

PROCESOS DE FABRICACION DE METALES FERROSOS

GUIA DE ESTUDIO DE LA UNIDAD III

PROCESOS DE FABRICACION DE ACERO

3.1. Convertidor básico al oxígeno (BOF).

∅ Horno Básico de Oxígeno (BOF)

El nombre del horno se debe a que tiene un recubrimiento de refractario de la línea básica y a la inyección del oxígeno. Este horno fue inventado por Sir Henry Bessemer a mediados de 1800. El Proceso BOF se origina en Austria en 1952, fue hecho para convertir arrabio con bajo contenido de fósforo (0.3%) se bautizo con las iniciales LD Lanza de Linz,

Luego la técnica se extendió para arrabios de alto fósforo, mediante la adición al chorro de oxígeno de polvo de piedra caliza. Entonces se logró la producción de aceros con arrabio de contenidos con alto fósforo que llegan al 2%.

Los convertidores de arrabio en acero ya no son como los de Bessemer y sus contemporáneos. Conocidos generalmente por sus iniciales en inglés, los convertidores BOF (*basic oxygen furnace*) logran la refinación del arrabio empleando la misma idea de Bessemer para eliminar las impurezas y el exceso de carbono por oxidación, además de aprovechar el calor de la oxidación como fuente de energía para la fusión.

En lugar del soplo de aire que utilizaba Bessemer, en los BOF la oxidación se hace directamente con oxígeno. Esta idea también la tuvo Bessemer porque el aire contiene solamente un 21%, de oxígeno contra un 78% de nitrógeno. Lo que pasó fue que en los tiempos de Bessemer el oxígeno puro era muy caro, de modo que no era accesible ni para hacer experimentos en el laboratorio. Cien años después la situación era otra porque se desarrollaron métodos baratos para producir oxígeno y en la escala necesaria para abastecer a las grandes siderúrgicas.

Un esquema del convertidor BOF se presenta en la figura 3.1. Consiste en una olla de acero recubierta en su interior con material refractario del tipo básico, óxido de magnesio o algo así. A diferencia del convertidor de Bessemer, donde se soplaba el aire por la parte inferior, en el BOF se inyecta el oxígeno por una lanza que entra por la parte superior.

Originalmente el proceso BOF fue desarrollado en Austria para convertir arrabio con bajo contenido de fósforo (alrededor del 0.3%), y en ese tiempo se bautizó con las iniciales LD, de *Linz Düsenverfahren* (lanza de Linz). Luego la técnica se extendió, para arrabios de alto fósforo mediante la adición al chorro de oxígeno de polvo de piedra caliza. Entonces se logró la producción de acero con arrabio de contenidos de fósforo tan altos que llegaban incluso al 2%.

Una de las grandes ventajas que desde un principio se observó en los convertidores BOF fue su capacidad para aceptar hasta un 20% de "chatarra" junto con la carga de arrabio líquido. La diferencia de precios entre la chatarra fría y el arrabio líquido ha motivado la búsqueda de tecnologías para incrementar lo más posible la carga de chatarra. Algunos éxitos en esta dirección se han obtenido al adicionar al oxígeno que entra por la lanza combustóleo y carburos de silicio y calcio.

El nombre del horno se debe a que tiene un recubrimiento de refractario de la línea básica y a la inyección del oxígeno. La carga del horno está constituida por 75% de arrabio procedente del alto horno y el resto es chatarra y cal. La temperatura de operación del horno es superior a los 1650°C y es considerado como el sistema más eficiente para la producción de acero de alta calidad.

La entrada de los convertidores BOF al mercado mundial fue muy acelerada. En la figura 3.2 se muestra cómo los BOF marcaron el fin de los ya obsoletos convertidores de Bessemer y de los Siemens-Martin que habían dominado por décadas.

La lanza se enfría con serpentines de agua, interiores para evitar que se funda. La carga y la descarga de la olla se hacen también por la parte superior y por eso la olla está montada en chumaceras que le permiten girar.

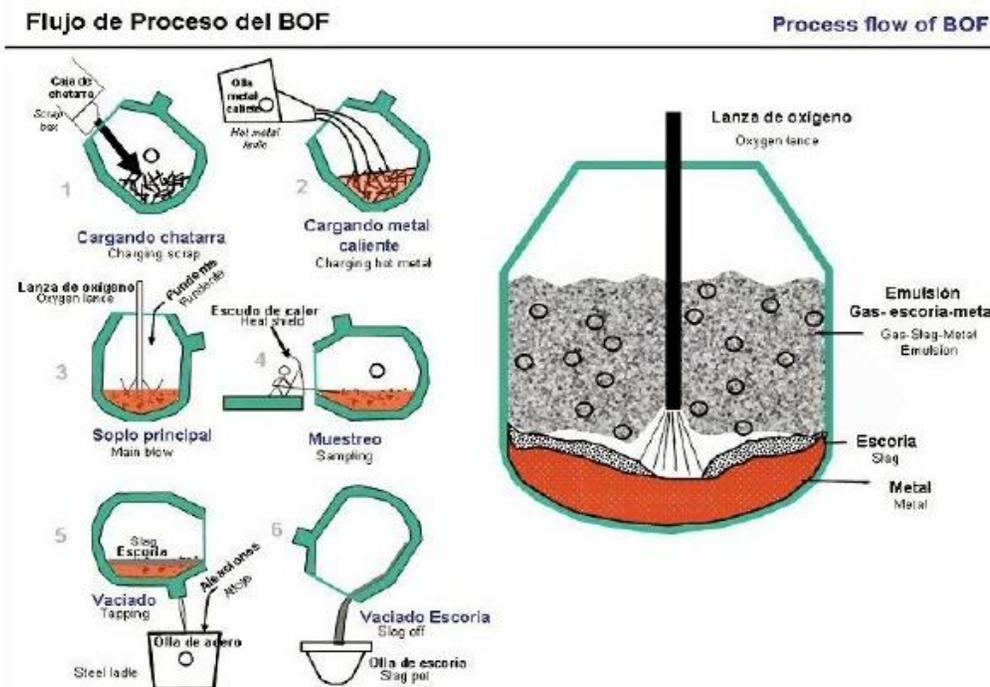
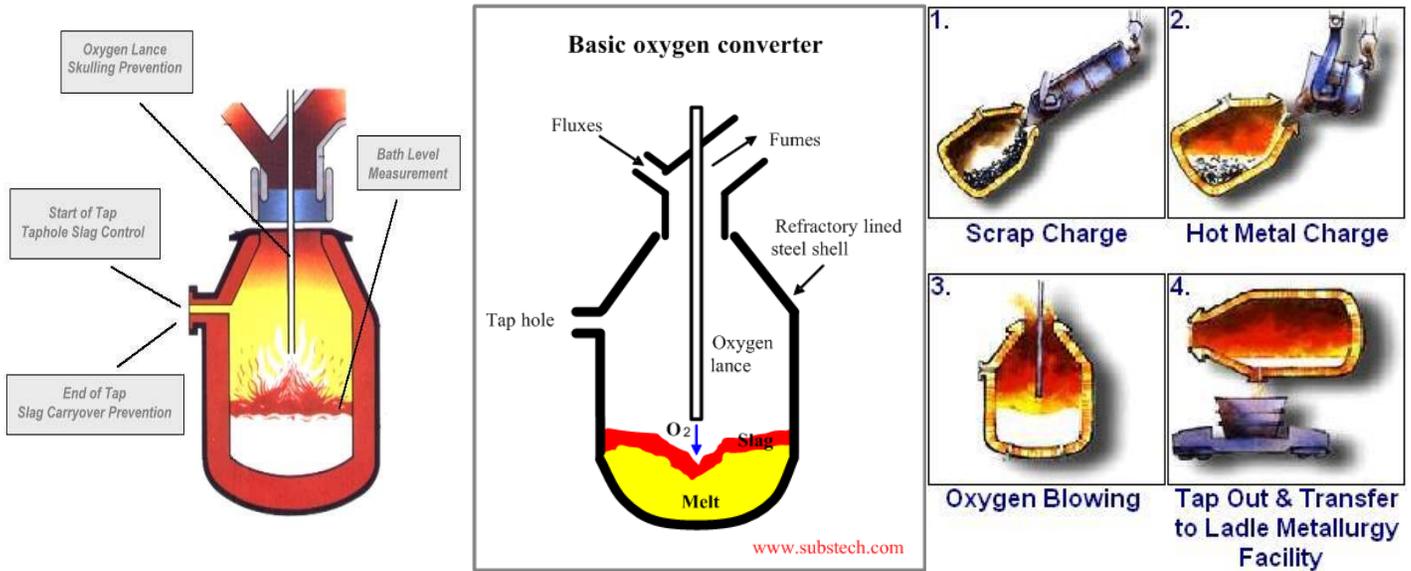


Figura 3.1. Horno Básico de Oxígeno. Mediante un chorro de oxígeno con polvo de piedra caliza el arrabio es convertido en acero en un BOF, El oxígeno reacciona con el carbono del arrabio y lo elimina en forma de bióxido (o monóxido) de carbono. La caliza sirve para eliminar impurezas, entre las que destaca el fósforo.

