interiormente están forrados de material refractario; se cargan por la parte superior con arrabio troceado o pelets de hierro, chatarra de hierro, coque y piedra caliza. Iniciado su encendido, se alternan capas de arrabio troceado y de carbón de coque con fundente. Lleno el cubilote, se inyecta aire a alta presión por las toberas para realizar la combustión del coque. El cubilote va provisto de mirillas de cuarzo que permiten observar el proceso de fusión. La fundición se retira del crisol, previa retirada de la escoria, y se deposita en moldes para su solidificación.

Por cada kilogramo de coque que se consume en el horno se procesan de 8 a 10 kilogramos de hierro y, por cada tonelada de hierro fundido, se requieren 40kg de piedra caliza y 5.78 metros cúbicos de aire a 100 kPa a 15.5°C.

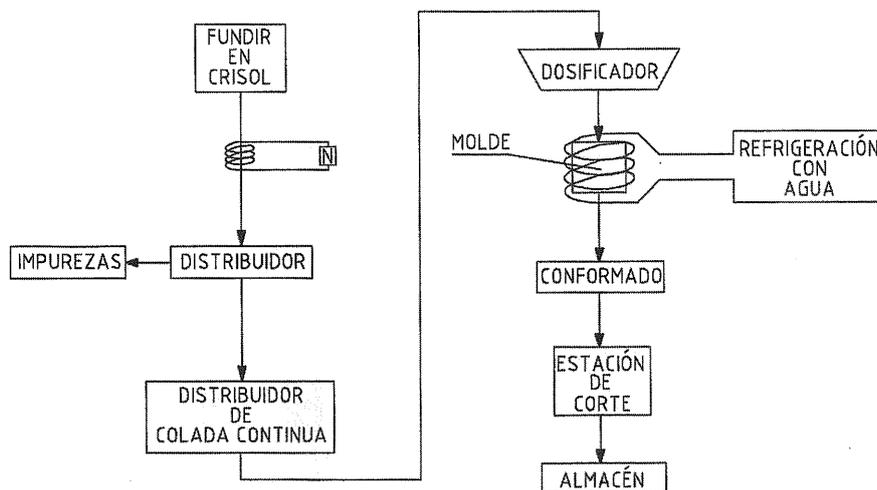


7. COLADA CONTINUA

El método tradicional de obtención de lingotes, es el proceso por lotes que consiste en el colado de la fundición en moldes de arena, en dejar solidificar y, posteriormente, en desmoldear. En fases posteriores, el lingote se conformará por medio de la laminación para obtener barras, láminas, alambres, placas, tubos o perfiles estructurales. Mediante este proceso se observan variaciones microestructurales y químicas, así como rechupes en todo del volumen del lingote.

Un método para reducir los problemas del colado en lingotes es la colada continua. A la hora de fabricar un material de sección constante y en grandes cantidades, se puede utilizar el método de la colada continua, el cual consiste en fundir el metal en un crisol que limpia el metal con la temperatura homogenizada mediante una corriente de nitrógeno durante 10 minutos. El metal pasa a un distribuidor donde se retiran las impurezas superficiales. Del distribuidor pasa al recipiente de vaciado intermedio (distribuidor de la colada continua), el cual, con una válvula, puede ir dosificando material fundido al molde. Por gravedad, el material fundido pasa por el molde, que está enfriado por un sistema de agua; al pasar el material fundido por el molde frío se convierte en pastoso y adquiere la forma del molde. Posteriormente el material es conformado con una serie de rodillos que, al mismo tiempo, lo arrastran hacia la parte exterior del sistema. Una vez lograda la forma necesaria y la longitud adecuada, el material se corta y almacena. Por este medio se pueden fabricar perfiles, varillas y barras de diferentes secciones y láminas o placas de varios calibres y longitudes. La colada continua es un proceso muy eficaz y efectivo para la fabricación de varios tipos de materiales de uso comercial. La velocidad es de 25mm/segundo.

COLADA CONTINUA - ESQUEMA



8. ELEMENTOS QUÍMICOS EN LA FUNDICIÓN DEL HIERRO

Existen muchos elementos químicos que dan las características a las aleaciones ferrosas; sin embargo, hay algunos que destacan por sus efectos muy definidos. A continuación se presentan algunos de estos elementos.

	Mejora	Reduce
Azufre	la maquinabilidad si se combina con Manganeso y reduce la ductilidad, la resiliencia, la soldabilidad y la calidad superficial.	
Boro	la templabilidad	
Calcio	la tenacidad, maquinabilidad y desoxida el acero.	
Carbono	la resistencia mecánica, la dureza y la resistencia al desgaste.	la ductilidad, la soldabilidad y la tenacidad.
Cerio	la tenacidad y desoxida los aceros	
Cromo	La tenacidad, la templabilidad, la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión, la resistencia a las altas temperaturas y la carburación.	
Cobalto	la resistencia y la dureza a temperaturas elevadas.	
Cobre	la resistencia a la corrosión atmosférica.	la calidad superficial y las características del trabajo en caliente.
Fósforo	la resistencia, la templabilidad, la resistencia a la corrosión y la maquinabilidad.	la tenacidad y la ductilidad.
Magnesio	la tenacidad y desoxida los aceros.	
Manganeso	la tenacidad, la resistencia mecánica, la resistencia a la abrasión, la maquinabilidad y desoxida el acero.	la fragilidad en caliente y soldabilidad.
Molibdeno	el endurecimiento, la resistencia al desgaste, la tenacidad, la resistencia a alta temperatura, la dureza y la resistencia a la termofluencia.	la fragilidad por temple.
Níquel	la resistencia mecánica, la tenacidad, la resistencia a la corrosión y la templabilidad.	

