

2720



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

HORNOS DE FUSION UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
ALBERTO ZARATE CHAVEZ

DIRECTOR DE TESIS,
ING. SAMUEL PEREZ DIAZ



CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C O N T E N I D O

	Página
1.- INTRODUCCION	
1.1.- Clasificación de los hornos de fusión	1
1.2.- Utilidad de los hornos de fusión en la industria	5
1.3.- Clasificación de los procesos elementales de fusión utilizados en la industria	9
2.- ASPECTOS BASICOS DE LA CONSTRUCCION DE LOS HORNOS DE FUSION	
2.1.- Clasificación de los materiales refrac- tarios para su construcción	16
2.2.- Propiedades de los materiales refracta- rios para su construcción	20

2.3.- Resistencia en bóvedas de los hornos de fusión	27
2.4.- Resistencia en soleras y paredes de los hornos de fusión	30
2.5.- Resistencia en cimentaciones de los hornos de fusión	33

3.- HORNOS DE COMBUSTIBLE

3.1.- Cálculo de la temperatura de la llama	35
3.2.- Hornos de crisol	38
3.3.- Hornos de reverbero (Martin-Siezans)	42
3.3.1.- Características y ventajas	42
3.3.2.- Descripción de la instalación	46

4.- HORNOS CONVERTIDORES

4.1.- Características generales	51
4.2.- Convertidor Bessemer	53
4.2.1.- Características de instalación	53
4.2.2.- Marcha de operación y control de avance	58

4.2.3.- Regulación de la temperatura del metal fundido	70
4.3.- Convertidor Thomas	73
4.3.1.- Características de instalación	73
4.3.2.- Procedimiento elemental Thomas	77

5.- HORNOS ELECTRICOS

5.1.- Hornos eléctricos de arco	86
5.1.1.- Hornos de arco directo monofásico o trifásico	83
5.2.- Ventajas de los hornos de arco	88
5.3.- Hornos eléctricos de inducción	94
5.3.1.- Hornos de inducción de baja frecuencia	94
5.3.2.- Hornos de inducción de alta frecuencia	97
5.4.- Hornos eléctricos de resistencia	101
5.4.1.- Hornos de resistencia no metálica	101

6.- HORNOS CUEBILOTES

6.1.- Descripción y funcionamiento	105
------------------------------------	-----

6.2.- Dimensiones generales del cubilote 112

7.- HORNOS ALTOS

7.1.- Generalidades 115

7.2.- Descripción de los hornos altos e
instalaciones complementarias 120

CONCLUSIONES 133

BIBLIOGRAFIA 135

I.- INTRODUCCION

1.1.- CLASIFICACION DEL LOS HORNOS DE FUSION

El proceso fundamental en un horno de fusión consiste en hacer pasar los metales y sus aleaciones del estado sólido al estado líquido, proceso en el cual se deberá generar determinada cantidad de calor, que será característica de cada metal o de cada aleación.

Después de que se ha alcanzado la temperatura o punto de fusión del metal, es necesario generar más calor para poder transformar el metal o aleación de sólido a líquido. Durante este período, la temperatura no aumenta, y la cantidad de calor generada, es destinada solamente a disgregar el estado sólido, a esta se le llama calor latente de fusión.

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

Los hornos de fusión se pueden dividir en tres grandes grupos:

- 1.- Hornos de combustible
- 2.- Hornos convertidores
- 3.- Hornos eléctricos

1.- Se denominan hornos de combustible debido a que la fuente de calor en este caso es el combustible (sólido, líquido o gaseoso). En este tipo de hornos, la temperatura máxima se obtiene cuando la combustión es completa, es decir, cuando es lo más aproximada posible a la teórica, o sea, sin exceso de combustible, ni de comburente.

Cada tipo de combustible tiene una particular temperatura teórica de la llama, la cual, en cada caso debe ser superior al punto de fusión del metal al que hay que fundir.

Los hornos de combustible se pueden subdividir en cinco grandes grupos (Fig. 1a.):

- a) Hornos de crisol
- b) Hornos de reverbero
- c) Hornos cubilotes
- d) Hornos altos
- e) Hornos bajos de afino

2.- Los hornos convertidores, se utilizan bastante en las fundiciones de acero de tipo pequeño y mediano y en los talleres que trabajan con hierro colado y que en ocasiones producen piezas de acero.

La operación se basa en el hecho de que el hierro colado líquido se transforma en acero insuflando aire a presión en la masa metálica.

Los hierros colados aptos para el convertidor pueden ser

hierros colados salidos de cubilote o hierros colados salidos del horno alto.

En el proceso de conversión, el carbono, el silicio y el magnesio, contenidos en el hierro colado, al entrar en contacto con el oxígeno, arden, y el calor generado por esa reacción no solo mantiene líquida la masa, sino que la recalienta.

Los hornos convertidores se pueden subdividir en tres grandes grupos (Fig. 1a.):

- a) Convertidor Bessner
- b) Convertidor Thomas
- c) Convertidor Oberhausen

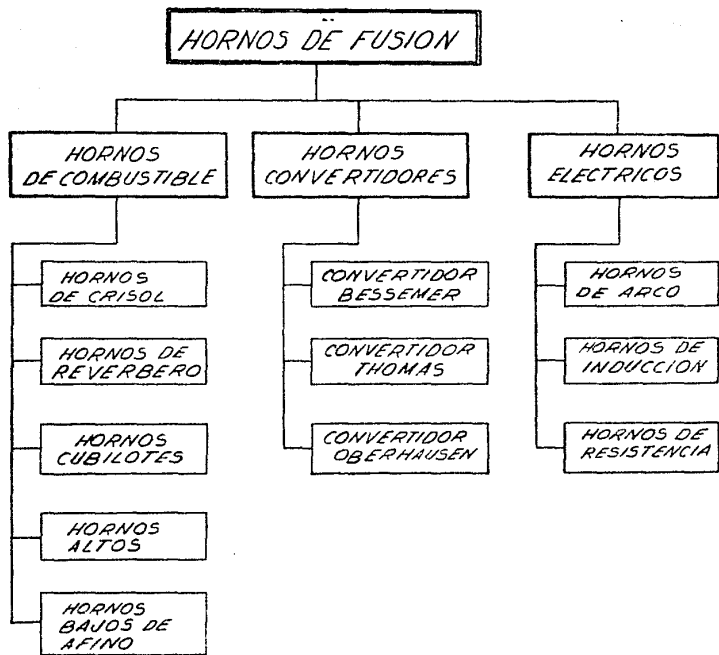
3.- Los hornos eléctricos, por su parte, tienen una ventaja muy importante sobre los demás tipos de hornos, su instalación es mucho más sencilla y mucho menos costosa.

Para cualquier empresa o grupo, es mucho más fácil montar hornos eléctricos, que cualquier otro tipo de horno.

La principal materia prima empleada para la fabricación de acero en horno eléctrico es la chatarra de hierro dulce.

Los hornos eléctricos, se pueden subdividir de igual manera en tres grandes grupos (Fig. 1a) :

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



(Fig. 1a.)

1.2.º UTILIDAD DE LOS HORNOS DE FUSION EN LA INDUSTRIA

Los primitivos hornos empleados para el calentamiento de los crisoles, que previamente habían sido cargados con barras de acero, eran muy simples. Se calentaban con coque y estaban compuestos por una pequeña cámara situada debajo del suelo del taller. En la parte inferior de los hornos había una parilla para la entrada del aire, y a un lado, y en la parte superior estaba el agujero de tiro que llevaba los humos de la chimenea.

En los últimos años del siglo XIX, se empezaron a emplear hornos más perfeccionados, calentados con gas de gasógeno, en los que se obtenía con más facilidad una temperatura más elevada y un calentamiento más regular que con los hornos de coque. También se empleó el sistema de regeneración de calor inventado por Siemens.

Los modernos procedimientos para la obtención de acero bruto en estado líquido se inventaron hace 100 años. Uno de estos procedimientos se lleva a cabo en el convertidor Bessemer.

El procedimiento Bessemer se difundió principalmente por Europa y se puede decir que en la actualidad, del 10 al 15 % de la producción mundial de acero se obtiene mediante el procedimiento Bessemer.

El horno de arco eléctrico, utilizado por primera vez en la obtención del acero hace cincuenta años, durante mucho tiempo sólo produjo aceros especiales de alta calidad y en pequeñas cantidades. Sin embargo, en los últimos años, se ha observado un rápido desarrollo en el empleo de grandes hornos de arco para la producción de aceros Martin-Simons ordinarios a partir de cargas constituidas únicamente por chatarra. Existen en la actualidad hornos de este tipo cuya producción es de 5000 toneladas semanales. Se espera entonces que el empleo de estos hornos para la fundición de chatarra constituya un rasgo típico en un futuro para las industrias siderúrgicas.

El horno alto es la más antigua de las grandes instalaciones industriales que funcionan en la actualidad, con ligeras variantes y con mejoras más o menos importantes, viene utilizándose desde hace más de 600 años sin interrupción.

Desde los comienzos de la era industrial, el horno alto ha sido y continúa siendo el elemento básico y fundamental en siderurgia y se lo puede considerar como la instalación más importante de la industria en general.

El horno alto sirve para transformar el mineral de hierro en arrabio o fundición, que es el material que actualmente se emplea como principal materia prima para la fabricación del acero. Una pequeña parte del arrabio que se obtiene en el horno alto, se utiliza para fabricar luego piezas fundidas por segun-

da fusión de la fundición en cubilotes o en hornos eléctricos.

En los primeros años, la fundición que se obtenía en estado líquido (aleación hierro-carbono con C= 2 a 4.5 %) se colaba directamente en moldes de arena y servía para fabricar proyectiles de artillería y otras piezas fundidas para usos diversos.

En la actualidad, la chatarra o desperdicios de hierro que abundan en todos los países, y que en un principio no tenían aplicación, llega a adquirir, primero con el descubrimiento de los hornos Martin-Siemens y luego con los eléctricos, una gran importancia como materia prima para fabricar hierro y acero.

Desde el año 1926, en las cargas de los hornos de fabricar acero se utilizan, como materias primas, los siguientes materiales:

- 1.º Convertidores: fundición 70 a 95 %, chatarra 5 a 30 %
- 2.º Hornos Martin Siemens: fundición 30 a 50 %, chatarra 70 a 50 %
- 3.º Hornos eléctricos: fundición 5 %, chatarra 95 %

En los países altamente industrializados casi la mitad del acero líquido producido procede de la chatarra que, en teoría, tan sólo precisa ser fundida en forma adecuada para la forja y laminación. Hasta hace muy poco casi toda la chatarra se fundía en hornos de solera abierta. Actualmente el horno eléc-

trico puede fundir el 100 % de chatarra añadiendo carbono tanto para eliminar el oxígeno de la chatarra oxidada como para la carburación del acero. Si se toman precauciones razonables para reducir al mínimo la infiltración del aire, y el período de fusión es corto, este procedimiento puede suministrar un 4 o 5 % más de acero que los hornos de soleira abierta, ya que la atmósfera del horno es relativamente no oxidante. En cierto modo esto compensa el costo extra en energía eléctrica y electrodos.

La otra mitad del acero líquido producido procede del arrabio (producto del horno alto) que contiene un 95 % de Fe contra el 99 % de Fe contenido en la chatarra.

1.3.- CLASIFICACION DE LOS PROCESOS ELEMENTALES DE FUSION UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA

En la industria, todos los procedimientos en que se purifica el hierro de horno alto, son procedimientos de oxidación. Esto se debe a las propiedades que tiene el oxígeno de eliminar los elementos no deseados como son: carbono, fósforo, manganeso y silicio.

Los procesos de fusión mas comunes utilizados en la industria se pueden dividir en los siguientes tipos:

a) Procedimiento Bessemer.

En 1856 Henry Bessemer inventó este procedimiento que lleva su nombre. Fabricó acero soplando una corriente de aire frío a través del hierro fundido durante un tiempo suficiente para disminuir las impurezas en la producción en una proporción aceptable.

El procedimiento Bessemer se aplica en un convertidor periforme, con revestimiento refractario, capaz de girar sobre muñones. Su solera se encuentra perforada por múltiples toberas conectadas al chorro de aire procedente de la soplante situada debajo. El convertidor es cargado en posición horizontal con arrabio líquido y algunos de los materiales que forman la escoria. Después de soplar el aire a través de las toberas,

se hace girar el convertidor a una posición casi vertical con objeto de que el aire atraviere el hierro fundido. Se eliminan las impurezas y el silicio y manganeso se unen a los fundentes agregados para formar la escoria. El carbono se elimina como monóxido de carbono y abandona el convertidor a través de la abertura superior para arder fuera de éste formando una larga llama, cuyo aspecto es de suma importancia para el control del procedimiento.

b) Procedimiento Ajax.

El procedimiento Ajax fué introducido por Appleby Frodingham Steel Company en 1957.

Se basa en una modificación casi completa de los hornos basculantes existentes y logran un aumento de producción del 70 al 100% con relación a éstos a un costo de inversión relativamente bajo por tonelada anual de aumento de producción.

Este proceso se aplica especialmente al empleo de arrabio fosforoso y con poca chatarra. La operación de carga de los materiales fríos se realiza con una máquina de carga en plano horizontal; durante ésta fase se utiliza el caldeo por combustible. Una vez iniciada la operación de carga del metal fundido, se cierra por completo la entrada del combustible y se introduce por un extremo del hogar la lanza de oxígeno refrigerada con agua a un ángulo de 30° con relación al baño.

El monóxido de carbono producido por la reacción se quema en el hogar con aire caliente o con oxígeno. Los productos resultantes de la combustión pasan a través de los recuperadores, caldera de recuperación de gases y planta de depuración de humos. A intervalos de 20 minutos, se retira de un extremo la lanza de oxígeno para introducir otra por el extremo opuesto.

Después de haberse soplado una cantidad predeterminada de oxígeno se extrae la escoria fosfórica; se forma una nueva escoria y se prosigue con la refinación, ya sea continuando con el alanceado por oxígeno o mediante caldeo por combustible sin oxígeno, según sea la calidad requerida del producto.

Paralelos a la compuerta de horno, y en lados opuestos, se encuentran la compuerta de chatarra y el foso de colada; de éste último se extrae la escoria. El arrabio líquido se almacena hasta el momento necesario en un mezclador en línea con los hornos Ajax. Las materias primas, cal, piedra caliza, mineral, chatarra y arrabio se vacían en las bateas de carga y pasan al horno desde bancos situados en un plano superior.

El desarrollo y funcionamiento del horno Ajax y su procedimiento han demostrado que la producción de hornos existentes puede aumentarse en un 50 a 100 % a un costo capital relativamente bajo.

c) Procedimiento LD

El procedimiento LD (Linz - Donawitz) se aplica en un convertidor cilíndrico, cerrado por un extremo, con una sección concéntrica o exéntrica en el extremo opuesto que termina en la boca abierta del convertidor, cuyo diámetro es considerablemente menor al máximo de la sección transversal del convertidor.

La carga, en este caso, solo ocupa una pequeña fracción del volumen total del convertidor, y se refina con un chorro de oxígeno a gran velocidad mediante una lanza refrigerada con agua e introducida verticalmente a través de la boca del convertidor hasta cierta distancia por encima de la superficie del metal. La distancia entre la lanza y el metal varía durante el soplado de 2.20 m a 75 cm en las diversas plantas.

La gran velocidad del chorro de oxígeno hace que este atravesase la escoria para ir a reaccionar con el metal sobre un área relativamente pequeña pero donde se produce una temperatura estimada en unos 3000 °C.

Una de las características fundamentales del procedimiento consiste en mantener el chorro de oxígeno a gran velocidad. Si no se hiciera así, se concentraría excesivo óxido en la escoria que reaccionaría con el baño a intervalos esporádicos, produciendo una serie de violentas explosiones o erupciones, seguidas de periodos de calma y las erupciones expulsarían por

la boca del convertidor cantidades indebidas de metal y escoria. El mantenimiento de la penetración necesaria tiende casi automáticamente a producir una duración constante del tiempo de soplado, de 20 a 24 minutos, cualquiera que sea el tamaño del convertidor; en consecuencia la producción es casi proporcional al peso cargado en el convertidor.

d) Procedimiento Kaldo

El procedimiento Kaldo (desarrollado en 1954) tiene amplia aplicación en los lugares donde se pueda disponer de un suministro adecuado de metal fundido de alto horno. Puede operar con arrabio de cualquier contenido en fósforo, además puede utilizar con igual facilidad mineral de hierro o chatarra para el control de la temperatura.

El procedimiento consiste en un convertidor cilíndrico cargado de arrabio líquido y revestido de refractarios que puede girar sobre su eje mayor. Durante la operación este eje se inclina unos 17° sobre la horizontal, pero varía de ángulo para las operaciones de carga, extracción de escoria y sangría.

El convertidor tiene un extremo con una abertura circular a través de la cual la lanza, refrigerada con agua inyecta el chorro de oxígeno sobre la superficie del metal y escoria. Los productos de la combustión pasan a través de una campana

móvil refrigerada con agua, que prácticamente obtura la boca del convertidor cuando se efectúa el alanceado por oxígeno.

La velocidad de rotación origina la mezcla íntima de la escoria y el metal y facilita las reacciones del proceso.

Los fundentes se añaden cuando y como sea preciso; el exceso de calor disponible se absorbe con adiciones apropiadas de mineral de hierro y chatarra.

e) Procedimiento Rotor

El horno rotor es un convertidor cilíndrico de revestimiento refractario con una abertura circular en cada extremo de diámetro inferior al del propio convertidor. En su posición horizontal puede contener unas 100 toneladas de metal mas la escoria necesaria para la operación. Este convertidor puede girar sobre un eje longitudinal a una velocidad variable de 0.2 a 4 rpm; y durante la operación trabaja con su eje mayor en posición horizontal.

En uno de sus extremos tiene un carro móvil que transporta dos lanzas refrigeradas con agua, primaria y secundaria, que se desfilan hacia la abertura del convertidor durante la operación. En el extremo opuesto tiene un conducto de sa-

lida refrigerado con agua que conduce los gases de escape calientes a los tubos de humos o cámaras refrigerantes, de donde pasan a la planta depuradora de humos antes de descargar en la atmósfera.