➤ **Partes**

- Cámara de Acero, recubierta por dentro con material refractario, montada en chumaceras que le permiten girar
- Lanza de oxígeno enfriada con agua

➤ **Materias Primas**

- 75% de Arrabio (Metal Caliente)
- Chatarra (que se encuentra en cajas previamente pesada)
- *Carbono
- *Ferroaleaciones
- A través de la lanza se le inyecta oxígeno y polvo de piedra caliza

➤ **Proceso:**

1. Se inclina el horno Con ayuda de una grúa puente y se añade el arrabio, el fundente y a veces chatarra
2. Se pone el horno en vertical y se baja la lanza para inyectar oxígeno (se lleva aproximadamente un tiempo de 15 minutos). En el metal fundido las impurezas se queman; el oxígeno reacciona con el carbono del arrabio y lo elimina en forma de bióxido/ monóxido de carbono.
3. Se inclina el horno y se saca la escoria que flota sobre el acero
4. Se vierte el acero sobre la cuchara y se añaden carbono y ferroaleaciones

➤ **Productos**

- Acero fundido
- Refinación del arrabio

➤ **Consideraciones**

- La carga y descarga de la olla se hace por la parte superior
- La temperatura de operación del horno es superior a los 1650°C y
- Es considerado como el sistema más eficiente para la producción de acero de alta calidad.
- La carga metálica para realizar una colada de acero en un convertidor al oxígeno (en un tiempo que varía de 45 a 55 minutos) consiste en arrabio y chatarra; adicionalmente se cargan fundentes como cal siderúrgica y cal dolomítica para formar una escoria para refinación.
- Una acería BOF está dividida en secciones bien definidas de acuerdo con las operaciones que se desarrollan en cada una de ellas: nave de convertidores, nave de carga, nave de colada e instalaciones auxiliares.
- La razón de la inyección de oxígeno es que éste actuará como agente oxidante, ya que al entrar en contacto con la carga se combina químicamente con los elementos de la misma, eliminando en gran parte el contenido de impurezas tales como carbón, fósforo, azufre, silicio, etc.
- El gas monóxido formado es reunido por una chimenea que se encuentra sobre la boca del convertidor y conducido a un depurador de gases, donde es llevado, ya limpio, a la atmósfera.
- El acero procesado en el convertidor se vacía en una olla en la que se le adicionan las ferroaleaciones necesarias según el tipo de acero a obtener.
- El convertidor se inclina solo hasta vaciar todo el acero, y en otra olla se vacía la escoria que se formó durante el proceso.

La refinación del arrabio en el proceso BOF o aceración al oxígeno se lleva a cabo en un recipiente que asemeja a una pera, llamada convertidor, mediante el soplo de oxígeno, a través de unas lanzas.

La carga metálica para realizar una colada de acero en un convertidor al oxígeno (en un tiempo que varía de 45 a 55 minutos) consiste en arrabio y chatarra; adicionalmente se cargan fundentes como cal siderúrgica y cal dolomítica para formar una escoria para refinación.

Una acería BOF está dividida en secciones bien definidas de acuerdo con las operaciones que se desarrollan en cada una de ellas: nave de convertidores, nave de carga, nave de colada e instalaciones auxiliares.

Primeramente se le agrega al convertidor la chatarra que se encuentra en cajas previamente pesadas. Por otra parte, el arrabio obtenido en los altos hornos es transportado a las acerías BOF por medio de carros termos, los que descargan en una olla midiendo el peso con el objeto de controlar la carga de metal caliente.

Con ayuda de una grúa puente, la olla es vaciada al convertidor donde se lleva a cabo la refinación del arrabio; además se le adiciona una porción de la cantidad de fundentes necesarios para el proceso; con esto se da por terminada la carga.

Se coloca la lanza de oxígeno en posición de trabajo, iniciando así el soplado principal del oxígeno que se lleva aproximadamente un tiempo de 15 minutos, durante el cual algunas veces conviene agregar más fundentes, según la cantidad de arrabio cargado y el grado de eliminación de elementos de escoria.

Es un horno muy parecido al Bessemer con la gran diferencia que a este horno en lugar de inyectar aire a presión se le inyecta oxígeno a presión, con lo que se eleva mucho más la temperatura que en el Bessemer y en un tiempo muy reducido.

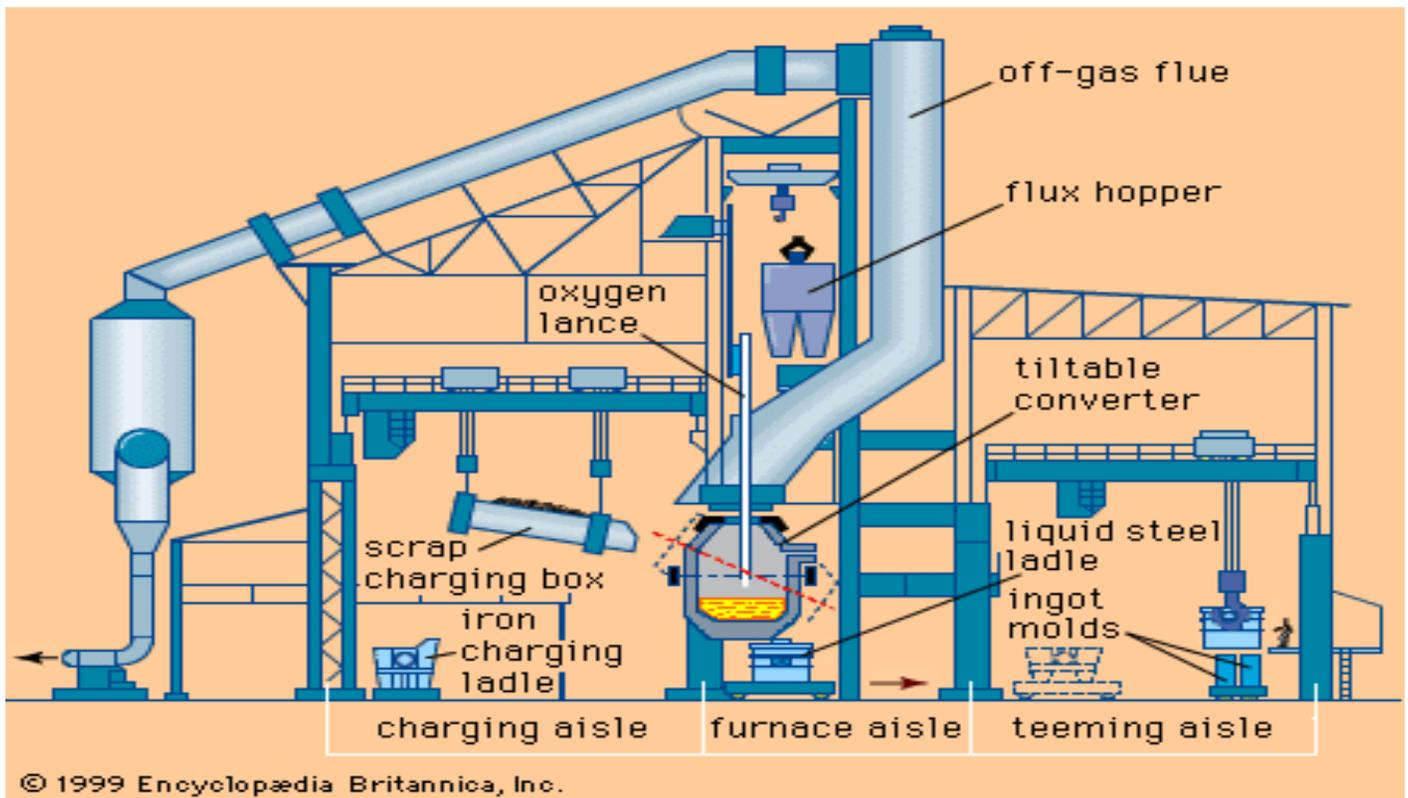


Figura 3.2. Vista seccional de la instalación auxiliar de una planta para BOF.

En el convertidor se afina el metal caliente – arrabio producido en el alto horno – en acero líquido bruto, que luego podrá ser nuevamente afinado por metalurgia secundaria.

Las principales funciones del Convertidor LD (BOF) son la decarburación y la eliminación del fósforo del arrabio y la optimización de la temperatura del acero, para que cualquier otro tratamiento, previo a la colada, pueda realizarse con el mínimo recalentamiento o enfriamiento del acero.

Las reacciones exotérmicas de oxidación que ocurren durante el proceso en el convertidor LD (BOS) generan gran cantidad de energía térmica – más de la necesaria para lograr la temperatura final del acero. Este calor adicional se utiliza para fundir chatarra y/o adiciones de mineral de hierro.

