

## **HORNOS DE FUSIÓN:**

### **INTRODUCCIÓN:**

Así como para acerías se vio alto horno, reducción directa, convertidores, eléctrico trifásico, cuchara de reacción y otros medios para llegar al acero fundido, para hierro fundido y colado de aleaciones ferrosas son diferentes. Coincide en el inicio para reducir el mineral y obtener arrabio, y algunos casos en que el horno trifásico se utiliza para obtener piezas ferrosas coladas; este último no es normal, pero básicamente en acerías integradas con fundiciones y para piezas grandes pueden utilizarse. De todos modos fueron tema de estudio en la parte de "Aceros".

Para obtener piezas ferrosas por moldeo, los hornos fundamentales son dos: Cubilote y Eléctrico por Inducción. Para fundiciones, en menor escala y sin mucho éxito, también se utiliza el rotativo. Analizaremos someramente estos tres tipos.

### **HORNO CUBILOTE**

#### **DESCRIPCIÓN:**

Está compuesto por un cilindro metálico vertical, recubierto por refractarios. El fondo, se cierra con una tapa sobre la que se apisona una capa de tierra inclinada hacia el orificio de salida, sangrado o piquera.

Encima de la zona donde se acumula el metal, llamada crisol, se encuentra una cámara de aire o viento, donde converge el aire soplado por un ventilador, que iguala su presión y lo conduce al interior del horno a través de las toberas.

En la parte superior, tiene una abertura lateral por donde se carga el horno. Más arriba, se encuentra la chimenea que conduce los gases. Termina con un supresor de chispas y separador de polvillo que acarrearán estos gases. Ver detalle en figuras 1, 2, 3 y 4.

#### **FUNCIONAMIENTO:**

Se inicia la marcha colocando por la boca de carga coque para formar la cama, que va desde el piso hasta algo encima de las toberas; Antes de iniciar la colada, debe ser perfectamente encendida y llevada a la altura correcta. Posteriormente, se introducen alternativamente cargas metálicas y no metálicas (coque y caliza) en un número de 4-5 pares hasta alcanzar el nivel de la boca de carga..

Al insuflar aire por las toberas hace subir la temperatura por la combustión del coque, provocando la fusión del metal. Este cae en gotas a través del coque, que lo carbura y calienta aun más, llegando al piso del horno.

El coque consumido por la combustión y carburación, es sustituido por el cargado entre cada carga metálica, manteniendo la altura ideal de la cama.

La arena arrastrada por los materiales de carga, el refractario que se funde y oxidación del metal, producen una escoria ácida y viscosa. Para neutralizarla y hacerla más fluida, se agrega caliza junto con el coque.

En la medida que va fundiendo el metal, baja la carga y se va restituyendo con nuevas cargas metálicas y de coque.

La conducción del horno cubilote, exige una experiencia muy grande, y se debe controlar constantemente su marcha. Esta debe ser continua; si se para, al reiniciar suceden descontrol de composición química y caída de temperatura, proporcional al tiempo de parada.

### SANGRADO O SALIDA DEL METAL:

Las gotas fundidas llegan al piso y se acumulan en el fondo. El metal es extraído del horno de dos formas diferentes:

1) Sistema intermitente, de pinchado o discontinuo, mediante apertura y obturado periódico de un tapón refractario externo. Se deja acumular metal y escoria en el crisol un tiempo determinado. Se abre el tapón, y el metal pasa a través de un canal a la cuchara de colado o a veces a un acumulador y homogeneizador llamado antecrisol. Se corta la salida cuando se observa que comienza a salir la escoria que flota sobre el hierro.

Más arriba del orificio de sangrado hay otro agujero también tapado con refractario, por el que cada 5 -6 salidas de metal se abre y permite fluir la escoria.

2) Sistema continuo, donde metal y escoria salen juntos por el orificio de sangrado; previo a desbordar a la cuchara de colada o antecrisol, pasa por un sifón que los separa. Se muestran croquis en figuras 5, 6 y 7.

### CARACTERÍSTICAS:

El horno cubilote, fue el principal para la producción de fundición laminar y blanca; considerado obsoleto desde hace 50 años, aun participa en un importante sector de la producción de este material y nodular o esferoidal. Por problemas de conducción, calidad y contaminación principalmente, es sustituido por hornos de inducción. En las fundiciones pequeñas que producen fundiciones de calidad intermedia, se mantiene vigente.

De todos modos, se han introducido a través del tiempo continuas mejoras que lo mantienen vigente; las analizaremos en el siguiente punto:

### Mejoras y Modificaciones:

- Sustitución del coque de hulla nacional de pésima calidad por el de residual de petróleo; este es de poder calorífico y carburación altos, y bajo porcentajes de cenizas. Se debía importar la materia prima, y se elevaba el sensiblemente el costo. Esta es una solución privilegiada para nuestro país, no es universal.