Durante la operación se trata de que la lanza primaria sopla al oxígeno debajo de la superficie del metal, para oxidar directamente las impurezas. La finalidad de la segunda lanza es suministrar oxígeno a fin de consumir una gran proporción de este gas combustible (CO) en el interior del horno, liberando así una gran cantidad de calor que es devuelta a la carga directamente por la llama.

El horno se inclina para la extracción de la escoria y la sangría. El tiempo real de avance de oxígeno es normalmente de 35 a 50 minutos según el tipo de hierro empleado, la cantidad de producción o el operario que maneje el horno.

2.- ASPECTOS BASICOS DE LA CONSTRUCCION DE LOS HORNOS DE FUSION

2.1.- CLASIFICACION DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS PARA SU CONSTRUCCION

En toda industria siderúrgica, uno de los problemas fundamentales al que se debe dedicar especial atención por parte del ingeniero es el estudio de los productos refractarios que se emplean en la construcción de los hornos (paredes, revestimientos, bóvedas, etc.). Como es de esperarse, dichos materiales deben soportar las elevadas temperaturas que se generan en el interior de los hornos, y frecuentemente deben resistir la acción destructiva de aleaciones y metales fundidos, de escorias y gases calientes que intervienen en las operaciones de fabricación del hierro y el acero.

Un material refractario es aquel material cerámico que resiste temperaturas hasta de 1350°C sin ablandarse.

La mayor parte de los materiales refractarios son materiales cerámicos fabricados generalmente por cocción y están constituidos por óxidos de elevada temperatura de fusión.

En el campo de la siderurgia, los materiales refractarios mas importantes se clasifican en tres categorías. (fig. 2.a).

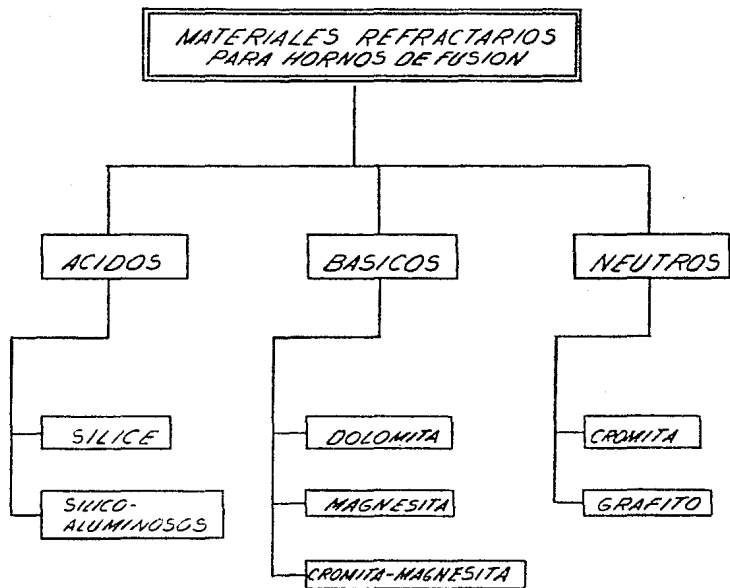


FIGURA 2.a.

Dicha clasificación se basa en la naturaleza de los óxidos que contienen los materiales refractarios.

En los refractarios ácidos, el principal constituyente es la sílice (SiO_2), substancia que tiene la característica de reaccionar con los refractarios, con las escorias o con los fundentes básicos, lo cual representa una desventaja que nos limita a no usar en un mismo horno este tipo de refractarios junto con fundentes básicos o escorias.

Uno de los refractarios típicamente ácidos es la arena siliciosa o bien, los ladrillos de sílice. Con la característica de que ambos tienen un contenido superior al 95% en sílice.

Por otra parte, los ladrillos sílico-aluminosos, que son los de mayor consumo contienen entre 32 y 45% de Al_2O_3 (alúmina) y el resto de sílice.

En el tipo de refractarios básicos, el material predominante es el óxido de calcio (CaO) o el óxido de magnesio (MgO). Estos óxidos, a temperaturas muy elevadas, reaccionan también con los refractarios, escorias o fundentes ácidos, por lo cual tampoco se recomienda su uso con refractarios ácidos, ya que forman silicatos de punto de fusión relativamente bajo.

La dolomita tiene carácter básico y se emplea siempre después de ser calcinada. En esta forma sus principales constituyentes son CaO y MgO , empleándose generalmente en forma de

granulado para preparar las soleras de los hornos. Su composición aproximada es:

$\text{CaO} = 55 \%$ $\text{MgO} = 40 \%$ $\text{SiO}_2 = 3\%$

Otro de los materiales básicos es la magnesita en forma de ladrillos y que contiene generalmente los siguientes compuestos:

$\text{MgO} = 90 \%$ $\text{CaO} = 2 \%$ $\text{SiO}_2 = 3 \%$

Por su parte, los ladrillos de óxido de magnesio y óxido de cromo tienen carácter básico y composiciones variadas. En la práctica, se denominan ladrillos de magnesita-cromita a aquellos con menor contenido de óxido de cromo (10% aprox) y cromita-magnesita a los más altos en óxido de cromo (25% a aprox.)

Por otra parte se tienen a los materiales refractarios de naturaleza neutra, en los cuales predomina la cromita (Cr_2O_3) y el grafito (estado alotrópico del carbono C). Se denominan materiales neutros porque no reaccionan de manera sensible con ningún otro tipo de material refractario, escorias o fundentes.

Los ladrillos de cromita de carácter neutro, están constituidos principalmente por óxido de cromo, óxido de magnesio y óxido de hierro.

2.2.- PROPIEDADES DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS PARA SU CONSTRUCCION

Para poder seleccionar un material refractario, el ingeniero debe tener en cuenta las propiedades y características de estos, para prever el comportamiento y conocer las posibilidades de utilización de los mismos. Un estudio general de estas propiedades puede constar de los siguientes puntos:

1.- Temperatura de fusión:

La temperatura de fusión de una misma sustancia refractaria puede variar dependiendo de la cantidad de impurezas que esta contenga. Estas impurezas, al entrar en contacto con las escorias u otros cuerpos que hay en los hornos forman mezclas que funden a temperaturas inferiores a las de los materiales puros, lo cual disminuye notablemente sus posibilidades de utilización. En la tabla 2.a. se resumen algunas temperaturas de fusión para algunas sustancias utilizadas como refractarios en los hornos.

2.- Resistencia a la compresión a diversas temperaturas:

En la elección de un material refractario debe tomarse en cuenta también la variación de la capacidad para soportar cargas a altas temperaturas. En la figura 2.b. se muestra el com-

TEMPERATURAS DE FUSION DE ALGUNOS
MATERIALES REFRACTARIOS. (°C)

GRAFITO	C	3,525
MAGNESITA (PERICLASA)	MgO	2,800
CIRCONIA	ZrO ₂	2,720
CARBURO DE SILICIO	SiC	2,700
CAL	CaO	2,570
CRONITA	FeO Cr ₂ O ₃	2,180
ALUMINA (CORINDON)	Al ₂ O ₃	2,080
CRONITA-MAGNESITA	N ₃ O Cr ₂ O ₃	1,780
SILICE (CRISTOBALITA)	SiO ₂	1,725

TABLA 2.a.

Kg/cm²

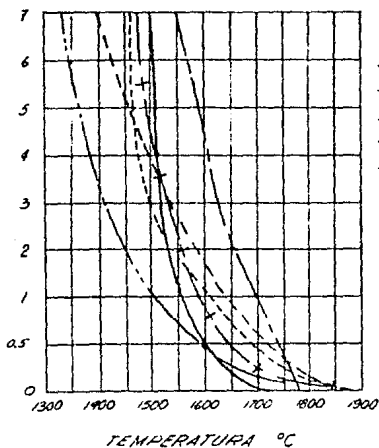


FIGURA 2.b.

portamiento de la resistencia a la compresión a diferentes temperaturas. En la gráfica se observa que a 1650°C , la resistencia varía de .02 a 2 kg/cm^2 , correspondiendo al sílice la resistencia más elevada, 2 kg/cm^2 aproximadamente.

3.- Temperatura de reblandecimiento:

La temperatura de reblandecimiento es la temperatura a la cual los materiales sufren un sensible ablandamiento que limita la utilización del material.

4.- Resistencia al desmoronamiento bajo carga a elevada temperatura:

Una idea bastante clara de las posibilidades de utilización de un material refractario se tiene por la máxima temperatura que resiste sin desmoronarse bajo la acción de una carga de 2 kg/cm^2 , carga que es aproximada a la carga de trabajo. En la tabla 2.b. se muestra la temperatura máxima a la cual resisten ciertos materiales sin desmoronarse.

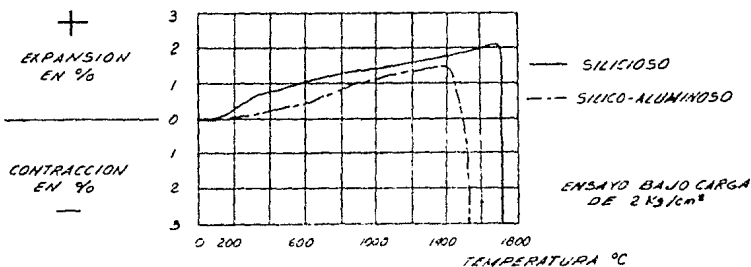
5.- Coeficiente térmico de expansión o contracción:

En la construcción de los hornos de fusión, es muy importante que las altas temperaturas no afecten las dimensiones en forma significativa de los elementos refractarios utiliza-

MAXIMA TEMPERATURA QUE RESISTE UNA CARGA DE 2 kg/cm²
SIN DESMORONARSE, DIVERSOS MATERIALES REFRACTARIOS

GRAFITO	1,750 °C
SILICE	1,650 °C
CRONITA-MAGNESITA	1,580 °C
MAGNESITA	1,540 °C
SILIMANITA	1,530 °C
SILICO-ALUMINOSO	1,350-1,530 °C

TABLA 2. b.



DILATACIONES Y CONTRACCIONES QUE EXPERIMENTAN LOS LADRILLOS DE SILICE Y SILICO-ALUMINOSOS AL SER ENSAYADOS BAJO CARGA DE 2 kg/cm² A DIVERSAS TEMPERATURAS.

FIGURA 2. c.

dos. La figura 2.c. muestra el comportamiento de expansión y contracción de dos de los refractarios de uso más común, bajo la influencia de la temperatura.

En la gráfica se puede observar que los ladrillos de sílice, al ser calentados, de 150 a 650°C, experimentan una pequeña dilatación de 1.3 % aproximadamente.

Las variaciones de volumen de los refractarios sílico-aluminosos son relativamente pequeñas e inferiores a las que corresponden a los ladrillos de magnesita y de sílice.

Las expansiones muy elevadas son peligrosas y, si no se dejan en las juntas excesos adecuados, crean fuertes presiones en los ladrillos de las paredes de los hornos durante el calentamiento, y se pueden producir importantes deformaciones, y en ocasiones, roturas de la misma estructura.

6.- Resistencia al choque térmico:

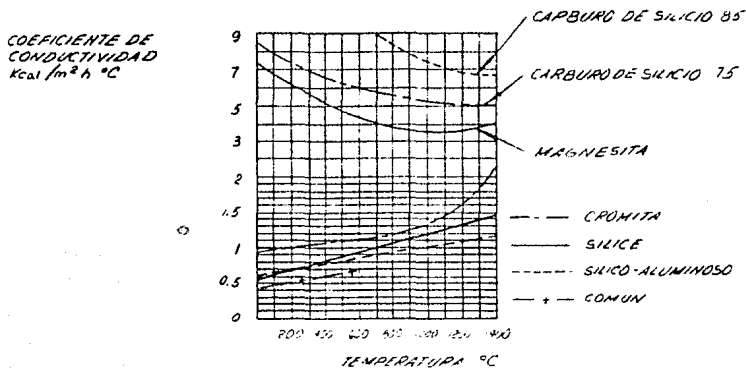
La resistencia a los cambios bruscos de temperatura, varía bastante de una clase de refractario a otro. En todos los casos, esa resistencia está relacionada con el tamaño del grano del material, con su conductividad y con el método de fabricación empleado. Para conocer la resistencia de un refractario al choque térmico, se somete a calentamientos a alta temperatura (900 a 950°C), seguidos de enfriamientos rápidos en agua o al aire. Esta propiedad se define entonces con el número de pruebas que resiste el material antes de romperse.

7.- Conductividad térmica:

La conductividad térmica de un material es la propiedad de transmitir el calor entre las moléculas del mismo y se indica en $\text{kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$.

La conductividad térmica de los ladrillos refractarios varía bastante de unos ladrillos a otros. Así, por ejemplo, mientras los ladrillos de carburo de silicio y de magnesita son los mejores conductores, sobre todo a baja temperatura, los ladrillos de sílice y sílico aluminosos son peores conductores de calor y en ellos en todo momento aumenta la conductividad al elevarse la temperatura.

En la figura 2.d. se muestra el comportamiento de la conductividad de algunos materiales refractarios con el aumento de temperatura. Se puede observar que los refractarios de magnesita y carburo de silicio, que son los de mejor conductividad (3 a $9 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$), esta desciende al elevarse la temperatura y, en los materiales de baja conductividad como los de sílice y sílico-aluminosos (0.5 a $2 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$), esta aumenta al elevarse la temperatura.



CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LOS MATERIALES
REFRACTARIOS A DIVERSAS TEMPERATURAS

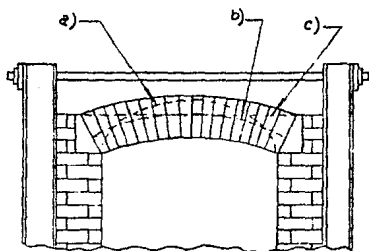
FIGURA 2.d.

2.3.- RESISTENCIA EN BOVEDAS DE LOS HORNOS DE FUSION

Siempre que un material recubre una abertura, aparecen fuerzas de tracción en algunas partes de la cubierta y, tomando en cuenta que los materiales refractarios calientes tienen una escasa resistencia a la tracción, esta es absorbida por los tirantes de acero que se encuentren fuera de la bóveda del horno. Otra posibilidad es colocar los ladrillos de la bóveda totalmente a compresión.

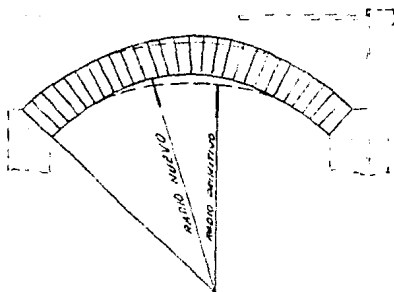
El tipo de bóveda más simple es la cintrada o de arco. En la figura 2.e. se muestran las posibles curvas o líneas centrales de fuerzas, dependiendo de la forma en que se haya asentado el arco de la bóveda. Como se puede observar en la figura, cuando las fuerzas internas siguen la línea (a) son las más débiles, en cambio, si siguen la línea (c), se harán infinitamente grandes.

Es importante saber que las variaciones de temperatura afectan de manera importante al comportamiento de las fuerzas en la bóveda. Entre la temperatura ambiente y la del horno a 1200°C , los ladrillos refractarios se dilatan un porcentaje, que depende del tipo de refractario. La figura 2.f. muestra como la parte interior del arco se alarga, mientras que la parte exterior conserva sensiblemente la misma longitud.



POSIBLES LINEAS DE EMPUJE DE UN ARCO

FIGURA 2.e.



ELEVACION DE UN ARCO BAJO LA INFLUENCIA DEL CALOR EN UN HORNO

FIGURA 2.E.

Esta dilatación de los ladrillos puede traer como consecuencia que los arranques de la bóveda puedan ser separados, que los ladrillos puedan ser comprimidos o el arco pueda ser levantado.

Si los ladrillos no se comprimen, el arco se levanta, de tal manera que en los puntos cercanos a los soportes, los ladrillos están en contacto entre sí, en la totalidad de su longitud, pero en las inmediaciones tiende a separarse por el lado exterior y a tocarse sólo por el interior; las líneas de fuerza se acercan a la cara interna de esta sección, fenómeno que se traduce generalmente en las llamadas roturas localizadas o cuarteado.

Entre las causas de los derrumbamientos de las bóvedas, se encuentran los casos mecánicos tales como explosiones o golpes. En ocasiones los hornos se llenan de mezclas explosivas de aire y de combustible y posteriormente se encienden, fenómeno que no puede soportar ninguna estructura de bóveda.

2.4.- RESISTENCIA EN SOLERAS Y PAREDES DE LOS HORNOS DE FUSION

La solera, al igual que las paredes de un horno son elementos de vital importancia ya que estan sometidos directamente a la acción de altas temperaturas, gases y escorias.

En el caso de los convertidores, fig. 2.g. La solera tiene un espesor aproximado de 115 cm; y el principal problema para la construcción de esta, consiste en empotrar los tubos de cobre que estan conectados a la caja de viento. La solera se compone de dolomita graduada, mezclada con un 12% de alquitrán, que calentada a 70°C se consolida al rededor de los tubos de cobre en una mezcla vibratoria. La solera se calienta durante unos 15 días, de los cuales 12 se emplean para alcanzar la temperatura de 600°C y se mantiene durante 3 días.

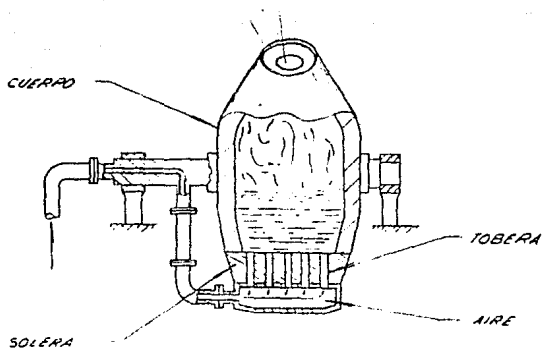
Cuando se coloca una nueva solera en el convertidor, es importante confeccionar buenas juntas para evitar la fuga de vapor al rededor de la placa o en las juntas entre el nuevo y el viejo material refractario. La junta se completa vertiendo en ella una mezcla de dolomita-alquitrán que contenga 18% de este último. La mezcla se manipula a una temperatura de 500°C y, una vez derramada dentro del convertidor, se hace que este gire para que la mezcla se introduzca en la juntas y se

utiliza un quemador de aceite para caldearlas durante 6 u 8 horas antes de cargar la nueva colada. Es importante saber, que la duración de la solera es de 45 a 60 coladas.

