

• **Introducción**

Los hornos de fusión de las funderías modernas se describen los tipos principales, agrupándolos en: *hornos de crisol, eléctricos, rotativos, de reverbero, convertidores y cubilotes*. En algunos casos se puede emplear un mismo tipo de horno tanto para aleaciones férreas como no férreas. En los casos en que es conveniente, se señalan las aplicaciones particulares de los hornos descritos.

• **Hornos de crisol**

El proceso de fundir los metales en crisol es uno de los mas antiguos y sencillos. Se emplea todavía mucho en la funderías modernas, y probablemente se seguirá usando porque el costo inicial es barato y el metal se funde fuera del contacto con el combustible. Los hornos de crisol suelen dividirse en tres clases, según el procedimiento empleado para colar el caldo contenido en los crisoles. En los hornos de crisol propiamente dichos, los crisoles están totalmente dentro de la cámara del horno y se extraen de ella para coser el metal. En los hornos de crisol fijo no basculables (hornos estáticos de crisol fijo) existe un solo crisol fijo al horno y que sobresale de la cámara de calefacción, por lo que los gases de combustión no pueden tener ningún contacto con el caldo: como no es posible bascularlos para colar, su contenido de caldo solo puede pasarse a los moldes sacándolo del crisol del horno con una cuchara. Los hornos basculables de crisol fijo son análogos a los anteriores, pero toda la estructura del horno puede inclinarse para colar el caldo por vertido en cucharas o directamente a los moldes; el eje de rotación del horno puede ser central o transversal a la piquera de colada y situada precisamente en el pico de ésta; en este último caso el contenido del crisol del horno se vierte íntegramente en la cuchara sin mover ésta. O bien directamente en los moldes.

• **Hornos de crisoles**

Pueden ser hornos de foso, hornos a nivel del suelo o bien hornos levantados respecto al suelo. El tipo de foso, suele calentarse por coque que se carga alrededor y por encima de los crisoles (que se sierran con una tapa de refractario) para producir la fusión y el sobrecalentamiento sin necesidad de cargar mas coque. El combustible descansa sobre una parrilla bajo la cuál hay un cenicero y foso de cenizas. Estos hornos se emplean también para fabricar acero al crisol. El tiro puede ser natural o forzado, es decir, producido por una chimenea o mediante un pequeño ventilador que trabaja a presiones de 50 a 75 mmH₂O. El último método es preferible para controlar mejor el calor y la atmósfera del horno. El espacio destinado al coque entre los crisoles y el revestimiento del foso debe ser de por lo menos 75mm, y entre el fondo de los crisoles y las caras de la parrilla suelen haber aproximadamente 180mm. El borde de los crisoles debe quedar debajo de la salida de humos. Las parrillas y todas las entradas de aire deben mantenerse libres de productos sintetizados para que el aire pueda circular libremente a fin de conseguir una combustión completa y una atmósfera ligeramente oxidante.

dibujo

Los hornos calentados por gas o aceite son mas fáciles de controlar y funden mas rápidamente que los otros, pero imponen condiciones mas duras a los crisoles y los refractarios. Los crisoles son de capacidad variable, pueden contener hasta aproximadamente 160 Kg. de acero, aunque son mas corrientes las capacidades de 49 a 90 Kg.: para latones, la capacidad suele ser de 70 Kg. Los crisoles grandes exigen algún mecanismo de elevación que permita sacarlos del horno, mientras los mas pequeños pueden ser manejados con tenazas por uno o dos hombres. En algunos casos se han usado en estos hornos crisoles de hasta 180 Kg. de capacidad; la ventaja que se les admite es que hay menos perturbaciones y menos salpicaduras del caldo cuando se le transfiere desde la unidad de fusión hasta los moldes.

• **Hornos de crisol fijo no basculables**

Ya hemos señalado que en estos el crisol está fijo al horno, sus bordes salen fuera de la cámara de caldeo y no hay posibilidad de contacto con los gases de combustión.

dibujo

Como no pueden bascularse para verter el contenido del crisol, es necesario extraer el caldo con una cuchara; son adecuados cuando se necesita tomar pequeñas cantidades de metal a intervalos frecuentes, como, p.ej., cuando se cuela en coquillas. Pueden emplearse como hornos de espera con la sola misión de mantener el metal en estado líquido, pero en algunos casos también se efectúa en ellos la fusión. Su rendimiento térmico es mas bajo para la fusión, sobretodo cuando se trabaja a temperaturas altas, pero representan una verdadera unidad de fusión, de no mucha capacidad, que sirve para una gran variedad de trabajos.

• *Hornos basculables (de crisol fijo)*

También hemos indicado anteriormente que estos hornos son análogos a los del tipo anterior, pero con la diferencia de que la estructura total del horno puede inclinarse alrededor de un eje horizontal para efectuar la colada sin tener que recurrir a la extracción del caldo del crisol mediante cucharas introducidas en él. Lo mismo que los hornos de foso se pueden calentar con coque, con gas o con aceite. El horno no es mas que una carcasa de acero suave revestida con materiales refractarios, en forma de ladrillos o apisonados. Suelen ser cilíndricos como en el que se muestra en la figura.

dibujo

Algunos hornos basculables calentados por coque tienen una parrilla con una caja cenicero, y el aire soplado pasa a través de los muñones a una caja de viento que rodea la parte inferior del horno o a veces de conductos en una carcasa de paredes delgadas para producir algún precalentamiento. La capacidad para; el coque es importante, especialmente para aleaciones férreas; si es suficiente evita la recarga de coque durante la fusión y las consiguientes pérdidas de calor. Para encender un horno basculante de coque se empieza por un fuego moderado de madera y coque y cuando todo el coque quema uniformemente alrededor de crisol se completa la carga de coque (algunos hornos poseen un quemador anular de gas para iniciar la combustión). Con el aire a un cuarto de soplado, se calienta el crisol al rojo y entonces se carga con el metal. Entre el encendido y la carga de los hornos de crisol de 100 Kg. de capacidad de carga deben transcurrir 30 min., y 45 min. para los de 450 Kg. (capacidades de carga de latón). Los hornos calentados por aceite o gas son de diseño parecido, salvo que no necesitan caja de viento ni se precisa la parrilla, por lo que el crisol descansa en un soporte refractario. El quemador se fija en el horno de tal forma que el calentamiento pueda continuar mientras que el horno se bascula. Esto es ventajoso cuando se necesita el metal en cantidades pequeñas cada vez y el período de colocada es prolongado. En los hornos de gas hay que tomar precauciones para evitar explosiones, especialmente durante el encendido. Debe evitarse la acumulación de mezclas explosivas de gases no quemados o de vapores inflamables y aire, principalmente recurriendo a dispositivos de alarma y seguridad para caso de que la llama se apague, y hade procurarse que el aire sea suficiente en todo momento.

Cuando se encienden los hornos de crisol basculables se calienta el crisol vacío, al principio suavemente, con la menor llama posible que puedan dar los quemadores durante los primeros 10 min. Después se aumenta por etapas la velocidad de calentamiento hasta, que el crisol se ponga al rojo, en cuyo momento se le carga y se pone el quemador al máximo. El tiempo necesario para llevar los crisoles al rojo debe ser de, aproximadamente 30 min. para capacidades de hasta 300 Kg. de latón, 45 min. para 450 a 700 Kg. de latón o 225 Kg. de aluminio y de 75min para 450 Kg. de aluminio.

dibujo

Los crisoles deben cargarse con el horno vertical, empleando tenazas suficientemente largas para que puedan llegar al fondo del crisol. En los casos en que en el crisol no quepa toda la carga de una vez, se pueda colocar

un manguito de prolongación encima del manguito mufla para poder cargar la mayor cantidad posible. El metal no se añade frío a la carga ya fundida, porque se precalienta en los manguitos de extensión. Para evitar la oxidación deben taparse el crisol, el manguito mufla o es manguito de extensión con una tapadera refractaria.

Los experimentos de precalentamiento del aire no han sido muy satisfactorios, pues solo se conseguían disminuciones insignificantes en el consumo de combustibles y la duración de la fusión. Al parecer, los hornos de crisol han alcanzado un grado de desarrollo que no deja esperar ninguna mejora esencial en los diseños modernos. Actualmente interesa mas conseguir mayores facilidades de control y comodidad de trabajo. También se presta atención (especialmente para la colocada en coquilla) a las dos posibilidades de fundir y mantener el metal durante el tiempo de espera en el mismo horno, o a la de fundir en hornos de gran capacidad, a los que se asocian varios hornos de espera. El primer método permite seguramente mas economía de combustible, pero el segundo es mas flexible y conveniente para aleaciones que han de modificarse o sufrir otros tratamientos. La tabla 1 indica los rendimientos térmicos de los principales tipos de hornos de crisol.