Convertidores (BOF) - Soplado con Oxígeno

El Horno de Oxígeno Básico es un elemento muy eficaz para convertir los lingotes de hierro en acero inyectando oxígeno. Carburos Metálicos puede suministrar el gas, los sistemas de control de procesos y el caudal así como el know-how técnico (por ejemplo, en la colocación de lanzas).

Convertidores (BOF) - Precalentamiento de la Chatarra

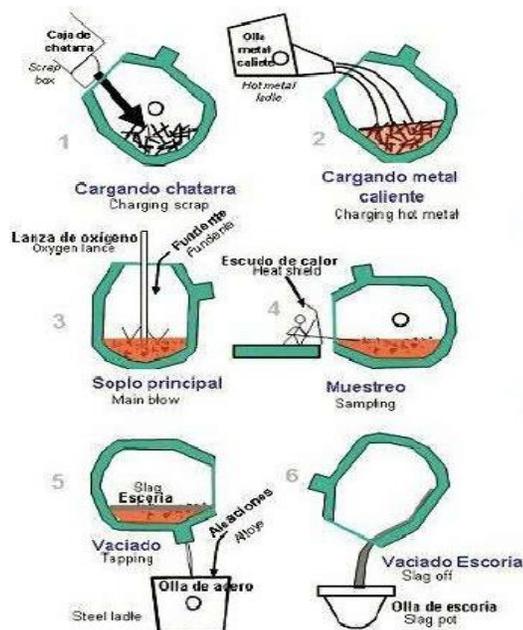
Se han desarrollado equipos de control y quemadores para precalentar de forma eficaz la chatarra férrea mediante quemadores de oxi-combustible no refrigerados por agua. Se suelen conseguir ahorros de combustible del 70% y reducciones del 50% en tiempos de calentamiento.

Convertidores (BOF) - Salpicadura de Escoria

Mediante la inyección de nitrógeno en la zona inferior del horno a través de la misma lanza de oxígeno se consigue una capa de protección de escoria fundida en la pared del refractario reduciendo el “gunning consumption” y alargando la campaña.

Convertidores (BOF) - Agitación Inferior

El metal fundido se agita mediante una inyección de gas de alta presión con el fin de incrementar la producción de acero, la recuperación de los metales de aleación y alargar la duración de la campaña.



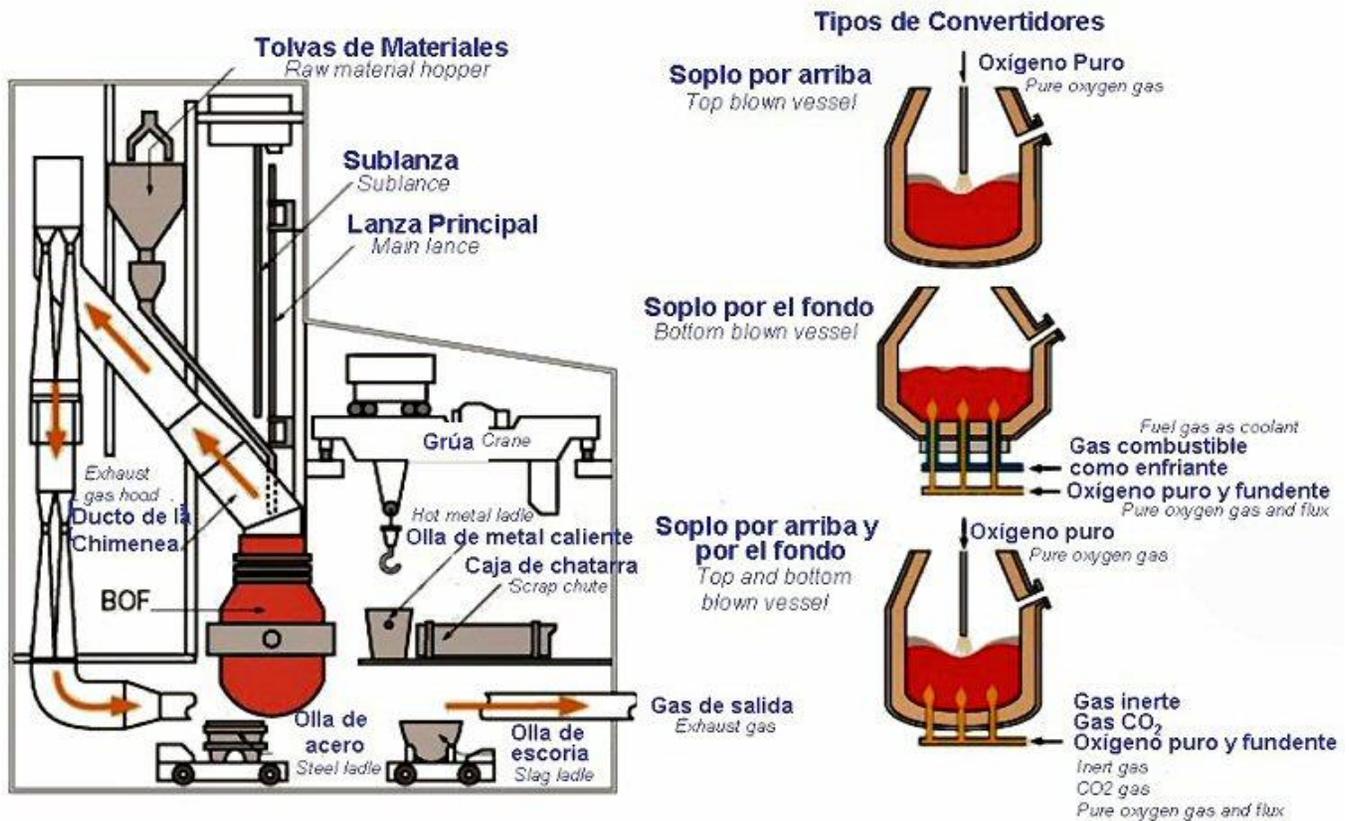
Proceso de afinación BOF

El horno se inclina desde su posición vertical y se carga la cal, la fluorita, la chatarra metálica (cerca de un 25%) y luego con arrabio caliente traídos directamente del alto horno.

Después de ser devuelto a su posición vertical, se hace descender hacia la carga una lanza de oxígeno (refrigerada por agua) y se fuerza sobre ella un flujo de oxígeno puro a alta velocidad durante 20 minutos.

Este actúa como fuente de calor y para la oxidación de las impurezas.

Figura 3.3. Explicación del proceso de afinación BOF.