- Refrigeración de la coraza externa con lluvia de agua, que provoca la solidificación de la escoria para que actúe como refractario, principalmente encima de las toberas que es la más caliente y mayor consumo de refractario. Con la aplicación simultánea de refractarios de alta calidad en zonas de mayor desgaste como piqueta y sifón, permite realizar coladas de 48 horas o más.

- El desarrollo de de nodulizantes especiales para alto azufre, como los que se obtienen en el cubilote, permiten la producción de esferoidal de alta calidad en estos hornos.

- El uso de aire precalentado, enriquecido con oxígeno, o el uso de gas natural permite obtener: marchas más homogéneas y económicas, menor consumo de coque, mayor producción horaria y temperatura del metal. Permite producir piezas más complejas y de mayor calidad.

- Sustitución total del coque por gas natural como combustible. Ya hay instalados en Japón, Alemania, España, Australia y Austria entre otros países.

En Brasil, Fundición Tupy está avanzada en este proyecto.

Este desarrollo, puede ser importantísimo para Argentina, por la gran disponibilidad de gas. La abrupta baja de costos de producción, sumado a la radical disminución de la contaminación por los gases resultantes de la combustión, cambiaría totalmente los parámetros de elección. Puede ser un nuevo motivo para el impulso y rejuvenecimiento de este pseudo-obsoleto que se resiste.

Dice la bibliografía y es razonable, que da hierro más caliente, mayor producción horaria para un mismo diámetro de horno, menor contaminación ambiental, y no aporta los indeseables fósforo y azufre que contiene el coque.

- Equipos eliminadores de gases contaminantes, polvillo y humos. ésta solución es muy costosa, y no alcanza a compensar con los beneficios del precalentamiento del aire de soplado aprovechando el calor latente de los gases depurados.
- La automatización de cargas, comandos, controles y correcciones del cubilote, aportó también para facilitar la conducción del cubilote y mantenerlo vigente.

#### Ventajas:

- Muy baja inversión si no es imprescindible el equipo depurador de gases, exigido en las zonas urbanas.
- Alta eficiencia térmica, por trabajar a contracorriente la carga y los gases que la atraviesan. Si de algún modo económico se precalientan el aire con el calor latente de los gases, se mejora dicha eficiencia.
- Elevada producción horaria; un horno de 600 mm. de diámetro interno, produce 2-2,5 ton/hora. Uno de 1200, 11-12 ton/hora.
- Particularmente en Argentina con coque de residual de petróleo, se obtiene excelente calidad y costo relativamente bajo.
- El costo operativo es relativo a los valores del coque y al de la energía eléctrica. Siempre fue favorable al coque; pero en los años 2002-2004 se invirtió la relación, y llevó a una fuerte tendencia a instalar los inducción.
- Con materiales seleccionados y una correcta marcha, se obtiene muy buena calidad de fundición gris y nodular comunes y levemente aleadas. Estos representan en volumen, el 80 % de los metales obtenidos por moldeo.

#### Desventajas:

- La contaminación atmosférica es la principal, por la producción de humos y gases tóxicos. En zonas urbanas se hace imposible pensar en su utilización, y como dijimos los depuradores son prohibitivos económicamente.
- Exige una complicada y correcta programación de los moldes, para evitar por todos los medios interrumpir la marcha del horno. Toda parada, provoca desequilibrios en la composición química y caída de la temperatura difíciles de corregir.
- No permite corregir sensiblemente la composición química, ni elevar la temperatura. Al agregar aleantes, ésta cae aún más. Si del horno sale material defectuoso para lo programado, queda como única alternativa disponer de moldes con otras características donde se pueda colar de inmediato.
- Cuando se pone en marcha el horno, produce continuamente y sin interrupción un volumen grande de metal por varias horas; simultáneamente, deben producirse varias tareas como colado de las piezas, producción de nuevos moldes, cambiar los contrapesos en ellos para contrarrestar la presión ferrostática, cargar de material al horno, desmolde de lo ya colado, y otras tareas y movimientos paralelos. Cuando no se produce gran volumen todos los días, demandan mucho personal simultáneamente, y se debe recurrir a personal de otros sectores como rebaba y noyería, que deben interrumpir sus actividades. Con horno inducción, el metal sale en forma intermitente, y permite desarrollar las tareas con el personal específico a cada tarea sin interrumpir otras.