Tabla 1

Rendimientos térmicos relativos de diferentes tipos de hornos de crisol calentados con combustibles

Tipo de horno	Rendimiento térmico
Horno de crisol de foso, calentado con coque, tiro natural.	3 a 7 %
Horno de crisol basculable, calentado con coque, tiro forzado.	8 a 13 %
Horno de crisol basculable, calentado con aceite o gas.	7 a 18 %

• *Hornos eléctricos*

Los hornos eléctricos se emplean cada vez mas para fundir los metales y en los últimos años han aparecido tipos nuevos y perfeccionados. Hay, sin embargo que hacerse cargo de su importancia relativa por lo que describiremos los diversos tipos en el orden de su importancia industrial. Los hornos eléctricos de fusión se clasifican en tres grupos fundamentales: 1) Hornos de acero; 2) Hornos de inducción, y 3) hornos de resistencia.

dibujo

• *Hornos eléctricos de acero*

Estos hornos se emplean para la mayoría de las aplicaciones, incluyendo la fusión de acero, fundición de acero, latones, bronce y muchas aleaciones de níquel. Hay dos tipos fundamentales: los de arco directo y los de arco indirecto.

◊ *Los hornos de arco directo* reciben este nombre porque el arco salta directamente entre el electrodo y el metal a fundir. Los electrodos son de grafito o de carbón amorfo y los hornos pueden ser monofásicos cuando son muy pequeños (menos de 100Kg de capacidad) o, con mas frecuencia, trifásicos; éstos tienen tres electrodos suspendidos verticalmente sobre la solera refractaria, que generalmente es cóncava. Los hornos modernos son casi todos de planta circular. Con paredes refractarias y cubiertos con una bóveda con agujeros para el paso de los electrodos (fig. 5).

Dibujo

En los hornos trifásicos, que se construyen con capacidades de hasta 150 Ton (de acero), los electrodos se encuentran en los vértices de un triángulo equilátero. En los puntos en que atraviesan la bóveda hay dispuestos collares refrigerados con agua, que además de enfriar el electrodo en este punto, sierran las aberturas y evitan un efecto de chimenea excesivo.

El horno está alojado en una robusta envuelta de acero en uno de cuyos lados están montadas tres columnas sobre las que se desplazan los brazos que portan los electrodos. Estos últimos no solo soportan el peso de los electrodos, sino que también soportan los conductores y los tubos para la refrigeración de las mordazas que sujetan a los electrodos. Estas suelen tener forma de collar refrigerado por agua, que pueden abrirse en dos mitades mediante un gozne y que al cerrarse se aprietan mediante un tornillo o un pistón hidráulicos. En otros casos se construyen como un collar continuo al que se fija el electrodo mediante una cuña accionada mecánica o hidráulicamente. Los electrodos pueden elevarse o descender, desplazándose los brazos sobre los mástiles por la acción de motores eléctricos o dispositivos hidráulicos. En los hornos mas primitivos los electrodos se subían y bajaban a mano o por control manual de los motores de desplazamiento. Bajando los electrodos se acorta el arco y aumenta la potencia, y lo contrario ocurre al subirlos. El control se efectúa en la actualidad automáticamente, y en el caso de ser accionados los electrodos por motores eléctricos, la puesta en marcha y la inversión del movimiento de estos es gobernada por la intensidad que pasa por el electrodo y el voltaje que existe entre este y el baño.

Hay diferentes métodos para el control automático de la potencia del arco; uno de los mas corrientes es el sistema de (*Ward–Leonard*), en el que generadores de corriente continua alimentan a los motores de corriente continua: el funcionamiento de los generadores está gobernado por las magnitudes, intensidad y voltaje de los electrodos. Así se consigue cierta amplificación, porque cuando la desviación con relación a un terminado ajuste es grande se aceleran los motores y restablecen rápidamente el equilibrio. El control hidráulico suele basarse en un serbo–cilindro y un pistón conectados directamente a los brazos de los electrodos. En principio, los reguladores hidráulicos tienen una parte eléctrica sensible a la intensidad y el voltaje de los electrodos y un dispositivo (que puede ser una válvula accionada magnéticamente) que efectúa la conversión de las señales eléctricas en variaciones de presión del acero o el agua.

Casi todos los hornos empleados para la fusión son de tipo basculable, montados sobre sectores dentados situados bajo el horno o a los lados de la envuelta. En ángulo recto con los brazos de los electrodos y diametralmente opuestas se encuentran la compuerta de carga o trabajo y la piquera de colado. En los hornos pequeños de hasta 105Ton de capacidad, la carga se efectúa a través de la correspondiente compuerta, a mano o por caída; los hornos grandes se cargan por arriba levantando la bóveda. La bóveda es una estructura de ladrillos refractarios que se apoya en un anillo acanalado de acero. En los hornos de carga por arriba ésta bóveda se puede elevar y desplazar para dejar abierto el horno para la carga. El desplazamiento de la bóveda puede ser lateral, mediante un puente grúa o un giro alrededor de un pivote; una vez que el horno queda abierto se le carea mediante una cubeta de carga por caída (fig. 6).

Dibujo

La compuerta de trabajo de los hornos que se cargan por arriba se emplea para añadir elementos de aleación o escorias, para el rableo del metal fundido y a veces para el desescoriado. El horno puede normalmente bascularse hacia atrás para facilitar esta operación. Algunos hornos, especialmente en funderías en que a veces es necesario colar en cucharas pequeñas o de mano, son basculantes no alrededor de un eje central, sino que pivotan alrededor de un eje perpendicular al canal de colada, y situado aproximadamente en el pico de colada; en este caso todo el cuerpo del horno es levantado por medios hidráulicos. De esta forma la situación de la piquera y la altura de colada se mantienen constantes.

Todos los hornos de arco de cualquier tipo se diseñan para la conexión a una red de alta tensión. El equipo eléctrico consistirá por ello en un circuito de alta tensión y un transformador reductor de tensión, cuyo secundario puede suministrar voltajes variables ajustables a las condiciones de fusión y afino. Las tensiones

mas elevadas, de 180 a 450V se emplean para la fusión, y las mas bajas, de 90 a 160V, para el afino o la espera. Los voltajes suelen aumentar con las dimensiones del horno, por lo que las tensiones de 450V se emplean en los hornos mas grandes y las de 180V en los de 2 o 3 Ton. Para evitar lo efectos de un corto circuito se dispone una reactancia variable, que se mantiene elevada durante la fusión se disminuye luego progresivamente lo mismo que la tensión, y se deje fuera de circuito durante el afino.

Los hornos de arco directo pueden ser de revestimiento ácido o básico, según la operación que deban realizar. Cuando el revestimiento es básico la solera es de dolomía o magnesita apisonadas. El revestimiento de las paredes laterales pueden ser también básico, pero algunas veces la parte superior de las paredes de un horno básico es de sílice. La bóveda es normalmente de ladrillos de sílice. Los revestimientos básicos se emplean en la fabricación de acero cuando hay que eliminar fósforo y azufre, y suelen recomendarse para los aceros muy aleados, como los inoxidables y al manganeso. El revestimiento ácido es todo el de materiales silíceos y su empleo está restringido a la preparación de fundiciones de hierro y fabricación de piezas de acero moldeado partiendo de chatarras que no exijan desulfuración ni defosforación.

Un desarrollo reciente es la aplicación de la agitación electromagnética montando una bobina bajo la solera del horno. Con este procedimiento se controla bien la agitación del metal fundido y se facilita la separación de la escoria del baño. Solo se emplea en los hornos grandes y es raro que se utilice en los de tamaño mas pequeño, que son los corriente en las funderías.

◇ *Los hornos de arco indirecto* reciben este nombre porque el arco salta entre dos electrodos de carbón completamente separados e independientes de la carga, que se calienta solo por radiación. Muchos de los hornos mas antiguos eran de esta clase, pero el único superviviente de estos tipos de horno es el horno basculante de arco que se emplea con frecuencia para obtener fundiciones de hierro especiales, bronce y ocasionalmente aleaciones de níquel. Consisten esencialmente en una envuelta revestida con refractarios, cuya forma es esférica o cilíndrica, con dos electrodos montados horizontalmente; el arco salta entre ellos en el centro de la cámara formada por el revestimiento refractario. El horno esta montado sobre rodillos; estos son accionados por un motor que gracias a un conmutador de inversión, produce el balanceo del horno.