Parámetros de la acería BOF

Parameters of BOF Steelmaking

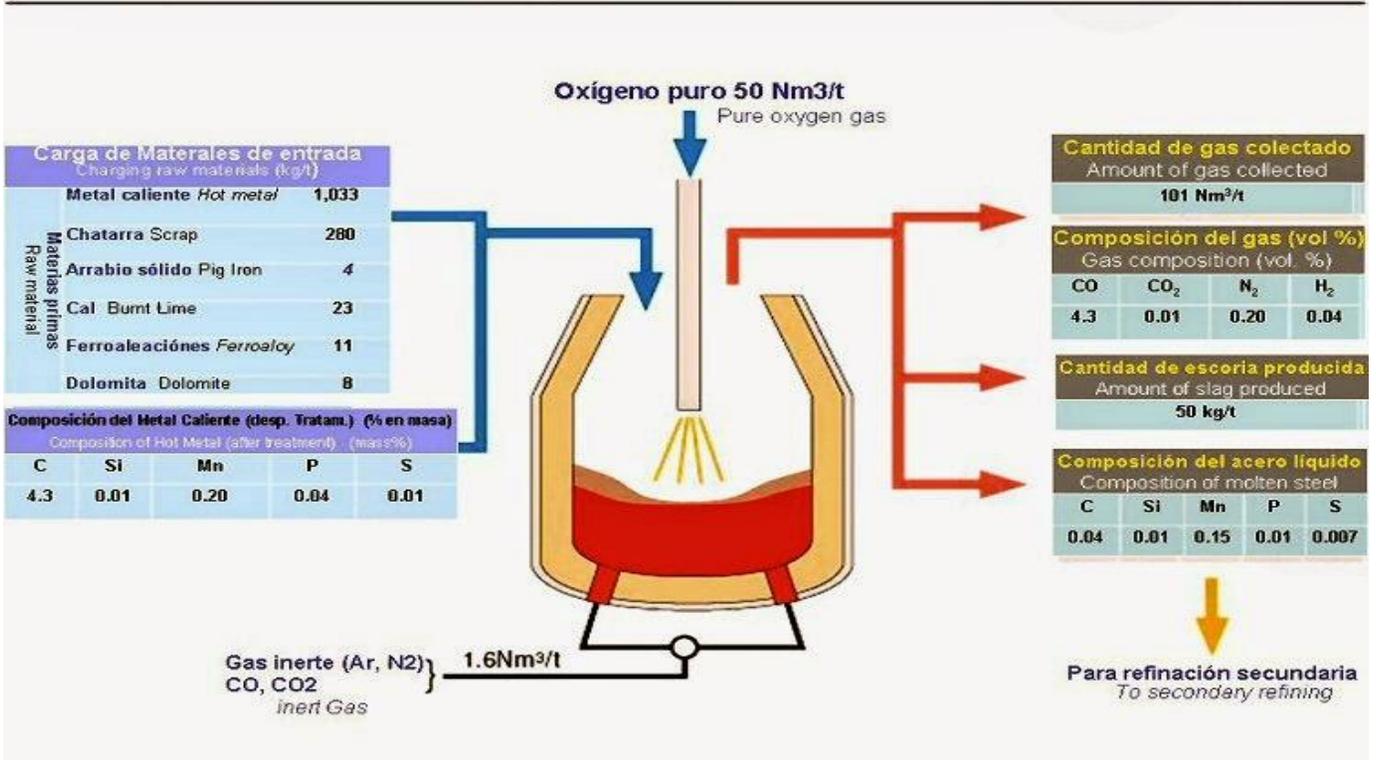
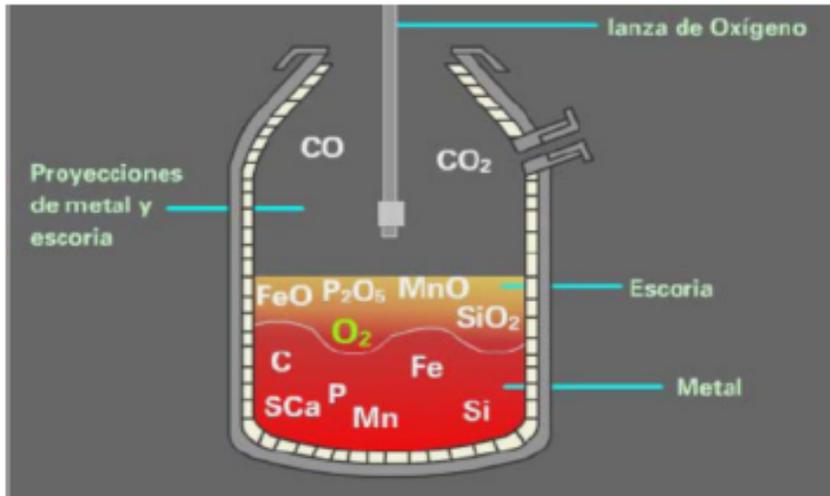


Figura 3.4. Flujo y parámetros del proceso del BOF. https://youtu.be/P36_JaUoJlg

3.1.1. Balance de materia y energía

CONVERTIDOR LD



REACTOR ABIERTO:
 80% ARRABIO LÍQUIDO 1350 C
 20% CHATARRA Temp. Amb.

ARRABIO LÍQUIDO:
 5% DE ELEM. OXIDABLES:
 4% carbono
 1% silicio
 1% manganeso
 0.1% fósforo

OXÍGENO:
 57 Nm³ de alta pureza /ton de acero

ESCORIFICANTE:
 cal, caliza, dolomita

OPERACIÓN:
 1350 C a 1750 C y fusión de la chatarra.

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Fe (%)
ARRABIO	4.3	1.2	1.00	0.12	0.03	93.4
ACERO	0.08	0.00	0.20	0.02	0.015	99.7

ETAPAS DEL PROCESO	TIEMPO (Min.)
Carga de chatarra y arrabio	5.5
Soplado de oxígeno	17.1
Toma de muestras y temperatura	5.9
Colada del acero	5.7
Vaciado de escoria	2.2

CONVERTIDOR LD

PROBLEMA: DATOS

Convertidor: Capacidad 180 tons. Carga metálica.
70 % Arrabio
30% Chatarra

Características Arrabio – Acero

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	T (°C)
Arrabio	4,30	1,20	1,00	0,10	0,03	1370
Acero	0,06	0,00	0,20	0,015	0,015	1620

Características Proceso

- Humos: 90% CO y 10% CO₂
- 8 Kgs. de O₂/ton arrabio se consumen en la formación de óxidos de hierro.
- Pureza O₂: 99.5%

Otros datos: Pesos Atómicos

C	O	Si	Mn	P	Fe
12	16	28	55	31	56

Determinar: Necesidades de O₂ para obtener el acero

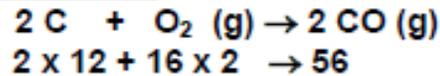
1) Eliminación del Carbono:

C arrabio – C acero = 4,3% – 0,06 % = 4,24 %

4,24 % x (1000 kg/100) = 42,4 kg. C / ton. arrabio

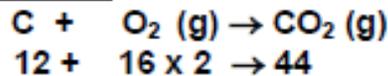
42,4 kg.: 38,16 kg. Se eliminan con el CO (90 %)
 4,24 kg. Se eliminan con el CO₂ (10%)

1.a) Como monóxido de carbono:



24 kg de C → 32 kg O₂
38,16 kg de C → X = 50,9 kg O₂ / ton. arrabio

1.b) Como anhídrido carbónico:



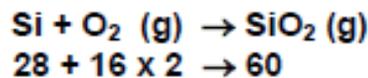
12 kg de C → 32 kg O₂
4,24 kg de C → X = 11,3 kg. O₂ / ton. arrabio

El total de oxígeno es: 50,9 + 11,3: **62,2 kg. O₂ / ton. arrabio**

2) Eliminación del Silicio:

Si arrabio – Si acero = 1,2% – 0,00 % = 1,2 %

1,2 % x (1000 kg/100) = 12 kg. de Si/ ton. de arrabio

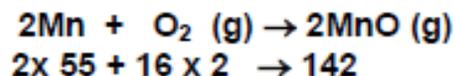


28 kg de Si → 32 kg O₂
12 kg de Si → X = **13,71 kg. O₂ / ton. arrabio**

3) Eliminación del Manganeseo:

Mn arrabio – Mn acero = 1 % – 0,2 % = 0,8 %

0,8 % x (1000 kg/100) = 8 kg. de Mn/ ton de arrabio

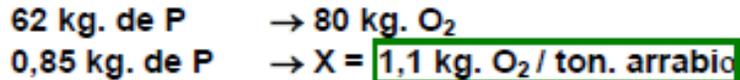
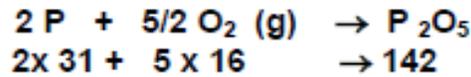


110 kg de Mn → 32 kg O₂
8 kg de Mn → X = **2,33 kg. O₂ / ton. arrabio**

4) Eliminación del Fósforo:

P arrabio – P acero = 0,1 % – 0,015 % = 0,085 %

0,085 % x (1000 kg/100) = 0,85 kg. de P/ ton de arrabio



NECESIDADES TOTALES DE OXIGENO (kg. O₂ / ton. arrabio)

C	Si	Mn	P	FeO + Fe ₂ O ₃	Total
62.2	13.71	2.33	1.1	8	87.34

1 molécula – gramo (mol) de O₂ = 2 x 16 g = 32 g
Un mol de cualquier gas en condiciones normales de presión y temperatura (1 atmósfera y 273 K) ocupa 22,4 litros.

$$\begin{array}{l} 32 \text{ kg. O}_2 \rightarrow 22,4 \text{ m}^3 \\ 87,34 \text{ kg. O}_2 \rightarrow X = 61,1 \text{ m}^3 \text{ de O}_2 / \text{ ton. de arrabio} \end{array}$$

$$61,1 / 0,995 = 61,4 \text{ m}^3 \text{ de O}_2$$

$$\text{ARRABIO} = 0,7 \times 180 = 126 \text{ toneladas de arrabio.}$$

$$61,4 \text{ m}^3 \text{ de O}_2 / \text{ ton. de arrabio} \times 126 \text{ ton. de arrabio} = 7736,4 \text{ Nm}^3$$

Cantidad de O₂: 7736.4 Nm³

3.2. Horno de Arco eléctrico.

Un **horno de arco eléctrico** (siglas en inglés: EAF ('Electric Arc Furnace')) es un horno que se calienta por medio de un arco eléctrico. Los tamaños de un horno de arco eléctrico van desde la tonelada de capacidad (utilizado en fundiciones) hasta las 400 toneladas de capacidad utilizado en la industria metalúrgica. Además, existen hornos de laboratorio y usados por dentistas que tienen una capacidad de apenas doce gramos. La temperatura en el interior de un horno de arco eléctrico puede alcanzar los 1800 grados Celsius.



Figura 3. 5. Taller de fundición con dos hornos de arco eléctrico.

El primer horno eléctrico de arco se desarrolló por el francés Paul Héroult, con una planta comercial establecida en EE.UU. en 1907. En principio, el acero obtenido por horno eléctrico era un producto especial para la fabricación de máquinas herramienta y de acero resorte. También se utilizaron para preparar carburo de calcio para las lámparas de carburo.

