

TEMA 3

HORNOS DE FUSIÓN

Clasificación general de los hornos de fusión.

El objeto de los hornos de fundición es el de proporcionar al metal el calor necesario para fundirlo y recalentarlo hasta el punto de que adquiera la fluidez para adoptar la forma del molde.

Los hornos se pueden dividir en tres clases:

- 1) Hornos de combustible.
- 2) Convertidores.
- 3) Hornos eléctricos.

Los hornos de combustible se subdividen en dos categorías:

- a) Hornos en los cuales el metal y el combustible están separados.
- b) Hornos en los cuales el metal y el combustible están en contacto (cubilotes).

Los convertidores utilizan como fuente de calor la combustión de alguno de los elementos de la aleación.

Los hornos eléctricos, a su vez, se subdividen en tres categorías:

- a) Hornos eléctricos de arco.
- b) Hornos eléctricos de resistencia.
- c) Hornos eléctricos de inducción.

Hornos de crisol.

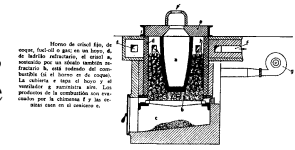
Es el tipo más sencillo de horno, y se encuentra en fundiciones que trabajan aleaciones de metal no férreos. En las fundiciones que trabajan con hierro fundido puede tener empleo para coladas pequeñas y urgentes.

El elemento más importante es el crisol, compuesto de grafito, con la adición eventual de carborundo, mezclado con aglutinantes adecuados, por ejemplo, arcilla o alquitrán.

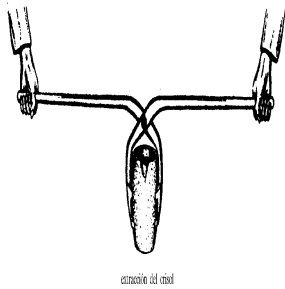
Los crisoles se clasifican por *puntos*, entendiéndose por punto el contenido en peso de 1 kg de bronce líquido (es decir, un crisol de 100 puntos puede contener 100 kg de bronce fundido). En el comercio se encuentran crisoles de muy pocos puntos e incluso de fracciones de punto para metales preciosos, y crisoles de 30 - 50 - 80 - 100 - 120 - 50 - 175 - 200 - 250 - 300 - 400 puntos

para aleaciones no férreas.

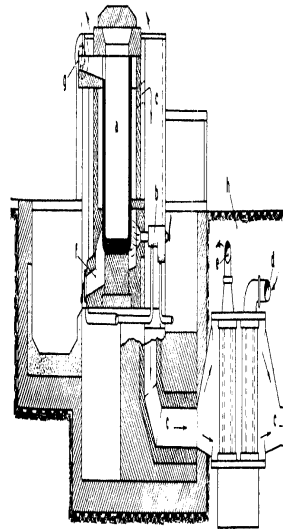
Para la fusión de metales de bajo punto de fusión, como el zinc, aluminio, estaño, plomo, etc., sirven también los crisoles metálicos de fundición especial o de acero.



El horno de crisol inclinable de la figura, calentado con fueloil, dispone, de un recuperador para calentar el aire de combustión.



extracción del crisol



Horno de un crisol inclinable de fueloil con precalentamiento del aire. a es el crisol; b el quemador de petróleo alimentado por la conducción de aire b₁, que pasa a una cámara de precalentamiento cargada de los productos de combustión que recorren la conducción c; f es un canal de limpieza y a un par de pesos sobre los cuales puede hacerse girar el horno, por ejemplo, hidráulicamente, en el sentido de las flechas, hacia arriba para la colada.



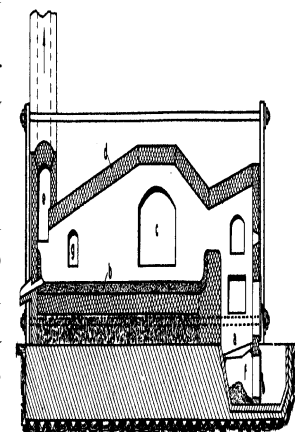
extracción del crisol

Hornos de reverbero.

Los hornos de reverbero están constituidos por un hogar, una plaza o laboratorio con solera y bóveda, y una chimenea. Desde el principio de su aplicación (segunda mitad del siglo pasado), han sido objeto de grandes modificaciones, pero éstas no han afectado a sus principios fundamentales de funcionamiento. El tipo más sencillo de construcción está representado en la siguiente figura.

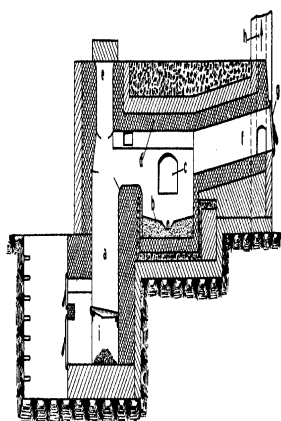
En la plaza se pone la carga metálica que se calienta por convección de la llama, que la roza, y por la irradiación de la bóveda y las paredes.

Los hornos de reverbero tienen un amplio campo de aplicación en las fundiciones de bronce, aluminio y en las de hierro fundido maleable. Se construyen con una capacidad hasta de 40 toneladas. Su funcionamiento, a diferencia de los cubilotes, es intermitente. La carga y la colada se efectúan con la ayuda de grúas. Las capacidades más corrientes son de 5 a 25 t.



Horno de reverbero para fundición a es el hogar de pantalla (baldía de llama larga) o de pasillo b es la solera, de masa refractaria apisonada; c es la puerta de carga; d, la bóveda, de refractario (sólido); e es el paso de los gases quemados a la chimenea; f, el reversero; g, la puerta de trabajo. La pared que separa la solera del hogar se llama altar.