La fig. 7 presenta el corte de un horno cilíndrico típico. Se ve que solo existe una abertura de carga, cerrada por una compuerta, bajo la cuál está la piquera de colada. Se carga a través de la abertura después de sacar los electrodos y se llena el horno hasta un nivel inferior al de ellos. El control automático del balanceo se ajusta de forma que este no empiece hasta que la carga comienza a ablandarse y deprimirse; también puede darse inicialmente un balanceo bajo un ángulo muy pequeño para que los trozos de la carga no puedan golpear a los electrodos y romperlos. El ángulo de balanceo se controla automáticamente; aumenta poco a poco al progresar la fusión y se alcanza el máximo cuando la fusión es completa. Prácticamente todo el refractario es bañado en forma continua por el metal fundido y se distribuye el calor localizado del arco indirecto. El balanceo asegura también una buena mezcla del metal, y por ello se prefiere para las fundiciones de hierro aleadas y para las aleaciones de cobre que contienen plomo.

• *Hornos de inducción*

Las muchas variantes existentes de hornos de inducción no es posible en la actualidad clasificarlos rígidamente por la frecuencia de la corriente usada. Los hornos que trabajan a frecuencias superiores a los 500 ciclos por segundo tienen un baño en forma de crisol cilíndrico y no llevan un núcleo de hierro. Estos hornos se llaman corrientemente *hornos de inducción sin núcleo*. En los últimos años se han construido muchos hornos de este tipo que trabajan a 50 ciclos por segundo, es decir, la frecuencia normal de las redes de suministro. Los primitivos hornos de inducción tenían un canal de fusión que formaba el secundario en cortocircuito de un transformador; estos se pueden denominar *hornos de inducción de canal*.

• *Hornos de inducción sin núcleo*

La capacidad de estos hornos puede variar desde pocos gramos para fundir metales preciosos y para trabajos de laboratorio, hasta unas 15 Ton de acero en las unidades, para producciones grandes. El baño es normalmente cilíndrico con revestimiento ácido o básico, aunque los de este último tipo no son todavía muy satisfactorios, en especial para los hornos muy grandes. Por tal razón la mayoría de los hornos implican revestimientos silíceos; generalmente se forman mediante un cemento seco que lleva incluido el aglutinante y se sintetiza o frit en posición utilizando un modelo cilíndrico en el que se coloca la primera carga. Este modelo es normalmente de acero soldado o moldeado y es esencial para fritar el revestimiento a la temperatura máxima de trabajo. El revestimiento va rodeado por la bobina inductora de tubo de cobre en forma aplastada; está normalmente protegido por un barniz aislante y amianto.

En los hornos pequeños, de hasta p.ej., 250 Kg. de capacidad, la envuelta del horno es de cartón de amianto con cemento aplicado sobre un armazón no magnético, porque si se utilizara una carcasa de material magnético, como el acero, se produciría un calentamiento por el flujo disperso hacia el exterior de la bobina. Cuando los hornos son grandes no se puede prescindir de una carcasa de acero y entonces hay que recurrir a una pantalla magnética formada por paquetes de chapa de acero al silicio que forman un yugo magnético alrededor de la bobina y que puede servir para soportarla. Los hornos suelen ser basculables y a veces por pivoteo alrededor del pico de colada, en cuyo caso el horno se levanta mediante un dispositivo hidráulico o un torno eléctrico y un cable.

Dibujo

Estos hornos de inducción suelen trabajar a frecuencias mayores de las normales y corrientemente se llaman de media frecuencia los que funcionan a 500 ciclos por segundo, mientras se llaman de alta frecuencia a los que emplean más de 1000 ciclos por segundo. La mayoría de los hornos grandes, de más de aproximadamente 250 Kg. suelen alimentarse con un equipo motor generador, pero los pequeños de p.ej., 10 Kg. pueden utilizar osciladores de chispa en mercurio que engendran corrientes con frecuencias de 10000 a 20000 ciclos por segundo. También pueden emplearse generadores de válvulas termoiónicas, con capacidades de hasta 50 KW y que trabajan a frecuencias de 200 a 1000 ciclos por segundo. Todavía hay otros tipos de generadores de arco de mercurio que producen frecuencias del orden de los 2000 ciclos por segundo.

Las instalaciones más extendidas son las de motor generador, que suponen aproximadamente el 90% de la capacidad de fusión de este tipo de hornos. El equipo de alimentación se compone de un motor trifásico que mueve a un generador de alta frecuencia y un excitador. El factor de potencia de estas instalaciones es de solo 0.1, por lo que hay que acoplar en paralelo: con la bobina de inducción una batería de condensadores, parte de la cual por lo menos debe ser variable porque la capacidad del circuito depende de las condiciones de fusión. Este tipo de hornos ha sustituido ampliamente a los hornos de crisoles para la fabricación de aceros de herramientas y de alta aleación, y se le prefiere para aleaciones níquel-plomo resistentes al calor, aceros inoxidable, aceros para imanes y en general para todas aquellas aleaciones que contienen grandes cantidades de elementos caros como cobalto, wolframio, vanadio, cromo y níquel. También es preferido para aleaciones que deben contener muy escaso carbono, porque el metal no tiene en ellos contacto alguno con carbón.

Modernamente se han conseguido hornos de este tipo que trabajan a la frecuencia normal de la red, es decir, a 50 ciclos por segundo pero la normal es que estos hornos de frecuencia ordinaria solo puedan fundir trozos grandes de metal, con dimensiones medias de 150 a 200 mm. Para fundir material de tamaños más pequeños es esencial mantener un charco de metal líquido que pueda absorber la carga. Tales hornos se prefieren para fundir virutas de fundición que alimentan al charco de metal en fusión. La ventaja fundamental es que no es necesario el equipo generador de frecuencias superiores a la ordinaria. Cuando se conectan a la red trifásica de bases y una batería de condensadores para mejorar el factor de potencia. En todos los hornos de inducción sin núcleo hay una circulación rápida del metal que es ideal para obtener aleaciones, porque produce una gran homogeneidad pero no son adecuados para el afino mediante escorias porque estas se mantienen demasiado

frías por no ser calentadas por las corrientes inducidas.

Figura 9 sección transversal de un horno de inducción sin núcleo de frecuencia industrial ordinaria.

5.2.– Hornos de inducción de canales.–

Los primeros hornos de este tipo consistían de un anillo de metal que formaba un anillo secundario de un transformador de una sola espira. El baño de estos hornos era de forma poco conveniente. La capacidad estaba limitada por razones eléctricas, pero se encontró que el bucle del metal en corto circuito quedaba sumergido bajo un baño y se eliminaban muchos inconvenientes. Uno de los primeros hornos así concebidos (figura 10) el canal secundario de una V y el baño principal encima de los palos de la V, pero por efectos eléctricos y térmicos se produce una rápida circulación que sirve para calentar el baño de encima. Es esencial mantener el horno siempre lleno hasta un tercio de su capacidad con un metal, añadiéndose el metal a fundir al charco de metal líquido. Estos hornos se han empleado para fundir latón para lingotes y hoy se utilizan para aleaciones de aluminio coladas en coquilla y para fundición en hierro.

Figura 10. sección de un horno de inducción de baja frecuencia del tipo Ajax– wyatt. El metal (A) se calienta por una bobina de cobre (B) que actúa como primario de un transformador. El secundario está formado por un estrecho canal en forma de V de metal fundido.

Los otros tipos de hornos no tienen el canal secundario en forma de V; por ejemplo un tipo tiene dos cámaras separadas, una para la fusión y otra para mantener el metal hasta el momento de la colada, y estas cámaras están conectadas por 2 canales inclinados. El arrollamiento primario y el yugo de hierro del transformador están situados en canales. Se emplea este tipo de horno para fundir aleaciones de aluminio para colar en coquilla y para latones. El metal frío se carga en una de las cámaras mientras la otra sirve como baño de espera desde el que el metal se saca con cucharas o se xifona. La suciedad y la escoria se acumulan en la cámara de fusión o carga y ellas se desespuman. Los hornos son de 20 a 100 Kw. Con capacidades de fusión de hasta 250 Kg . por hora.

Figura 11. sección esquemática de un horno de baja frecuencia con una sola bobina; se muestra el efecto de agitación.

Figura 12. un horno de baja frecuencia de 45 Kw del tipo esquematizado en la figura 11.