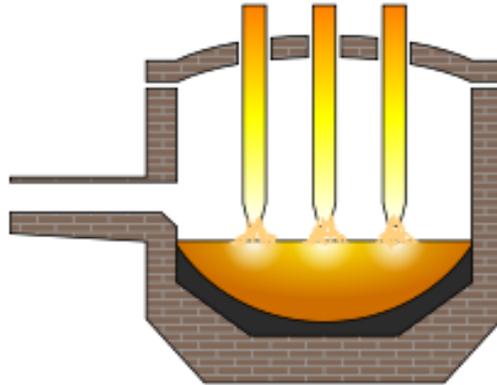
En el s. XIX, el horno de arco eléctrico se empezó a emplear en la fundición de hierro. Sir Humphry Davy llevó a cabo una demostración experimental del horno en 1810; el método de soldadura por arco eléctrico fue investigado por Pepys en 1815; Pinchon intentó crear un horno electrotérmico en 1853; y, en 1878 - 79, Sir William Siemens patentó el horno de arco eléctrico. El horno eléctrico de Stessano era un horno de arco que rotaba para mezclar la colada.

Los hornos de arco eléctrico fueron utilizados en la Segunda Guerra Mundial para la producción de aleaciones de acero, fue después cuando la fabricación de acero por este método comenzó a expandirse. El bajo coste en relación a su capacidad de producción permitió establecerse nuevas acerías en Europa en la postguerra, y también permitió competir en bajo coste con los grandes fabricantes de Estados Unidos, tales como Bethlehem Steel y U.S. Steel, con productos de viguería, embarrados, cables y laminados para el mercado estadounidense.

El hecho de que un horno de arco eléctrico use acero procedente de chatarra como materia prima tiene un impacto en la calidad de un producto laminado, debido al control de calidad limitado sobre las impurezas que contienen un acero procedente de chatarra.

El horno de arco eléctrico para acería consiste en un recipiente refractario alargado, refrigerado por agua para tamaños grandes, cubierta con una bóveda también refractaria y que a través de la cual uno o más electrodos de gráfico están alojados dentro del horno. El horno está compuesto principalmente de tres partes:

- El *armazón*, que consiste en las paredes refractarias y la cimentación.
- El *hogar*, que consiste en el lecho refractario que bordea la cimentación.
- La *bóveda o cubierta*, de aspecto esférico o de frustrum (de sección cónica), cubre el horno con material refractario. Puede estar refrigerada con agua. La bóveda está construida con materiales de alta resistencia pirosfópica (generalmente hormigón refractario) para soportar grandes choques térmicos y en el cual entran los electrodos de grafito que producen el arco eléctrico.



 **Figura 3.6. Un esquema de la sección transversal de un horno de arco eléctrico. Tres electrodos, material fundido, desembocadura a la izquierda, bóveda extraíble de ladrillo refractario, paredes de ladrillo y un hogar con forma de tazón y de material refractario.**

El hogar puede tener una forma hemiesférica u ovoidal. En talleres de fundición modernos, el horno suele levantarse del suelo, así la cuba y los vertederos y las cucharas de colada pueden maniobrar sobre la base del horno. Separado de la estructura del horno está el sistema eléctrico y el soporte del electrodo, además de la plataforma basculante sobre la que descansa el horno.

Un horno típico de corriente alterna tiene tres electrodos. Los electrodos tienen una sección redonda y, por lo general, en los segmentos con acoplamientos roscados, de modo que a medida que se desgastan los electrodos, se pueden agregar nuevos segmentos.

El arco se forma entre el material cargado y el electrodo, así la carga se calienta tanto por la corriente que pasa a través de la carga como por la energía radiante generada por el arco. Los electrodos suben y bajan automáticamente mediante un sistema de posicionamiento, que puede emplear ya sean montacargas eléctricos o cilindros hidráulicos.

El sistema de regulación mantiene aproximadamente constante la corriente y la potencia de entrada durante la fusión de la carga, a pesar de que la chatarra puede moverse debajo de los electrodos a medida que se derrite. Los brazos del mástil de sujeción de los electrodos llevan pesados embarrados, los cuales pueden estar huecos con tuberías de cobre refrigeradas por agua llevando corriente eléctrica a las sujeciones de los electrodos.

Los modernos sistemas utilizan "brazos calientes", donde el brazo entero conduce la corriente, aumentando el rendimiento. Éstos se pueden fabricar de acero revestido de cobre o de aluminio. Puesto que los electrodos se mueven arriba y abajo de forma automática para la regulación del arco y se levantan para permitir quitar la bóveda del horno, cables refrigerados por agua pesada conectan el haz de tubos y brazos con el transformador situado junto al horno. Para proteger el transformador del calor, éste se instala en una cámara acorazada.

El horno está construido sobre una plataforma basculante para que el acero líquido se vierta en otro recipiente para el transporte. La operación de inclinación del horno para verter el acero fundido se conoce como "tapping". Originalmente, todos los hornos de producción de acero tenían un caño para verter que estaba revestido de refractario que aliviaban cuando estaban inclinados, pero a menudo los hornos modernos tienen una desembocadura excéntrica en la parte inferior (EBT) para reducir la inclusión de nitrógeno y de escoria en el acero líquido. Estos hornos tienen una abertura que pasa verticalmente a través del hogar y el armazón, y se encuentra fuera del centro en la estrecha "nariz" del hogar ovalado.

Las plantas modernas pueden tener dos armazones con un solo sistema de electrodos que se pueden transferir entre las dos armazones; un armazón precalienta la chatarra mientras que el otro armazón se utiliza para la fusión. Otros hornos basados en corriente continua tienen una disposición similar, pero tienen electrodos para cada armazón y un solo sistema electrónico.

Existen hornos de CA que por lo general exhiben un patrón de calor y puntos fríos alrededor del perímetro del hogar, con los puntos fríos situados entre los electrodos. Hay hornos modernos donde montan quemadores de combustible de oxígeno en la pared lateral y los utilizan para proporcionar energía en esos puntos fríos, consiguiendo un calentamiento del acero más uniforme.

La energía química adicional se proporciona mediante la inyección de oxígeno y carbono en el horno; históricamente esto se hacía a través de lanzallamas en la puerta de la escoria, ahora esto se hace principalmente a través de múltiples equipamientos de inyección empotrados en la pared.

Un moderno horno de fabricación de acero de tamaño mediano que tiene un transformador de 60 MVA de capacidad, con una tensión secundaria entre 400 y 900 voltios y una corriente secundaria de más de 44.000 amperios. En un taller moderno, un horno debería producir una cantidad de 80 toneladas métricas de acero líquido en aproximadamente 60 minutos de carga con chatarra fría para aprovechar el horno.