Hornos de fusión



Horno de reverbero para aluminio. a es el hogar de parrilla (flujos de llama larga); b es la solera, de masa refractaria espesada, inclinada hacia la izquierda de coblar; c es la puerta de carga; d, la bóveda, también de refractario; e es el boquete de carga de combustible; f, el paso de los gases a la chimenea; g es un portillo de inspección; h, el ascensor. Si se emplea coque, el hogar puede funcionar como un puigues; en este caso, el aire ascensional es suministrado por boquillas dispuestas encima del altar, que es la puerta que separa el hogar de la solera.

También en las industrias que trabajan con aleaciones ligeras se emplean los hornos de reverbero, ya sean fijos o basculantes, con recuperación del calor o sin ella. Entonces las capacidades pueden ser menores, entre 45 y 2.000 kg. Están siendo muy empleados en la fundición inyectada,

Las pérdidas de hierro en la refusión: 5 a 7% del peso de la carga.

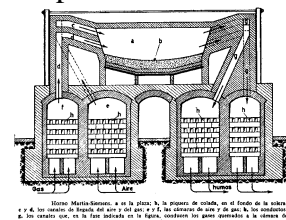
Las pérdidas de los distintos componentes del hierro durante la refusión en el horno de reverbero son:

Silicio: del 19 al 35%.	Valor admisible = 25%
Manganeso: del 20 al 40%.	Valor medio admisible = 30%
Carbono: del 8 al 20%.	Valor medio admisible = 14%

El contenido de azufre de la carga se aumenta algo, según sea la proporción de azufre en los gases del hogar y la forma de realizar la fusión.

El *horno Martin Siemens* es un ejemplo de horno de reverbero. La figura siguiente da una idea de conjunto de un horno de este tipo. Para alcanzar la temperatura necesaria para la fusión del acero (1700 C) se concede la máxima importancia al precalentamiento del gas y del aire, que puede alcanzar de 1000 a 1100EC. Cuando se emplea petróleo, metano o gas de coque, es suficiente precalentar el aire y no hacen falta más que un par de cámaras deprecalentamiento.

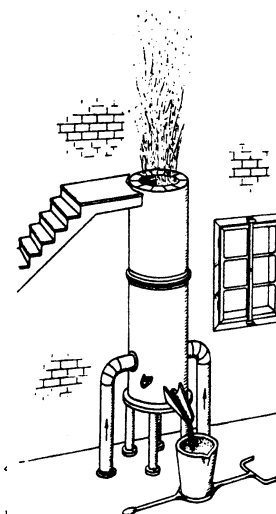
En las grandes fundiciones de acero o en las de hierro fundido maleable, se emplea este horno con una capacidad entre 15 y 20 toneladas, mientras que en las fundiciones que producen lingotes de acero alcanzan capacidades de 250 a 300 toneladas.



Hornos oscilantes y gíatorios.

Esta clase de hornos nacieron de la necesidad de aumentar la transmisión del calor de las paredes del laboratorio, o cámara, a la masa de fundición, es decir, de aumentar el rendimiento térmico. Se realiza del modo siguiente: la carga sólida es introducida después de haber calentado el laboratorio a 700EC; si se emplea el procedimiento *duplex*, se introduce el metal líquido; en el primer caso se produce una oscilación bastante limitada (unos 45E), que somete toda la masa metálica a la acción de los gases calientes. Cuando la masa está fundida, se aumenta la oscilación (o se hace girar el laboratorio) de modo que todo el recubrimiento entre en contacto, alternativamente, con la llama y con el metal: la máxima oscilación o la rotación se aplican cuando el metal está cubierto de escoria; ello asegura una mezcla eficaz y, a la vez, la máxima homogeneidad del baño. La figura siguiente muestra un horno de este tipo.

Cubilotes.

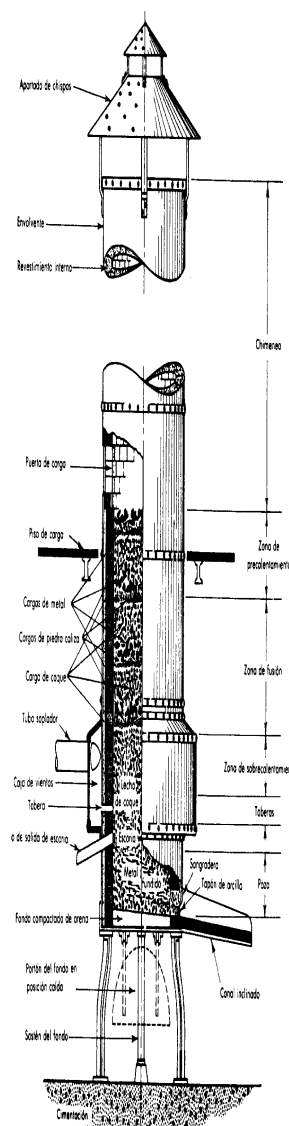


Cubilote Wilkinson. Los primeros cubilotes de este tipo eran de muro, sin envoltura exterior. Las toberas eran dos; no existía chimenea y la carga era difícil y fatigosa.

Es el aparato de fusión más antiguo empleado para la refusión del hierro colado, ya que se emplea desde hace siglos, si bien la experiencia y el progreso han sugerido modificaciones que han cambiado totalmente el aspecto de los cubilotes modernos respecto a los antiguos. Sin embargo, los principios en que se basa su funcionamiento son los mismos.