Niobio	la resistencia mecánica, la tenacidad y afina el grano.	
Plomo	la maquinabilidad.	
Selenio	la maquinabilidad.	
Silicio	la resistencia mecánica, la dureza, la resistencia a la corrosión y la conductividad eléctrica.	la maquinabilidad, la pérdida por histéresis y la conformación en frío.
Tantalio	la resistencia mecánica, la tenacidad y afina el grano.	
Vanadio	la resistencia mecánica, la resistencia a la abrasión, la dureza a temperaturas elevadas e impide el crecimiento del grano.	
Wolframio	la resistencia y la dureza a temperaturas elevadas.	
Zirconio	la tenacidad, la templabilidad, la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión, la resistencia a las altas temperaturas y la carburación.	

9. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS

Ante la gran variedad de aceros que se pueden obtener con los distintos porcentajes de carbono y la adición de elementos aleantes como el cromo, molibdeno, níquel, vanadio etc., resulta necesario clasificarlos mediante diversas nomenclaturas, clasificación que difiere según las diferentes normas.

Clasificación según SAE y AISI.-La Society of Automotive Engineers (SAE) y el American Iron and Steel Institute (AISI), emplean números compuestos de cuatro o cinco dígitos para clasificar los aceros. En el sistema AISI también se indica el proceso de producción con una letra antes del número.

PRIMERA CIFRA:

- (1) Designa a los aceros al carbono.
- (2) Designa a los aceros al níquel.
- (3) Designa a los aceros al cromo-níquel.
- (4) Designa a los aceros al molibdeno.
- (5) Designa a los aceros al cromo.
- (6) Designa a los aceros al cromo-vanadio.
- (7) Designa a los aceros al wolframio.
- (8) Designa a los aceros con triple aleación.
- (9) Designa a los aceros al silicio-magnesio.

SEGUNDA CIFRA:

Este número indica el porcentaje en peso aproximado del elemento predominante de la aleación que ha sido señalado en la primera cifra.

Por ejemplo 25XX, significa que es un acero al carbono con un porcentaje de níquel del 5%.

TERCERA Y CUARTA CIFRA.

Representa el porcentaje de carbono multiplicado por 100.
Ejemplo 2540, el porcentaje en carbono es $40/100 = 0.40\% C$

Ejemplo de una acero SAE1025.

PRIMERA CIFRA 1 Acero al carbono.
SEGUNDA CIFRA 0 No hay ningún elemento predominante en la aleación.
ÚLTIMAS CIFRAS 25 El porcentaje en carbono es de 0.25%.

Cuando se trata de aceros que su porcentaje:

C = 0.22-0.28%
Mn = 0.30-0.60%
S = 0.05% máx.
P = 0.04% máx.

Se puede observar que los porcentajes de Mn, S, y P no pueden influir sustancialmente en las propiedades, por lo que la clasificación de estos aceros se realiza con cuatro cifras.

Para la gama de aceros SAE utiliza cinco cifras, de manera que la cifra segunda y tercera indican el porcentaje del elemento predominante; la cuarta y quinta cifra representan el porcentaje en carbono multiplicado por 100.

Ejemplo SAE 71660.

PRIMERA CIFRA 7 Acero al Wolframio.
SEGUNDA Y TERCERA CIFRA 16 El porcentaje de Wolframio es del 16%.
ÚLTIMAS CIFRAS 25 El porcentaje en carbono es de 0.25%.

Cuando haya que indicar el proceso utilizado para la obtención del acero, se utiliza una letra que precede al número.

Los prefijos utilizados son los siguientes:

A	Acero básico de hogar abierto
B	Acero ácido de Bessemer al carbono
C	Acero básico de convertidor de oxígeno
D	Acero ácido al carbono de hogar abierto
E	Acero de horno eléctrico

A10XXX

A= Proceso de fabricación

10 = Tipo de acero

X = % de la aleación del tipo de acero

X X= % de contenido de carbono en centésimas.

Clasificación según DIN 17006.**Designación simbólica.**

La designación completa consta:

- Designación de la fabricación. Se usan solo letras, que indican la forma de obtención, así como las propiedades que derivan del proceso para su obtención.

Las primeras letras que pueden aparecer son:

	Característica
U	Acero colado no calmado
R	Acero colado calmado
RR	Acero colado especialmente calmado
E	Acero eléctrico

- A continuación pueden aparecer las siguientes letras:

	Característica
Q	Utilizable para conformado en frío
Z	Utilizable para embutición
P	Utilizable para estampación
K	Utilizable para la laminación de perfiles
Ro	Utilizable para la fabricación de tubos soldados
S	Utilizable para en procesos de soldadura
TT	Aceros con indicación de la tenacidad a bajas temperaturas
W	Aceros resistentes al calor
A	Aceros resistentes al envejecimiento

- Designación de la composición. Se utilizan cifras y letras que indican la composición así como la resistencia a la tracción.

Designación de los aceros no aleados.