#### MATERIALES DE CARGA:

Se divide en dos grupos; la metálica formada por los siguientes componentes y porcentajes, en fusión de la marcha y material que se desea obtener:

Material Metálico	Máximo %	Mínimo %
Chatarra de fundición	30	10
Chatarra de acero	45	0
arrabio	40	0
Retornos	60	30
Ferroaleaciones (FeSi, FeMn)	3	2

Para gris, se utilizará arrabio, chatarra y colada de gris, y para nodular de nodular. Retornos idem, y se refiere a las coladas, piezas rechazadas, lingoteo de metal frío o fuera de composición química.

La calidad del metal a obtener y piezas que se fundirán (grandes y gruesas o pequeñas y finas), determinan los porcentajes de materiales de carga. El arrabio en general facilita la obtención de material de calidad, pero su uso está restringido por el alto costo, principalmente en Argentina.

La carga no ferrosa, está compuesta por coque que corrige la altura de la cama, consumida como combustible y carburante, y la caliza o carbonato de calcio para fluidificar la escoria. Como dijimos, actualmente en el país se utiliza coque de residual de petróleo, que puede ser de alta, media y baja carburación y poder calorífico, en función inversa al porcentaje de cenizas que posee. En gris se puede utilizar cualquiera de los tres en función del metal a obtener en porcentajes del 14 al 16 %; para piezas gruesas (% C bajo), se usan los de menor carburación, y para finas alta o media. En nodular, con carbono necesariamente alto, se utiliza exclusivamente el de alta carburación entre 17 y 20 %.

#### MATERIAL QUE SE PUEDEN OBTENER:

Son básicamente las fundiciones comunes y de baja aleación. No permite altamente aleadas por su mayor temperatura de fusión y regulación de composición química, ni aceros ni ferroso por su alta carburación. O sea es aplicable para las fundiciones comunes:

- Gris.
- Maleable Corazón Blanco.
- Maleable Corazón Negro.
- Nodular o Esferoidal.
- Blanca Baja Aleación.

### HORNO INDUCCIÓN:

#### DESCRIPCIÓN:

Consta de una bobina de cobre refrigerada, por la que circula corriente alternada; esta induce un campo magnético perpendicular a la bobina, que a su vez genera una corriente parásita sobre la carga metálica que actúa como núcleo. Esta corriente de Joule, provoca el calentamiento y fusión del metal.

A medida que funde la carga y agregamos material para completar el horno y seguir el proceso, la corriente se hace inductiva y se debe agregar capacitores para equilibrarla; para lograr el coseno lo más próximo a la unidad, y obtener la máxima potencia.

Se utilizan para aleaciones ferrosas y no ferrosa de alto punto de fusión, donde los crisoles comunes alimentados a gas no tienen buen suceso.

Contrariamente a los hornos cubilote y trifásico, prácticamente no varía la composición química de lo que introducimos en él; salvo la oxidación que pueda haber básicamente del carbono, por no tener una escoria protectora e incentivada por la agitación del baño provocada por la corriente parásita.

## TIPOS DE HORNO:

Como primera clasificación, podemos dividirlos en:

- De Canal: Poco utilizado; y si lo es, actúa como antecrisol del cubilote donde se puede realizar algún ajuste y aumentar la temperatura del metal. Sería una especie de dúplex, pero no eficiente porque no tiene buena homogeneización.
- De Crisol: Es el más utilizado y se toma como sinónimo "de inducción". Lo que describimos en adelante se refiere a este tipo. El eje de la bobina y el cilindro del refractario son verticales. se muestra su esquema en las figuras 8 y 9.

Según la corriente que los alimenta pueden ser:

- De alta frecuencia, (50 Khz), generalmente de tamaño reducido hasta 5 kg. La corriente generada permite fundir la carga metálica partiendo de sólido, aunque no sea magnética. Produce baja agitación.
- De media Frecuencia, (2000-5000 ciclos); también funde carga sólida mismo siendo no magnética. Produce baja agitación.
- Frecuencia de red, (50-60 Hz), utilizados para hornos grandes destinados a gris y nodular. Si parte de carga sólida, debe ser de un "tocho" macizo para obtener la fusión. No la alcanza con carga abierta solamente, sin un pie líquido o dicho "tocho" al inicio. Provoca alta agitación, con la consiguiente oxidación y desgaste de refractario si no se toman recaudos. La forma de originar la mayor frecuencia en los dos primeros casos, puede ser en forma rotativa, o estática electrónicamente. Los hornos modernos, son exclusivamente por este sistema.

Considerando el refractario utilizado, pueden clasificarse en:

- Ácido, se utiliza cuarcita, y se aplica básicamente para gris y nodular; es el más económico, pero de menor refractariedad. Con cuidados puede utilizarse para aceros, salvo manganeso que da escoria básica y lo ataca.
- Neutro, de alúmina o cromita; tienen mayor refractariedad, son más caros, y se utilizan para aceros.
- Básicos, de magnesita, idem características anterior.