El cubilote es un horno que funciona con combustible sólido y en el que la carga metálica, el combustible y el carburante están en íntimo contacto entre sí. Esto permite un intercambio directo y activo y, por lo tanto, un rendimiento elevado. Sin embargo, y por causa de este mismo contacto entre el metal, las cenizas y el oxígeno, el hierro colado producido no puede ser rigurosamente controlado desde el punto de vista metalúrgico.

El cubilote está formado por las partes indicadas en la siguiente figura:



El tamaño y las proporciones de los cubilotes son bastante variables porque los técnicos aplican a los mismos los resultados de sus experiencias personales. Daremos, sin embargo, algunos valores indicativos:

a) *Diámetro interior*. Se puede aceptar que, en la práctica, la producción de los cubilotes medianos y grandes es de 75 kg por hora y decímetro cuadrado de sección. Por lo tanto, si P es la producción en Kilogramos/hora, S la sección interior del cubilotes en decímetros cuadrados y d_i el diámetro interior en decímetros, tendremos:

$$P \approx 75 \cdot S \approx 75 \frac{\pi}{4} d_i^2 \quad [kg/h]$$

y realizando la operación en números redondos:

$$P \approx 60 \cdot d_i^2 \quad [kg/h]$$

de lo cual

$$d_i \approx \sqrt{\frac{P}{60}} \quad [dm]$$

La producción de los cubilotes pequeños es algo inferior (de 15 a 20% menos).

b) *Espesor del revestimiento o diámetro exterior*. El espesor de los refractarios varía desde 15 cm, para los cubilotes pequeños, hasta 30 cm y más, para los mayores, pero existen cubilotes modernos cuyo revestimiento refractario se ha reducido hasta 6 u 8 cm, y cuya envoltura de plancha se enfría por el exterior, en la zona más caliente, por medio de un chorro de agua.

Si a es el espesor del refractario y b el de la capa intermedia en decímetros, el diámetro exterior del cubilote resultará:

$$d_e \approx 2(a+b) \approx d_i \quad [dm]$$

El perfil interior del horno es generalmente cilíndrico. A menudo se sustituye el revestimiento de la boca de carga por coquillas huecas de hierro colado para resistir la acción mecánica de la introducción de la carga.

a) La *altura del cubilote* es la distancia H entre la solera y la boca de carga, En algunos está establecida en proporción al diámetro interior; en tal caso:

$$H \approx 5d_i \quad [dm]$$

de los hornos más pequeños a los más grandes.

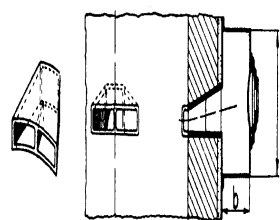
Otros establecen la altura H en proporción al porcentaje de coque de la carga.

Normalmente, el cubilote debe contener de 4 a 6 cargas de material (coque+ fundente + metal): una altura demasiado reducida provoca pérdidas de calor, por cuanto los gases calientes no encuentran el modo de ceder la mayor parte de su calor sensible a la carga situada en la parte superior. Una altura excesiva puede provocar el desmenuzamiento del coque y, al contacto de la carga de la parte superior, la conversión del anhídrido carbónico (CO_2) en óxido de carbono (CO), que se marchará por la chimenea; es decir, que en vez de recuperar calor sensible, se desperdiciará combustible.

d) *Número y sección de las toberas.* Actualmente se prefiere colocar las toberas en un mismo plano, excepto en los grandes cubilotes, en los cuales se colocan en dos capas vecinas, alternadas verticalmente.

Su número varía de 2, para los cubilotes más pequeños, a 4, 6, 8 y hasta 12, para los grandes cubilotes.

Su forma puede ser redonda, cuadrada o rectangular.

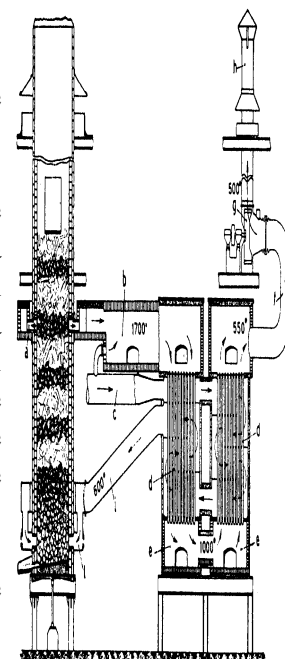


Tobera rectangular normal para cubilote.

La sección total s , en centímetros cuadrados, de las toberas se establece en proporción a la sección interior S , en centímetros cuadrados, del cubilote. En tal caso: $s \approx \frac{S}{5...6} \quad [cm^2]$

para los hornos mayores, y $s \approx \frac{S}{4...5} \quad [cm^2]$ para los hornos más pequeños.

Otros, más recientemente, considerando que la cantidad de aire debe ser proporcional a



Cubilote de una presentación: los gases calientes, ricos en CO , son quemados en la cámara de combustión de él aire, al atravesar las baterías de tubos, se precalienta y llega a la temperatura de $600^\circ C$.

la relación $\frac{p}{P}$ entre el peso p en kilogramos del coque de carga y el peso P en kilogramos de la carga metálica, fijan la sección total s de las toberas en:

$$s' \frac{pS}{P} \quad [cm^2]$$

Es conveniente comprobar que la sección s resulta por lo menos el doble de la sección de la boca expelente del ventilador.

Las toberas se colocan ligeramente inclinadas hacia el interior del cubilote para evitar que las invadan las escorias o el metal líquido.