La alta presión de la ráfaga y el escaso contenido de oxígeno en ella ayudan a aumentar la duración de la solera, pero otros factores operativos resultan perjudicados cuando se prolonga la duración de la solera por estos medios. En la práctica la solera se cambia cada 24 o 28 horas y el tiempo empleado para este cambio es de 10 a 12 horas.

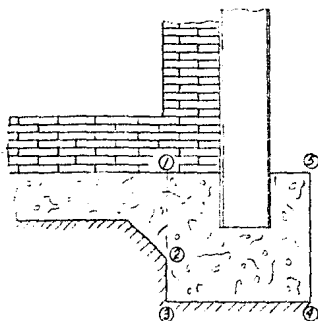
Generalmente las paredes de los hornos originan menos problemas que las bóvedas y las soleras. Sin embargo se debe tener en cuenta que estas paredes también pueden agrietarse, ceder, quemarse o derrumbarse.

Antiguamente las paredes se construían con ladrillos de magnésita de carácter básico y en unión con la solera se recubrían con dolomita aglomerada. La parte superior de las paredes se construía con ladrillos siliciosos, separados de los de magnésita por dos o tres hiladas de ladrillos neutros de cromita. En la actualidad, hasta sobrepasar la línea de escoria, se emplean ladrillos de magnésita, que resisten muy bien la acción de la escoria y del acero. Por encima de la escoria se emplean ladrillos de cromita magnésita, que resisten muy bien la acción de la liana, los gases calientes y las escorias.



CONVERTIDOR BESSEMER

FIGURA 2.g.



CONSTRUCCION REFORZADA
DE UN HORNO

FIGURA 2.h.

2.5.- RESISTENCIA EN CIMENTACIONES DE LOS HORNOS DE FUSION

La finalidad de una cimentación de un horno es la de repartir uniformemente sobre el suelo el peso no uniforme del horno. El peso total del horno (horno, carga, cimentación) dividida por la carga específica que puede soportar el suelo, nos da la superficie total de la cimentación.

En el caso de los hornos de reverbero, es necesario realizar con cuidado el empotrado de los montantes en la cimentación. Es aconsejable en estos casos reforzar el perímetro exterior de la cimentación con unos rebocos.

La figura 2.a. muestra de manera simplificada la cimentación de un horno. La cantidad necesaria de redondos puede determinarse por el hecho de que el anillo exterior de la cimentación constituye una viga de sección 1,2,3,4,5 y es recargado por la presión de los montantes, así como por la dilatación de la parte central. La forma del horno, el espesor de la solera y el sistema de construcción de la bóveda influyen en la cantidad de reforzamiento necesaria.

La dilatación de la solera puede destruir una cimentación de este tipo; para evitar esto, se aconseja dejar un cierto juego entre los ladrillos refractarios del horno y el enlace

en el nivel de la solera, de manera que se pueda montar cómodamente el enlace y no ejerza una presión excesiva cuando el horno está caliente. Si no se toma esta precaución, puede deformarse el enlace y, si los soportes son rígidos, puede romperse la cimentación.

3.- HORNOS DE COMBUSTIBLE

3.1.- CALCULO DE LA TEMPERATURA DE LA LLAMA

Como su nombre lo indica, los hornos de combustible son todos aquellos que utilizan algun tipo de combustible como fuente de calor, cabe señalar que dentro de esta división de hornos existen algunos en los cuales el combustible esta separado del metal y otros en los que ambos estan en contacto. Pero en ambos casos, la temperatura máxima se obtiene cuando la combustión es completa, para ello es necesario establecer y equilibrio entre combustible y comburente.

Ante la diversidad de combustibles, nos encontramos con que cada uno de ellos tiene una particular temperatura teórica de la llama, sin embargo se requiere que dicha temperatura sea en todos los casos superior al punto de fusión del metal que hay que fundir, tomando en cuenta para ello toda clase de pérdidas de calor que pudieran existir.

La temperatura teórica de la llama puede calcularse aproximadamente mediante fórmulas. Partiendo del hecho de que para elevar la temperatura de un cuerpo de calor específico determinado es necesaria una cierta cantidad de calor, entonces:

$$Q = P \cdot C (t_1 - t) \text{ Kcal.}$$

donde:

Q= calor, Kcal

P= peso del cuerpo, KG (combustible)

C= calor específico, kcal/kg °C

t= temperatura inicial, °C

t₁= temperatura final, °C

si suponemos que el cuerpo en cuestión tenía una temperatura inicial de 0°C, nuestra fórmula anterior se reduce a la siguiente:

$$Q = P C t_1 \quad \text{Kcal.}$$

de la cual si despejamos el término temperatura, se tiene.

$$t_1 = \frac{Q}{P C} \quad ^\circ\text{C}$$

Cuando un combustible se quema, se desarrollan diversos gases de combustión y el peso de estos productos está representado por p₁, p₂, ... p_n, y su calor específico por C₁, C₂, ... C_n, con lo cual nuestra fórmula se modifica de la siguiente manera:

$$t_1 = \frac{Q}{p_1 C_1 + p_2 C_2 + \dots + p_n C_n} \quad ^\circ\text{C}$$

Dado que los calores específicos de los gases de combustión son algo distintos unos de otros, en su conjunto puede darseles un valor medio de 0.24. De esta manera y finalmente tenemos:

$$t_1 = \frac{Q}{P \cdot 0.24} \quad ^\circ\text{C}$$

donde :

$P = p_1 + p_2 + \dots + p_n$ que es la suma de los pesos de los diversos gases de combustión.

Lo anterior es válido en el supuesto caso de que durante la combustión no se disperse hacia el exterior ninguna parte de calor.

Es necesario hacer notar que para alcanzar su máxima temperatura de calentamiento, los hornos utilizan el aire precalentado y, algunas veces, aire y gas precalentados.

3.2.- HORNOS DE CRISOL

Este tipo de horno es muy sencillo en su construcción, sin embargo aún es usado en pequeñas fundiciones donde la producción es menor que en cualquier tipo de horno.

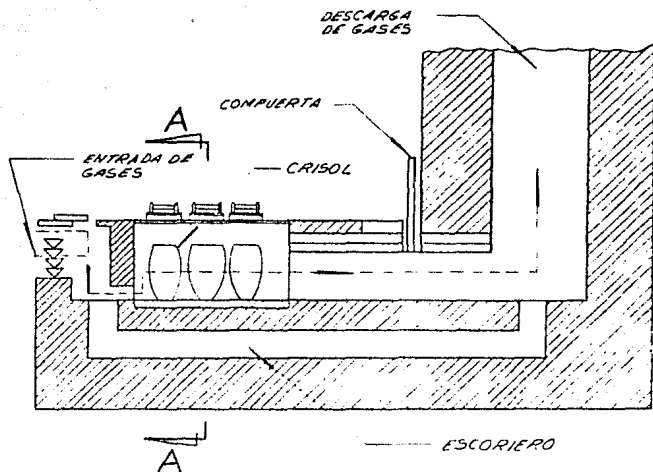
El elemento más importante de estos hornos es el crisol, que generalmente se construye a base de grafito y algunos a - glutinantes como la arcilla y el alquitrán. La figura 3.a. muestra en forma general la instalación de un horno de crisol.

Los crisoles se clasifican por puntos, es decir, por la cantidad de kilogramos de bronce líquido que pueden contener. En este sentido, un punto, equivale a un kilogramo de bronce líquido. La capacidad de los crisoles varía de 30 a 400 pun - tos para aleaciones no ferrosas. Debe entenderse entonces que este tipo de horno solo sirve para coladas de poco volumen.

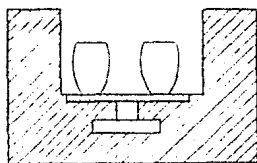
El proceso de operación para la producción de este tipo de hornos se puede describir básicamente en cinco pasos fun - damentales que serían los siguientes:

a) Carga del crisol:

Este paso comienza con la selección de los trozos de ace - ro que se deben fundir para obtener la composición y calidad deseada, una vez cargado el crisol, este se cubre con una ta - pa y se introduce en el horno. Si el horno es de coque, se



INSTALACION DE UN HORNO DE CRISOL



SECCION A-A

FIGURA No 3.a

añaden pedazos de combustible para llenar bien la cámara de combustión y conseguir que la fusión se realice en el menor tiempo posible. Posteriormente se tapa el horno. Este paso dura aproximadamente 15 min.

b) Fusión:

En marcha la operación y abierto el tiro de la chimenea, el coque se quema rápidamente y al cabo de una hora es necesario cargar nuevamente el coque. Luego, al cabo de 2.5 horas, el acero está fundido.

Durante esta operación es necesario observar periódicamente el estado del acero para regular bien la temperatura, suele usarse también una barra de hierro para comprobar el estado del acero, de la escoria y del avance de la operación.

c) Hervido:

En cuanto el proceso llega al punto en que el metal se encuentra en estado líquido, se forma una escoria de óxido de hierro y se produce en el crisol un burbujeo del baño muy vivo, debido al desprendimiento de óxido de carbono, producido en la reacción del carbono del acero con el óxido de hierro de la escoria. Al principio la escoria es negra, luego el color se va aclarando poco a poco a medida que el porcentaje de óxido de hierro disminuye.

d) Desoxidación por el silicio:

Al cabo de un rato de estar el metal fundido y con una cierta efervescencia, se observa que disminuye la ebullición y al cabo de un cierto tiempo solo algunas burbujas estallarán a través de la capa de escoria. Luego, la ebullición cesa y el acero se va quedando tranquilo. Esto ocurría aproximadamente en 30 min. y se debe a que el carbono del acero reaccionaba con la sílice del crisol formándose silicio libre que pasa al acero y lo desoxida. La temperatura continúa elevándose poco a poco y el acero está más fluido. Cuando se observa que el acero está completamente calmado y ha alcanzado la temperatura conveniente, se puede realizar la colada.

e) Colada:

Antes de sacar el crisol fuera del horno se limpia perfectamente y se y se retiran las cenizas del combustible, luego se quita la tapa y se limpia la escoria de la superficie del metal con una barra de acero. Una vez eliminada la escoria el acero está en condiciones de ser colado.

3.3.- HORNOS DE REVERBERO (Martin-Siemens)

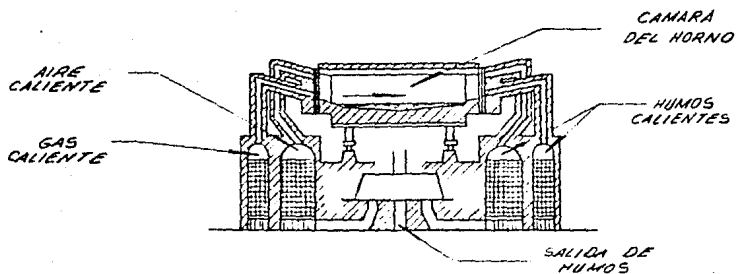
3.3.1.- CARACTERISTICAS Y VENTAJAS

Se denominan hornos de reverbero debido a que la carga metálica se calienta por convección de la llaza, que roza, y por la irradiación de la bóveda y las paredes, es decir, por el fenómeno de reverberación.

Los hornos de reverbero tienen un amplio campo de aplicación en las fundiciones de bronce, aluminio, y en las de hierro fundido maleable. también reciben el nombre de hornos de plaza porque las operaciones esenciales del proceso de fusión se realizan en la plaza, que por este motivo es conocida también como plaza de trabajo.

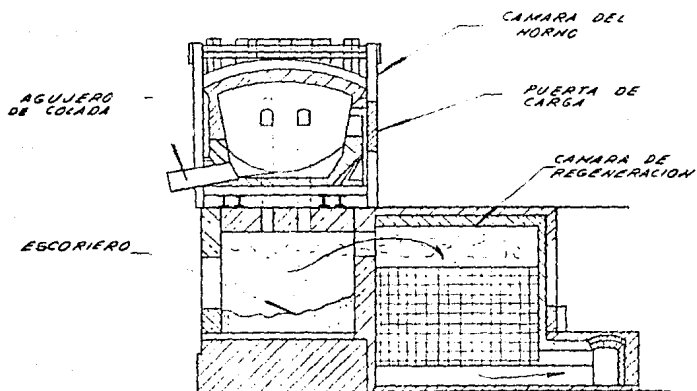
El horno Martin-Siemens es un ejemplo clásico de horno de reverbero. La figura 3.6. muestra de una manera general las características de un horno de este tipo. Para alcanzar la temperatura necesaria para la fusión del acero (1720°C) se concede la máxima importancia al precalentamiento del gas y del aire que puede alcanzar de 1000 a 1100°C .

En este tipo de hornos, se comienza calentando la plaza o cámara del horno con petróleo y a continuación se con el gas y el aire: la llama que se forma roza las paredes y la bóveda, y los gases de la combustión pasan a las cámaras de gas



ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UN HORNO SIEMENS

FIGURA No. 3.6



SECCION TRANSVERSAL DE UN HORNO SIEMENS

FIGURA No. 3. c

y aire situadas en el bloque de la derecha. Al cabo de media hora aproximadamente, con válvulas adecuadas, llamadas válvulas de inversión, colocadas en el conducto del gas o bien en el del aire, se hace pasar el gas y el aire al bloque de cámaras de la derecha, mientras que los gases de la combustión recorren las dos cámaras del bloque de la izquierda. Al alternarse estas inversiones de un modo regular, los dos bloques de cámaras, después de cierto período de tiempo, alcanzan una elevada temperatura (de 1100 a 1250°C) a causa del calor sensible de los gases de combustión acumulado en el sistema de ladrillos refractarios dispuestos en la cámara; este sistema recibe el nombre de regenerador de calor.

Para obtener el máximo rendimiento de un horno de reverbero, es necesario que su funcionamiento sea continuo. La duración de la bóveda y de la plaza es de unas 350 coladas, y la de las cámaras, de 700 a 800. En las grandes fundiciones de acero o en las de hierro fundido maleable se emplea este tipo de horno con una capacidad de 15 a 20 toneladas, mientras que en las fundiciones que producen lingotes alcanza capacidades de 250 a 300 toneladas.

Una de las principales ventajas de estos hornos es que pueden utilizar cargas metálicas con composiciones muy variadas, no es necesario emplear como en el caso de los converti-

dores Bessemer y Thomas, unas composiciones rígidas y precisas. Una de las cargas que se considera adecuada es de 70% de chatarra y 30% de fundición, aunque se pueden utilizar proporciones muy diferentes.

En la práctica, las proporciones de fundición líquida, chatarra y lingote de hierro, cargados en el horno, dependen más de las posibilidades de adquisición que de razones técnicas particulares.

En el caso de que una fábrica cuente con abundante fundición es frecuente que aumente en todo lo posible la cantidad de ésta en las cargas, haciendo así, el horno de reverbero la competencia al convertidor. A pesar de esto, siempre se emplea cierta cantidad de chatarra.

Las empresas que disponen de poca fundición y pueden adquirir con más facilidad chatarra, prefieren emplear en las cargas gran cantidad de esta. Lo anterior nos indica que no es posible fijar una composición para este tipo de hornos, y los métodos de trabajo se modifican según las circunstancias para la mejor utilización de las materias primas disponibles.

3.3.2.- DESCRIPCION DE LA INSTALACION

Una acería clásica que utilice hornos de reverbero y en particular hornos Martin-Siemens, consta fundamentalmente de las siguientes partes:

- Parque de chatarra
- Horno y elementos complementarios de conducción del gas combustible, ánodos de combustión y cámara de regeneración de color.
- Nave de colada.

Por su parte, los elementos más importantes de este tipo de hornos son:

a) Cámara del horno:

Es el lugar donde se funden la carga metálica y donde realmente se fabrica el acero. Su planta es rectangular. Su altura suele ser algo menos que el fondo y ambos varían de 3 a 6 metros, tienen de 8 a 25 metros de frente y en él se disponen de tres a cinco puertas para la carga de las materias primas. Todas estas dimensiones dependen, de su capacidad, que oscila entre 30 y 400 toneladas por colada.

La colera, (fig.3.c) tiene la forma de una cubeta, más o menos elíptica, con el fondo ligeramente inclinado hacia el

agujero de colada que se encuentra en la parte posterior, en el punto más bajo del horno para facilitar la salida del acero.

El calentamiento de la cámara del horno se consigue por la acción de una gran llama que alternativamente (cada 20 minutos) sale por el lado izquierdo o por el derecho, con respecto al observador, cuando este mira de frente al horno desde un lugar desde el que se ven las puertas de carga.

Para evitar un deterioro rápido de las puertas, marcos de las puertas, agujeros de colada, quemadores, etc., se protege con piezas metálicas huecas con refrigeración de agua en circulación.

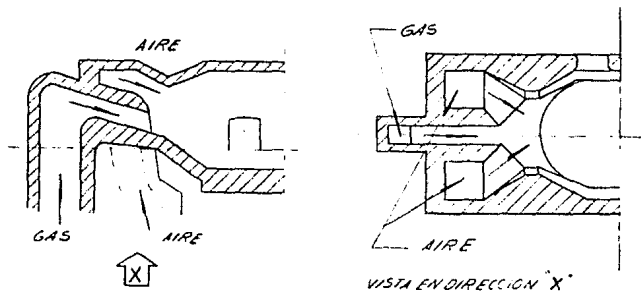
La mayoría de los hornos de este tipo son fijos, pero en ocasiones se han empleado hornos basculantes. En ellos al final de la colada, la cámara del horno gira al rededor de un eje horizontal para facilitar la colada del acero, quedando generalmente los quemadores fijos.

b) Quemadores:

Los quemadores son las bocas situadas en las paredes laterales, por las que llegan a la cámara del horno el combustible y el aire que se queman en su interior.