Para producir aceros inoxidable, aleaciones de bajo carbono y donde es indeseable la oxidación, se complementa el equipo con sistema de vacío. Agregando óxido al baño y provocarse el vacío, se extrae CO<sub>2</sub>, y disminuye el % de carbono. También puede utilizarse para aislar el baño de la atmósfera y evitar la oxidación.

## MATERIALES DE CARGA:

Dijimos que salvo la oxidación, no se producen reacciones químicas. La carga entonces será de los canales y chatarra más parecidos a lo que deseamos producir. Para fundición gris o nodular, utilizaremos:

- Retornos del material correspondiente.
- Chatarra de acero.
- Chatarra de fundición correspondiente al metal a obtener.
- Ferroaleaciones, básicamente FeSi y FeMn.
- Carbón mineral molido: Carga no metálica utilizada para ajustar el carbono, que se incorpora con relativa facilidad por la agitación del baño.

Para un acero inoxidable, la carga será chatarra lo más próxima a lo que se desea obtener, y básicamente FeCr y Ni que es la base de estos metales. Como en general son de muy bajo carbono, debe cuidarse de no utilizar materiales que lo incorporen.

Considerando que no existe reacción salvo oxidación (muy importante en los aceros carbono), todo lo que se carga sale en el metal resultante.

**CARACTERÍSTICAS:**

Además de sus propias cualidades, en general se lo compara con las del cubilote:

**Ventajas:**

- Baja contaminación ambiental.
- Permite fabricar todo tipo de aleaciones ferrosa, y muchas no ferrosas.
- Conducción relativamente sencilla.
- Se obtiene excelente control de calidad, por permitir ajustes de composición química y temperatura.
- No introduce en el metal fósforo ni azufre.
- Permite programación de fusión y colado constante; no se produce acumulo de tareas como con el cubilote; el día de fusión no es necesario parar todos los sectores como con el cubilote.

**Desventajas:**

- Básicamente, se reduce a su alta inversión, máxime si se desea producir sólo con él grandes volúmenes.
- El costo de producción es relativo al de energía eléctrica, coque y eventualmente gas.

**HORNO ROTATIVO:**

Consiste en un cilindro horizontal de chapa, recubierto por refractario; tiene dos coronas, una dentada, que apoya sobre dos rodillos que lo hacen girar lentamente. En una de las bases se ubica un quemador y la salida del metal líquido, y la otra se utiliza para la carga sólida del metal, y salida de los gases de combustión. Otro dispositivo mecánico, permite básculas el horno para permitir el total vaciado del metal, extraer la escoria, y reparar el refractario. Ver croquis figura 10.

El costo de inversión es superior al cubilote (sin depuración de gases, y sensiblemente inferior al inducción)

El refractario aplicado es sílico-aluminoso.

El combustible utilizado, puede ser gas natural, fuel-oil, o aceite de lubricación de automotores usado. Como comburente, se utiliza oxígeno puro básicamente para fundiciones, o aire para los no ferrosos. Con el metal aún sólido, el calentamiento se produce por la llama directa. Comenzado a fundir el metal, el horno gira y el calor se transmite más por el contacto renovado con el recubrimiento calentado por la llama.

No es apto para aceros porque no se llega a la temperatura de fusión y menos de colado; para fundiciones, si bien se usa con relativo éxito en Brasil, en Argentina no ha tenido el desempeño esperado para sustituir al cubilote, y producir directamente de él fundiciones gris, nodular o blanca. Porque no han sido bien aplicados los quemadores, y/o porque es necesario partir con un porcentaje elevado de arrabio (alrededor de 40 %), que lo hace antieconómico. El metal líquido se recubre con una capa espesa de escoria difícil de sacar, que impide la recarburación y ajuste con ferroaleaciones.

Se está usando con relativo suceso en lugar del cubilote para dúplex con inducción, sin carga de arrabio, aprovechando el menor costo del gas natural como combustible. el metal obtenido no necesita ser tan caliente ni de composición precisa, porque se ajusta posteriormente; se reduce sensiblemente la contaminación comparando con el cubilote.

**DUPLEX:**

Se denomina al sistema de fundir con un cubilote u horno rotativo, y ajustar la composición química y temperatura con el inducción. Utilizado sólo para obtener fundiciones comunes o de baja aleación.

Se aprovecha la gran producción horaria de los primeros, y la calidad que garantiza el segundo al ajustar la composición química y temperatura. se justifica para producciones grandes, reduciéndose la gran inversión que debería hacerse con hornos de inducción solamente.

El costo operativo, también depende de la relación de valores entre energía eléctrica y coque. Con el rotativo a gas, en Argentina compensa por la oferta económica de este combustible. Si el desarrollo del cubilote con gas y sin coque tiene éxito, puede ser una excelente solución para la producción nacional de fundidos..