Otro tipo de horno con canal sumergido se ha desarrollado especialmente para aleaciones de aluminio y de zinc, indicándose su esquema en la figura 11. el canal sumergido es rectangular y el brazo horizontal es de mayor sección transversal que los 2 verticales, por lo que cualquier suciedad se acumula y se deposita en el, y se puede extraer para limpiarlo. La figura 12 es una vista general del horno , que puede emplearse para latón y otras aleaciones de cobre. Muchos hornos de canal se construyen con 2 canales, y el primario con arrollamiento y conexión Scout para cargar equilibradamente a una red normal. Suelen emplearse enlazados a una red con tensiones normales de 400 a 440 V y llevan un auto transformador para ajustar el voltaje y variar la carga. La bobina primaria suele refrigerarse con un ventilador.

6.– hornos de resistencia.–

Hay 2 clases fundamentales de hornos de resistencia. Los de la primera se calientan mediante resistencias de aleaciones tales como la S níquel–cromo 80/20, en forma de cintas o varillas; generalmente un crisol o recipiente para el metal líquido y sirven para aleaciones de bajo punto de fusión, como las de soldadura, las de tipos de imprenta, los metales antifricción para cojinetes y algunas veces las de aluminio. Los elementos de caldeo se disponen alrededor del exterior del crisol y todo el horno queda dentro de una carcasa rellena con un material refractario y aislante térmico. Los elementos de caldeo suelen estar soportados por el revestimiento refractario. La figura 13 muestra un horno de este tipo.

Figura 13. sección de un horno típico de crisol calentado por resistencia. A y B son el diámetro y la profundidad de crisol.

El segundo tipos de hornos de resistencia sirve para temperaturas mas elevadas y recuerda a los hornos basculantes de arco indirecto. La diferencia fundamental es que la calefacción no la produce el arco indirecto que salta entre los 2 electrodos. Sino que calienta por resistencia; Véase la figura 14. los hornos son siempre cilíndricos , revestidos con un refractario adecuado; la barra de gráfico esta colocada horizontalmente y coincidiendo con el eje del cilindro. Bascula alrededor del eje horizontal del cilindro para distribuir mejor el calor radiado y bañar casi todo el refractario con el metal líquido . la barra— resistencia esta mentada en soportes de grafito y se puede sacar del horno para efectuar la carga. Este tipo de horno se ha empleado para fundir y sobrecalentar fundiciones de hierro especiales, y también sirve para fundir bronce y otras aleaciones de cobre.

Figura 14. horno basculante calentado por el paso de la corriente a través de una resistencia en forma de una barra horizontal.

7.– hornos rotativos.–

Un horno rotativo se compone de una envuelta cilíndrica de acero, revestido con material refractario, y que puede girar u oscilar lentamente alrededor de su eje principal. Elhorno suele terminar por sus extremos en troncos de cono; en uno de ello esta el quemador y en el otro la salida para los gases quemados, que frecuentemente pasan a un sistema de recuperación para precalentar el aire empleado en la combustión. El combustible puede ser gas, aceite o carbón puerizado, y el aire se suministra mediante un ventilador o máquina soplante. En los hornos pequeños la rotación se puede dar a mano, pero la mayoría están montados sobre rodillos y se les hace girar por un dispositivo de cadena o de fricción. La elevada temperatura de la llama funde y sobrecalienta la carga y lleva una temperatura superior al refractario, que cede su calor a la superficie inferior del metal cuando al girar el horno se pone en contacto con ella. Este efecto acorta el tiempo de fusión y ayuda a salvar el efecto de aislante térmico den la capa de escoria. Se puede fundir en condiciones neutras, oxidantes o reductoras.

La capacidad de un horno rotatorio puede variar mucho. Para latones y bronces oscila entre unos 50 Kg. Y 5 Ton. Y normalmente son de 50 Kg. A 2 Ton. Para la fundición de hierro, y en algunos casos acero, las capacidades pueden ser mucho mayores(el nuevo horno alemán rotor, instalado en overhausen, es una unidad de 60 Ton, y la planta esta prevista para 100 Ton, pero se trata de hornos especiales para fabricación de acero y no para el trabajo rutinario de fundería). RL metal puede sangrarse por un agujero de colada único situado en la pared del cilindro, que se mantiene taponado con refractario mientras el horno gira. Las unidades grandes tienen un control para que el flujo sea uniforme durante la colada. En algunas instalaciones se pueden inclinar hacia delante o hacia atrás para facilitar la carga, la colada y el desescoriado.

La figura 15 muestra una instalación moderna para un horno rotativo grande. Los extremos A del cuerpo son de forma cónica con uniones elásticas para permitir la dilatación del revestimiento. La carcasa lleva 2 anillos B y B, que descansan sobre 2 pares de rodillos arrastrados a través de un engranaje reductor de velocidad por un motor eléctrico. El horno se hace girar automáticamente y la operación es controlada desde un puesto de mando que permite al operador gobernar mas de un horno. El quemador envía directamente la llama al interior del horno a través de uno de los extremos cónicos y los gases son extraídos por el lado opuesto, que sirve también como agujero de carga. El tobo de extracción de gases C se puede desplazar para cargar el horno y luego volverse a su posición; estos gases son enviados a la chimenea o a un precalentador metálico D, en el que puede calentarse el aire que alimenta al quemador hasta temperaturas de 200 a 500 °c. el recuperador se emplea cuando los hornos han de fundir acero, fundición de hierro o aleaciones no férreas de alto punto de fusión. Puede estar a nivel del piso o totalmente debajo de el.

Figura 15 . diversas secciones de un horno grande rotativo con un sistema de humos bajo el suelo y

recuperador.

Los hornos rotativos sirven para una gran variedad de trabajos de fundería, incluyendo por un lado las fundiciones grises, de alta calidad o maleables y los aceros, y por otro cobre, bronce, aluminio y plomo. Los aceites combustibles suelen emplearse.

Para las temperaturas mas elevadas, mientras que el aceite, gas o carbón pulverizado dan resultados parecidos para temperaturas intermedias y bajas, por lo que la elección depende del precio y de la facilidad de suministro. El revestimiento de los hornos rotativos puede ser de material apisonado o de ladrillos refractarios de calidad, dependiendo el emplear uno o el otro revestimiento del trabajo que ha de realizarse en los hornos.

Figura 16. dos hornos rotativos, calentados con un carbón pulverizado, mostrando las cajas–chimenea móviles. Los gases de escape pasan por estas cajas y se emplean para el calentamiento previo del aire. La carga se verifica por el extremo de la caja–chimenea.

Los hornos basculantes semi–rotativos pueden tener capacidades de hasta 3 Ton. Para la fusión de cobre, bronce, latón y aluminio. Durante la fusión, y a intervalos, se les hace girar hacia un lado y hacia el contrario, lo que les distingue de los de rotación completa. Las temperaturas pueden llegar a 1300 °c. una ventaja es que le horno ocupa poco espacio. Las figura 16–18 muestran diversos hornos rotativos.

Figura 17. horno rotativo, el carbón pulverizado, con caja chimenea accionada independientemente y con máquina de carga de tipo cuchara, empleada también para la carga de los hornos, Martín–Siemens.

Figura 18. horno rotativo basculante, de carbón pulverizado, el horno bascula alrededor de su eje central, pudiéndose ver como se ha separado el mechero a un lado para hacer la colada. Puede regularse el ángulo de basculamiento a fin de recoger, cuando es necesario pequeñas cantidades de metal.

8.– hornos de reverbero.–

En estos hornos se quema el combustible en uno de los extremos de la cámara; la llama y los otros productos de la combustión son dirigidos por la forma de bóveda hacia la carga existente en la solera, que se encuentra en el trayecto de los gases hacia la salida de humos y la chimenea. El calor de la bóveda se transmite por radiación hacia la carga que queda debajo. Son ejemplos de esos tipos de hornos los de pudelado, que se empleaban para fabricar el llamado hierro forjado, y los utilizados en la fabricación de fundición maleable, y la fundición de metales no ferrosos.

La carga se funde en una solera de poca profundidad, mediante la llama producida en un quemador o lugar situado en uno de los extremos de la solera. Los primeros solo tenían capacidad solo de 350 a 450 kilogramos de metal, pero en los modernos la capacidad es de 10 a 30 toneladas llegando incluso a 80. la figura muestra un clásico horno de reverbero. Es muy adecuado para la fabricación de piezas coladas de fundición maleables de núcleo negro, para cilindros de laminación y grandes piezas de bronce por ejemplo, hélices de barco, la lentitud de la fusión y el sistema de control por cargas permiten una gran precisión en la fusión.