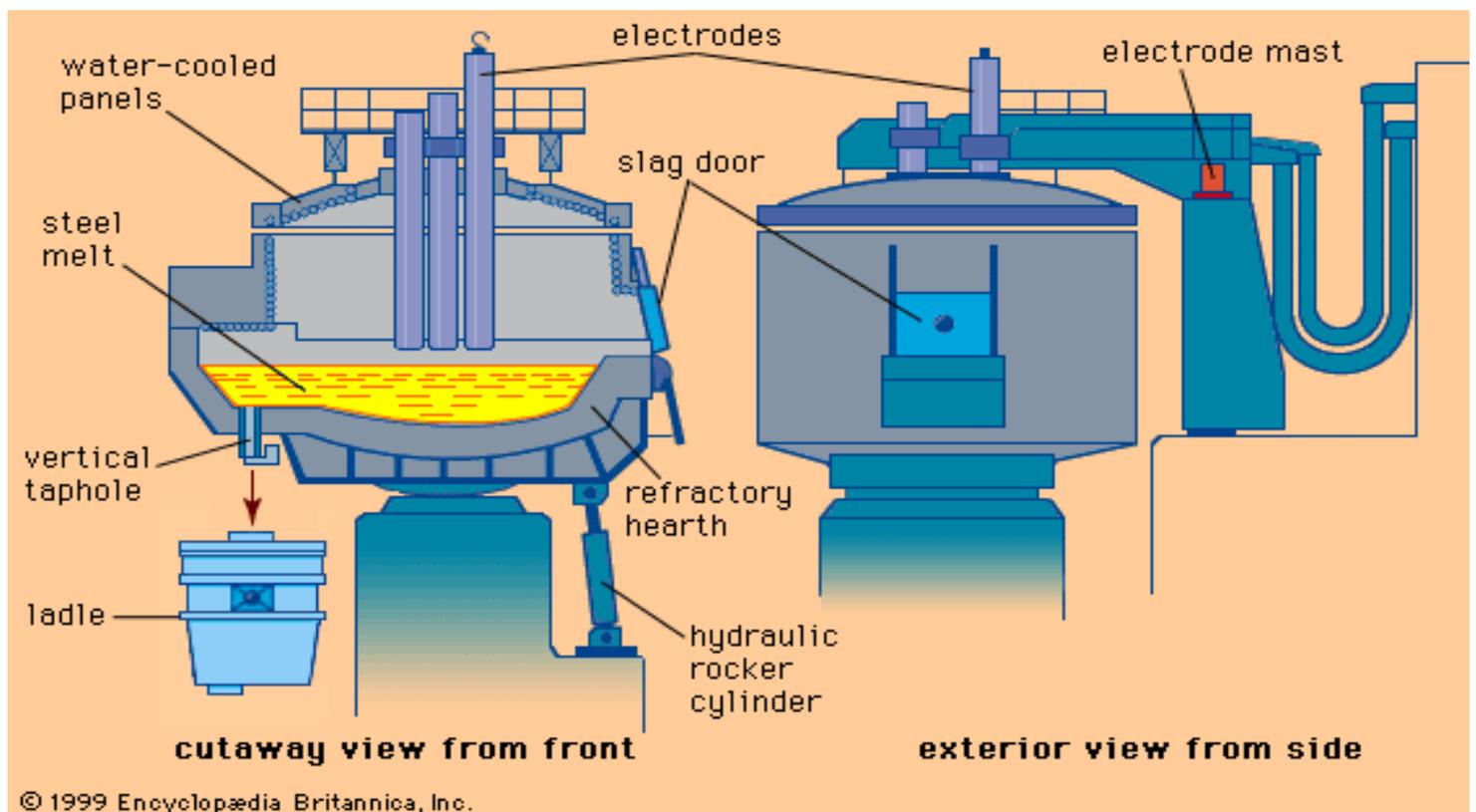


Figura. 3.7. Sistema de Funcionamiento de un Horno de Arco Eléctrico.

En comparación, los hornos básicos de oxígeno pueden tener una capacidad de 150-300 toneladas por lote, y pueden producir un lote entre 30 y 40 minutos. Existen enormes variaciones en los detalles del diseño y el funcionamiento del horno, dependiendo del producto final y las condiciones locales, así como los últimos estudios para mejorar la eficiencia del horno, el mayor horno dedicado a chatarra (en términos de capacidad y de tamaño de transformador) se encuentra en Turquía, con una capacidad de 300 toneladas métricas y un transformador de 300 MVA.

Producir una tonelada de acero en un horno de arco eléctrico requiere aproximadamente de 400 kilovatios-hora de electricidad por tonelada corta, o alrededor de 440 kWh por tonelada métrica; la cantidad mínima teórica de energía requerida para fundir una tonelada de chatarra de acero es de 300 kWh (punto de fusión 1520°C/2768°F). Por lo tanto, dicho horno de arco eléctrico de 300 toneladas y 300 MVA requeriría aproximadamente de 132 MWh de energía para fundir el acero, y un "tiempo de encendido" (el tiempo que el acero se funde con un arco) de aproximadamente 37 minutos. La fabricación de acero con arco eléctrico es sólo rentable donde hay electricidad abundante, con una red eléctrica bien desarrollada.

Los hornos eléctricos de inducción utilizan una corriente inducida para fundir la carga. La energía es del tipo de inducción sin núcleo dada por una corriente de alta frecuencia que suministra a la bobina primaria, enfriada por agua que circunda al crisol. La corriente de alta frecuencia es alrededor de 1000 Hz, suministrada por un conjunto motor-generador o un sistema de frecuencia con arco por vapor de mercurio.

El crisol es cargado con una pieza sólida de metal, chatarra o virutas de operaciones de mecanizados, al cual se le induce una alta corriente secundaria. La resistencia de esta corriente inducida en la carga se hace en 50 o 90 min, fundiéndola en grandes crisoles que contienen arriba de 3.6 Ton de acero.



Figura. 3.8. Tipos de Hornos de Arco Eléctrico.

La construcción de los hornos de arco voltaico se basa en el calor generado por el arco eléctrico, formado entre los electrodos de grafito (o de carbón) y el baño metálico, que producen una temperatura de 3500°C o más. En estos hornos se puede obtener acero de alta calidad, casi desprovistos de impurezas nocivas, con un contenido de carbono muy exacto y con elementos aleantes en proporciones definidas. Es decir acero especiales para altas prestaciones.

El horno consta de una camisa cilíndrica (1) con fondo esférico (2), recubiertas con materiales refractarios y aislados térmicamente de tal manera que se forme el espacio activo del horno. La bóveda del horno (4) se prepara de manera que sea desamable y está construida de ladrillos refractarios sujetos por una armadura de acero en forma de aro.

El horno tiene una puerta de carga y un orificio para sangrar el metal. Está asentado sobre dos soportes en forma de arco, colocados sobre las guías del cimiento que permiten girarlo para la carga y descarga del horno. En la bóveda del horno se colocan en orificios elaborados para ello los electrodos (5).

Los electrodos durante la fundición ascienden y descienden con la ayuda de un mecanismo especial. La corriente se suministra de un transformador a los electrodos a través de cables flexibles y barras de cobre. Para llevar a cabo la fundición en los hornos de arco, este se alimenta con una mezcla de chatarra, hierro fundido, mena de hierro, fundentes, desoxidantes y ferro aleaciones, que sirven para formar las aleaciones.

En la Figura se ha representado el material dentro del horno de dos formas, la mitad izquierda corresponde al material recién cargado, vea que está sólido y en pedazos. Note que hay una separación entre el material y el electrodo, de forma que salte el arco y se produzca una gran cantidad de calor para fundir el metal. En la parte derecha ya está el metal fundido y el electrodo se ha bajado para reducir el calor producido por el arco y mantener la temperatura dentro del rango necesario.

Para la oxidación de las impurezas, después de fundida la mezcla inicial, se le agrega al horno la mena. Los óxidos de hierro oxidan las impurezas del metal (Si, Mn, P, y C) a consecuencia de lo cual se forma la escoria férrica que contiene $(FeO)_3 \cdot P_2O_5$. Esta escoria sustrae fósforo del metal. Para formar un compuesto mas estable se agrega a la escoria cal recién calcinada de forma que se forme una sal fósforo-cálcica que se retiene en la escoria.

Esta reacción tiene éxito ya que la temperatura del metal no es muy elevada, pero es una reacción exotérmica que calienta el baño y durante esta etapa es usual que comience a oxidarse el carbono y el baño entre en ebullición. En ese momento se retira la escoria fosfórica. Si se ha quemado mucho carbono, y este, en el metal, está por debajo del nivel requerido se cargan al horno portadores de carbono tales como coque o arrabio de bajo contenido de impurezas nocivas.

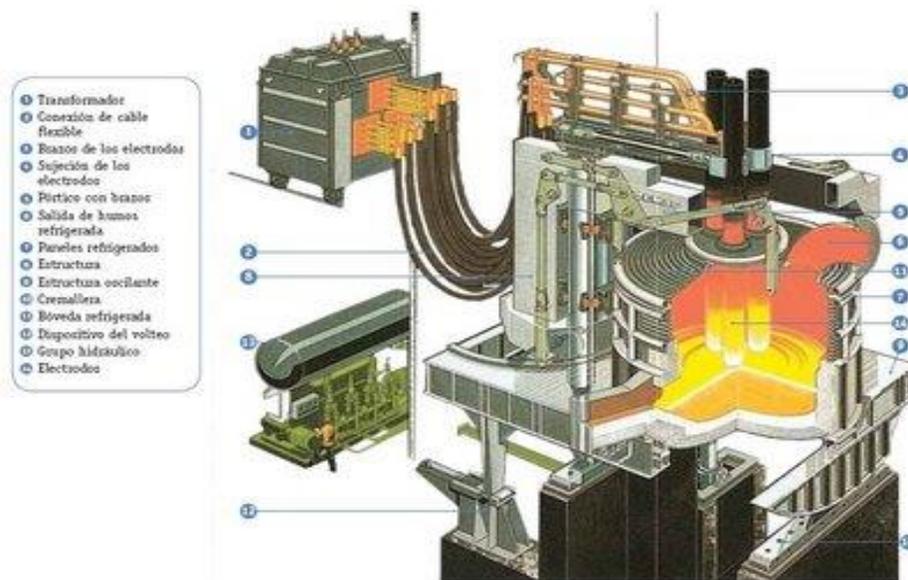


Figura. 3.9. Partes del Horno de Arco Eléctrico.

Los hornos de inducción, con crisoles aprovechables desde pocos kilogramos hasta 3.6 Ton son relativamente bajos en costo, casi libres de ruido y por lo mismo producen poco calor. Puesto que la temperatura no necesita ser más alta que la requerida para fundir la carga, la chatarra aleada puede ser para refundir sin que sea "quemada" la calidad del material. Por estas razones a menudo son encontrados en laboratorios experimentales o fundiciones. En hornos de arco eléctrico, la temperatura alta del arco puede refinar el metal, siendo una desventaja de la fundición.