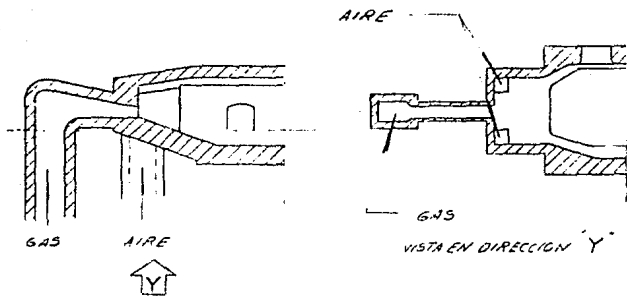
En los hornos de reverbero, y en particular en los hornos Martin-Siemens existen tres tipos principales de quemadores:

- 1.º Quemador tipo Siemens, en los que el gas salen por conductos ligeramente inclinados con direcciones casi paralelas. El gas sale por una canalización central y el aire lo hace por dos conductos laterales, como lo muestra la figura 3.d .
- 2.º Quemadores tipo Maers, en los que el gas sale por un conducto inclinado situado en el centro de la pared lateral y el aire, por dos conductos verticales en las esquinas de la solera del horno (fig.3.e) Este tipo de quemador es muy utilizado en los hornos Siemens.
- 3.º Quemadores de fuel-oil, Este tipo de quemador se comenzó a emplear en el año de 1950. En los primeros tiempos, se utilizaban quemadores de fuel-oil y aire. Posteriormente se han utilizado de fuel-oil, aire y oxígeno.



QUEMADOR TIPO SIEMENS (VENTURI)

FIGURA No 3.d



QUEMADOR TIPO MAERZ. ENTRADAS DE AIRE VERTICALES

FIGURA No 3.e

c) Escorieros:

Los humos que salen de la cámara del horno por los conductos que alternativamente actúan de quemadores en una fase de la operación y de conductos de salida de los humos, en otra, arrastran escoria y acero que podrían obstruir el enrejado de las cámaras de regeneración, dificultando el paso de los gases y paralizando con ello el trabajo de la instalación.

Para evitar esto, hay dispuestas abajo del horno unas cámaras de recogida de escoria, (fig. 5.c), en las que se obliga a cambiar de dirección a los gases y sirve para que se deposite la escoria y el metal que escapa con los humos.

La cámara del horno comunica con los escorieros por medio de los conductos verticales de humos.

4.- HORNOS CONVERTIDORES

4.1.- CARACTERISTICAS GENERALES

Este tipo de hornos se utiliza para transformar el hierro colado líquido en acero, insuflando aire a presión en la masa metálica.

Los hornos convertidores están constituidos por una robusta envoltura de plancha en forma de pera, revestida de ladrillos refractarios formando un depósito para contener cierta cantidad de hierro colado que varía, según el tamaño del convertidor. En el fondo llevan unos cuantos agujeros verticales que sirven para el paso del aire a presión variable entre 0.2 y 0.6 kg/cm^2 según el tipo de convertidor y la clase de hierro colado que contenga. El horno convertidor es inclinable en torno a dos pernos o guiones horizontales.

Cuando el revestimiento del horno es ácido, el horno y el procedimiento se llaman Bessemer. Si el recubrimiento es básico, reciben el nombre de Thomas.

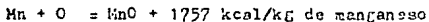
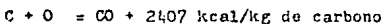
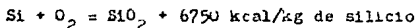
Los hierros aptos para el convertidor pueden ser:

a) Hierros colados salidos del cuñilote del tipo:

C, 3%; Si, 3%; Mn, 0.5%; P y S, escasos.

b) Hierros colados salidos del alto horno, del tipo:
C, 4%; Si, 3%; Mn, 1%; P y S, escasos.

El carbono, el silicio y el manganeso contenidos en el hierro colado, al entrar en contacto con el oxígeno del aire, arden: el calor generado por esta reacción no solo mantiene líquida la masa, sino que la recalienta de 300 a 450°C. De los tres elementos citados, el silicio y el carbono son los que desarrollan mayor cantidad de calor. Es decir:



Los productos de la combustión del silicio y del manganeso forman la escoria, y los del carbono forman los gases CO que arden en la boca del convertidor.

4.2.- CONVERTIDOR BESSEMER

4.2.1.- CARACTERISTICAS DE INSTALACION

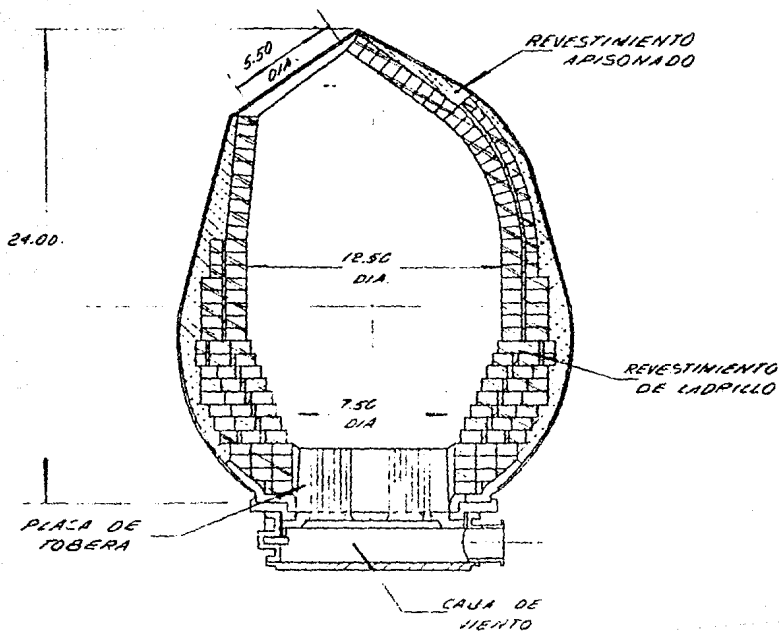
El procedimiento Bessemer se aplica en un convertidor periforme, de revestimiento refractario, que puede girar sobre muñones (soportes giratorios). Su solera se encuentra perforada por multiples agujeros o toberas atravesacos por el chorro de aire procedente de la soplante situada debajo.

Desde su invención (1856) a la fecha, los convertidores han permanecido casi invariantes en su principio de operación pero han aumentado de capacidad, de 25 a 75 toneladas.

La figura 4.a. muestra la sección transversal de un convertidor Bessemer de 60 toneladas de capacidad. Su revestimiento es sílice en forma de ladrillos prensados, ajustados al convertidor cuando se le reguarnece.

Cuando se habla de un convertidor Bessemer es necesario tomar en cuenta que este no puede existir de manera independiente para la producción de acero, sino que es parte integrante de un conjunto de instalaciones que constituyen una acería Bessemer, y que podríamos agrupar de la siguiente manera:

a) Molinos: Es un recipiente donde se acucula la fundición



ACOT: PIES

FIGURA 4.ª.

CONVERTIDOR BESSEMER 60 t. DE CAPACIDAD

que proviene del alto horno. Es un gran recipiente metálico cilíndrico de eje horizontal, revestido interiormente de material refractario con capacidad variable hasta 1000 t, para almacenar arrabio y fundición.

Al mezclarse allí diversas coladas del horno alto, se uniformizan las composiciones y temperaturas, y mediante la acumulación de una cantidad importante de fundición, existe la garantía de un servicio regular a los convertidores. Los mezcladores poseen unos mecheros de gas o fuel-oil para calentar ligeramente la carga de fundición cuando es necesario, impidiendo que descienda la temperatura por debajo de los límites admisibles. La figura 4.b, muestra en forma general una instalación de esta naturaleza.

b) Cubilote auxiliar para fundir las ferroaleaciones, con el objeto de que se puedan añadir calientes al convertidor, un poco antes del fin de la operación. (Este tipo de horno se tratará más adelante en otro capítulo de esta tesis).

c) Un convertidor con las máquinas soplantes y cassetas de maniobra.

d) Navas de trabajo y de colada del acero con las grúas y aparatos de carga de la fundición, cucharas de colada del ace-

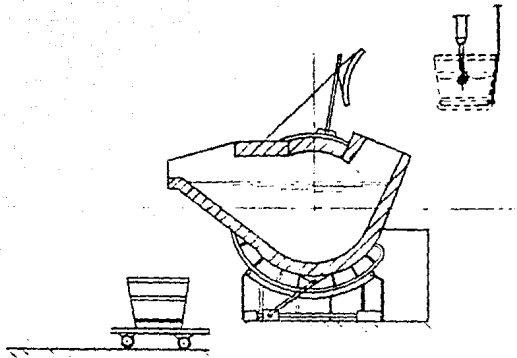


FIGURA 4. b.

MEZCLADOR PARA ALMACENAR FUNDICION DESTINADA A LOS CONVERTIDORES

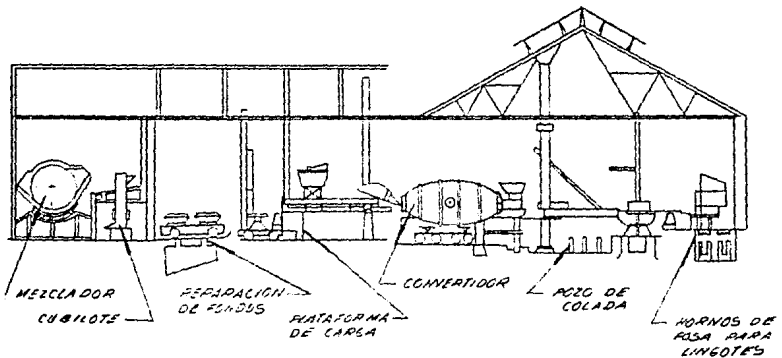


FIGURA N. 4. c.

ESQUEMA DE UNA ACERIA BESSEMER

ro y otros elementos auxiliares.

e) Hornos de fosa donde se colocan los lingotes para impedir su enfriamiento y para mantenerlos a la temperatura conveniente para su laminación.

f) Departamento de refractarios o de reparación de fondos donde se reparan no solo los fondos de los convertidores, sino también las cucharas de colada.

La figura 4.c, muestra esquemáticamente una acería Bessemer con los elementos antes descritos.

Es importante destacar que el convertidor se compone de dos partes diferentes: el cuerpo y el fondo. Estos se unian entre sí por fuertes pernos y tornillos.

Las paredes y el fondo del convertidor son de chapa de acero revestidos interiormente por material refractario silíceo (piedra arenisca siliciosa) :

$$\text{SiO}_2 = 95\%$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 4\%$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2\%$$

4.2.2.- MARCHA DE OPERACION Y CONTROL DE AVANCE

En una operación Bessemer, el procedimiento consta de 7 fases fundamentales que son las siguientes:

- a) Carga del horno
- b) Comienzo del soplado y giro
- c) Oxidación del silicio y del manganeso
- d) Oxidación del carbono
- e) Desoxidación y carburación del baño metálico
- f) Colada
- g) Inspección del horno y reparación de refractarios

El soplado dura aproximadamente unos 15 min, y se puede considerar que las tres etapas fundamentales de todo el proceso son:

- c) Oxidación del silicio
- d) Oxidación del carbono
- e) Desoxidación

Durante la eliminación del silicio, por la boca del convertidor salen chispas y una llama corta, casi transparente, de color rosa ligeramente azulado y de muy poca intensidad luminosa.

Durante la eliminación del carbono, la llama es larga, muy luminosa, de color amarillo muy brillante, llegando a al-

canzar 8 o 10 m. de longitud. Al final llegaba casi a desaparecer cuando se había eliminado la mayor parte del carbono.

Es entonces cuando se hacen las adiciones adecuadas para desoxidar el acero y para encajar el contenido de carbono y manganeso dentro de los límites señalados en las especificaciones.

Para conseguir una marcha regular en la operación, convenía que la composición de la fundición fuera aproximadamente la siguiente:

C = 4% Si = 2% Mn = 1% P = 0.070% S = 0.050%

Los límites señalados de fósforo y azufre no deben sobrepasarse, ya que esos elementos son muy perjudiciales y no se pueden eliminar en el proceso Bessemer.

El avance de la operación se controla perfectamente por la observación de la llama que sale por la boca del convertidor, que daba una idea clara de la marcha de la misma.

La figura 4.d, muestra tres de las etapas de la operación Bessemer.

a) Carga del horno: La operación comienza cuando se carga el arrabile o fundición líquida en el convertidor, que al co -

menzar la operación se encuentra con el eje principal casi horizontal. La fundición, que tiene una temperatura de unos 1250°C , se acumulaba en la plaza y quedaba debajo del nivel de las toberas.

b) Comienzo del soplado y giro del convertidor: Cuando el convertidor se encuentra todavía en posición horizontal, se comienza a inyectar aire a presión y luego se gira el convertidor hasta dejarlo en posición vertical. De esta manera se evita que la fundición líquida se cuele por los agujeros de las toberas de entrada de aire, que están situadas en el fondo del convertidor.

En el momento en que el convertidor se enderezaba, se desprenden abundantes humos y gases, que se formaban al ponerse en contacto el oxígeno del aire con la superficie del baño metálico, arrastrados por el aire soplado a presión.

Cuando el convertidor está completamente vertical, disminuye el desprendimiento de humos, pero se desprende gran cantidad de chispas y aparece por la boca del convertidor unas llamas que durante la operación varían de color y luminosidad, y cuyo aspecto permite conocer el avance del proceso de manera confiable.

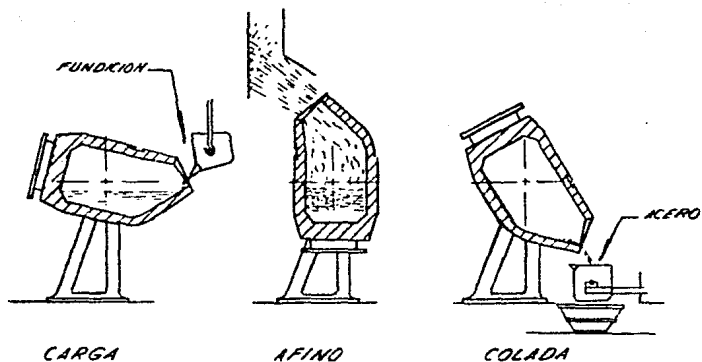
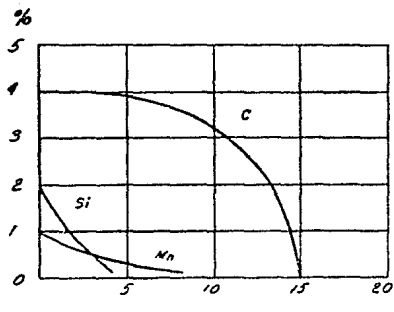


FIGURA No. 4.d.

TRES FASES DE LA FABRICACION DE ACERO BESSEMER



MODIFICACION DE LA COMPOSICION DEL BANO METALICO EN UNA OPERACION BESSEMER

MINUTOS

FIGURA No. 4.e.

c) Oxidación del silicio y del manganeso

Una vez que el convertidor se encuentra en posición vertical, se puede considerar que comienza la fase de afinado de la fundición, que dura aproximadamente 15 min. En los primeros momentos de esta fase, se produce la oxidación del hierro, por ser el elemento que se encuentra en mayor cantidad, y se inicia la oxidación de silicio que provocará una rápida elevación de la temperatura de 1250 a 1650°C aproximadamente. La oxidación del manganeso se lleva a cabo poco tiempo después que la del silicio. La figura 4.e, muestra de manera gráfica la variación en la composición del baño metálico en una operación Bessemer.

Durante esta primera fase, por la boca del convertidor escapa nitrógeno casi puro. Practicamente todo el oxígeno del aire que se sopla en los primeros momentos, se emplea en la formación de los óxidos de hierro, silicio y manganeso, que son cuerpos sólidos, y por la boca solo sale nitrógeno inerte.

La sílice (SiO_2) y el óxido de manganeso (MnO) que se forman al oxidarse el silicio y el manganeso, se combinan con el óxido de hierro, produciéndose una pequeña cantidad de escoria fluída de carácter ácido.

d) Oxidación del carbono

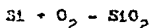
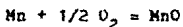
En una marcha de trabajo normal, a los 5 minutos de iniciada la operación, cuando una gran parte del silicio se ha eliminado y su porcentaje ha sido disminuido hasta 0.2%, aproximadamente, y se ha elevado considerablemente la temperatura del baño, se inicia la oxidación del carbono con formación de óxido de carbono. La oxidación del carbono exige más tiempo que la del silicio y se manifiesta por la aparición de una llama brillante y luminosa en la boca del convertidor

A los 10 minutos aproximadamente, se acentúa fuertemente la oxidación del carbono y la llama que aparece en la boca del convertidor es muy larga y luminosa. Se torna cada vez más luminosa y brillante, llegan a alcanzar a los 12min. un brillo deslumbrante y una longitud de 9 metros.

Esta luminosidad de la llama se debe al CO (monóxido de carbono) que se forma al oxidarse el carbono de la fundición.

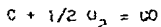
La figura 4.1, muestra en una gráfica, la composición aproximada de los gases que escapan por la boca del convertidor.

Al cabo de 15 min. aproximadamente, la oxidación del carbono es casi completa y la intensidad de la llama decrece rápidamente hasta apagarse casi repentinamente.



En estas reacciones, el oxígeno que está disuelto en el acero reacciona con el silicio y manganeso formando, MnO y SiO₂, y silicatos de manganeso. Estos óxidos y silicatos son partículas muy pequeñas que quedan en parte en la masa de acero, y otra parte asciende a través del baño metálico y se une a la escoria.

Si no se realiza la desoxidación del acero, el oxígeno que se encontraba disuelto en el baño metálico, luego en el enfriamiento y en especial en la solidificación, reacciona con el carbono del acero de acuerdo con la siguiente reacción:



Formandose CO que se desprende del metal en forma gaseosa. Este CO que queda en parte atrapado en la solidificación del acero es el gas que realmente da lugar a la aparición de poros y sopladuras en los lingotes, que impiden su posterior utilización.

Por otra parte, para dejar el metal con el contenido en carbono deseado, debe añadirse al baño metálico la cantidad

de carbono necesaria para alcanzar en cada caso la composición exacta. Este aumento se consigue con las adiciones de desoxidantes debidamente calculadas. El ferromanganeso y el spiegel, y en particular el último, además de desoxidar el metal sirven también para realizar la carburación del baño.