Figura

En los hornos para fundición maleable las paredes suelen ser de ladrillos refractarios neutros, encerrados en una vuelta de acero o fundición y la solera es de ladrillos o arena de sílice fritada. El ancho interior es de generalmente de entre 150 y 300 cm. de ancho y su longitud varía entre 450 a 1500 cm. La bóveda esta formada por una serie de arcos de ladrillos refractarios. La bóveda es inclinada descendiendo desde el hogar hasta el extremo en que se encuentra la chimenea. La altura de la bóveda depende de el volumen que ocupa la carga no fundida, que es de de 0.5 a 0.6 m por tonelada de carga.

Si el horno se calienta con carbón en trozos es necesaria una parrilla separada de la solera por un muro bajo el altar del hogar de 45 a 90 cm. de altura. La solera tiene una inclinación hacia la piqueta de la colada, situada generalmente entre el centro del horno y el extremo del hogar. Los hornos grandes suelen calentarse con carbón pulverizado o con aceite, es importante la altura del baño. Una solera extensa y un baño de poca altura aseguran un rápido sobrecalentamiento del metal fundido a expensas de pérdidas por oxidación. El diseño debe procurar una compensación económica.

La práctica usual de carga consiste en empujar chatarra ligera hacia cilindros de laminación, y finalmente se pone de arrabio por encima. De esta forma el material más pequeño queda próximo al fondo y es protegido de la oxidación excesiva por el más grueso que se encuentra arriba. En la parte superior quedan los materiales de mas bajo punto de fusión, la carga suele efectuarse a través de la bóveda, pero, algunos hornos se cargan por las puertas, que sirven también para el rebelo y la toma de muestras. Las puertas deben ser lo mas estancas al aire que se queda para que se mantenga al máximo el tiro de la chimenea.

Una colada de 30 toneladas se puede fundir a mayor velocidad que una de 15 toneladas, pero la duración total de la fusión es mayor que en la colada más grande. Esto lleva muchas veces a instalar hornos mas pequeños que puedan producir mayor numero de coladas al día. En un buen horno se pueden fundir 25 toneladas de carga en 6 horas. Algunas veces se recuperan los gases de salida para precalentar el aire de combustión.

Cuando se empieza a sangrar el horno conviene sacar todo el metal más rápidamente posible para evitar que las pérdidas de silicio y manganeso sean mayores, de alrededor del 20%. Los hornos de reverbero pueden emplearse acoplados a un cubilete en un proceso duplex.

Algunas veces se emplean pequeños hornos de reverbero, con capacidad de 45 kilos a 2 toneladas para la fusión de metales no férreos. Por ejemplo, latones y bronce. Pueden ser estacionarios o basculables. Uno de los tipos mas pequeños son los hornos modernos llamados de solera seca, que se emplean para los metales de punto de fusión mas bajo, el metal liquido, sobre una solera inclinada fluye muy rápidamente, a un recipiente desde la cual se saca con cucharas para su utilización. Esto evita el sobrecalentamiento del metal y la formación de oxido en la solera. El calentamiento es por gas, aceite o una combinación de ambos directamente sobre la carga. Las capacidades de fusión varían de 140 a 900 kilos de aluminio por hora, con baños de capacidades de 230 va 900 kilogramos.

8.1.– Hornos Martín–Siemens.–

Este tipo de hornos de reverbero se emplean principalmente para la fusión y afinado del acero destinado a la fabricación de lingotes, y representaron la forma de fabricación de acero más extendido en Gran Bretaña y Estados Unidos. Su capacidad puede variar entre 25 y 500 toneladas. Hace años se empleaban hornos mas pequeños, de 15 a 30 toneladas, pero estos han sido sustituidos casi completamente por los hornos eléctricos. Sin embargo existen todavía en funcionamiento algunos hornos para fabricar piezas coladas grandes, con pesos de 50 toneladas o más. Por lo que daremos la descripción de dichos hornos.

El horno Martín–Siemens es calentado con aceite, gas de coquería, gas de gasógenos o una mezcla da gas de alto horno y de coquería, si se dispone de ella. Cuando se emplea un gas de poco poder calorífico, como el gas de gasógeno o la mezcla citada, es fundamental precalentar el gas en un regenerador. El aire se recalienta siempre para conseguir la máxima economía térmica y lograr una elevada temperatura de llama.

El horno es un recipiente rectangular con puertas para combustible y gases en ambos extremos. Estas puertas pueden responder a diversos diseños, pero en todo caso deben dirigir los gases hacia abajo, hacia la carga o baño del metal. La llama y los gases calientes pasan por encima del baño y salen por el extremo opuesto del horno. Los gases de la combustión atraviesan uno o dos regeneradores antes de perderse en la chimenea; frecuentemente se colocan calderas después de los regeneradores para recuperar el calor perdido y conseguir la mejor recuperación posible de los productos de la combustión mediante válvulas refrigeradas con agua y

entonces al horno se le calienta desde el extremo opuesto. Si se emplea combustibles de alto poder calorífico, como los aceites o alquitranes de cerosota y aún el gas de coquería, no suele precalentarse el combustible y solo hay que precalentar el aire en cada uno de los extremos del horno.

En los últimos años se ha empleado oxígeno para aumentar la temperatura de la llama en los periodos iniciales de la fusión. También se utiliza un chorro o lanza de oxígeno para ayudar a la eliminación del carbono en el periodo de afino del arrabio para convertirlo en acero.

Los hornos Martín–Siemens pueden ser fijos o basculables, prefiriéndose los últimos para el afino de arrabios altos en fósforo. Para fabricar aceros de calidad se emplean generalmente los hornos Martín–Siemens con revestimiento básico, aunque aún se utilizan en algunos lugares los con revestimiento ácido para obtener aceros de muy buena calidad partiendo de materias primas muy selectas.

9.– Convertidores.–

Todos los convertidores son variantes del primer invento de Bessemer, basado en la idea de soplar aire a través del arrabio líquido para oxidar las impurezas tales como el carbono, silicio y manganeso, cuya combustión suministra el calor suficiente para la conversión del arrabio líquido

Figura 21

El proceso Bessemer, sirve en las fabricas de acero para convertir enormes cantidades de arrabio líquido procedente del alto horno en acero para colaren lingotes, cuando el arrabio contiene fósforo se emplea un revestimiento básico y esta variante es la conocida como proceso Thomas; los convertidores básicos se llaman convertidores Thomas. Cuando los contenidos de fósforo o azufre del arrabio son bajos (menos de 0.04%) se emplean los convertidores Bessemer. La capacidad de estos varía entre 10 y 60 toneladas cuando se emplean para la fabricación de lingotes de acero, y se soplan siempre por el fondo. Los convertidores Bessemer se utilizan raramente para la fabricación de piezas de acero moldeado.

En los últimos años se han desarrollado diverso procesos que no emplean el aire ordinario, sino que oxidan al carbono y demás elementos por medio de oxígeno puro o una mezcla de vapor y oxígeno. El oxígeno puede soplar desde arriba mediante un chorro o lata de presión o se le inyecta por otros medios, pero la mayoría de estos procesos se emplean para la fabricación de acero en gran escala y no se utilizan en la fundición de acero moldeado. El proceso principal del convertidor en la fundición de acero moldeado emplea el llamado convertidor de soplado lateral, más conocido como convertidor tropenas. El metal se suele fundir en cubilete, y esta constituido por mezclas variables de chatarra de fundición y de acero, y también lingote de alto horno. En este procedimiento es esencial que la carga fundida en el cubilote contenga suficiente silicio, manganeso y carbono para que al quemarse en el convertidor pueda elevarse la temperatura desde la de caldo del cubilote hasta la del acero líquido, es decir, desde aproximadamente 1300 a 1600 °c. Si el contenido de carbono es bajo, es necesario aumentar el de silicio, por ejemplo, mediante adiciones de ferro silicio, aunque en ocasiones se aumenta al contenido de manganeso.

El convertidor de soplado lateral es un convertidor ácido en el que no se elimina ni el fósforo ni el azufre, por lo que el caldo resultante de la operación del cubilote debe contener proporciones mas pequeñas de estos elementos que las que se requieren en el acero acabado, a no ser que se requieran en el acero acabado o se utilicen otros métodos para reducir estas impurezas.

En los últimos años se ha empleado aire enriquecido con oxígeno, con hasta 35%, en los convertidores de soplado lateral; en este caso pueden bastar contenidos mucho mas bajos de carbono, silicio y manganeso. Esto es lógico, porque se elimina parte del nitrógeno del aire y no es necesario calentarlo hasta la temperatura de conversión; el nitrógeno, gas inerte, no produce calor en el soplado, pero sale caliente arrasando, mucho calor sensible. Los convertidores de soplado lateral se construyen con capacidades de entre 700 kilos y 7 toneladas,

la figura 21 muestra una sección en la planta y un alzado de un convertidor típico de soplado lateral, y la figura 22, reproduce una instalación. Puede verse que la parte externa es aproximadamente cilíndrica hay una caperuza troncocónica para el escape de los gases y humos.