ACEROS BÁSICOS.-Estos aceros se designan mediante las letras St, seguidas de un número que indica el índice de calidad. Para saber cual es la resistencia garantizada a tracción (N/mm²) hay que multiplicar el índice de calidad por 9.81.

St x Aceros de construcción en general.

StE x Aceros de calidad donde se da importancia al límite de elasticidad.

Esta notación tiene las siguientes excepciones St2, St3, y St4.

ACEROS DE CALIDAD.-Estos se designan mediante la letra C seguida del porcentaje de carbono multiplicado por 100.

MATRICES, MOLDES Y UTILAJES

- C xx Aceros de calidad.
- Ck xx Aceros finos con bajo contenido en fósforo y azufre.
- Cf xx Aceros para temple a la llama y por inducción.
- Cm xx Aceros finos con indicación del contenido máx. y min. de azufre.
- Cq xx Aceros para ser cementados y bonificados utilizables para el recalcado en frío.

Designación de los aceros aleados.

Se dividen en:

- Aceros de baja aleación. Se caracterizan porque la suma de los elementos aleantes no superan el 5% de la masa.

xx Símbolo/s del aleante x

Las dos primeras cifras corresponden al porcentaje de carbono multiplicado por 100.

La última cifra es el número característico de la aleación.

Para determinar el porcentaje de los elementos aleantes se procede con la siguiente expresión:

$$PORCENTAJE = \frac{N^{\circ} \text{ carac.} - \text{de} - \text{la} - \text{aleación}}{\text{multiplicador}}$$

El multiplicador esta tabulado en función del elemento aleante de que se trate.

Multiplicador		
4	10	100
Cromo Cr	Aluminio Al	Carbono C
Cobalto Co	Molibdeno Mo	Fosforo P
Manganeso Mn	Titanio	Azufre S
Niquel Ni	Vanadio V	Nitrogeno N
Silicio Si		
Wolframio W		

- Aceros de alta aleación. En estos la suma de los elementos aleantes superan el 5% de su masa.

X xx Símbolo/s del aleante x

Las dos primeras cifras corresponden al porcentaje de carbono multiplicado por 100.

Las últimas cifras son los porcentajes de las aleaciones multiplicadas por 1.

El que vaya precedido de **X** indica que es de alta aleación; si no va precedido de la **X** indica que es de baja aleación.

- Designación del tratamiento.

Se codifica mediante letras:

U	No tratado
V	bonificado
N	Normalizado
E	Cementado
B _G	Recocido por textura
B _F	Recocido por resistencia
A	Revenido
TM	Tratado termomecánicamente

- Designación del ámbito de garantía. Indica las propiedades del acero que han de ser garantizadas por el fabricante.

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Límite de alargamiento	X			X		X	X		
Ensayo de recalado		X		X	X		X		
Trabajo de resiliencia			X		X	X	X		
Resistencia al calor								X	
Propiedades Elec./Magnéticas									X

- Grupo de Calidad. Se coloca siempre al final y es un guión seguido de los dígitos -1, -2 ó -3.

Dígitos	
-1	Acero Thomas
-2	Trabajo de Resiliencia a 0 °C es de 27 J
-3	Trabajo de Resiliencia a -20 °C es de 27 J

Designación numérica.-La designación numérica consiste en una sucesión de números que por su orden tienen diferentes significados.

- Grupo principal de material:
Se compone de un dígito.

Dígito	
0	Hierro en bruto
1	Acero y Acero moldeado

MATRICES, MOLDES Y UTILLAJES

- Número de Clase:

Se compone de cuatro dígitos, los dos primeros representan la Clase y los dos últimos representan la composición química y las propiedades mecánicas.

00	Aceros básicos
01	Aceros de construcción en general
02	
03	Aceros de calidad no aleados
.	
07	
08	
09	Aceros de calidad aleados
Aceros finos no aleados	
11	Aceros de construcción
12	
15	Aceros de herramientas
.	
18	
Aceros finos aleados	
20	Aceros de herramientas
.	
28	
32	Aceros rápidos
33	
34	Aceros resistentes al desgaste
40	Aceros inoxidable
.	
45	
47	
48	Aceros resistentes a altas temperaturas
50	Aceros de construcción
.	
84	
85	Aceros de nitruración
88	Aleaciones duras

- Números anexos.