Cuando se fabrican aceros bajos en carbono, se añade ferromanganeso con C = 7% y Mn = 80%. Cuando se fabrican aceros altos en carbono se añade spiegel con C = 6.5% y Mn = 20% , además Si = 2% . Estas ferroaleaciones se añaden fundidas en un cubilote auxiliar para evitar un descenso exagerado de la temperatura del baño que se produciría si la adición se hiciera en estado sólido.

r) Colada:

Generalmente, después de haber sido desoxidado y carburado el baño metálico, se procede a la colada del acero. Para ello se colocaba la cuchara de colada debajo del convertidor, se giraba este y el acero caía a la cuchara.

En la colada se deben tener las debidas precauciones para que en ese momento el acero tenga la temperatura adecuada para colar de acuerdo con su composición.

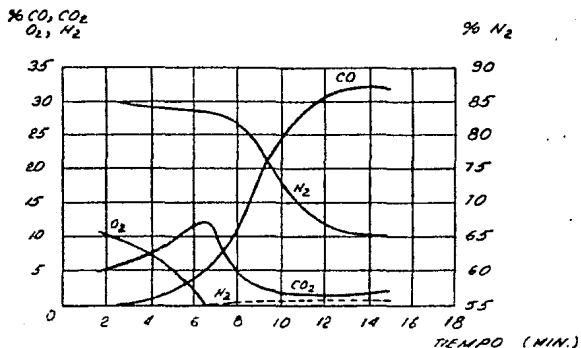


FIGURA No. 4. f.

COMPOSICION APROXIMADA DE LOS GASES QUE ESCAPAN POR LA VOCA DEL CONVERTIDOR

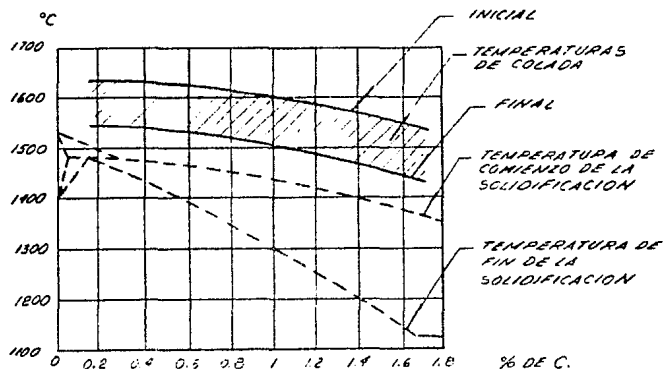


FIGURA No. 4. g.

TEMPERATURAS DE SOLIDIFICACION Y DE COLADA CORRESPONDIENTES A LOS ACEROS AL CARBONO

g) Inspección del horno y reparación de refractarios

Cuando el convertidor queda vacío, se hace una rápida inspección del revestimiento refractario. Debido al acero fundido a altas temperaturas, el refractario sufre desgaste importante y es necesario establecer una vigilancia cuidadosa para evitar paradas y tener los mejores rendimientos.

Periodicamente es necesario cambiar los fondos, porque las toberas sufren un fuerte desgaste y los fondos deben ser sustituidos por otros nuevos.

Para realizar las reparaciones de los refractarios de las paredes del convertidor, que también sufren la acción del metal, hay que programar ciertas paradas para hacer las revisiones y trabajos de reparación necesarios.

Por lo que se refiere al control de avance, podemos decir que esta depende casi directamente de la persona encargada del horno. Esta persona, conduce la operación desde la caseta de manobra guiado por la composición inicial de la carga, la intensidad luminosa de la llama, su longitud y la clase de ruidos que se escuchan.

El momento más difícil y de mayor cuidado es al final

de la descarbonación; pues, si el soplado se prolonga demasiado, el acero experimentará una sobreoxidación muy perjudicial.

El control de avance se complementa con el uso de aparatos como el espectroscopio. Mediante este aparato y durante los primeros momentos del proceso no se observa nada especial y el espectro es poco luminoso. Luego, cuando la temperatura es más elevada y comienzan a oxidarse los diversos elementos, en el espectroscopio aparece primero una línea clara, amarilla del sodio que indica desgaste del revestimiento. Al elevarse la temperatura, aparecen cuatro rayas verdes atribuidas al manganeso, que luego desaparecen una a una sucesivamente y en orden inverso a su aparición.

El final del proceso se señala claramente, porque cuando el contenido de carbono baja a $C = 0.10\%$, aproximadamente, desaparece la última de las rayas verdes que es la más intensa de todas.

En los convertidores Bessemer siempre hay que evitar que el soplado se prolongue demasiado, porque cuando el contenido de carbono es inferior a 0.10% , el porcentaje de óxido de hierro en el baño aumenta extraordinariamente y luego es muy difícil realizar una buena desoxidación final. Además, aumenta también el porcentaje de nitrógeno, lo cual perjudica la calidad del acero.

4.2.3.- REGULACION DE LA TEMPERATURA DEL METAL FUNDIDO

Dado que la temperatura del metal al final del proceso es de suma importancia para conseguir un acero de buena calidad, es necesario regular bien la temperatura a lo largo de toda la operación.

Generalmente, en un convertidor Bessemer se hacen varias coladas, una a continuación de la otra, con la misma composición de fundición y en las mismas condiciones de trabajo.

Conociendo la temperatura de la fundición que se carga y su contenido en silicio, se sabe al final con cierta aproximación la temperatura del acero. Sin embargo, esta temperatura se regula y disminuye cuando conviene hasta conseguir la temperatura deseada, adicionando chatarra fría al convertidor al final o al principio del proceso.

Cuando por alguna circunstancia especial la colada va fría se añade ferrosilicio al baño y se sopla. El ferrosilicio contiene generalmente: Si = 75%, C = 0.50% y Fe = 24%. Así, al aumentar la cantidad de silicio, que es el principal elemento termógeno, se favorece la elevación de la temperatura.

En general, como temperatura de colada se recomienda la

temperatura más baja posible, que no de lugar a que se solidifique el acero en la cuchara durante la colada.

Las temperaturas muy elevadas desgastan los refractarios, facilitan la disolución de gases en el metal, dan fuertes rechupes y grietas y bajas características mecánicas.

En la figura 4.g. se muestran las temperaturas de colada de los diferentes aceros, en la que se puede observar que están reguladas por las temperaturas de principio de solidificación dadas por el diagrama hierro-carbono.

4.2.4.- PROBLEMAS FUNDAMENTALES DEL CONVERTIDOR BESSEMER

Una de las características fundamentales del convertidor Bessemer es su extraordinaria rapidéz. La transformación de la fundición en acero se realiza en pocos minutos. Sin embargo, El procedimiento Bessemer, que fue realmente el primer procedimiento que sirvió para fabricar acero en gran escala, tiene los siguientes inconvenientes:

a) No puede utilizar más que fundiciones de muy bajo contenido en fósforo fabricadas partiendo de minerales muy puros.

b) Los aceros que se obtienen de este convertidor son de calidad relativamente baja e inferior a los aceros fabricados en hornos siemens básicos y hornos eléctricos básicos. Esta baja calidad de los aceros Bessemer se debe a que mediante este procedimiento no se pueden eliminar ni el fósforo ni el azufre que contienen las cargas. Por otro lado, el alto porcentaje relativamente de nitrógeno que contiene el acero es perjudicial.

c) Otro inconveniente de este proceso es que la composición de la fundición que se utiliza debe estar comprendida entre límites bastante estrechos y deben vigilarse en especial sus contenidos en silicio, azufre y fósforo.

4.3.- CONVERTIDO THOMAS

El mayor fallo que tiene el procedimiento Bessemer, desde los primeros años de su utilización, fue el no poder eliminar el fósforo que contiene la fundición y que es un elemento muy perjudicial en los procesos siderúrgicos.

Sidney Gilchrist Thomas sabía que el convertidor Bessemer oxidaba el fósforo por el aire y formaba P_2O_5 . Pensó que este óxido no se podía eliminar más que combinándolo con una escoria calcárea, que no era posible utilizar con el revestimiento silíceo empleado en el convertidor Bessemer, porque al combinarse la cal con el refractario ácido lo destruiría rápidamente. Por ello consideró que para eliminar el fósforo de los aceros era necesario revestir los convertidores con algún tipo nuevo de refractario que fuera de carácter básico y que no reaccionara con la cal.

4.3.1.- CARACTERÍSTICAS DE INSTALACION

Los convertidores Thomas, suelen ser mayores que los Bessemer. Cada convertidor de este tipo está constituido por un gran recipiente o crisol de forma de pera, construido con chapa de acero de unos 30 mm de espesor, misma que en los

convertidores de 30 t., tiene unos 5 m de diámetro y 10 m de altura . Estan revestidos interiormente con material refractario básico. La figura 4.h, muestra un convertidor de este tipo..

Los convertidores están soportados por dos fuertes mullones laterales que se apoyan en los cojinetes correspondientes para el giro del convertidor. A través de uno de los mullones que es hueco, llega el aire a presión que se inyecta por el fondo del convertidor. En el otro se hallan acoplados los mecanismos que permiten los movimientos de giro.

El revestimiento de los convertidores Thomas se suele preparar con bloques o ladrillos de dolomita calcinada, que luego se recubren con dolomita aglomerada con alquitrán . En la boca del convertidor se colocan varias hiladas de ladrillos silico-aluminosos o, en ocasiones, de magnesita. El cuerpo del convertidor tiene unos 350 mm de espesor y la duración del refractario es de unas 500 coladas.

El fondo del convertidor es independiente de cuerpo y se separa durante las reparaciones. Este fondo se prepara también con dolomita aglomerada con alquitrán y, atravesando todo el fondo, se colocan una serie de varillas de made-

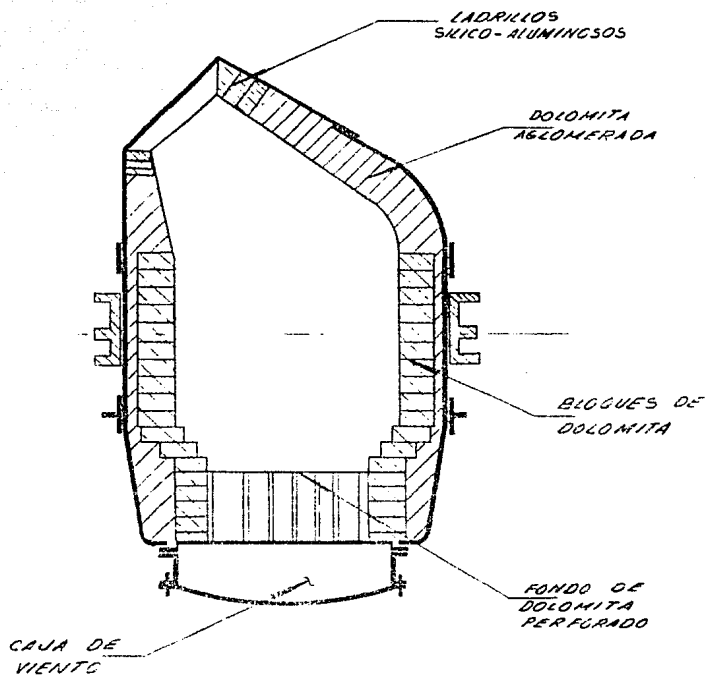


FIGURA 4. h.

SECCION TRANSVERSAL DE UN
CONVERTIDOR THOMAS

ra que al quitarlas dejan unos agujeros que son las toberas.

Los fondos de los convertidores, después de preparados son cocidos en hornos especiales. Estos tienen un espesor de 800 mm y deben ser reemplazados cada 50 coladas aproximadamente.

En la parte inferior del fondo se halla la caja de viento, a donde llega el aire a presión y desde donde se distribuye a las toberas.

La presión del aire, que se emplea para el soplado varía de 1.5 a 2.5 kg/cm^2 . Es necesario emplear una presión superior a la utilizada en los Bessemer porque hay un período en que la escoria se encuentra sin formar y la fundición, además, está relativamente fría y próxima a la solidificación. Esto ocurre dentro de los minutos 10 y 15 del proceso cuando no ha comenzado la eliminación del fósforo que es el elemento termógeno más importante.

La composición aproximada de los refractarios que se utilizan en estos convertidores son:

Dolomita calcinada $\text{CaO} = 55\%$ $\text{MgO} = 40\%$

Ladrillos silico-aluminosos $\text{Al}_2\text{O}_3 = 38\%$ $\text{SiO}_2 = 60\%$

4.3.2.- PROCEDIMIENTO ELEMENTAL THOMAS

La duración de un proceso Thomas es de aproximadamente 40 minutos y el afino dura aproximadamente 17 minutos. Dentro de esta operación se pueden destacar 9 fases fundamentales que son:

- a) Carga del arrabio o fundición líquida
- b) Comienzo del soplo y giro del convertidor
- c) Oxidación del silicio y del manganeso
- d) Oxidación del carbono
- e) Desfosforación y sobresoplado
- f) Desescoriado
- g) Adición de desoxidantes, recarburantes y cal
- h) Colada
- i) Inspección del rebestimimiento refractario y reparación

a) Carga de arrabio o fundición líquida:

Esta fase solo se diferencia de la que se realiza en el proceso Bessemer, en que en los primeros momentos, cuando el convertidor se encuentra todavía en posición vertical, se comienza cargando en el convertidor una cierta cantidad de cal (15% del peso de la carga) que sirve en la última parte del proceso para formar la escoria. Luego se gira el convertidor y, cuando se encuentra horizontal, se añade la fundi -

ción en estado líquido, la cual tiene una composición aproximada de:

C = 4 % P = 2 % Mn = 1 % Si = 0.5 %

Al igual que en el proceso Bessemer, en ocasiones se añade chatarra fría para regular la temperatura final del baño de acero. El peso de chatarra que suele adicionarse es del 12 % de la carga total.

b) Comienzo del soplado y giro del convertidor:

Para evitar que la fundición entre por las toberas, se comienza el soplado con el convertidor horizontal y luego se endereza hasta su posición vertical. En los primeros momentos del soplado, el convertidor produce un ruido muy fuerte y escapan por la boca humos pardo-rojizos con proyecciones de cal y fundición.

c) Oxidación del silicio y del manganeso:

La oxidación de los elementos que contiene la fundición se realiza en forma parecida a la oxidación en el procedimiento Bessemer.

El silicio y el manganeso son también en este proceso los elementos que primero se oxidan. Desde el primer momen-

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

to en la zona proxima a las toberas, el hierro es oxidado por ser el elemento más abundante, posteriormente este óxido de hierro sirve de vehiculo del oxígeno para la oxidación de los demás elementos.

En esta primera fase de oxidación del silicio y del manganeso, se originan explosiones y desprendimiento de chispas más abundantes que en el proceso Bessemer, comenzando a reaccionar los óxidos del silicio y del manganeso con la cal que se encuentra sólida sin formar escoria.

La figura 4.1, muestra de manera gráfica la composición del baño en una operación Thomas.

d) Decarburación:

Esta fase dura aproximadamente unos 15 min y se caracteriza por las grandes llamas que se producen. Al igual que en el proceso Bessemer, la oxidación del carbono no comienza hasta que el silicio ha sido oxidado casi por completo.

Al producirse la oxidación del carbono de la fundición, que al principio del proceso suele contener del orden de 1.1% se forma óxido de carbono, que al salir por la boca del convertidor reacciona con el oxígeno del aire formando CO_2 y aparece una llama brillante y luminosa.

% C, Mn, Si y P

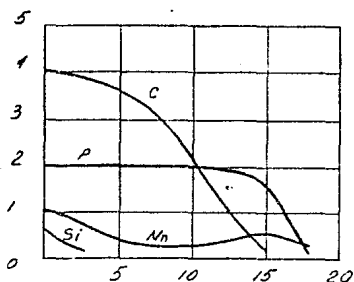
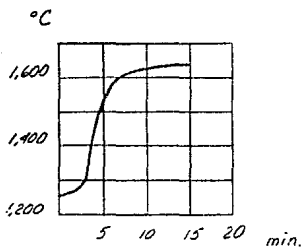
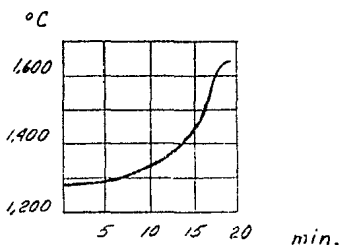


FIGURA 4. i.

MODIFICACION DE LA COMPOSICION DEL BAÑO EN UNA OPERACION THOMAS



PROCESO BESSEMER



PROCESO THOMAS

FIGURA 4. J.

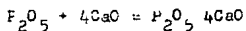
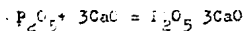
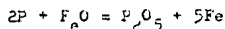
VARIACION DE LA TEMPERATURA DEL BAÑO METALICO EN LOS PROCESOS BESSEMER Y THOMAS.

e) Desfosforación:

Esta fase, que no comienza a producirse con intensidad hasta que el carbono casi ha desaparecido y es muy característica en el proceso Thomas, recibe el nombre de sobreso - plado. Se produce cuando en la boca del convertidor desaparece la llama luminosa que es sustituida por abundantes humos rojos debido a la oxidación del hierro.

Cuando el carbono baja hasta $C = 0.1\%$, la oxidación del fósforo que es muy exotérmica, es muy intensa, la temperatura sube rápidamente a una velocidad de 60° por min. y llega hasta $1650^{\circ}C$.

La cal, que hasta esos momentos estaba gran parte en estado sólido, se combina rápidamente con los óxidos de silicio, hierro y manganeso, debido principalmente a la rápida elevación de la temperatura y en menos de un minuto queda totalmente fundida y se combina con el P_2O_5 para completar la formación de la escoria. Esta desfosforación se realiza de acuerdo a las siguientes reacciones:



f) Desescoriado:

Cuando se considera que el periodo de desfosforación se ha terminado, se gira el convertidor para que salga casi toda la escoria de elevado contenido en fósforo que cubre el baño. De esa forma, sacando la escoria con el fósforo, se evita el peligro de que el fósforo pueda volver luego al baño de acero cuando se hacen las adiciones para desoxidar y recarburar el baño. Si se hicieran esas adiciones desoxidantes y recarburantes sobre la escoria fosforosa, estas adiciones reducirían el anhídrido fosfórico de la escoria, y al quedar el fósforo en libertad, se incorporaría nuevamente al baño. La composición aproximada de la escoria que se elimina es:

$\text{CaO} = 60 \%$ $\text{P}_2\text{O}_5 = 20 \%$ $\text{FeO} = 15 \%$ $\text{MnO} = 4 \%$
 $\text{MgO} = 5 \%$

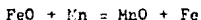
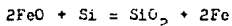
g) Desoxidación y recarburación:

Al terminar la fase de desescoriado en el convertidor hay un baño de acero muy oxidado y de muy bajo contenido en carbono.