Figura 22.— instalación de un convertidor torpenas de soplado lateral para obtener acero a partir de fundición. El viento lo suministra un ventilador a 0.21–0.28 Kg. /cm². La campana facilita la extracción del humo.

El convertidor esta montado sobre muños que permiten bascularlo, y al nivel de esos muñones hay una caja anular de viento, que enlaza con las toberas laterales. Normalmente se emplean 5 o 6 toberas y cuando el convertidor esta en la posición de soplado el viento incide justamente sobre la superficie del metal. La presión es de 0.2 a 0.3 Kg. /cm² y se suministra por un soplador adecuado. La profundidad del baño metálico suele ser de 30 a 40 cm. y la superficie del baño de aproximadamente 0.45 m por tonelada de capacidad.

El soplado dura aproximadamente 15 a 20 minutos, pero puede ser menor si se emplea oxígeno, normalmente se proyecta la instalación del convertidor para poder efectuar 2 o 3 coladas por hora. Es un proceso rápido de fabricación de acero que puede proporcionar una serie de coladas sucesivas de caldo, y por eso se le prefiere en las fundiciones pequeñas.

10.—Cubilote.—

Figura 23.— alzado en sección de un cubilote moderno con fondo móvil.

El cubilote se emplea casi exclusivamente para la producción de fundición de hierro, aunque también se utiliza algunas veces con dimensiones más pequeñas para fundir cobre si se necesitan grandes cantidades de este metal. No sirve para fundir latón o bronce porque se produce una oxidación excesiva del zinc o del estaño, aunque a veces se funde el cobre en el cubilote y luego se añaden al caldo las adiciones aleantes necesarias.

El cubilote consiste en una envuelta cilíndrica de acero que reposa verticalmente sobre una placa base sostenida usualmente por 4 columnas o vigas de acero. La mayoría de los modernos se pueden abrir por el fondo, llevan compuertas centradas en la placa base que pueden abrirse hacia abajo después de un ciclo de funcionamiento para vaciar todos los residuos acumulados. Al principio se construían los cubilotes sobre una base de mampostería envés de soportarlos con columnas, todavía están en uso este tipo de hornos y se llaman de fondo fijo.

Figura 24.— instalación de cubilotes en una fundición, consistentes en 3 cubilotes de dimensiones diferentes. Cada uno de ellos descansa sobre columnas, de tal manera que los residuos que quedan después de una fusión puedan descargarse al bajar los fondos móviles.

La envuelta de acero suele ser de chapa de aproximadamente 6 mm de espesor y se construye por roblonado o por sopladura. En los hornos mas granees se emplean chapas de hasta 12 mm de espesor. Hay una caja o cintura de viento situada de 60 a 150 cm. de altura y rodea a toda la envuelta. El aire es suministrado a la caja de viento mediante un ventilador o un soplador y pasa al interior del horno a través de toberas que pueden estar situadas en la caja de viento o bajo ella. El número de toberas depende del tamaño del horno y es corriente disponer de una tobera por cada 15 cm. de diámetro interno. La altura a la que deben colocarse las toberas respecto del fondo de trabajo del cubilote depende de la capacidad que se necesite para el caldo.

El fondo de los hornos de fondo móvil se hace con arena de moldeo a través de un agujero de limpieza practicado en el fondo de la envolvente. Este agujero se emplea en los cubilotes de fondo fijo para extraer los residuos al finalizar la colada. El agujero tiene aproximadamente 120 cm² de y durante el funcionamiento del horno se tapa con una placa de hierro que se mantiene en posición mediante una barra.

En el frente del horno esta la piquera de colada y se hace que el fondo este con pendiente hacia ella. El espesor medio del fondo de los cubilotes de hasta 5 ton/HR de capacidad puede llegar de 150 a 300 mm en los cubilotes grandes. La piquera de escoria esta de 200 a 230 Mm. por debajo del plano de toberas y debe estar situada a igual distancia de 2 toberas adyacentes para evitar que el viento que entra por estas enfríe demasiado la escoria e impida que colé libremente por el agujero destinado a ella. La puerta de carga se dispone a la altura de 3.5 a 4.5 m por encima del plano de toberas según el tamaño del horno. En los cubilotes muy grandes esa altura puede llegar hasta los 6 metros.

Las toberas son boquillas a través de las cuales pasa el aire al interior del horno desde la caja de viento. La tendencia actual es la de utilizar una sola fila de toberas de sección circular y rectangular. Los mejores resultados se obtienen cuando la sección de las toberas esta comprendida entre 1/5 y 1/7 de la sección transversal del horno al nivel de las toberas. Si se emplea toberas circulares no deben tener un diámetro superior a 5 pulgadas, en cubilotes de 90 cm. de diámetro interior, ni pasar de 6 pulgadas en cubilotes de mayores dimensiones, las toberas rectangulares tienen entre 4 y 5 pulgadas de altura y una anchura de 1 a 1.5 veces la altura. *La producción normal o velocidad de fusión del cubilote depende del diámetro interno al nivel de toberas, pudiendo estimarse en unos 80 Kg. / hr por cada centímetro cuadrado de sección, trabajando en condiciones normales, puede llegar hasta 100Kg/hr por decímetro cuadrado en condiciones favorables, como cuando se emplea chatarra ligera, fácil de fundir con un mínimo de coque. La producción es afectada por la cantidad de coque usado y es baja si también es baja la relación de metal a coque, esto quiere decir que el problema es más de quemar el coque que de fundir el metal. Debe tenerse en cuenta que durante la primera hora de colada la producción es más baja, porque el horno no está todavía suficientemente caliente, mientras que al final de coladas largas se obtiene producciones mayores de lo normal por el aumento de sección debido al desgaste del revestimiento refractario.*

11 Revestimiento del cubilote.

El revestimiento del cubilote puede ser de ladrillos refractarios o de material apisonado, estos últimos se llaman también monolíticos y si se apisonan y se secan bien pueden tener una vida tan larga como la de los mejores ladrillos. El espesor del revestimiento depende del tamaño del cubilote y de la duración de las coladas. En un funcionamiento normal con 4 a 6 horas de colada por día y producción de 5 ton. / hr, el espesor es de unos 225mm y en los cubilotes más grandes el revestimiento no tiene espesores mayores de 300 mm, a no ser que las condiciones de trabajo sean muy duras. El espesor de la mampostería en la chimenea por encima de la puerta de carga o tragante, no suele pasar de 75 a 120 mm. En muchos cubilotes el revestimiento entre las toberas y el tragante es de espesor uniforme, pero cuando la distancia vertical entre toberas y el tragante es relativamente pequeña se le puede abocinar para que la sección transversal sea mayor por encima de las toberas. Con ello se aumenta la capacidad de la zona de precalentamiento por encima del lecho del coque y puede trabajarse con más economía.

El ensanchamiento debe ser tal que el diámetro de la sección mayor supere en unos 150 a 225 mm la sección a la altura de toberas. El bocinado debe empezar 60 ó 90 cm. por encima de las toberas y tener una altura aproximada de 60 cm. Estos revestimientos abocinados no son recomendables en los siguientes casos:

- 1. Cuando en una misma colada lán de fundirse mezclas diferentes y se desea mantenerlas lo más separadas posible, pero sin vaciar el horno antes de pasar de una a otra.*
- 2. Cuando la distancia vertical entre las toberas y el tragante es mayor que lo normal y hay una zona de precalentamiento amplia con un revestimiento de espesor uniforme.*
- 3. Cuando el cubilote ha de vaciarse más de una vez durante la colada para separar mezclas diferentes. El revestimiento abocinado aumenta el tiempo necesario para vaciar el horno y es mayor el desgaste del revestimiento.*

Para obtener la máxima eficiencia de un cubilote debe ser tal el espacio de precalentamiento que sea capaz de contener aproximadamente las capacidades de metal, coque y caliza que el horno puede consumir en una hora de funcionamiento.

12 Funcionamiento del cubilote

En la conducción correcta del cubilote se empieza por encender un fuego sobre el fondo del liorna y se añade coque en pequeñas cantidades hasta alcanzar el nivel de las toberas, el fuego asciende progresivamente hasta que todo el coque está caliente alimentado por tiro natural, el aire es succionado a través de los agujeros de limpieza y de escoria que se mantienen abiertos. A veces se emplean toberas auxiliares o un pequeño soplante para quemar rápidamente el lecho del coque. Cuando el coque está bien encendido se cierra con arena el agujero de limpieza y se tapa con una placa de acero. Se añade mas coque para alcanzar el lecho de la altura requerida, el cual se comprueba con una barra de medida introducida por la puerta de carga. Antes de introducir cualquier carga hay que estar seguro de que el coque está bien encendido y que arde fácilmente en las toberas.