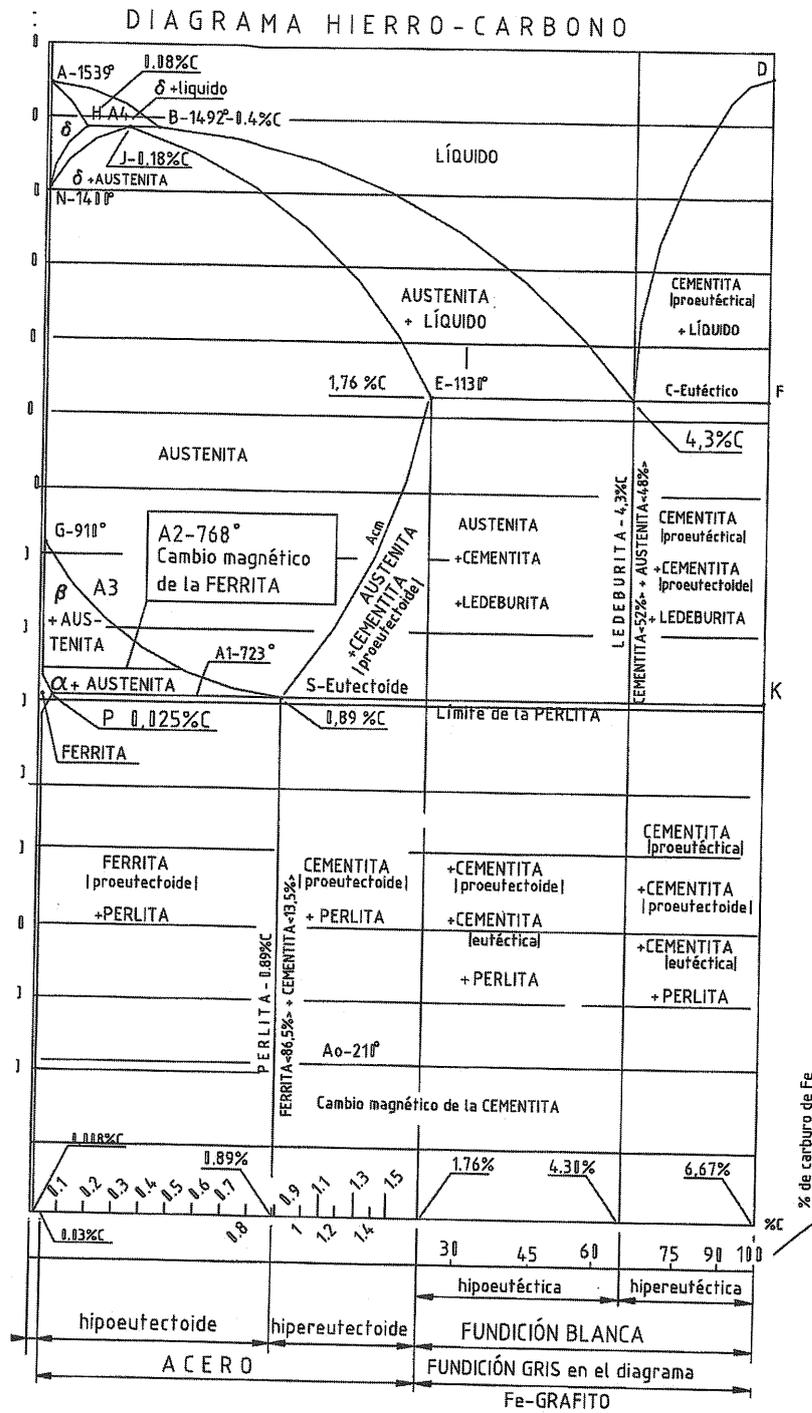
Son dos dígitos que indican procedimientos especiales de obtención y estados de tratamientos.