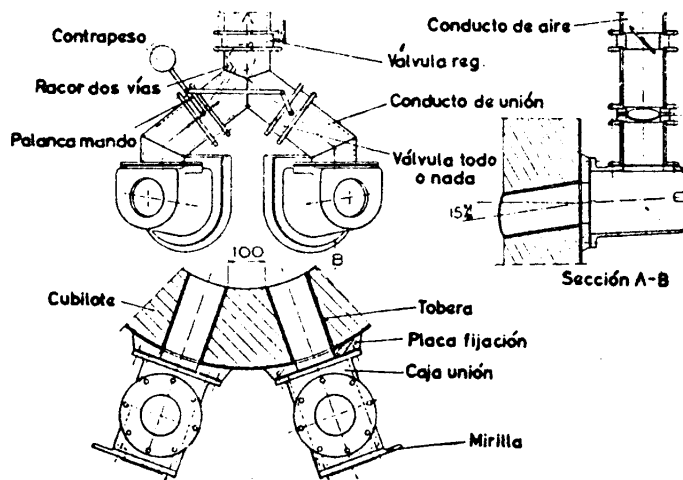
e) *Tuberías y cámara de viento.* Es conveniente que la tubería del aire sea recta, de sección redonda s_a doble de la sección expelente del fuelle, y que entre tangencialmente en la cámara de aire. Esta última debe tener una sección:

$$S_f' (2.5 \dots 3) s_a \quad [cm^2]$$

y una altura:

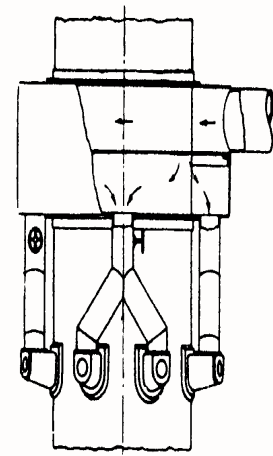
$$a' 2b$$

Siendo $S_f = ab$ y $b' \frac{a}{2}$, se tendrá $S_f' \frac{a^2}{2}$, y $a = 2S_f'$



Tobera doble para cubilote, con válvulas desviadoras.

Las tuberías, cámara de viento, portillos, mirillas, etc., no deben permitir pérdidas de aire.



Cámara de viento con aire equilibrado y toberas dobles

f) La altura del crisol entre la solera y la primera fila de toberas, cuando la salida del hierro colado es intermitente, resulta igual a:

$$h' (0.6 \dots 0.8) d_i \quad [dm]$$

Si se quiere producir hierro colado muy resistente, con un bajo contenido de carbono, conviene reducir sensiblemente la altura h y, en tal caso, para tener una reserva de hierro colado hay que aplicar un antecrisol. La tendencia moderna es de reducir al mínimo posible la altura h .

Hornos eléctricos de fusión por arco.

En el estudio de los hornos eléctricos de fusión por arco voltaico directo sólo vamos a considerar los que actualmente, y casi en exclusiva, trabajan: los trifásicos.

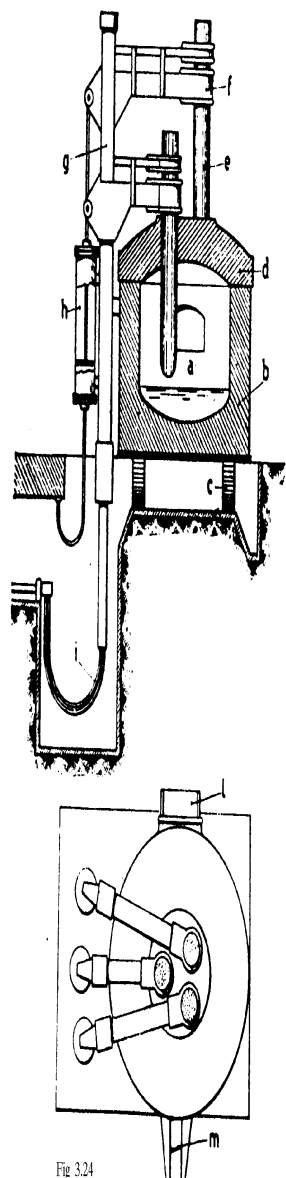


Fig. 3.24

Se componen de: crisol, bóveda, electrodos, brazos portaelectrodos e instalación electro-mecánica o electrohidráulica, para levantar y bajar los brazos, transformador de corriente y regulador automático, para mantener una intensidad de corriente determinada. Vamos a estudiar cada elemento separadamente.

a) *Crisol*.- Puede variar su capacidad desde unos pocos centenares de kg hasta más de 100 toneladas. En los Talleres de Fudición se instalan hornos de acero con crisoles relativamente pequeños: 1 a 10 toneladas.

El crisol, también denominado *cuba*, está constituido por un recipiente de chapa soldada o remachada, con dos aberturas: una, para la carga y otra para la colada (*piquera*) de altura y dimensiones variables. Es generalmente cilíndrico, y su volumen debe permitir la carga de una sola vez, teniendo en cuenta las densidades de los distintos tipos de chatarra. El diámetro debe ser grande para que la escoria tenga superficie de reacción y para que el caldo sea poco profundo y no se enfríe en la parte inferior. Se adoptan los siguientes valores:

Capacidad [t]	Diámetro [mm]
0,5	1000-1400
1	1500
3	2000
5	2500
10	3000
25	4000
50	5000
60	6000

Figura 3.1

En la figura 3.1 *a* es el crisol y *b* el aislamiento refractario.

b) *Bóveda*. Esta construida con material refractario, normalmente sílice.

Al preparar la bóveda se dejan tres aberturas para el paso de los electrodos.