Cuando el lecho está apunto se añaden las cargas para llenar el horno hasta el nivel del tragante. Se alternan las cargas de metal y coque, el fundente, que normalmente es caliza, se carga con el coque. Cuando el cubilote está lleno se comienza el soplado, y a los 5 ó 7 min. Debe verse pasar el metal fundido por delante de las toberas.

Algunos fundidores prefieren mantener abierto el agujero de colada hasta que el metal ya fundido salga caliente del horno, entonces se cierra con un tapón de arcilla. Otros cierran el agujero, una vez que el secado es completo, antes de empezar a soplar. El metal se va acumulando en el crisol o pozo y cuando se supone que hay cantidad suficiente (según experiencia), se sangra el horno.

Mientras tanto se siguen añadiendo cargas de metal y coque para reemplazar al metal fundido y así se continua hasta el fin de la colada. La escoria se sangra por el agujero correspondiente a intervalos de 45 a 60 min. O siempre que se considere que se ha acumulado en el horno demasiada escoria.

En los cubilotes con ante crisol el sangrado es continuo. El metal y la escoria fluyen continuamente al ante crisol a través del agujero de colada y en el se separan por densidades. La escoria sale del ante crisol por un agujero situado por encima del nivel del metal. El caldo del ante crisol continua su camino bajo una pared de retención de escoria y por encima de otro tabique, pasa al canal de colada. Este tabique tiene la misión de mantener suficiente hierro líquido en el sifón formado para que pueda soportar la presión de la escoria, la carga del cubilote y el aire soplado. La distancia en altura entre el borde superior del agujero de colada del cubilote y el borde superior del tabique que represa al metal en el ante crisol debe acomodarse a las condiciones que en cada caso crean la altura de escoria y la presión del aire.

Al fin de la colada se deja de cargar y se mantiene el viento hasta que por inspección a través de las toberas se vea que todo el metal ha fundido. Inmediatamente se suprime el soplado. En el cubilote de fondo móvil se abre y se descargan por caída todos los residuos que quedaban en el horno. Estos residuos se enfrían bruscamente

En agua. El coque restante que será aproximadamente la mitad del que inicialmente se necesitó para formar el lecho, se puede recuperar y emplear en la colada siguiente. En los cubilotes de fondo fijo hay que retirar la placa del agujero de limpieza y sacar los residuos con rastrillo. Antes de volver a usar el cubilote es necesario reparar el refractario, la importancia de las reparaciones depende de la duración de la colada. Cuando las condiciones de funcionamiento son duras puede ser necesario poner ladrillos nuevos en la zona de fusión, donde existe más erosión del revestimiento. En general suele bastar con un parchado con ganister para devolver al revestimiento sus dimensiones primitivas. La reparación debe hacerse cuidadosamente y hay que secar el revestimiento antes de volver a usar el cubilote. Por eso suele ser conveniente instalar dos

cubilotos, para poder reparar uno, mientras el otro trabaja. Cuando los cubilotos se utilizan en coladas de larga duración es aún mejor tener tres cubilotos instalados, para poder hacer reparaciones de mayor importancia, hasta cambiar el revestimiento y renovarlo totalmente, sin interrumpir la producción.

La altura que debe alcanzar el lecho de coque sobre las toberas antes de empezar a cargar el liorna depende del diseño del horno y de las condiciones de funcionamiento. Solo la experiencia nos puede aconsejar sobre la altura necesaria del lecho de coque para las condiciones determinadas. Cuando se obtiene fundición alta de en fósforo y no es necesaria una temperatura de colada demasiado elevada, basta con que el lecho de coque llegue a 60 cm. por encima de las toberas. Al contrario cuando se necesita un metal muy sobrecalentado se necesita alturas de 150 cm o más. Cuando se funden mezclas con mucha proporción de chatarra de acero los lechos deben ser más altos que cuando se trata de mezclas de arrabio o chatarra de fundición. La altura media para la fusión de mezclas más corrientes para piezas coladas es de 75 a 90 cm sobre toberas

El suministro de aire al cubilote, se realiza con sopladores tipo Root o con ventiladores de alta presión. Los ventiladores modernos acoplados directamente dan resultados muy satisfactorios y van sustituyendo a los sopladores porque su costo es más bajo, hacen menos ruido, vibran menos al funcionar y el desgaste de las partes móviles es menor. Una ventaja de los sopladores es que si se conoce la velocidad y el

Aire desplazado por revolución es fácil calcular el volumen de aire que pasa al cubilote. Si se utiliza ventilador es necesario emplear algún dispositivo de medida del gasto de aire. La cantidad de aire inyectado en un cubilote está determinada por la relación metal –coque y la velocidad de fusión requerida. A partir de estos factores se puede calcular el peso de coque quemado por minuto: la cantidad de aire para quemarlo a dióxido de carbono es aproximadamente 8,4 m³ por Kg. de coque en el supuesto de que este contenga un 90% de carbono.

No es corriente que en el cubilote se queme el coque totalmente a dióxido de carbono, por lo que la cantidad de aire sería menor, pero en la práctica hay que tomar en cuenta fugas en las tuberías de soplado y en la caja de viento y pérdidas, se necesita más aire del calculado teóricamente siendo buenas cifras las que oscilan entre 9 y 10 m³ por Kg. de coque.

Es difícil dar una guía segura sobre la presión a la que debe suministrarse el aire a los cubilotos, porque depende de muchos factores como las dimensiones de las toberas, forma de revestimiento, y naturaleza del material cargado. En condiciones normales se recomiendan las siguientes presiones:

Diámetro interior de cubilote cm. 60–75 75–100 100–125 125–150 Presión en centímetros de agwt 10–40 40–55 55–70 70–90

Relación metal / coque consumido, se considera como un índice de la eficiencia del funcionamiento del cubilote. Se admite muchas veces que si un cubilote funde 15 Kg. de metal por cada Kg. de coque consumido, funciona mejor que otro que para la misma cantidad de coque funda solo 10 Kg. de metal. La relación metal /coque depende de muchos factores, entre ellos la naturaleza del metal (más o menos fácil de fundir), el tamaño medio de las piezas cargadas, la temperatura necesaria para el caldo, la duración de la colada, y la calidad del coque empleado. Se consumirá más coque cuanto más elevada sea la temperatura necesaria y la fusión de trozos gruesos exigirá más coque que la chatarra ligera. Si en ciertos periodos hay que mantener en un horno una velocidad de fusión baja, pero sin que descienda la temperatura del caldo, aumentará el consumo del coque. Cuando se emplea en la carga un

Porcentaje elevado de chatarra de acero, una parte del coque se emplea en carburar el acero. En la fusión de cargas con un 50% de acero son cifras buenas las relaciones metal/coque de 6/1 a 8/1. En la fabricación de piezas coladas a partir de mezclas con un 25% de acero es muy satisfactoria una relación 10/1. Citándose traía de obtener fundiciones altas en fósforo para colar piezas ligeras se puede llegar a relaciones 15/1.

Estos valores de la relación son válidos para cubilotes grandes. En los pequeños suele utilizarse una cantidad mayor de coque para obtener las mismas temperaturas. El metal para piezas de maleable con carga que contenga o no acero se produce raramente con relaciones metal ¡coque inferiores a 8/1 porque se necesita una temperatura del caldo muy alta

Peso de las cargas, debe ser evidentemente el que dé mejores resultados para cada tamaño de cubilote pero depende en parte las condiciones de funcionamiento. Para ahorrar mano de obra debe reducirse al mínimo el número de cargas y por tanto de pesadas, lo que indica que el peso de cada carga debe ser el mayor posible para que la fusión sea satisfactoria. El empleo de cargas grandes produce mejores rendimientos en la combustión. El peso máximo de las cargas debe estar comprendido entre 1/8 y 1/6 de la capacidad lloraría de fusión. En muchos casos existen consideraciones especiales que aconsejan el uso de cargas menores, por ejemplo en la fusión de cargas que tienen materiales de composición diferente, como acero y arrabio, y es necesaria una buena mezcla en el crisol del horno o en la cuchara, en este caso es mejor emplear varias cargas de peso más pequeño en lugar de una grande, el peso recomendable puede ser de entre 1/10 a 1/12 de la producción horaria.