Para desoxidar el baño de acero y dejarlo con una composición deseada se añade ferromanganeso y spiegel en cantidades cuidadosamente calculadas para alcanzar el contenido

en manganeso exigido y luego se completa la desoxidación con ferrosilicio. Dado que las cantidades de desoxidantes son del orden de 1000 a 1500 kg, el ferromanganeso y el spiegel se funden en un cubilote auxiliar y se añaden al convertidor calientes, a unos 1450°C para evitar el descenso de la temperatura en el baño de acero.

Las reacciones que se producen en la desoxidación del acero son las siguientes:



Por otra parte, para encajar dentro del contenido de carbono deseado, se agrega al spiegel (C = 6.5% , Mn = 20%) que proporcionalmente tiene más carbono que el ferromanganeso.

En el caso del proceso Thomas, es necesario descarburar completamente el baño llegando a C = 0.02 % para poder desfosforar. Luego partiendo de ese carbono, se realizan las adiciones de spiegel y ferromanganeso, para alcanzar el 0.5 % de carbono deseado.

h) Colada:

Una vez terminada la desoxidación del baño, se gira el convertidor y se cuela el acero en una cuchara.

La figura 4.3, muestra la elevación de la temperatura al principio de una operación Bessemer debido a la oxidación del silicio. En el proceso Thomas, ocurre al final debido a la oxidación del fósforo.

La figura 4.4, muestra como en el proceso Bessemer se puede parar el soplado si se desea para fabricar aceros altos en carbono. Entonces se para el soplado, se analiza el acero, se encaja lo más exactamente posible la composición y la temperatura del acero y luego, se puede hacer la colada.

En el proceso Thomas no es posible parar el soplado en un momento determinado y encajar la composición y temperatura, porque la eliminación del fósforo no se hace sino hasta el final, cuando se ha producido una fuerte decarburación. Si se opera como en el proceso Bessemer, al parar la operación, el contenido en fósforo sería muy elevado (2 % aproximadamente) y el acero no sería utilizable.

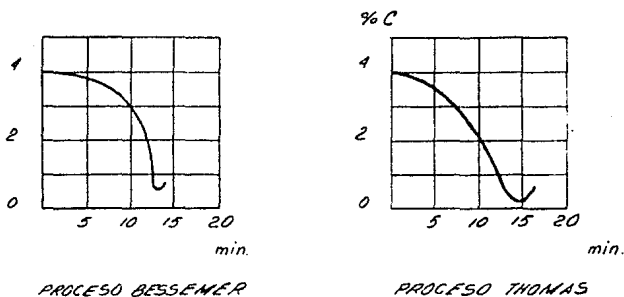


FIGURA 4. k.

VARIACION DEL CONTENIDO EN CARBONO DEL BAÑO METALICO PARA ACERO DE C = 0.50% EN CONVERTIDOR BESSEMER Y THOMAS

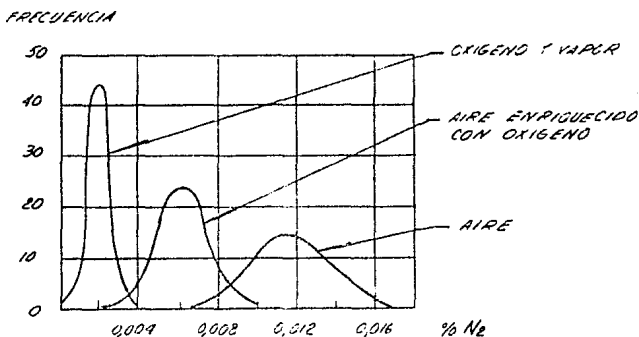


FIGURA 4. l.

CONTENIDO EN NITROGENO PARA LAS VARIANTES DEL PROCESO THOMAS Y CURVAS DE FRECUENCIA.

5.- HORNOS ELECTRICOS

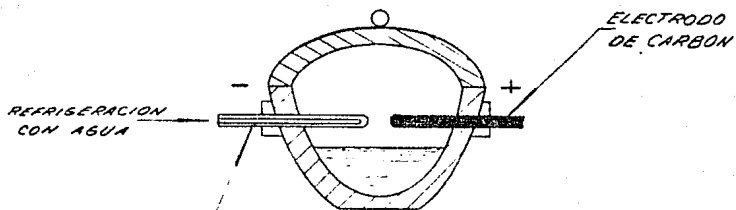
5.1.- HORNOS ELECTRICOS DE ARCO

En los últimos años del siglo XIX, los aceros finos de alta calidad para herramientas y usos especiales se fabricaban exclusivamente en hornos de crisol.

Uno de los problemas más difíciles de resolver en aquellos años era el alcanzar en los hornos temperaturas tan altas del orden de 1650 C.

Sir Humphry Davy, utilizando la corriente eléctrica en el año de 1810 e plés por primera vez el arco eléctrico para la extracción y fusión experimental de metales.

En 1878, William Siemens patentó el primer horno eléctrico con electrodos horizontales para fabricar acero y al siguiente año, patentó otro segundo con los electrodos verticales, uno superior que atravesaba la bóveda y otro inferior que atravesaba la solera del horno. Ver figura 5.a y 5.b. En ambos casos la energía eléctrica se suministraba mediante un dinamo.



ELECTRODO DE
COBRE

FIGURA 5. a.

HORNO ELECTRICO SIEMENS DE ARCO CON ELECTRODOS
HORIZONTALES Y CALENTAMIENTO INDIRECTO

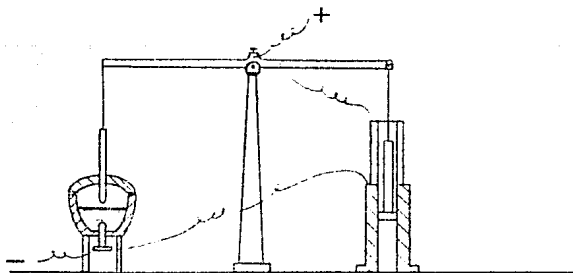


FIGURA 5. b.

HORNO ELECTRICO SIEMENS DE ARCO CON ELECTRODOS VERTICALES.
UNO ATRAVES LA BOVEDA Y EL OTRO EL FONDO DEL HORNO.

5.1.1.- HORNOS DE ARCO DIRECTO MONOFASICO O TRIFASICO

Entre los varios tipos de hornos eléctricos que se han creado, el más apreciado es el Heroult. Fig. 5.c.

El complejo fusor está compuesto de las siguientes partes fundamentales:

a) Crisol: Este puede variar de capacidad de unos pocos kilogramos hasta 100 toneladas. El crisol está constituido por un recipiente de plancha soldada o remachada con dos aberturas, una para la carga y otra para la colada y un diámetro variable de acuerdo a la capacidad (2.0 m. de diámetro para una capacidad de tres toneladas).

La inversión se hace con un dispositivo electromecánico o bien hidráulicamente con una electricibomba que acciona uno o dos cilindros hidráulicos.

b) Bóveda: Está construida con un material refractario, normalmente sílice, por ser más económico y con tres aberturas para el paso de los electrodos.

c) Electrocos: En los hornos de arco, la energía eléctrica se lleva a la plaza donde se realiza la fusión por medio de conductores llamados electrodos. Que deben soportar temperatu-

ras muy elevadas y resistir la acción corrosiva de las escorias, por lo que son fabricados con antracita calcinada, de coque y de grafito. Cuando derivan de los dos primeros productos, se llaman electrodos de carbón amorfo. En otro caso reciben el nombre de electrodos de grafito natural.

d) Braços portaelectrodos. Estos sostienen las varillas o tubos de cobre que llevan la corriente a las bridas de bronce que sujetan los electrodos. Lo mismo las bridas que los electrodos deben calibrarse de forma que puedan aguantar sin calentarse con exceso la intensidad de corriente generada por el transformador (de 15000 a 25000 amperios en los grandes hornos, con un diámetro para los electrodos de grafito que pueda alcanzar los 500 mm). Los braços portaelectrodos van conectados con todo el sistema mecánico o hidráulico necesario para su levantamiento o descenso.

e) Transformador: La corriente llega a los hornos desde las líneas distribuidoras de alta potencia (13000 ó 22000 volts), y con adecuados transformadores es reducida hasta 60 a 220 volts, con numerosos valores intermedios.

El disponer de varios voltajes deriva de las necesidades del proceso metalúrgico: mientras que inicialmente se emplean

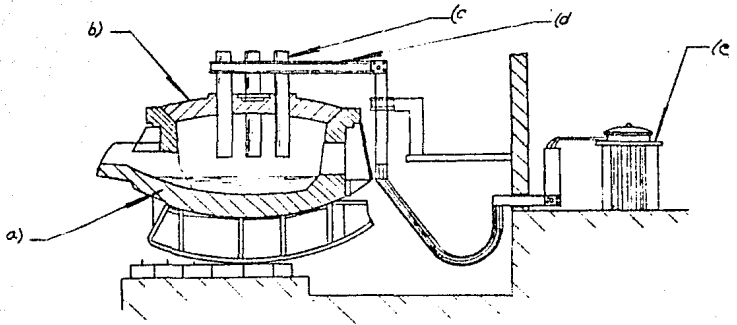


FIGURA 5.c.

HORNO HERGULT DE TRES ELECTRODOS.

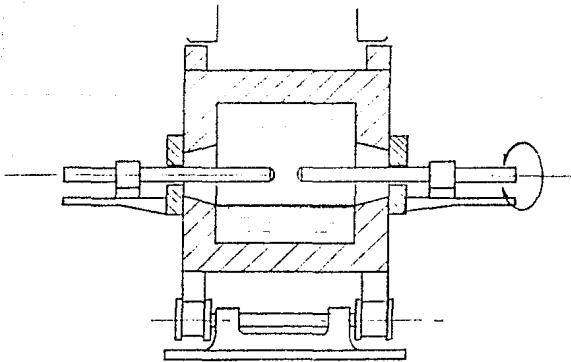


FIGURA 5.d.

HORNO ELECTRICO DE ARCO INDIRECTO OSCILANTE

valores elevados para acelerar la fusión, en el período de a-fino se desciende a valores inferiores.

Respecto a la carga del horno, esta se hacía antiguamen-
te por la puerta de carga del mismo horno. Recientemente han
entrado en función modelos de horno que reciben la carga por
la parte superior, apertando la bóveda o el crisol, para tal
objeto, se coloca la carga preparada en un gran cesto, cuyo
fondo está formado por sectores triangulares de plancha de a-
cero. Se levantan los electrodos, se descubre el crisol y se
transporta el cesto sobre el horno.

Como ejemplo que existe una variante de este tipo de hor-
no y es el llamado horno eléctrico de arco indirecto.

En el conjunto de su construcción son análogos, pero los
electrodos son dos, regulables en sentido horizontal hasta
que entre sus puntas se forme un arco que nunca estará en con-
tacto con el metal.

Un ejemplo de este tipo de horno es el modelo Booth que

se muestra en la figura 5.d . Puede girar por completo cuando el metal se ha licuado para suprimir los recalentamientos de la bóveda provocados por el arco. El recubrimiento del horno es normalmente de cuarzo o caolín. En general, solo se construyen hornos de poca capacidad y se emplean bastante en fundiciones pequeñas y medianas de hierro colado y metales.

Las ventajas de este tipo de horno son las siguientes:

- a) Producción de un metal de composición y temperatura uniformes.
- b) Fusión rápida y accionamiento simple.
- c) Recalentamiento atenuado del recubrimiento interior.
- d) Pérdidas mínimas por oxidación.
- e) Consumo de corriente de 250 kWh, aproximadamente por tonelada de latón.

5.2.- VENTAJAS DE LOS HORNOS DE ARCO

Una de las principales ventajas que tienen estos hornos es que su instalación es mucho más sencilla y menos costosa que la de cualquier otro horno de los utilizados para fabricar acero.

Para cualquier empresa o grupo industrial es mucho más fácil montar hornos eléctricos que los costosos hornos Siemens o convertidores. Cuando algunos grupos industriales quieren independizarse en el suministro de aceros, en general, lo más sencillo para ellos es montar hornos eléctricos de acero.

Además, el aprovisionamiento de materias primas es más libre, el horno eléctrico se carga con chatarra, que puede adquirirse en mercados muy diversos.

Estas circunstancias hacen que el horno eléctrico sea la instalación más accesible para ser montada por industrias en crecimiento que quieren trabajar libres de la influencia de los grandes grupos siderúrgicos.

5.3.-HORNOS ELECTRICOS DE INDUCCION

5.3.1.- HORNOS DE INDUCCION DE BAJA FRECUENCIA

Los hornos de inducción de baja frecuencia con núcleo magnético están compuestos por un canal que forma un circuito metálico cerrado que desemboca en una cámara de fusión de mayor capacidad. Fig. 5.e.

El canal envuelve un núcleo de hierro que es excitado por medio de una espiral. 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:

$$W = I^2 R$$

en la cual I son los amperios que circulan en el anillo y R la resistencia óhmica de los mismos más la resistencia de la carga.

Al poner el horno en marcha, el canal está lleno de material sólido en íntimo contacto para permitir el cierre del anillo. Primeramente se funde el contenido del anillo y luego se prolonga la fusión de toda la carga.

Para facilitar las coladas subsiguientes conviene dejar siempre una cierta cantidad de metal líquido en el fondo del

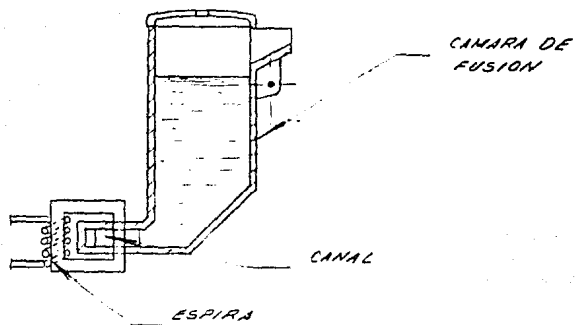


FIGURA 5. e.

HORNO DE INDUCCION DE BAJA FRECUENCIA
DE NUCLEO MAGNETICO

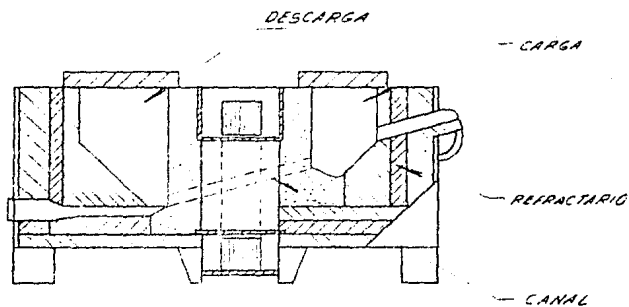


FIGURA 5. f.

HORNO DE INDUCCION DE BAJA FRECUENCIA DE DOS CAMARAS

horno de modo que el canal esté siempre lleno, cebado.

La limpieza del canal es difícil, por lo tanto estos hornos han sufrido modificaciones importantes en su desarrollo y se les han añadido dos cámaras, una para la carga y otra para la descarga como se muestra en la figura 5.f. Mediante estas modificaciones, se obtienen las siguientes ventajas:

a) Quedan eliminados los tiempos improductivos porque la temperatura del metal se mantiene constante en la cámara de descarga.

b) El metal de la cámara de descarga está siempre líquido porque las escorias permanecen en la cámara de carga.

c) Las pérdidas de material por oxidación son mínimas y el funcionamiento resulta económico.

El horno de baja frecuencia no puede alcanzar las elevadas temperaturas necesarias para fundir el acero, por lo que se aplica casi exclusivamente para aleaciones de cobre-níquel con más del 50% de este último.

Puede fundir también el hierro colado y metales y aleaciones ligeras.

5.3.2.- HORNOS DE INDUCCION DE ALTA FRECUENCIA

Este tipo de hornos está compuesto por un crisol de material refractario, que va envuelto exteriormente por espiras conductoras formadas por tubo de cobre. Por las espiras de cobre pasan corrientes de alta frecuencia a una tensión variable de 200 a 2000 V. Fl. 5.g.

Por induccion se crea una intensa corriente eléctrica en la carga que hay en el crisol, que es suficiente para fundir el acero y para elevar aún más la temperatura por encima de su punto de fusión. Para evitar un calentamiento excesivo de la espiral, se construye con tubo de cobre que es refrigerado interiormente por una corriente de agua.

Se han utilizado tres tipos de instalaciones para producir la energía eléctrica necesaria para los hornos de alta frecuencia: generadores de chispa, de lámparas y grupos motor-alternador, siendo estos últimos los más empleados.

En los generadores de chispa, la corriente de alta frecuencia se produce por la descarga periódica de un condensador por medio de una chispa. La frecuencia en este caso varía de 10000 a 100000 ciclos por segundo. Las potencias son generalmente pequeñas y estos generadores no son utilizados más que en hornos de laboratorio con pequeña capacidad.

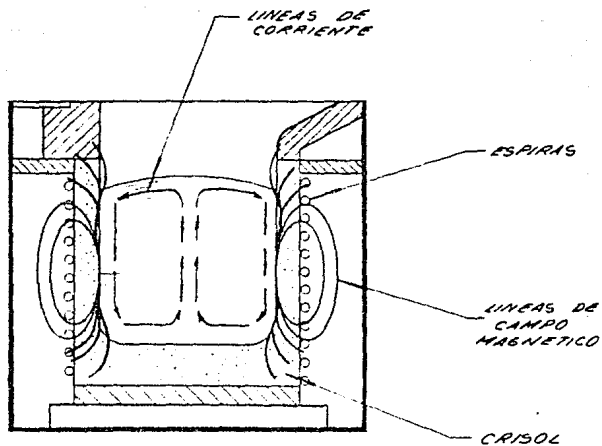


FIGURA 5.9.