La bóveda interesa que esté alejada del arco. La duración de la bóveda en hornos con revestimiento básico es variable con la distancia al arco.

Para evitar que circule aire a través del horno, los anillos, a través de los cuales los electrodos atraviesan la bóveda, deben llevar dispositivos denominados *apagallamas*, con lo cual, además de oxidarse menos el baño, disminuye la combustión y el adelgazamiento de los

electrodos en esta zona.

c) *Electrodos*. En los hornos de arco, la energía eléctrica es conducida al laboratorio del horno, en el cual se realiza la fusión, mediante los electrodos (figura 3.1 e). Éstos están montados sobre soportes portacorriente (portaelectrodos) y convenientemente refrigerados por un anillo de agua.

Se fabrican con antracita cocida en hornos especiales, con coque pobre en cenizas o con grafito. Cuando se emplean en su fabricación los dos primeros productos se llaman electrodos de carbón amorfo. En otro caso reciben el nombre de electrodos de grafito natural.

Los electrodos de carbón amorfo no están muy en uso; su empleo se reserva, en particular, a los hornos que preparan ferroaleaciones (ferrosilicio, ferromanganeso, ferrocromo, etc.).

Los electrodos de grafito se fabrican según dos sistemas: uno utiliza grafito natural de Madagascar, Ceilán o italiano, y el otro produce un elemento de coque de petróleo que después es grafitizado en hornos eléctricos especiales donde la resistencia está representada por los mismos electrodos. En el interior de la masa se alcanzan temperaturas cercanas a los 3000EC. Este tipo de electrodo es conocido normalmente por electrodo de grafito Acheson, nombre de su inventor.

La disposición de los electrodos es un triángulo equilátero, con lados ajustados al diámetro del crisol con el fin de conseguir la mejor distribución posible de la influencia del arco sobre la carga a fundir.

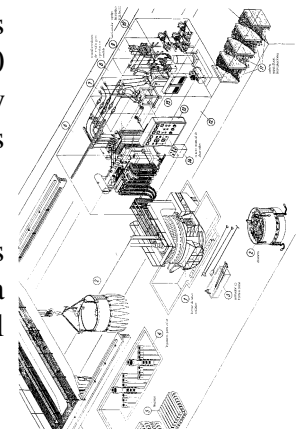
d) *Brazos portaelectrodos* (fig. 3.1 f). Sostienen las pletinas o tubos de cobre que llevan la corriente a las bridas o mordazas de bronce que sujetan los electrodos. Lo mismo las mordazas que los electrodos deben calibrarse de forma que pueden soportar, sin calentarse con exceso, la intensidad de corriente generada por el transformador del horno que da intensidades del orden de 15.000 a 25.000 amperios en los hornos grandes, con un diámetro de electrodos que puede alcanzar los 500 mm.

Los brazos portaelectrodos van conectados con todo el sistema mecánico o hidráulico necesario para su levantamiento y descenso.

e) *Transformador*. La corriente llega a los hornos desde las líneas distribuidoras de alta tensión, por ejemplo de 13.200 a 22.000 voltios y, mediante transformadores adecuados, es reducida hasta 60 y 270 voltios con numerosos valores intermedios. En los grandes hornos se emplean actualmente también los 350 V.

La necesidad de disponer de varios voltajes, deriva de las necesidades del proceso metalúrgico mientras que al comienzo de la operación se emplean valores elevados para acelerar la fusión, en el período de afino se desciende a valores más pequeños.

Arco. El arco eléctrico tiene la particularidad de que al aumentar



la tensión la intensidad disminuye, a diferencia de lo que ocurre en una resistencia normal. En una resistencia la intensidad es proporcional a la tensión.

En un arco el producto de la intensidad por la tensión, potencia, es constante para una longitud determinada. El arco no puede existir por debajo de un valor mínimo de la tensión.

El arco puro es inestable, y para estabilizarlo es preciso intercalar una resistencia o una reactancia.

f) *Regulador automático*. En los primeros años del desarrollo de los hornos eléctricos de arco, los electrodos se regulaban a mano, y se procuraba que los arcos, que se encendían entre el extremo de los electrodos y el baño, no absorbieran más del porcentaje máximo de amperios permitidos por la potencia del transformador. Esta regulación era lenta e insuficiente, en particular durante el período de fusión.

Para entender mejor lo expresado en el párrafo anterior, hay que recordar que la potencia del arco depende de su longitud y que en la marcha normal del horno hay tres regímenes:

- 1°.- Potencia media y arco medio al comenzar la fusión.
- 2°.- Potencia máxima y arco largo al fundir.
- 3°.- Potencia baja y arco corto al afinar.

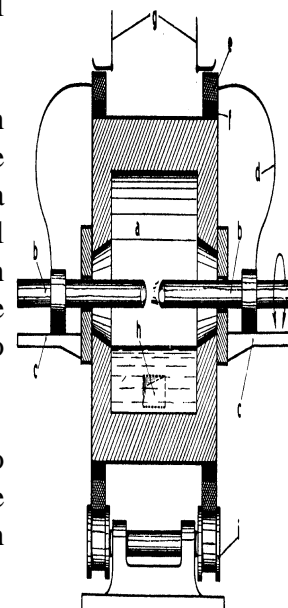
En cada uno de estos tres regímenes hay que mantener la potencia constante, o sea, que hay que mantener fija la longitud del arco, compensando el desgaste de los electrodos y su distancia al baño o a la chatarra, mediante el movimiento de los mismos. La regulación, aparte de mantener constante la potencia en distintos regímenes, tiene por objeto limitar las sobrecargas bruscas a los valores autorizados por las compañías suministradoras de energía eléctrica.