El tipo más sencillo tiene la cámara de fusión unida a un canal que, como ya se ha dicho, forma un circuito eléctrico secundario cerrado en el cual se genera el calor. Al poner el horno en marcha, el canal está lleno de material metálico sólido en íntimo contacto para permitir el cierre del anillo. Primeramente se funde el contenido del anillo (sección más estrecha) y luego, poco a poco, se propaga la fusión a toda la carga. La mezcla del líquido queda favorecida por la acción electrodinámica de la corriente.

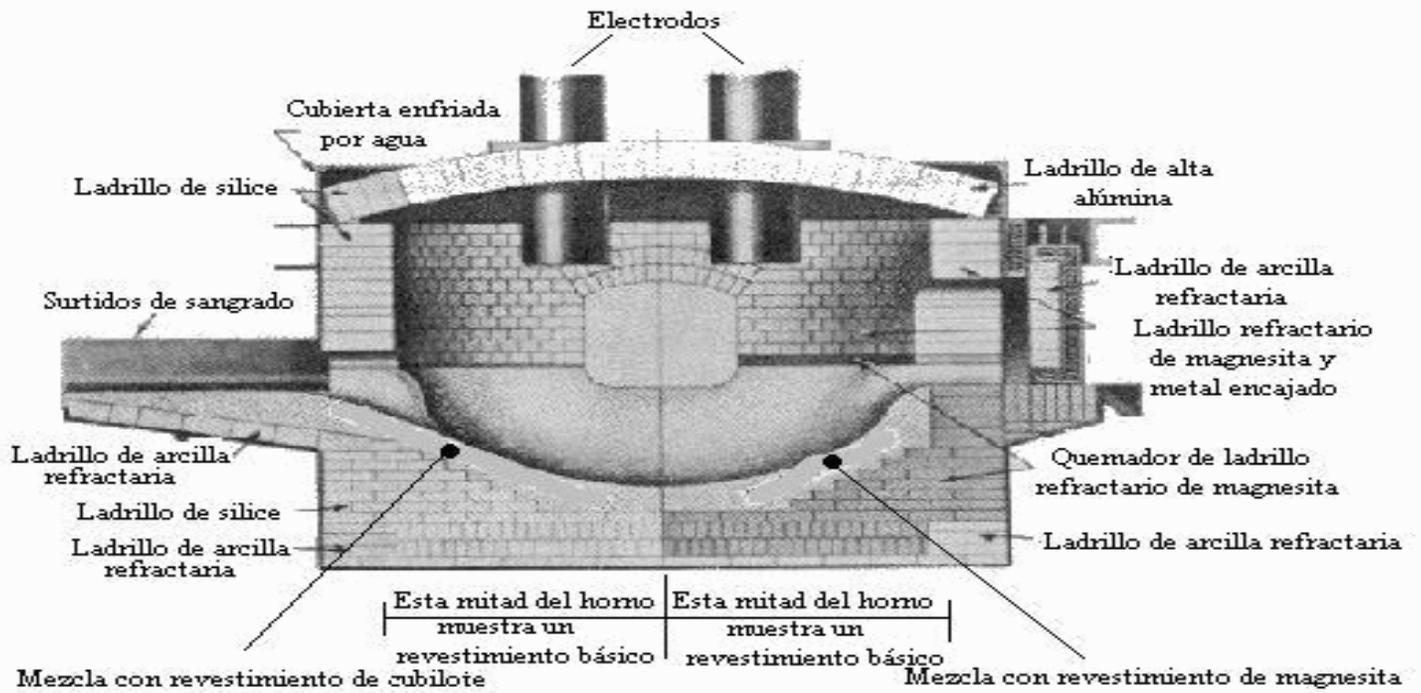
Para facilitar las coladas subsiguientes conviene dejar siempre una cierta cantidad de metal líquido en el fondo del horno de forma que el canal esté siempre lleno, es decir, cebado. Éste es uno de los inconvenientes que hay que poner en el pasivo de esta clase de hornos. A pesar de todo, tuvieron mucha aceptación en el campo de la fusión del bronce, cobre, aluminio y aleaciones derivadas, y, más recientemente, incluso para la fusión de la fundición gris.

La limpieza del canal es difícil: para comodidad de funcionamiento 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; de este modo:

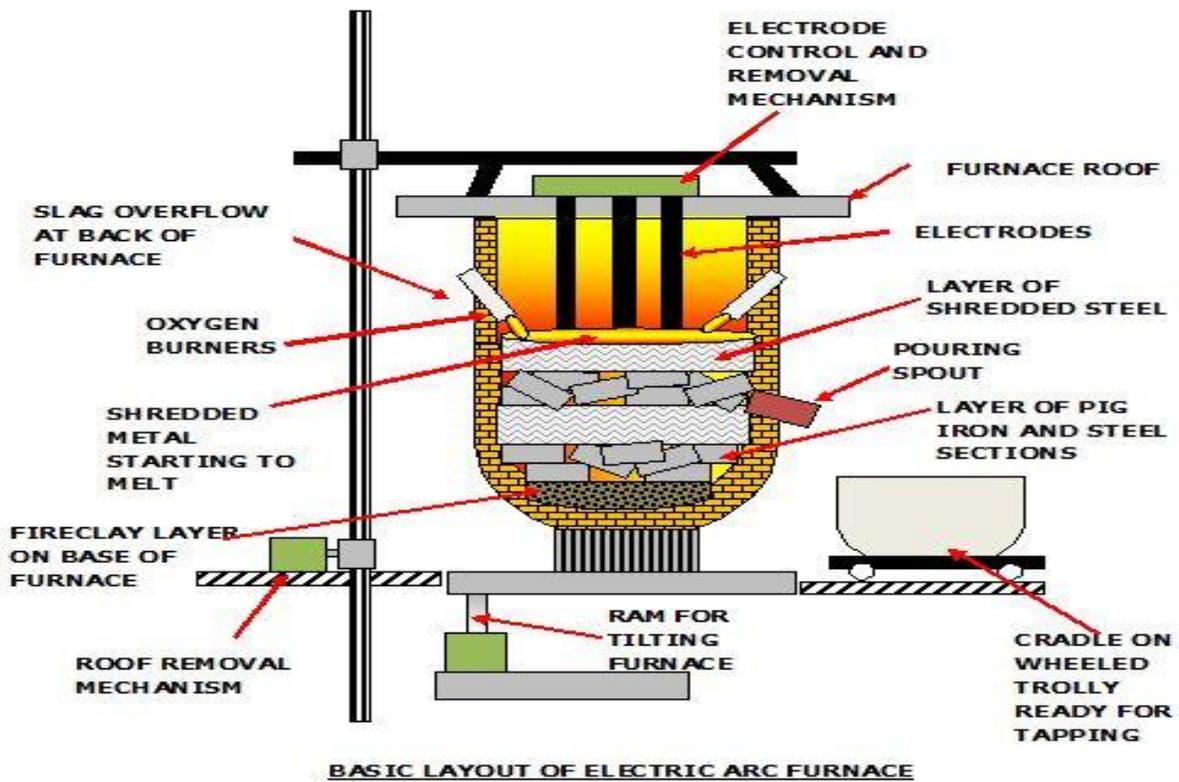
- a. Quedan eliminados los tiempos improductivos, porque la temperatura del metal se mantiene constante en la cámara de descarga b incluso cuando se añade metal al vaso de carga a;
- b. El metal de la cámara de descarga está siempre limpio, porque las escorias permanecen en la cámara de carga. El sistema actúa a modo de sifón.
- c. Dado que los canales tienden a estrecharse por las incrustaciones de óxidos que se forman durante el funcionamiento, cada 24 horas, con el horno caliente, se efectúa la limpieza que dura media hora aproximadamente.
- d. Los hornos son siempre rebatibles mecánica o hidráulicamente, y llevan el perno de rotación bajo la piqueta de colada.
- e. Los hornos emplean corriente monofásica si son de poca cabida, y corriente trifásica, con más canales, si son grandes.
- f. El factor de potencia es, aproximadamente, 0,70, lo que obliga, en la mayoría de los casos, a acoplar uno o más condensadores para aumentarlo a 0,80.
- g. Las pérdidas de material por oxidación son mínimas y el funcionamiento resulta económico.
- h. El recubrimiento está constituido por materiales refractarios cuya composición varía según los metales que hay que fundir.

El horno de baja frecuencia no puede alcanzar las elevadas temperaturas necesarias para fundir el acero, por lo que se emplea casi exclusivamente para aleaciones de cobre-níquel, con más del 30 % de este último metal. Puede fundir también el hierro colado y metales y aleaciones ligeras. El consumo de corriente (kWh/ton) varía según el metal: funcionando continuamente es de 300 a 450 kWh/ton para el bronce, 600 a 700 kWh/ton para el hierro colado y 400 a 450 kWh/ton para el cobre.