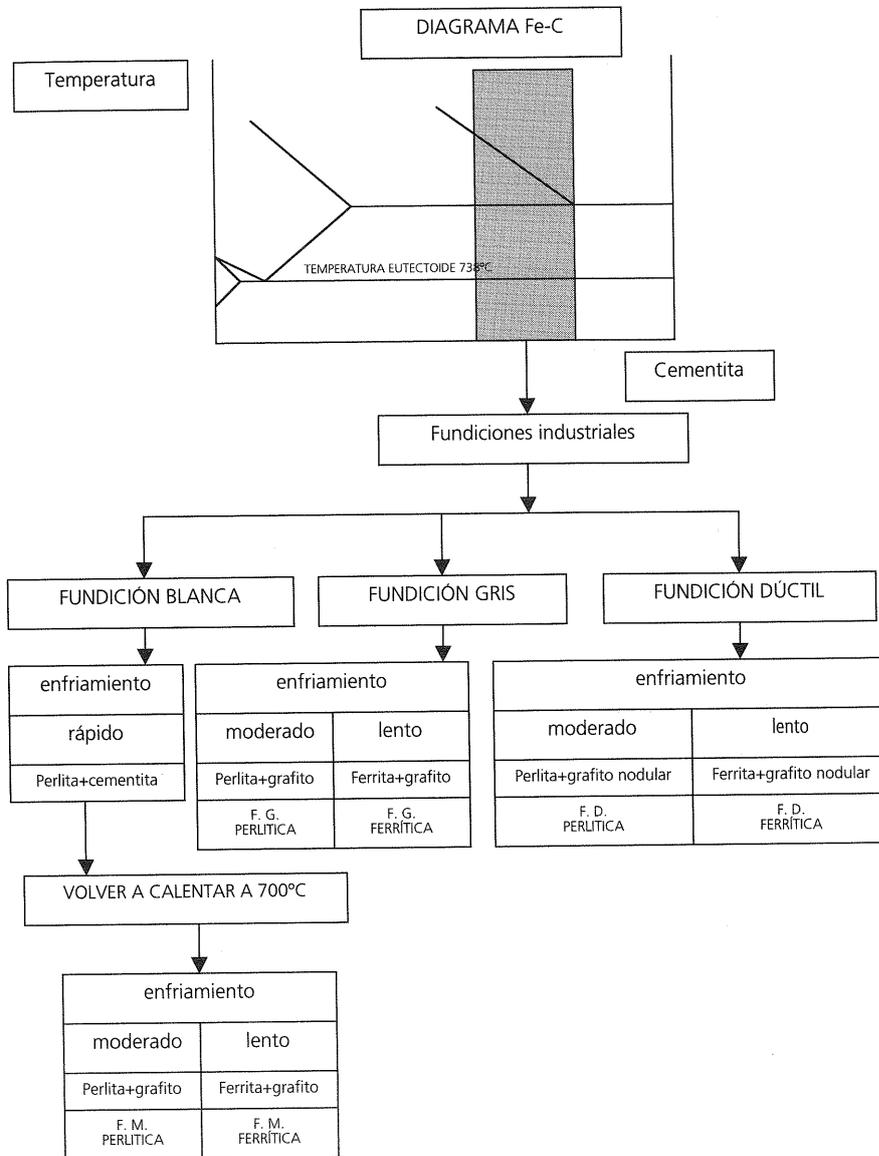
10. ALEACIONES CONFORMADAS POR MOLDEO

Aleaciones de Fe-C.- Los **aceros** y las **fundiciones** son aleaciones de Fe-C que permiten conformarse por moldeo, especialmente las segundas, que a su vez, pueden alearse con otros metales como el cromo, molibdeno, cobre, níquel...

Hay **aceros** con características especiales para su conformación por moldeo, pero son las **fundiciones** las que mejores características presentan para dicha conformación.

FUNDICIONES	
Blancas	
Grisas	Ferríticas
	Perlíticas
Dúctil	Ferríticas
	Perlíticas
Maleables	Maleable ferrítica.





11. FUNDICIONES

Las fundiciones son aleaciones de hierro carbono, que, como su nombre sugiere, pretenden que fundan en la forma deseada, para realizar conformados por moldeo en lugar de mecanizados. Las fundiciones contienen del 2 al 4% de carbono y un 3 % de Silicio; pueden contener otros aleantes, lo cual les conferirá diversas propiedades como aumen-

tar la resistencia al desgaste, a la corrosión y a la abrasión. Las fundiciones poseen excelentes propiedades como la colabilidad, pequeñas contracciones durante la solidificación, así como la no formación de películas indeseables en la superficie cuando son vertidas, lo que las hace ideales para el moldeo. Poseen un amplio rango de resistencia y de dureza y en la mayoría de los casos, son fácilmente mecanizables. El mayor de los inconvenientes es su baja resistencia al impacto y su poca ductilidad que hace que se limite su uso para determinadas aplicaciones.

Fundiciones Blancas.-La fundición blanca se forma cuando la mayor parte del carbono se convierte en cementita (CFe_3) en lugar de grafito al solidificar. Su microestructura se compone de grandes cantidades de cementita en una matriz perlítica. Se las denomina blancas porque, cuando se rompen, la fractura tiene un aspecto brillante o blanco. Para que se pueda retener el carbono en forma de cementita la aleación deberá tener bajo contenido en carbono y silicio y alta velocidad de solidificación. Tienen poco interés industrial. Se emplean para la obtención de fundiciones maleables.

CARACTERÍSTICAS:

Gran dureza (entre 300 y 350 HB), muy frágiles y poco tenaces.

Densidad 7.7 Kgr/dm³

Fuerte contracción al solidificar: 1.2 a 2% en longitud y 4.4% en volumen.

Difícil mecanización.

Baja colabilidad.

Fundiciones Grises.-La mayoría del carbono está en forma de grafito laminar y el Fe en forma de ferrita. El contenido de carbono generalmente es del 1.7% aunque puede variar entre el 2 y 4% y de 1 a 3% de silicio. Como el silicio, es un estabilizante del grafito se utiliza un elevado contenido de éste para favorecer la formación del grafito. Otro factor que determina la formación del grafito es la velocidad de enfriamiento, de tal manera que velocidades moderadas y bajas de enfriamiento favorecen la formación del grafito. Velocidades moderadas de enfriamiento favorecen la formación de una matriz perlítica, velocidades bajas favorecen la formación de una matriz ferrítica. Para conseguir una matriz completamente ferrítica es necesario un recocido.

Tiene gran interés industrial en la fabricación de piezas sometidas a vibraciones, esfuerzos de compresión y a desgaste. Es el material preferido para colar, siempre que las propiedades mecánicas lo permitan. La fundición gris es barata, de fácil colabilidad, tiene un bajo coeficiente de contracción y mínima tendencia a la formación de rechupes; además es de fácil mecanización. Se obtiene realizando una refusión del hierro en el horno – alto, reafinando la estructura. La fundición gris colada en coquilla posee una gran exactitud de medidas y se le suele dar sólo un recocido después de la colada.

CARACTERÍSTICAS:

- Tienen propiedades autolubricantes.
- Menor dureza que las fundiciones blancas.
- Densidad 7.25 Kgr/dm³
- Su contracción volumétrica está en torno al 2.1% y en longitud entre 0.7 y 1.3%
- Fácil mecanización.
- Gran resistencia a la corrosión.
- Gran capacidad de amortiguación y no es sensible a las entalladuras.
- Buena resistencia a la compresión.
- Alta colabilidad.

NOTA: Para mejorar la resistencia a la tracción de las fundiciones se **inocula**, en estado líquido, ferrosilicio o siliciuro por sus propiedades grafitosas y desoxidantes.