Hornos eléctricos de arco indirecto.

Considerados en líneas generales, son análogos a los hornos eléctricos de electrodo radiante, siendo dos los electrodos de que disponen, regulables en sentido horizontal hasta que entre sus puntas se forme un arco que no estará nunca en contacto con el metal.

Un horno de este tipo, modelo *Booth*, muy empleado en Norteamérica, es el reproducido esquemáticamente, en la siguiente figura, que puede girar por completo cuando el metal se ha licuado, para suprimir recalentamientos indeseables en la bóveda provocados por el arco. El recubrimiento del horno es normalmente de cuarzo o caolín. En general sólo se construyen hornos de poca capacidad empleándose bastante en Talleres de Fundición pequeños y medianos para hierro colado y metales no férreos.

El tipo más notable de esta clase de hornos es un modelo norteamericano que es también oscilante. Se instala con corriente monofásica y, para equilibrar la línea, son necesarios tres hornos o bien dos con un conexionado especial del transformador (modelo *Scott*).



Es posible aplicar en este tipo de hornos la regulación automática de los electrodos. Este horno resulta eficaz para la fusión de metales no féreos, especialmente bronce y latones. Se usa también para la obtención de fundiciones aleadas y ordinarias, así como aceros especiales. Las capacidades corrientes varían entre 25 y 500 kg, aunque existen en funcionamiento hornos cuya capacidad llega hasta 2 toneladas. La figura 5.9 representa una instalación completa para fundir el hierro, con una capacidad de fusión de 250 kg.

Hornos de inducción de canal.

Su fundamento es la creación de una corriente, en el metal sólido o líquido, que lo calienta por efecto Joule. Para ello se dispone de una bobina inductora atravesada por un núcleo magnético que produzca una corriente inducida en el material del crisol. Y mejor aún en unos canales en forma de anillo en comunicación con el crisol.

Creados para la fusión del acero, se emplearon más tarde para el latón, seguidamente se modificaron para adaptarlos a la fusión de las aleaciones ligeras (aluminio), pudiendo hoy prácticamente emplearse para fundir casi todos los metales y sus aleaciones.

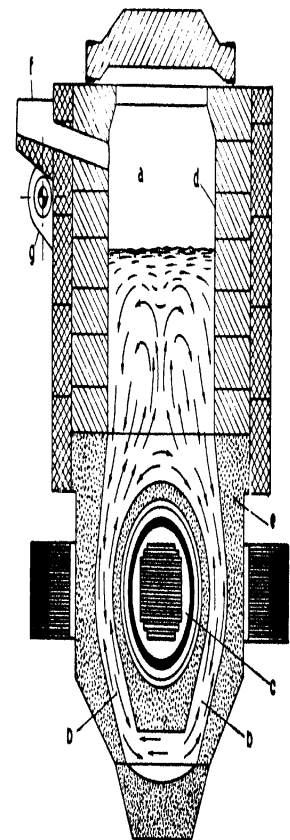
Con respecto a la situación del canal (que en definitiva es el secundario de un transformador cuyo primario es la bobina inductora) dentro del horno, se ensayaron distintas posiciones concluyéndose que la más adecuada era la parte baja del crisol, ya fuera en un plano horizontal, inclinado o incluso vertical. Con esta posición se llegó a un cómputo de ventajas (atenuación de efectos electrodinámicos perniciosos, mejor mezclado y homogeneización de temperaturas, etc.) que superaron a los inconvenientes (mayor erosión en el refractario del canal, canal menos accesible, etc.).

Todos los tipos funcionan a la frecuencia de la red. Dados los pequeños espesores del refractario que rodean a los canales (refractario entre canal y bobina), es necesario disponer de un sistema de enfriamiento para evitar que el calor del metal fundido perjudique a la bobina. El enfriamiento se realiza por aire y por un circuito de agua que atraviesa toda la longitud de la bobina, que se fabrica hueca.

Los hornos de inducción de frecuencia industrial, con núcleo magnético, se representan esquemáticamente en la figura adjunta, en la que se ve el *canal*, que forma un circuito metálico cerrado que desemboca en una cámara de fusión de mayor capacidad. El canal envuelve el núcleo de hierro que es excitado mediante una bobina.

Las líneas de fuerza inducidas se transmiten al anillo metálico (sólido o líquido) y la energía absorbida se transforma en calor según la *ley de Joule*.

El tipo más sencillo de horno de inducción de canal tiene la cámara de fusión unida a un canal *d*, que, como hemos dicho, forma un circuito eléctrico secundario cerrado en el cual se genera el calor. Al poner el horno en marcha, el canal está lleno de material metálico sólido





en íntimo contacto para permitir el cierre del anillo. Primeramente se funde el contenido de este anillo (sección más estrecha) y luego, poco a poco, se propaga la fusión, a toda la carga. La mezcla líquida queda favorecida por la acción electrodinámica de la corriente.

Para facilitar las subsiguientes coladas, conviene dejar siempre una cierta cantidad de metal líquido en el fondo del horno de forma que el canal esté siempre lleno, es decir, cebado.

El horno de baja frecuencia no puede alcanzar las elevadas temperaturas necesarias para fundir el acero, por lo que se emplea casi exclusivamente para aleaciones de cobre-níquel con más de 30% de este último metal. Puede fundir también el hierro colado y metales y aleaciones ligeras.

El consumo de corriente varía según el metal: funcionando continuamente es de 300 a 450 kWh/t para el bronce, 600 a 700 kWh/t para el hierro colado y 400 a 450 kWh/t para el cobre.