ESQUEMA DE UN HORNO ELECTRICO DE ALTA FRECUENCIA

En los generadores de lámpara la frecuencia puede variar de 30000 a 300000 ciclos por segundo y se suelen usar para hornos pequeños y medios de 50 kg.

Los generadores compuestos por grupo motor-alternador se utilizan en todas las instalaciones industriales de cierta importancia. Consta de un motor alimentado por la red que va acoplado a un alternador. La frecuencia varía de 5000 a 50000 ciclos por segundo, la potencia puede pasar de 1500 kw y la tensión oscila entre 1000 y 2000 voltios.

Para favorecer la agitación del baño se emplean algunos hornos con corrientes de alta y baja frecuencia, en los que se emplea la alta frecuencia para fundir y la baja para crear cierta agitación. Se produce una mezcla muy íntima del acero y de la escoria, que sirve para provocar un ariño muy rápido.

El crisol se construye en el mismo horno por compresión y retacado de polvo refractario entre las espiras de cobre y un molde de chapa de hierro interior. Las materias refractarias que constituyen el revestimiento no se aglomeran bien en frío, pero al calentarse la chapa que ha servido de molde por la acción de corrientes inducidas, se calcina el polvo y adquiere una gran resistencia.

La operación en este tipo de hornos, se inicia cargando primero la chatarra pesada previamente. Generalmente se considera que en el proceso no hay pérdida de ningún elemento, y se calculan las cargas de manera que el conjunto de todas ellas tengan la composición del acero que se desea obtener.

Cuando el horno está lleno, se hace pasar la corriente, y la carga metálica del crisol comienza a ser atravesada por corrientes de inducción que calientan primero la chatarra situada exteriormente, cerca de la pared del horno y luego este calor se transmite por conducción a la zona central.

Cuando todo el baño está fundido y se ha homogeneizado el baño metálico, se hacen las adiciones de los desoxidantes ferromanganeso, ferrosilicio, etc., se continúa durante algún tiempo calentando el baño hasta alcanzar la temperatura conveniente, que se comprueba por medio del pirómetro. Luego se quita la corriente y se efectúa la colada.

5.4.- HORNOS ELECTRICOS DE RESISTENCIA

5.4.1.- HORNOS DE RESISTENCIA NO METALICA

Este tipo de horno es un horno apoyado sobre rodillos, de tambor oscilante, provisto de puerta de carga y de piqueta de colada. El suministro de corriente se realiza por una línea monofásica de 500 voltios, que un transformador adecuado reduce a 25 ó 75 voltios. El calentamiento se obtiene mediante un electrodo cilíndrico de grafito artificial instalado sobre el eje de la cámara del horno. El diámetro del electrodo varía de 50 a 65 mm con una densidad de corriente de 200 a 400 A/cm². De este modo se alcanzan corrientes grandes y temperaturas superiores a los 2000°C en la cámara. El electrodo está sometido a desgaste y debe sustituirse de cuando en cuando por medio de los contactos metálicos con circulación de agua instalados en los dos extremos del tambor.

El horno tiene un movimiento oscilante, de modo que el calor irradiado por las paredes de la plaza es transmitido por reverberación y por conducción a la carga. La oscilación sirve también para remezclar el líquido. Fig. 5.h.

La capacidad de estos hornos es de 50 a 1500 kg, la potencia de 250 a 500 kw. es muy empleada para la fusión del cobre, bronce, latón, en las fundiciones de hierro colado de

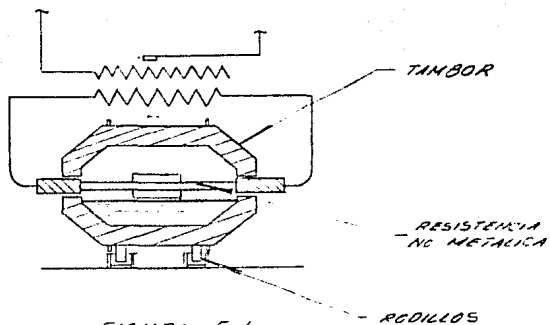


FIGURA 5. h.

HORNO ROTATORIO DE RESISTENCIA NO METALICA

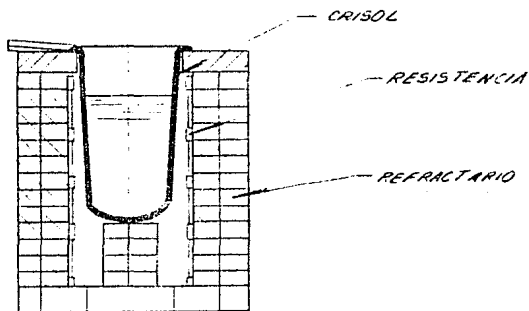


FIGURA 5. i.

HORNO DE CRISOL DE RESISTENCIA METALICA

buena calidad y en las de acero para pequeñas coladas especiales.

Por lo sencillo de su instalación y la seguridad de su funcionamiento, estos hornos son muy utilizados, especialmente en las fundiciones pequeñas.

5.4.2.- HORNOS DE RESISTENCIA METALICA

En este tipo de hornos, el calor es originado por la corriente que recorre los hilos o cintas de aleaciones metálicas especiales envueltos en espiral o doblados en 's' a fin de que puedan desarrollar la máxima longitud en el mínimo espacio, teniendo presente que la resistencia de un material en ohmios, es proporcional a su longitud L , a su resistencia específica ρ .

Las aleaciones metálicas que se usan para las resistencias suelen ser de cromoniquel (20/80%), o bien cromo-silicio-aluminio o cromo-aluminio-cobalto.

La temperatura máxima de trabajo que pueden resistir, se encuentra entre 1000 y 1300°C. De aquí la posibilidad de construir hornos para fundir aluminio, magnesio, zinc y aleaciones derivadas cuyo punto de fusión oscila entre los 400 y

700°C. Este tipo de horno se emplea bastante en fundiciones que trabajan con aleaciones ligeras porque en el mismo se puede regular automáticamente la necesaria temperatura de trabajo, y lo más importante, que permite mantener limpia la instalación.

Los hornos de resistencia metálica se utilizan no solamente como hornos fusores sino también como hornos de acumulación. Tienen una capacidad doble o triple que la de los hornos fusores, pero su potencia es más reducida y su finalidad es la de mantener a una determinada temperatura el metal fundido. Un horno de este tipo se muestra en la figura 5.1.

6.- HORNOS CUBILOTES

6.1.- DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO

Este tipo de hornos se utiliza para la obtención de hierro colado a partir de la fusión de chatarra y arrabio, el cual proviene del alto horno.

El horno consiste fundamentalmente de un tubo vertical recubierto con material refractario, con la disposición necesaria para introducirle una corriente de aire en el fondo. Es un horno que funciona con combustible sólido y en el cual la carga metálica, el combustible y el comburente están en íntimo contacto. Esto permite un intercambio térmico directo y activo y, por tanto, un rendimiento elevado. Sin embargo, debido a este contacto de material y el combustible, no se puede llevar a cabo un control metalúrgico riguroso.

El cubilote está constituido fundamentalmente por las siguientes partes, como se muestra en la figura 6.a.

a) Envoltura cilíndrica: Es la envoltura vertical construida en chapa de hierro solcada.

b) Revestimiento interno: Este revestimiento es de ladrillo refractario de espesor variable según el tamaño del horno.

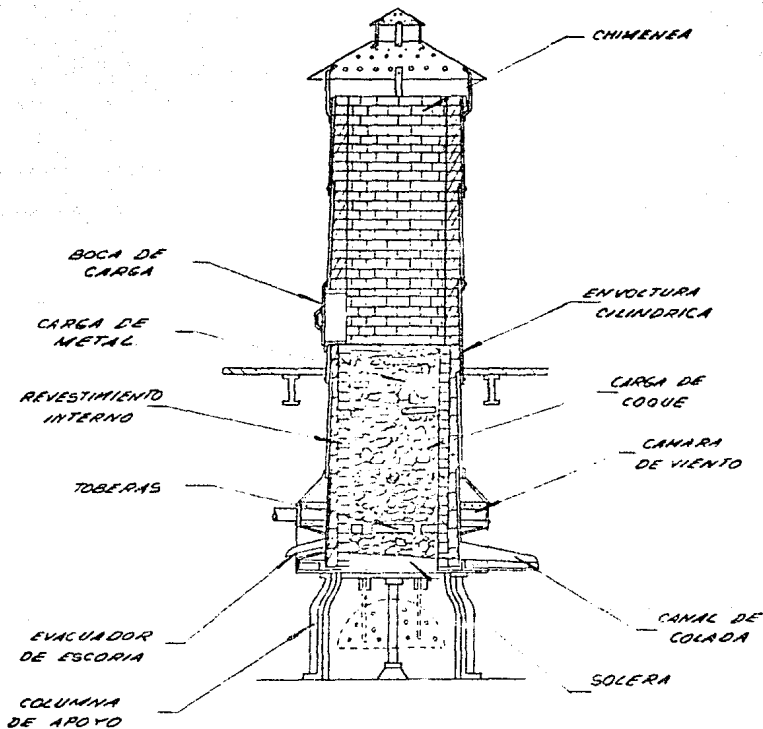


FIGURA 6.2

VISTA SECCIONAL DE UN CUBILOTE

Entre el refractario y la envoltura se deja una capa intermedia de unos 2 cm aproximadamente rellena de arena seca para permitir las dilataciones radiales y axiales del refractario.

c) Chimenea : De estructura cilíndrica contruida a base de ladrillo que en ocasiones tiene en su extremo un apagacispas.

d) Boca de carga: Es una abertura pequeña provista de una plancha inclinada para la introducción de la carga. Si la carga se hace mecánicamente, la abertura se hace más amplia para la entrada de las carretillas.

e) Cámara de viento: Para que la combustión se lleve a efecto es necesario tener una cámara que circuncie toda la envoltura, dentro de la cual pase el aire enviado por una máquina soplante.

f) Toberas: Son las aberturas para introducir el aire a la cámara de combustión. La práctica común es la de tener solo una serie de toberas en una circunferencia de la pared, aún cuando algunos cubiletes grandes tienen dos hileras. Las toberas de forma acampanada, tienen el extremo mayor en el interior del horno para provocar que el aire se difun-

da uniformemente, van distribuidas a distancias muy precisas unas de otras, para obtener la distribución del aire tan uniforme como sea posible. El número de toberas varía con el diámetro del cubilote, siendo desde cuatro en los cubilotes pequeños hasta ocho a más en las grandes instalaciones

g) Evacuador de escoria: Es una abertura dispuesta a unos 20 cm aproximadamente por debajo del plano de las toberas para evitar que la escoria penetre en ellas.

h) Puerta lateral de encendido y limpieza: Es necesario que esta puerta se mantenga cerrada al comienzo de la fundición, rechazando el soplete que completa el revestimiento refractario.

i) Canal de colada: Es un canal de plancha de hierro revestido de masa refractaria. Este comienza en la piquera y con una inclinación de 10° aproximadamente hace caer el hierro fundido en el caldero de colada.

j) Solera o fondo del cubilote: Este fondo está hecho a base de arena de fundición que va inclinada hacia la piquera.

k) Columnas de apoyo: casi siempre son cuatro, de hierro o fundición que son sostenidas a la vez por unas cimientos de ladrillo o de orrignón.

El funcionamiento de un cubilote se puede resumir en cinco pasos fundamentales que son los siguientes:

1.- Encendido: Se prepara la solera del horno con arena de moldear seca con una pequeña adición de grafito y se seca con una llama de gas.

Se empieza a introducir entonces el coque de encendido, en una capa de unos 52 cm para cada carga, a razón de 140 kg por metro cuadrado de horno; con el coque debe mezclarse un 5 a 10 % de piedra caliza, llamada también fundente; antes de introducir una nueva capa hay que asegurarse de que el coque situado debajo esté bien encendido.

El coque de encendido debe alcanzar de 0.6 a 1.0 m sobre el plano de las toberas.

Se activa el encendido dando viento por espacio de 4 a 5 minutos, lo cual sirve también para desulfurar el coque.

2.- Introducción de la carga: Para iniciar la carga, se coloca sobre la capa de coque de encendido una carga de coque adicional mezclada con fundente y encima de esta la carga metálica. A continuación se coloca una segunda carga

de coque con fundente y la segunda carga metálica, y así, alternativamente, hasta alcanzar la boca de carga; a partir de ese momento, los obreros que atienden a cargar deben cuidarse solamente de mantener lleno el horno, con cargas alternas, a medida que las otras cargas vayan descendiendo por efecto del consumo de combustible y de la fusión del metal. Se comienza a dar viento y en un espacio de 5 a 8 minutos, se presenta el primer hierro fundido en la piquera de colada que deberá estar cerrada.

3.- Fin de la fusión: Después de algunas horas de funcionamiento y haciendo una evaluación de la cantidad de piezas por colar se introduce la última carga, reservando para esta los trozos de metal más ligeros. Cuando el nivel de la carga alcanza aproximadamente las tres cuartas partes de la altura del horno, se reduce gradualmente el viento, cerrando por completa la tapa principal cuando está próxima la fusión del último hierro colado. Cuando aparece escoria en la piquera se vacía el horno.

4.- Vaciado del horno: Antes de vaciar el horno hay que asegurarse de que el pavimento debajo del horno esté seco;

se abren los portillos de las toberas, se quita el canal de colado y la portilla de encendido y se hace correr el cerrojo o el puntal que cierra la puerta inferior del horno. La solera del horno cae al igual que los residuos de la capa de coque y de material contenidos, que se apagan con chorros de agua y se retiran para no estropear el cubilote.

5.- Reparación : Después de cada fusión de 3 a 10 horas el cubilote se deja enfriar y, al día siguiente, se repara. Con un cincel se quita la escoria o el material refractario vitificado adherido al revestimiento, que se presenta más o menos corroído en torno a las toberas, hasta alcanzar el material refractario que no ha sufrido deterioro. Las partes afectadas se recubren entonces con material nuevo, y se deja reposar por lo menos 24 horas. Al día siguiente, el horno está listo para encenderse de nuevo.

6.2.- DIMENSIONES GENERALES DEL CUBILOTE

Aunque las proporciones de los cubilotes son bastante variables dependiendo del técnico que los construye, algunos valores indicativos pueden ser los siguientes:

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 por decímetro cuadrado de sección. Por lo tanto si P es la producción en kg/hora, S la sección interior del cubilote en decímetros cuadrados y d_i el diámetro interior en decímetros tendremos:

$$P = S (75) = \pi/4 (d_i)^2 \cdot 75 \text{ kg/hora}$$

de donde:

$$P = 60 \cdot d_i^2 \text{ kg/hora}$$

de lo cual se desprende que:

$$d_i = \sqrt{P/60} \text{ dm.}$$

b) Espesor del revestimiento o diámetro exterior:

El espesor de los refractarios varía desde 15 cm para los cubilotes pequeños hasta 30 cm para los mayores.

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

$$d_e = d_i + 2(a + b) \text{ dm}$$

El perfil 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.

c) 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:

$$H = (7...5) d_i \text{ dm.}$$

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 no encuentran el modo de ceder la mayor parte de su calor sensible a la carga situada en la parte superior.

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 dos para los cubilotes más pequeños, hasta doce para los grandes cubilotes.

Su forma puede ser redonda, cuadrada o rectangular. La sección total S_t en cm^2 de las toberas se establece en proporción a la sección interior S_c en cm^2 del cubilote. En tal caso se tiene:

$$S_c = \frac{S_c \text{ (cubilote)}}{5 \dots 6} \text{ cm}^2$$

para los hornos mayores, y:

$$S_t = \frac{S_c \text{ (cubilote)}}{4 \dots 5} \text{ cm}^2$$

para los hornos pequeños.

7.- HORNOS ALTOS

7.1.- GENERALIDADES

El horno alto es la más antigua de las grandes instalaciones industriales que funcionan en la actualidad, la cual, con ligeras mejoras más o menos importantes, viene utilizándose desde hace más de 600 años sin interrupción.

Desde los comienzos de la era industrial, el horno alto ha sido el elemento básico y fundamental en la siderurgia y se le puede considerar como la instalación más importante, representativa e impresionante de la era industrial en general.

El alto horno se emplea para transformar el mineral de hierro en arrabio o fundición, que es el material que actualmente se emplea como principal materia prima para la fabricación del acero. Una pequeña parte del arrabio que se obtiene del horno alto, se utiliza también para fabricar piezas fundidas por segunda fusión de la fundición en cubilotes o en hornos eléctricos.

En los primeros años, la fundición que se obtenía en estado líquido con un alto contenido de carbono (2 a 4.5%) se colaba directamente en moldes de arena y servía para fabricar proyectiles de artillería y otras piezas para usos diversos.

A partir de 1856, el hierro se comenzó a fabricar por soplado de la fundición con aire en convertidores del tipo Bessemer y Thomas y después de 10 años, se inició la fabricación en hornos Martín-Siemens. En todas estas instalaciones, la fundición o arrabio obtenido en el horno alto era la materia prima empleada para la obtención del hierro y del acero.

En la primera mitad del siglo XVIII, el soplado de los hornos se hacía con fuelles movidos por ruedas hidráulicas. Con el transcurso de los años, a pesar de utilizar ruedas cada vez más grandes, solamente se alcanzaban presiones del orden de 0.05 kg/cm^2 .

En los últimos años del siglo XVIII se comenzó a utilizar en los hornos altos, soplantes de pistón y máquinas de vapor para el accionamiento de las soplantes. Para el año de 1757 se lograban alcanzar presiones del orden de 0.1 a 0.2 kg/cm^2 .

Cuando se pudo aumentar la presión, fue posible agrandar el diámetro del crisol; con ello se incrementó la capacidad de combustión del horno y, como consecuencia, aumento considerablemente la producción.

A partir de los primeros años del siglo XIX, el perfil de los hornos altos fue evolucionando, haciendo cada vez menor la diferencia entre el diámetro del vientre y del crisol, tal como se indica en la figura 7.a.