Fundición Dúctil.-La fundición dúctil, también llamada de grafito esferoidal o nodular, combina las ventajas de la fundición gris y las de los aceros. Posee buena fluidez. Las grandes propiedades son debidas a los nódulos esféricos de grafito en sus estructuras internas. Su composición en carbono y silicio es similar a la fundición gris. Esta estructura está constituida por nódulos de grafito esférico cubiertos por ferrita embebidos por la perlita.

CARACTERÍSTICAS:

- Tienen buena fluidez y moldeabilidad.
- Buena resistencia al desgaste.
- Fácil mecanización.
- Gran resistencia.
- Buena tenacidad.
- Buena ductilidad.
- Templabilidad.
- Es soldable con electrodos Níquel-Hierro.
- Tiene menor amortiguamiento que la fundición gris.
- Supera al acero en resistencia a la flexión alternativa con entalla.
- Puede ser endurecida superficialmente por llama o por inducción.

Dentro de las fundiciones dúctiles, aleadas, destacan las austeníticas donde el grafito está en forma de láminas o nódulos. Estas aleaciones no son magnetizables y son resistentes a la corrosión y al calor, con buenas propiedades de deslizamiento y se mecanizan mejor que el acero austenítico.

Fundición maleable.-La fundición maleable se obtiene de la fundición blanca de buena colabilidad y se genera mediante un proceso de maleabilización (recocido después de la colada). Para producir una estructura de hierro maleable, la fundición blanca se calienta en un horno de fundición para disociar la cementita de la fundición blanca en grafito y hierro. El tratamiento térmico al que están sometidos las fundiciones blancas para producir fundición maleable, consta de dos etapas:

- Grafitización: Se calientan a una temperatura superior de la eutectoide (940°C) y se mantiene entre 3 y 20 horas dependiendo la composición, estructura y tamaño de la fundición. En esta etapa la cementita se transforma en aglomerados de carbono, grafito y austenita.
- Enfriamiento: En esta etapa la austenita se puede transformar en ferrita, perlita o martensita.

CARACTERÍSTICAS:

Es muy tenaz.

Es fácilmente mecanizable.

Algo maleable.

Sus propiedades están comprendidas entre la fundición y el hierro colado.

Dentro de las fundiciones maleables se destacan la fundición maleable blanca y la fundición maleable negra.

- Fundición maleable blanca. Se trata de una fundición maleable recocida descarburizada. Las piezas fundidas se ponen en contacto con una atmósfera rica en oxígeno y se recuecen a 1000°C. La cementita se descompone en hierro y carbono, oxidándose en los bordes el carbono en forma de CO y CO₂. Al descarburarse en las capas exteriores la superficie de rotura tiene un aspecto blanco. La fundición maleable blanca es adecuada en piezas pequeñas, en grandes series como llaves, ruedas y cadenas transportadoras. Estas fundiciones pueden ser cementadas.
- Fundición maleable negra. Se trata de una fundición maleable recocida no descarburada. Las piezas fundidas se envuelven con productos neutros como arena o gases protectores. Cuando se procede a un recocido, la cementita se descompone en hierro y grafito en forma de escamas. La superficie de rotura tiene un aspecto negro.

Esta fundición es adecuada para piezas de espesores gruesos y desiguales hasta 40mm como tambores de freno, carcasas de transmisiones, etc. No acepta ningún tipo de soldadura ni forja y no resiste altas temperaturas.

Tratamientos térmicos de las fundiciones

Recocido.

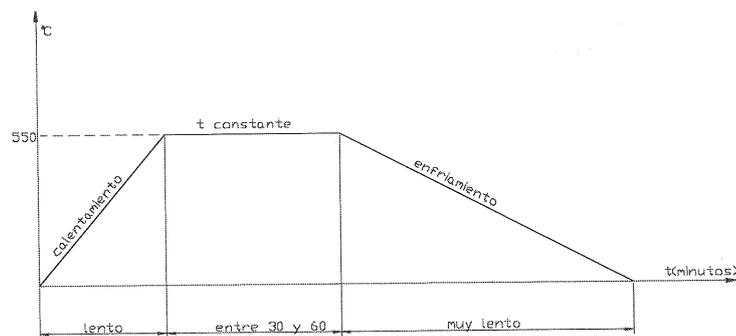
Temple.

Revenido.

Recocido.- Consiste en **ablandar** el material para variar las características de la fundición.

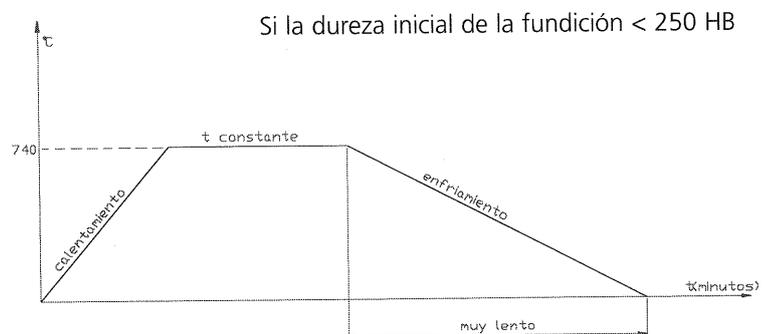
Recocido de estabilización

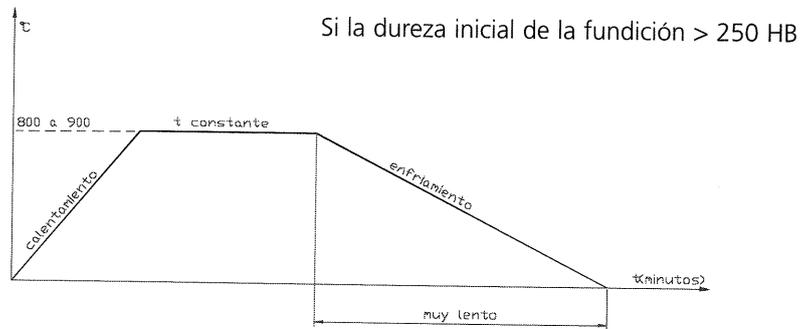
Tiene por objeto eliminar las tensiones producidas por las variaciones térmicas a las que se somete al material.