Pero como se dijo antes el peso de la carga depende del tamaño del cubilote y de las condiciones de funcionamiento. Esta es una condición independiente del tipo del metal o aleación que debe fundirse. Las cenizas del coque de cubilote y la arena adherida a la chatarra y el arrabio deben eliminarse con la escoria y ello exige el empleo de fundente, por ello se adiciona costina (caliza) a las cargas. La práctica corriente es añadir un peso de costina que sea aproximadamente del 25% a 20% del peso de coque cargado. Con tal adición se consigue una escoria que contiene

Aproximadamente el 25% de cal y que fluye con facilidad sin producir erosiones importantes en el revestimiento.

Como en el funcionamiento normal del cubilote no se quema el coque totalmente a dióxido de carbono, se produce una determinada cantidad de monóxido de carbono, que se quema en el tragante o escapa por la chimenea. Esta formación de monóxido de carbono representa una pérdida de calor, por lo que se ha diseñado cubilotes con soplado auxiliar para evitar pérdidas

En el cubilote Poumay hay pequeñas toberas a diversas alturas, por encima del lecho de coque, que suministran el aire necesario para quemar a dióxido el monóxido formado a niveles más bajos. En los cubilotes de soplado compensado hay una fila de toberas con válvulas para controlar el viento y una o dos filas de toberas auxiliares ajustables en la caja de viento. La cantidad de aire admitido por las toberas principales y las auxiliares se puede ajustar para conseguir la máxima eficiencia con cualquier juego de condiciones. En casos favorables estos cubilotes permiten un ahorro importante de combustible.

13. Procesos modernos en los cubilotes.

En los últimos años se han introducido ciertos perfeccionamientos en la práctica del cubilote, muchos no son realmente nuevos, pero se les ha utilizado como consecuencia del aumento de los precios de la mano de obra y de los materiales. Uno de estos desarrollos es el uso creciente de los cubilotes refrigerados con agua, en los que existe una camisa de agua en la zona de fusión o se proyectan chorros de agua sobre ella. La refrigeración con agua ahorra refractarios y gastos de reparación. También se emplean frecuentemente toberas de cobre enfriadas por circulación de agua. Es evidente que esta refrigeración resta calor a la zona de fusión, pero en cubilotes grandes de más de 90cm de luz, las economías conseguidas hacen ventajoso su empleo. Otro caso en que se justifica la refrigeración es el de cubilotes que trabajan más de 8 horas seguidas. En casos especiales se han conseguido operaciones de una semana o más sin destrucción del fondo.

Para ahorrar coque y hacer posible el empleo de cargas con mayor proporción de chatarra de acero ha aumentado continuamente el empleo de cubilotes de viento caliente. El empleo de viento precalentado

permite usar coques de peor calidad y hacer disminuir las pérdidas de silicio, mientras que a la vez se incrementa la absorción de carbono por el metal. El viento se calienta normalmente a 400 ó 500 C y se emplean tres sistemas diferentes para precalentamiento:

- a). Se utiliza un precalentador especial de viento calentado por aceite, gas u otro combustible. Normalmente se trata de un cambiador tubular de calor en el que el combustible se quema en la cámara de combustión, pasando los productos por el interior y el aire por el exterior de los tubos, o viceversa.
- b) El contenido combustible de los gases de escape del cubilote y su calor sensible se emplean para calentar el viento. La mayor parte de los gases de escape (aproximadamente el 75%) son extraídos y llevados a una cámara de combustión en la que se queman con aire, los productos de esta combustión pasan un recuperador metálico y calientan el viento.
- c) Se extraen los gases por un agujero practicado justamente encima de la zona de fusión y solo se emplea su calor sensible para calentar el viento en un recuperador. Aunque hay varios sistemas y tipos de calentamiento del viento, el procedimiento más empleado es el (b), y por ello lo describiremos con más detalle. El gas de escape del cubilote sale normalmente a temperaturas comprendidas entre 350 y 500 C y contiene de 12 a 16% de monóxido de carbono. Entre el calor sensible y su poder calorífico resultan unas 540 Kcal. / m³. Este gas se extrae por debajo del nivel de carga, siendo conveniente un estrechamiento bajo la puerta de carga para forzar los gases a pasar al sistema de recuperación. El gas caliente se suele hacer pasara través de un separador de polvos de tipo ciclón, no se pierde mucha temperatura. Seguidamente los gases llegan a la cámara de combustión situada precisamente delante del recuperador.

Hay en uso dos clases de recuperador. El primero es del tipo de radiación y consiste en un tubo de acero con un diámetro de 50 a 90 mm de diámetro, a través del cual pasan los gases calientes y radian su calor alas paredes del cilindro. El aire pasa en contra corriente alrededor de la superficie externa del cilindro por un conducto angular formado entre este y otro cilindro exterior de diámetro ligeramente superior. El espacio angular entre ambos cilindros es de poca sección, para que la velocidad del aire sea elevada, el aire puede ser guiado convenientemente para que fluya verticalmente o en hélice. Todas las tuberías del gas caliente se revisten con ladrillos refractarios, y la tubería del viento caliente, que suele ser de acero, se aísla térmicamente por el exterior. En la parte superior del recuperador de radiación suele colocarse una chimenea para aumentar el tiro e instalarse un regulador del mismo, que ajusta la cantidad de gases que pasan por el recuperador. Normalmente este ajuste es tal que pasa por el sistema el 75 % de los gases de escape del cubilote. El resto continua por el interior por el cubilote y produce una presión suficiente para que no sea succionado nuevo aire.

Figura 25. Esquemas de la disposición de un sistema de recuperación M.E. Schack, acoplado a un cubilote.

El otro tipo de recuperador es el de convección, que es el mas empleado (figura 25). Consiste normalmente en una cambiador tubular de calor en el que loa gases pasan por el interior de los tubos o por su exterior, circulando el aire por la superficie contraria. La resistencia al paso del gas es mucho mayor que en el recuperador de radiación, y por ello suele instalarse un exhaustor que arrastra lo gases a través de la cámara de combustión y el recuperador. Aunque la mayor parte de los polvos mas gruesos son retenidos en los separadores, siempre se acumula polvo en los elementos del recuperador, cualquiera que sea su tipo. Hay que disponer medios para limpiarlos periódicamente, porque de otra manera disminuirá su rendimiento en la transferencia de calor.

Algunos cubilotes no tienen boca lateral para la carga, sino que llevan un tragante cerrado en su parte superior con un sistema de campana y tolva, es mas apropiado para los cubilotes grandes. En este caso todos los gases del tragante pasan por el sistema de recuperación, las ventajas que ofrece el aire calienten el funcionamiento del cubilote son:

- *Disminución del consumo de coque y posibilidad de empleo de coques de menor calidad con muchas cenizas.*
- *Se pueden fundir y carbura mayores proporciones de chatarra de acero para fabricar fundición.*
- *Disminuye la pérdida de silicio.*
- *Es posible conseguir mayores temperaturas de colada, lo que importa principalmente para colar piezas delgadas.*

Hay que tener en cuenta que todas las ventajas no se pueden conseguir a la vez. Como cada vez es más necesaria la supresión de humos en los procesos industriales resulta ventajoso el empleo de cubilotes con el tragante cerrado, pues es fácil instalar un colector de polvo después del recuperador y antes que los gases de escape pasen ala chimenea. Cuando se emplea el procedimiento normal de carga es fácil eliminara el polvo con agua en la parte superior de la pila de carga. Otro desarrollo es el de los cubilotes con revestimiento básico o neutro. El cubilote

Básico empezó revistiéndose con dolomía, pero hoy se prefiere la magnesita. En el cubilote se puede producir una escoria caliza capaz de eliminar azufre y aumentar la absorción de carbono, esto importa especialmente en la producción de fundiciones modulares. Para obtener resultados satisfactorios hay que controlar bien las escorias. Un último desarrollo es el empleo de carbón que puede utilizarse tanto con escorias ácidas como con básicas.

Cada vez que se aplica más la mecanización para la carga de los cubilotes, y muchos cubilotes pequeños se cargan con dispositivos de vagonetas o máquinas que elevan cubetas de fondo móvil hasta la puerta de carga, el último sistema se prefiere para los cubilotes grandes porque permite controlar mejor la distribución.

Quando se necesitan cantidades pequeñas de metal se emplean algunas veces cubilotes de tamaño reducido. Se ha comprobado su utilidad para aquellos casos en que se necesitan producciones pequeñas. La diferencia principal entre estos cubilotes y los normales es el restringido espacio de precalentamiento que queda entre las partes superiores del lecho de coque y la pila de carga.