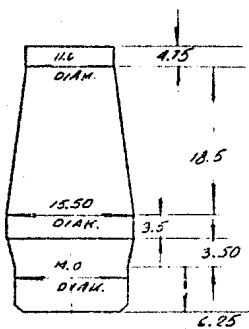
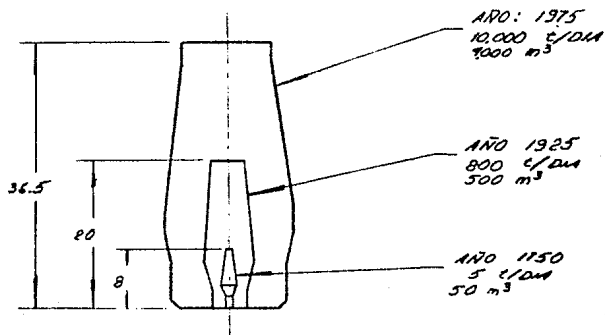
En 1829, James Neilson, contribuyó de manera notable al mejoramiento de los hornos altos. Al calentar el aire que se soplaba a través de las toberas, se obtuvo una notable economía de combustible y un aumento de producción.

Primamente Neilson consiguió elevar la temperatura del aire hasta unos 150°C haciendolo pasar a través de unos tubos de fundición que eran calentados en unos hogares auxiliares donde se quemaba carbón.

Cuando se empleaba aire frío, el consumo de coque era de 6000 kg por tonelada de fundición. Posteriormente, calentando el aire a 150°C , el consumo de coque bajó a 5100 kg por tonelada de fundición.

Para el año de 1833 calentando el aire a 300°C , el consumo de coque se redujo a 3500 kg.

Y finalmente cuando se logró calentar el aire a 400°C , se obtuvieron las siguientes mejoras:



ACOT: m.

FIGURA 7.2.

EVOLUCION DEL PERFIL Y TAMAÑO DE LOS
HORNOS ALTOS EN EL SIGLO XX.

1a. Se redujo el consumo de coque de 6 a 2.5 toneladas por tonelada de fundición.

2a. Se aumentó la producción de arrabio de unas 15 toneladas por día a 30 toneladas por día.

Puede decirse que de 1825 a 1850, las mejoras de la productividad y economía de los hornos altos fueron extraordinarias. Se duplicó su volumen, se multiplicó por 4 la producción y se redujo a menos de la mitad el consumo de combustible (coque).

7.2.- DESCRIPCION DE LOS HORNOS ALTOS E INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

En todas las grandes fabricas siderúrgicas, existen siempre junto a los hornos altos, diversas instalaciones complementarias muy importantes.

A medida que aumenta la capacidad de producción de los hornos, los elementos auxiliares son mas complejos y exigen mayores espacios para su buen funcionamiento. En el área de los hornos altos suelen agruparse las siguientes instalaciones: (Fig. 7.b.)

1a. Muelles de atraque para barcos y apartaderos de ferrocarril con maquinaria de descarga y de transporte, y espacios adecuados para descargar las materias primas que se reciben. Se debe disponer de grúas, máquinas auxiliares y cintas transportadoras para el rápido movimiento y almacenamiento de los materiales.

Los apartaderos de ferrocarril deberán ser amplios, capaces de recibir los trenes necesarios para el aprovisionamiento de los hornos altos y de transporte que se haga por tierra.

Se suelen emplear grúas pórtico para descargar los barcos y los vagones de ferrocarril.

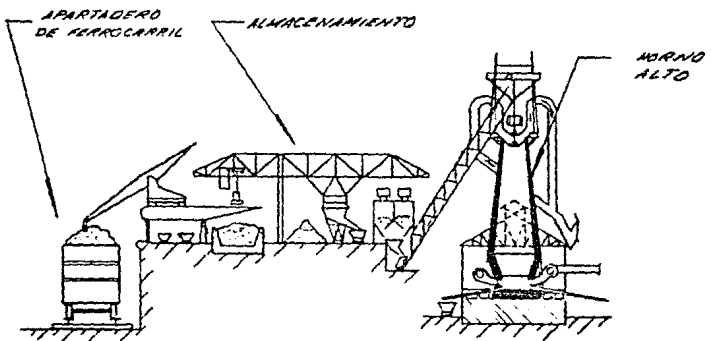


FIGURA 7.b.

HORNO ALTO E INSTALACIONES AUXILIARES

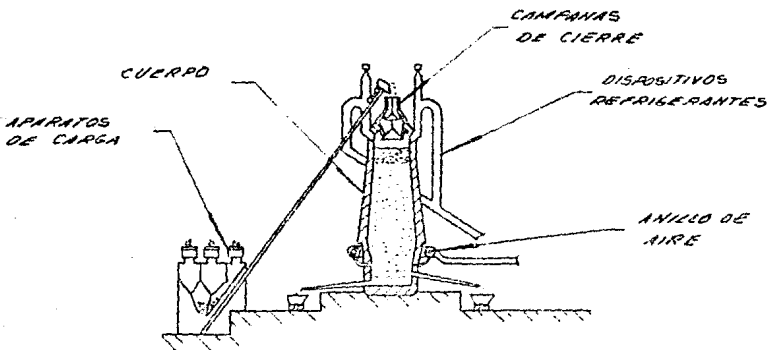


FIGURA 7.c.

PARTES PRINCIPALES DEL HORNO ALTO

2a. Instalaciones de almacenamiento, trituración, clasificación y sinterización de minerales.

El almacenamiento de las materias primas se suele hacer en grandes montones, hasta de 25000 toneladas, que se preparan con máquinas apiladoras adecuadas.

Estas instalaciones no solo sirven para almacenar las materias primas, sino que también se emplean para mezclar minerales.

La homogeneización o mezcla de diferentes clases de materiales en montones se hace acumulando el mineral en capas sucesivas. Luego, los montones son cortados transversalmente, y así se puede obtener una composición media de los minerales almacenados.

3a. Horno alto propiamente dicho:

El horno alto propiamente dicho está compuesto de cinco partes fundamentales que son las siguientes: (fig. 7c.)

a) Aparatos de carga:

En la parte superior del horno al rededor de la boca de carga, existe una plataforma, en cuyo interior está encaja -

do el horno. Esta plataforma soporta el tragante, los aparatos de carga y los tubos verticales de salida de gases, que en su final superior tiene una válvula de escape que recibe la denominación de cascabeles o chapines.

b) Cuerpo del horno:

El cuerpo de los hornos altos más modernos tiene la forma de una botella de boca ancha con una parte interior casi inclinada.

Están constituidos por un revestimiento refractario de 600 a 900 mm de espesor, revestido exteriormente con chapa de acero. En el cuerpo del horno se distinguen cinco zonas principales: (fig. 7.d.)

Tragante: Parte superior del horno por donde se cargan las materias primas.

Cuba: Es el tronco de cono superior que tiene su mayor diámetro en la parte inferior.

Vientre: Es la parte del horno de mayor diámetro, que es la zona de unión de los dos troncos de cono.

Etalaje: Es el tronco de cono situado en la parte inferior, justo debajo del vientre, que tiene su

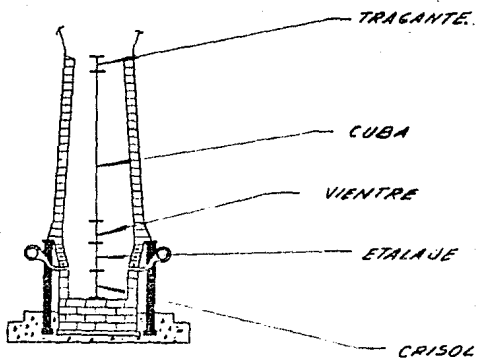


FIGURA 7. d.

PARTES FUNDAMENTALES DEL CUERPO DEL HORNO ALTO

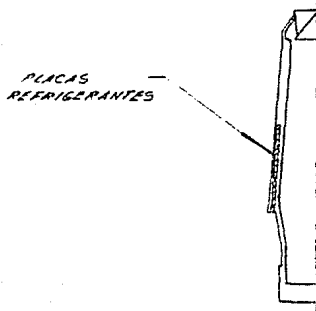


FIGURA 7. e

ZONA INFERIOR DE LA CUBA Y PLACAS REFRIGERANTES

mayor diámetro en la parte superior.

Crisol: Es la parte inferior cilíndrica, donde se reúne en estado líquido la fundición y la escoria antes de su salida del horno.

Hasta mediados del siglo XX, prácticamente todos los hornos se construían con refractarios silico-aluminosos. Últimamente se emplean refractarios de diferentes tipos:

El tercio superior de la cuba se reviste de ladrillos silico-aluminosos de 35 a 36 % de alúmina.

El tercio medio se reviste con ladrillos silico-aluminosos de 38 a 42 % de alúmina.

En el tercio bajo se emplean ladrillos silico-aluminosos de 42% de alúmina y, también ladrillos de silimanita con más del 60% de alúmina.

En los estalajes se emplean ladrillos silico-aluminosos de silimanita y de semigrafita, ya que estos dos últimos tienen buena conductibilidad térmica.

El crisol, en los años de 1940 a 1965, se empleaban bloques de carbón amorfo, y luego, parte han sido sustitui-

dos por bloques de grafito y semigrafito, que tienen buena conductibilidad térmica y se refrigeran por la parte inferior por corrientes de aire o tuberías de agua.

El espesor de las paredes de reiractario varia aproximadamente desde un metro en la parte superior a metro y medio en la parte inferior.

La vida de los hornos altos suele variar de 5 a 10 años y termina por el desgaste de la pared interior de reiractario, que en la zona interior de la cuba sufre un mayor deterioro.

c) Campana de cierre de la boca:

En la parte superior de los hornos y cerrando la boca o tragante, se encuentra el dispositivo de carga y cierre con doble campana que sirve para evitar el escape de los gases.

Al nivel aproximado de descarga de las materias primas, están las salidas de gases, formadas por cuatro grandes tubos verticales, con válvulas para el escape de gases, por donde va el gas del horno alto a las cámaras de expansión y a las instalaciones de refrigeración y depuración.

Antiguamente los hornos altos eran abiertos por la parte

superior y el gas producido escapaba al exterior y se perdía. En la actualidad, gracias al dispositivo de doble campana, es posible aprovechar el gas que se produce, que es combustible y se emplea después de depurado para el calentamiento de calderas, baterías de coque, estufas, etc.

4) Dispositivos refrigerantes:

Las elevadas temperaturas que se desarrollan en el interior de los hornos altos, la acción de la columna gaseosa ascendente caliente y el rozamiento que producen las materias calientes que descienden a través del horno, ocasionan un gran desgaste en la cara interna de las paredes de los hornos. Esta acción destructora se ha podido contrarrestar, en gran parte con el enfriamiento de las paredes, de formas muy diversas. Se emplean duchas de agua que se proyectan sobre las chapas metálicas que recubren el revestimiento del refractario de las paredes de la cuba del horno.

También se emplean cajas de cobre o de acero refrigeradas, que en gran cantidad se incrustan exteriormente en las paredes refractarias del estalaje y de la parte baja de la cuba.

Recientemente han comenzado a emplearse en la zona del

etalaje, placas metálicas refrigeradas interiormente con agua, que se aplican exteriormente a las paredes refractarias de los etalajes y parte baja de las cubas. Son de 2 a 5 m de altura y unos 250mm de espesor como se muestra en la figura 7.e.

La parte inferior de los bloques de carbono amorfo del fondo del crisol se refrigeran por medio de tuberías de agua o con corrientes de aire a través de conductos situados debajo del crisol.

e) Anillo de aire y toberas:

Para conseguir que el aire llegue al horno de una forma uniforme a través de las toberas, se dispone exteriormente, alrededor del horno a un nivel ligeramente inferior al vientre, un gran tubo de aire en forma de anillo metálico. Está revestido interiormente con material refractario y aislante para evitar pérdidas de calor. De este anillo de aire que está ligeramente separado del horno, salen varias tuberías que van cada una a cada una de las toberas que sirven para dar entrada al aire de combustión, suelen ser de cobre y refrigeradas con circulación de agua como se muestra en la fig. 7.f.

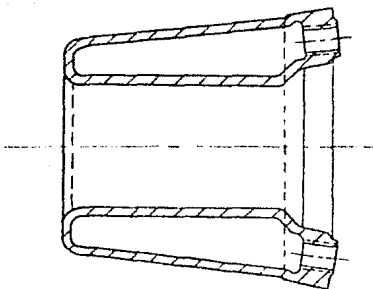


FIGURA 7. F.

TOBERA DE COBRE ELECTROLITICO REFRIGERADA CON AGUA

CALENTAMIENTO DE LA ESTUFA

CALENTAMIENTO DEL AIRE

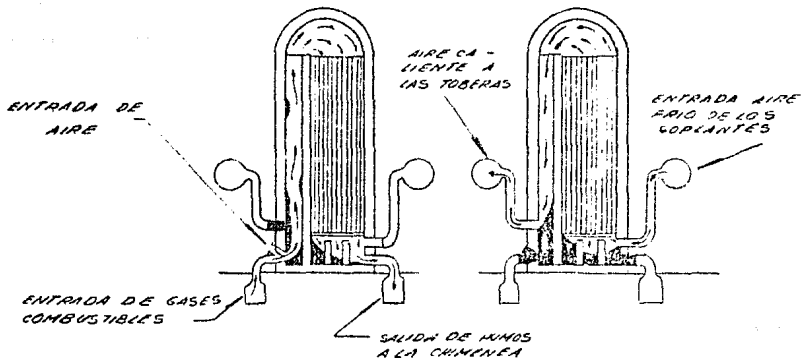


FIGURA 7. G.

FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTUFAS

4a. Instalaciones de depuración de gases:

Los gases que escapan por la parte superior del horno, y que luego se emplean como gases combustibles para calentar diversas instalaciones, salen del horno muy sucios, arrastrando polvo en grandes cantidades dificultando así su utilización inmediata.

A la salida del horno, los gases suelen ser conducidos por tuberías de gran diámetro, con cambios de dirección para separar cierta cantidad de polvo (el gas sale del horno con 10 a 15 g de polvo por metro cúbico de gas).

Luego pasan los gases por una o dos cámaras de expansión llamadas selectores de polvos, donde al perder velocidad depositan gran parte de impurezas en el fondo, quedando con un contenido de 5g/m^3 .

A continuación los gases atraviesan un ciclón que favorece el depósito de las pequeñas partículas sólidas en el fondo, el contenido de polvo es de 2g/m^3 .

A continuación los gases suelen atravesar un depurador de duchas de agua, donde el contenido de polvo queda reducido a menos de 1g/m^3 .

Como última fase de depuración, suelen utilizarse los depuradores electrostáticos en los que se emplea corriente

continua de alta tensión. Los gases que hay en el interior del aparato se ionizan, marchando los polos hacia el cilindro metálico y el gas suele quedar con un contenido de polvo inferior a 0.01 g/m^3 .

5a. Soplantes:

El aire que se introduce en el horno es impulsado por medio de máquinas soplantes. En la actualidad se utilizan turbosoplantes movidas por turbinas de vapor. Algunos grupos de soplantes suelen ser movidos por motores eléctricos.

La presión del aire que se sopla en los hornos altos, varía con la altura de los mismos, pero generalmente suele oscilar entre 1.5 y 4.5 kg/cm^2 . En los modernos hornos de 10000 toneladas diarias de producción, se suelen emplear presiones de soplado de 4.5 kg/cm^2 .

6a. Estufas para el calentamiento del viento:

Las estufas son la mejora más importante del rendimiento de los hornos altos. En la actualidad se usan estufas Cowpers, que son grandes cilindros verticales ligeramente

menores en altura a los hornos altos, terminados en un casquete semiesférico. Están revestidos con materiales refractarios. Están constituidos por un gran hueco vertical de combustión y un gran emparrillado de ladrillos refractarios que sirve para almacenar y ceder el calor. (fig. 7.g.).

En la parte inferior de la cámara de combustión se encuentra la boca de entrada del gas y otra tubería que sirve para dar entrada a cierta cantidad de aire que se emplea para quemar el gas. Durante cierto tiempo, permanece la estufa en período de calentamiento, para pasar luego a calentar el aire que se introduce en el horno.

CONCLUSIONES

- 1.- Uno de los factores determinantes que contribuyeron a la evolución de los hornos dedicados a la fabricación de hierro por soplado de aire, fue la utilización de la energía hidráulica que vino a substituir a la fuerza muscular del hombre para el movimiento de los fuelles que soplaban aire a los hornos. Lo anterior permitió aumentar el tamaño y la altura de los hornos bajos, dando origen a los hornos altos.
- 2.- Otro factor de importancia resulta la utilización de nuevos combustibles como el gas de gasógeno, y por otra parte los sistemas de regeneración de calor, tanto para el aire como para el gas, los cuales anteriormente entraban fríos al horno. Esto hizo de los antiguos hornos de crisol, hornos más perfeccionados que operaban con temperaturas más altas, conseguidas con mayor facilidad

y mucho más regular a diferencia de la simple utilización del coque como combustible.

3.- Es importante destacar la importancia que tiene la preparación de los minerales para mejorar el rendimiento de hornos como los hornos altos, consistiendo esta en separar los elementos estériles antes de cargar el horno tales como arcilla, humedad, azufre y también el CO_2 de los carbonatos.

4.- A pesar de que en términos generales algunos hornos no han sufrido grandes modificaciones desde su invención, hornos como los de arco eléctrico, que se utilizaron por primera vez a mediados del siglo XX para aceros especiales y en pequeñas cantidades, en los últimos años han sufrido un rápido desarrollo para la producción de aceros a partir de cargas íntegras de chatarra.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Tecnología del acero
Jose M. Lasheras y Estevan Edit. S.E.D.E.L.
- 2.- Tecnología de la fundición
Eduardo Capello Edit. Gustavo Gili
- 3.- Tecnología de la fabricación
R.L. Timings Edit. R.S.I.
- 4.- Materiales y procesos de fabricación
E. Paul Degarmo Edit. Reverté
- 5.- Metalurgia vol. 2 (elaboración de los metales)
C. Chaussin y G. Hilly Edit. U.R.M.O.
- 6.- Ingeniería metalúrgica vol. 2
Raïmond A. Higgins Edit. C.E.C.S.A.