Recocido de ablandamiento

Tiene por objeto ablandar el material de las fundiciones, normalmente grises o atruchadas.

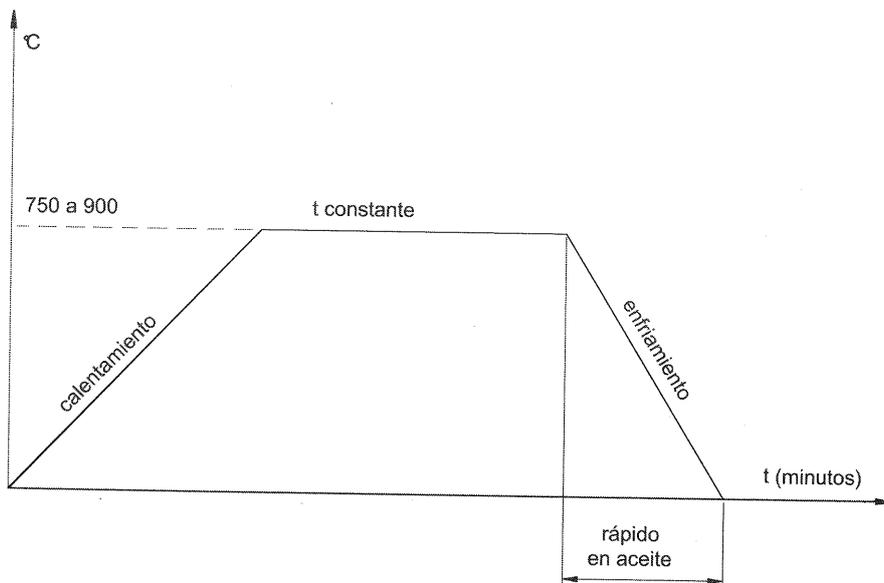




Recocido de maleabilización.- Se emplea para hacer maleables las fundiciones blancas.

Temple.- Consiste en endurecer el material, calentándolo hasta una temperatura entre 750 y 900°C hasta conseguir la **austenización** total o parcial, y finalmente enfriarlo para que la **austenita** se transforme en **martensita**.

El enfriamiento se suele hacer en aceite, en lugar de en agua, para evitar roturas o deformaciones.



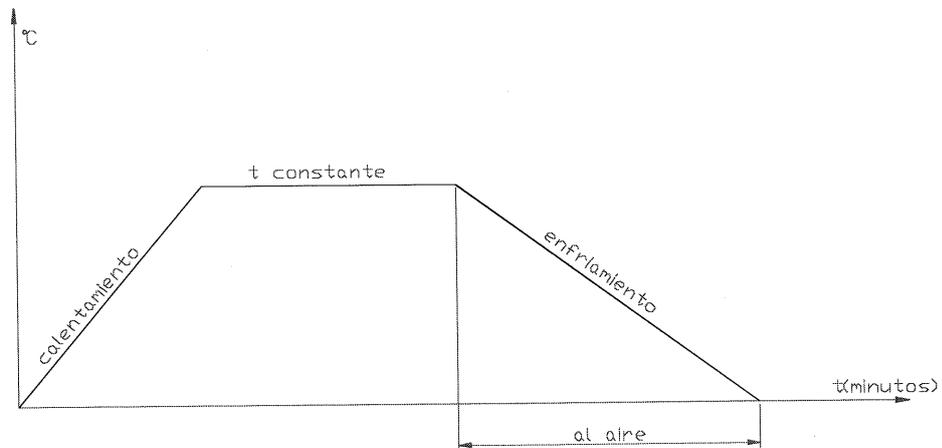
Temple superficial.- Consiste en endurecer la superficie de la pieza para aumentar su resistencia al desgaste, manteniendo las características iniciales del resto del material.

NOTA: Los resultados que se obtienen con el **temple** y el **recocido** de las fundiciones son inferiores a los obtenidos en los aceros.

Revenido.- Se trata de un tratamiento térmico que se aplica a continuación del temple y que sirve como complemento de éste.

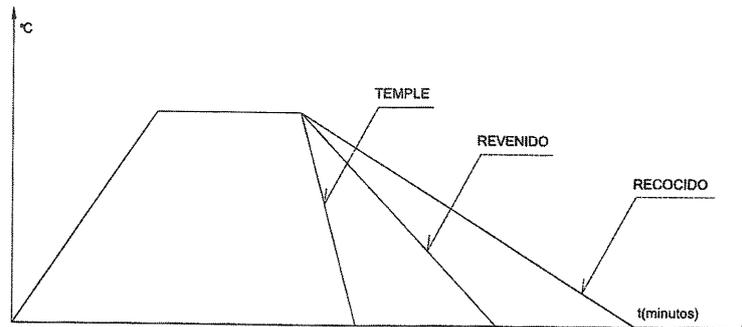
El revenido tiene por objeto aumentar la tenacidad (resistencia al choque), debido a la disminución de la dureza, así como mejorar las características del material.