En la fundición de hierro se emplean como horno de fusión, horno de mantenimiento e incluso como antecrisol, funcionando en duplex con cubilotes u otros hornos de fusión.

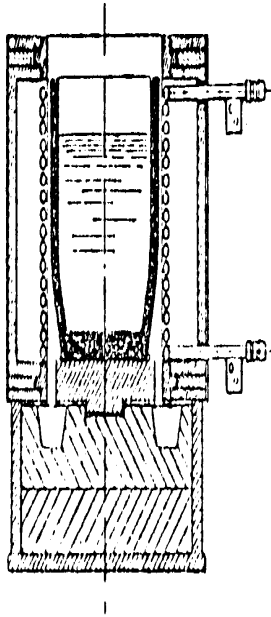
Los hornos de canal pueden ser monofásicos o trifásicos. Los primeros llevan una sola bobina inductora y los segundos llevan dos o más. Su alimentación puede hacerse de cuatro maneras:

- a) Directamente desde la línea de B.T. (pequeños).
- b) Desde la red de B.T., a través de un autotransformador de regulación (hornos de potencia media).
- c) Desde la red de A.T. a través de un transformador especial de potencia con variador de tensión (hornos de gran potencia).
- d) Desde la red de A.T. a través de un transformador normal de potencia y un transformador de regulación (hornos de gran potencia).

Cuando se trabaja con monofásico, para tener equilibrio en la red, es preciso insertar en el circuito un sistema de equilibrado estático, constituido por una inductancia y por una capacitancia oportunamente calculadas.

Hornos de inducción sin canales de baja frecuencia.

En estos hornos la corriente que recorre la bobina primaria genera un flujo magnético alterno, el cual da lugar a las corrientes parásitas (de Foucault) que engendran el calor necesario para la fusión de la carga. Este flujo y estas corrientes dan lugar, a su vez a un movimiento rotatorio en plano vertical en la masa fundida. La construcción es muy simple: un recipiente vertical de material refractario, en cuyo exterior se arrolla la bobina inductora hueca y refrigerada. La única diferencia de unos hornos a otros sólo estriba en los diferentes aparellajes eléctricos empleados, en base a la frecuencia de la corriente utilizada.



La frecuencia principal empleada es la industrial de la red, y en algún caso la industrial triplicada ($3 \times 50 = 150$ ó $3 \times 60 = 180$).

Estos hornos sólo se construyen para grandes capacidades y suelen llevar unos núcleos o armaduras magnéticas para mejor canalizar el flujo inductivo por el exterior.

Las bobinas para grandes potencias (más de 300 kVA) poseen varias tomas de corriente y varias tomas de agua.

Este tipo de horno para la frecuencia de la red ha conquistado en pocos años un firme puesto en la técnica de la fundición. Principalmente se utiliza como:

- a) Horno de fusión para carga gruesa y fina.
- b) Horno de calentamiento y sobrecalentamiento, para mantener la temperatura de un baño o sobrecalentar cargas líquidas.

Los elementos que determinan la potencia del horno, para un metal y una frecuencia dados, son el diámetro del crisol y la altura de la bobina, es decir:

$$Q \propto \frac{D}{H}$$

Son hornos monofásicos siempre y dado que son siempre de más de 250 KW, no pueden ser directamente alimentados por la red, intercalándose un equilibrador estático o rotatorio.

Las ventajas de estos hornos son:

- a) Calentamiento directo de la carga por transmisión inductiva de la energía, aprovechándose así al máximo la energía eléctrica suministrada.
- b) Mezclado vigoroso del metal fundido.
- c) Rápida fusión de las virutas cuando se dispone de un depósito líquido que las recibe.
- d) Determinación segura de los análisis.
- e) No existen sobrecalentamientos locales como en los de canal, por cuya razón, aún fundiendo virutas, las pérdidas por combustión son mínimas.
- f) Buena regulación de temperatura, ya que la conducción de la potencia es graduada mediante un regulador de tensión.
- g) El crisol se fabrica fácilmente con masa ácida, básica o neutra.
- h) Marcha limpia en el Taller de Fundición. Eventualmente se puede disponer de una captación de polvo.
- i) Manejo fácil.
- j) Conexión directa a la red de corriente trifásica existente intercalando eventualmente un transformador de regulación.
- k) Gastos mínimos de instalación.
- l) Gastos mínimos de explotación y de entretenimiento.

Construcción:

El horno se compone esencialmente de:

- a) Horno propiamente dicho.
- b) Armazón basculante.
- c) Asiento basculante.
- d) Crisol.

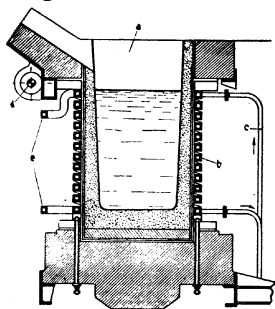
Hornos sin canales de alta frecuencia.

Estos se diferencian de los de baja en que carecen de núcleo o culatas magnéticas y en el inevitable convertidor de frecuencia.

Estos hornos han sido superados por los de B.F. y sólo se emplean para fusión de metales preciosos y laboratorio, así como fusión al vacío y otras aplicaciones especiales.

Están constituidos, semejantemente a los de baja frecuencia, por una espiral (enfriada por circulación de agua dentro de los tubos de cobre que la constituyen) de sección rectangular o cuadrada, dentro de la cual va instalado un crisol que contiene el metal que se ha de fundir (véase figura siguiente). En esta misma figura *a* es el crisol de material refractario apisonado, *b* la espiral de cobre que le rodea, (de sección cuadrada hueca), que se enfría con el agua que llega por la tubería *c*. La llegada de corriente tiene lugar por las bornas *e*. Para efectuar la colada se hace girar el horno, por ejemplo, mediante un pistón hidráulico, sobre un eje *d*.

El revestimiento del cuarcita de granulometría hace plástica mediante la adición entre el 6 y el 8%. Hay que preparar de esta continuación, y que será resquebrajadas.



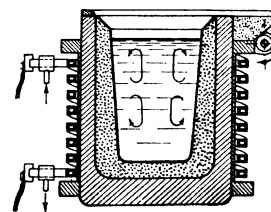
horno se forma con una masa de adecuada al tamaño del horno, que se de caolín en una proporción que varía prestar una gran atención tanto a la revestimiento como al secado que va a realizado muy lentamente para evitar

También se puede preparar este revestimiento usando cuarcita triturada y ácido bórico en la proporción del 1,5 al 3%.

La capacidad de esta clase de hornos puede variar desde unos pocos kg hasta 10 o 12 t con potencias que alcanzan 2.000 kW.

Mientras que en los hornos de baja frecuencia expusimos que se emplea la corriente industrial con 50 Hz, en los hornos de alta frecuencia ésta puede variar de 500 a 3.000 Hz, pudiendo llegar en ocasiones a 20.000 Hz y más en pequeños hornos experimentales.

Los hornos de inducción de alta frecuencia poseen notables ventajas: su producción es de gran calidad, con oxidaciones muy reducidas y análisis muy constantes. Sin embargo, frente a estas indudables ventajas, tenemos que los gastos de primera instalación son muy elevados. Su uso es recomendable en los Talleres de Fundición de acero que producen aceros aleados especiales o bien aleaciones de hierro colado, y en menor escala en los Talleres de Fundición de hierro colado gris que desean





prescindir del cubilote.

CALCULO CARGA DE UN CUBILOTE

Queremos fabricar con un cubilote de \varnothing 75 cm, engranajes de peso comprendido entre 35-40 Kg. cada uno con espesores medios de 20-25 mm. La tensión de rotura tiene que ser superior a 22 Kg/mm².

Para poder obtener este caldo en el taller se dispone de:

- Fundición hemetita (mineral de hierro oxidado, oligisto) de composición química C 3,6 %, Si 2,5%, Mn 0,6%, P 0,05%, S 0,005.
- Chatarra de primera calidad con espesor de 20-30 mm., y análisis químico C 3,3%, Si 1,7%, Mn 0,6%, P 0,3%, S 0,08%.
- Chatarra de acero con análisis químico C 0,1%, Mn 0,35%, P 0,08%.
- Ferro aleaciones: fundición silicosa del 10-12% Si, fundición manganesífera 18-20% Mn.
- Chatarra de piqueta y colada similar al de las piezas a fabricar.

De experiencia de coladas precedentes, el análisis aconsejable es C 3,3%, Si 1,7%, Mn 0,8%, P 0,35%, S 0,08%. Del examen del análisis por la experiencia del maestro fundidor se ajusta:

El carbono debe de ser reducido de 3,6% a 3,3%.

El silicio debe de ser reducido 2,5%.a 1,7%.

El manganeso debe ser aumentado.

Se prevé que hay que efectuar una carga compuesta por 30% de lingotes, 30% de chatarra de piqueta y colada, 7% de chatarra de acero y el resto un 3% de Ferro aleaciones.



La chatarra de piqueta y colada es un residuo de las fusiones precedentes y debe ser consumida por completo en cada fusión sucesiva, pues se supone que tiene un análisis similar al de las piezas finales.

Cada carga que se introduce en el cubilote va a tener un peso aproximado de 400 Kg:

Fundición nueva en lingotes	$400 \times 0.30 = 120 \text{ Kg.}$
Chatarra de fundición	$400 \times 0.30 = 120 \text{ Kg.}$
Chatarra de piqueta y colada	$400 \times 0.30 = 120 \text{ Kg.}$
Chatarra de acero	$400 \times 0.07 = 28 \text{ Kg.}$
Ferro aleaciones	$400 \times 0.03 = 12 \text{ Kg.}$

Resulta que para cada carga de 400 Kg. sera preciso añadir:

$$S = 0,1 \frac{400}{100} = 0,4 \text{ Kg} \quad \text{Mn} = 0,275 \frac{400}{100} = 1,1 \text{ Kg}$$

Dado que el silicio se reduce , dado lo exiguo de la cantidad, bastara añadir a cada carga dos pastillas de 500 gr. de ferrosilicio del 50%:

$$2 \times 500 \times 0,5 = 500 \text{ gr. de silicio metálico.}$$

Para el manganeso ya que la fundición contiene el 18% , necesitaremos añadir:

$$Mn = \frac{1,1 \times 100}{18} = 6,1 \text{ Kg que la redondearemos a 7-8 Kg. por carga.}$$



Cada una de las cargas metálicas que introduciremos en el cubilote estará formada por:

CARGA METÁLICA	Kg
FUNDICIÓN DE HEMETÍTA EN LINGOTES	120
CHATARRA DE FUNDICIÓN METÁLICA 1ª CALIDAD	120
CHATARRA DE PIQUERA Y COLADA	120
CHATARRA DE ACERO	30
DOS PASTILLAS DE 0,5 Kg. DE Fe-Si, AL 50%	1
FUNDICIÓN MANGANESÍFERA DEL 18%	8
TOTAL CARGA	399 Kg.