Consiste en calentar el material hasta una temperatura inferior a la crítica, y posteriormente, someterlo a un enfriamiento al aire.



GRÁFICA CONJUNTA

Velocidad de enfriamiento en el recocido, temple y revenido



12. ACEROS PARA MOLDEO

Estos aceros son adecuados para la realización de piezas fundidas de alta resistencia, elasticidad y tenacidad. Las piezas realizadas por moldeo con estos aceros poseen propiedades más uniformes que si se hubieran realizado mediante procedimientos mecánicos. Son de difícil moldeo debido a las altas temperaturas que se requieren para fundirlos, alrededor de 1650°C , y se ha de contar con contracciones del material durante el enfriamiento, del 2 a 3%, la formación de rechupes, tensiones de colada y grietas térmicas. Frente a las fundiciones grises, generan peores calidades superficiales y pobres deslizamientos. Debido a las altas temperaturas necesarias para fundir estas aleaciones, se necesitan moldes especiales para que el acero no reaccione con el oxígeno. Se pueden soldar con facilidad, son forjables y templables por cementación. Aunque es soldable hay que tener en cuenta que la soldadura produce una alteración de la microestructura, por lo que es necesario un tratamiento térmico para restablecer las propiedades mecánicas del acero colado. El espesor mínimo que se puede obtener es de 3mm.

Acero moldeado de baja aleación. (Con contenidos máximos de 2%Mn, 1,5%Si, 2%Cr). Son usados cuando se quiere aumentar la templabilidad, la resistencia al impacto, la resistencia al desgaste y las propiedades deslizantes.

Acero moldeado duro al Manganeso. (Con contenido mínimo de Mn de 12% y de 1%C). No es magnético y especialmente resistente al desgaste por deslizamiento.

Acero moldeado al Cromo (Con contenido de Cr de 13 a 30%). Son especialmente resistentes a los ácidos, a la oxidación y al calor, por lo que son utilizados en piezas de hornos y recipientes químicos.

Si se adiciona Cr y W, son resistentes al corte por soplete, por lo que son utilizados en la construcción de cajas de caudales.

Adicionando Ni se hacen resistentes al ataque del agua del mar.

13. PROCESO INDUSTRIAL INTEGRAL

A modo de ejemplo, describiremos un proceso denominado proceso industrial integral que, partiendo de chatarra de acero, se obtiene en el final del proceso un producto totalmente elaborado.

Este tipo de actividad tiene dividido el proceso en las siguientes zonas:

- Zona de fusión
- Zona de hornos de afino
- Zona de moldeo
- Zona de desmoldeo
- Zona de forja
- Zona de mecanizado
- Control de calidad y embalado

ZONA DE FUSIÓN

En esta zona se utilizan hornos de arco eléctrico cuya misión es la de fundir toda la chatarra utilizada como materia prima.

ZONA DE HORNOS DE AFINO

En estos hornos se añaden los aleantes y el acero procedente de la chatarra para conseguir el acero que se necesita. Tras tomar múltiples muestras de la colada y analizarlas en el laboratorio, se procede a realizar las correcciones oportunas hasta conseguir el acero que se había fijado. Una vez conseguido el acero, se vacía desde una cuchara de llenado de lingoteras si su destino posterior es la forja o el laminado o se llena en moldes individuales si se trata de piezas especiales.

ZONA DE MOLDEO

Esta zona suele disponer de varios fosos donde se procede al vertido en las lingoteras instaladas sobre vagonetas preparadas para la realización del llenado. En otra zona se procede al moldeo manual donde se realiza la confección de los moldes de arena y machos oportunos; una vez confeccionado el molde se ha de realizar la colada.

ZONA DE DESMOLDEO

Una vez solidificada la aleación se procede al desmoldeo, escarpado, limpiado superficial y reparación de defectos de las piezas obtenidas.

ZONA DE FORJA

Si las piezas necesitan de la forja, el producto entra en esta zona donde se dispone de prensas y de hornos calentados por quemadores diesel para conseguir en las piezas la temperatura de forja.

MATRICES, MOLDES Y UTILLAJES

ZONA DE MECANIZADO

A la zona de mecanizado llegan las piezas realizadas en la zona de moldeo y las piezas que han sido forjadas. En esta zona se dispone de múltiples Máquinas-Herramientas (Tornos, Fresadoras, Mandrinadoras, Rectificadoras, Cortadoras, etc.) y gran variedad de métodos de mecanización.

Los productos finales pueden ser:

- Cigüeñales.
- Bielas para motores.
- Ejes de rotores.
- Piezas para la industria naval.
- Rodillos de laminado.
- Rodillos de deslizamiento para molinos de cementeras.

CONTROL DE CALIDAD Y EMBALADO

La última parte de este proceso industrial es un estricto control de calidad de los productos finales.

Para ello se realizan diversos ensayos destructivos en laboratorio sobre probetas obtenidas de la colada, así como ensayos no destructivos realizados sobre las piezas acabadas para determinar si existen defectos en su interior, todo en base a las normas exigidas por el cliente.