Normalmente, para completar la instalación del horno o de varios hornos se prepara un tambor de reserva, como se ha indicado anteriormente. Siendo estos hornos monofásicos, la instalación de uno solo desequilibra la línea, por lo que es preferible instalar dos o tres con transformadores de toma Scott.



Dibujo de corte de un horno eléctrico con revestimientos tipo ácido y básico

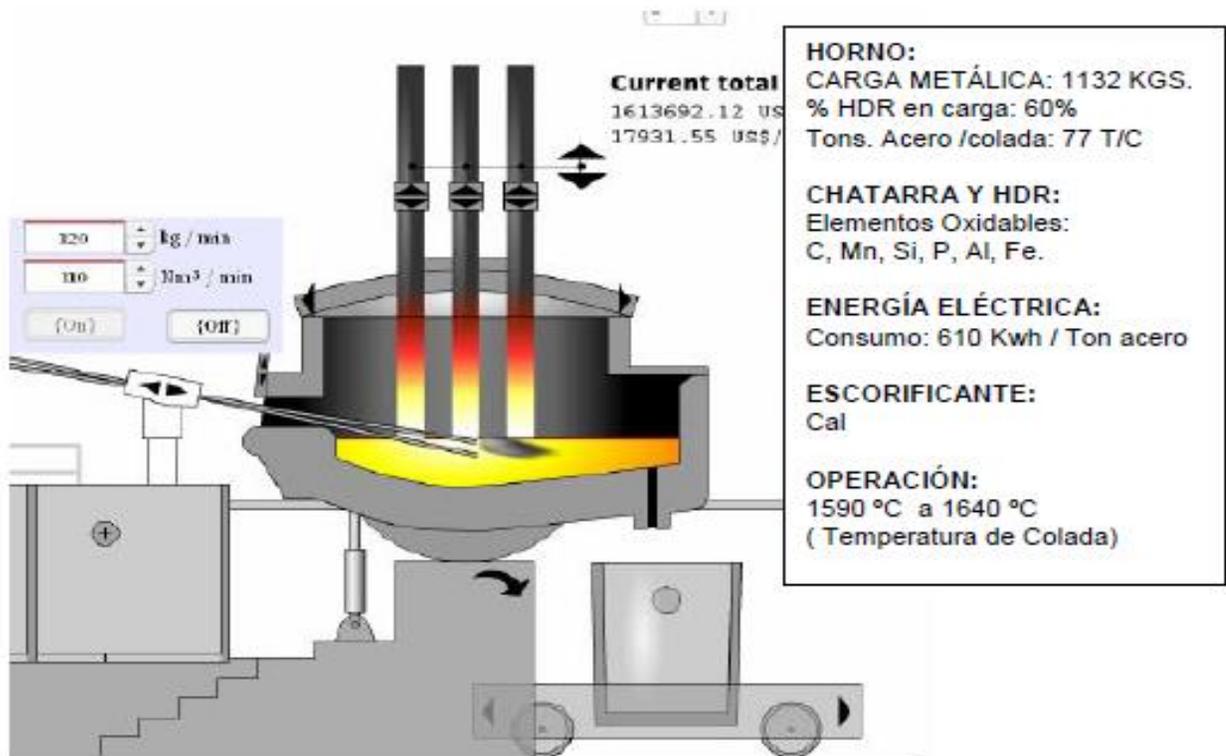


Drawn by Willie Scott 27/7/2010

Figura 3.10. Secciones Transversales de la construcción de los Hornos de Arco Eléctrico.

3.2.1. Balance de materia y energía

HORNO ELÉCTRICO DE ARCO



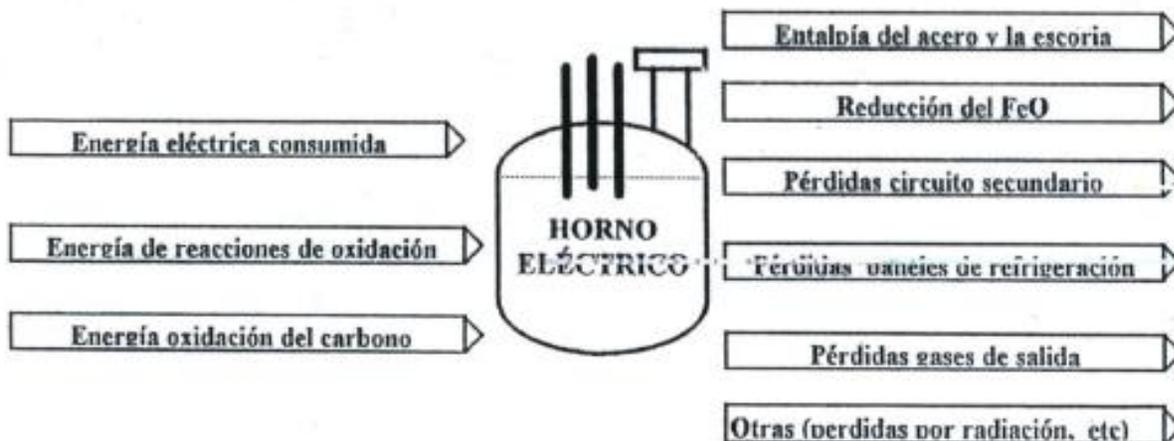
ETAPAS DEL PROCESO	TIEMPO (Min.)
Carga de chatarra y HDR	5.5
Fusión	17.1
Afinación	5.9
Colada del acero	5.7
Total	55

Problema:

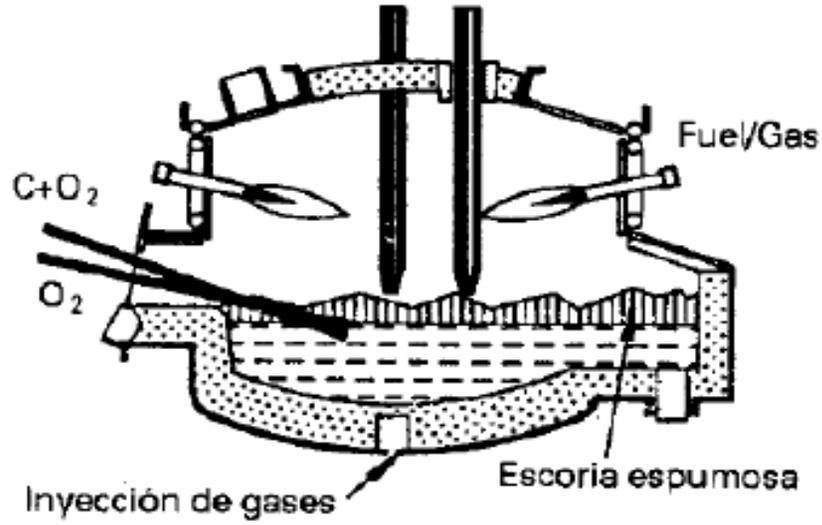
- Determinación de las energías teóricas de oxidación
- Determinación del oxígeno necesario para las reacciones de oxidación

BALANCE DE ENERGÍA DEL HORNO ELÉCTRICO N° 5
Introducción

El objeto del presente trabajo es estudiar el comportamiento teórico y práctico de las energías puestas en juego en el horno eléctrico, a fin de identificar las mayores pérdidas de energía y minimizarlas.

Balace General de Energía

Datos

P.A.M.:	1132 kg
Toneladas de acero por colada:	77 t/colada
% de hierro esponja de la carga:	60%
Cal mezcla:	3,6 t/colada
%cal cálcica:	45%
%CaO cal cálcica:	94%
%cal dolomítica:	55%
% CaO cal dolomítica:	52%
Carbón insuflado:	0,35 t/colada
Carbón por cinta:	0,35 t/colada
Finos(aspiración humos):	1,0 t/colada



- Paredes y bóveda refrigerados por agua
- Quemadores oxí-gas
- Empleo masivo de O_2 en lanzas
- Adición de C para escoria espumosa
- Inyección de gases por el fondo
- Colada por el fondo

Carga promedio del horno

Componente	cantidad/colada	cantidad/tal
Hierro esponja	52,3 t	679 kg/tal
Chatarra	34,9 t	453 kg/tal
Cal mezcla	3,6 t	47 kg/tal
Carbón insuflado	0,35 t	4,5 kg/tal
Carbón por cinta	0,35 t	4,5 kg/tal
Finos	1 t	13 kg/tal
Acero	77 t	1000 kg/tal
Escoria	9,9 t	129 kg/tal

Componentes	Chatarra	Hierro esponja	Acero liquido	Escoria	Finos
Fe _T		92.4		29.16	61.9
Fe _{metálico}	90	87.8		3.19	4.6
FeO		5.7		25.97	13.2
C	0.2	2.3	0.07	-	1.56
SiO ₂		1.55		11.81	4.15
Si	0.2				
Al ₂ O ₃		0.76		4.63	0.8
Al	0.02				
CaO		0.47		26.94	12.5
MgO		0.2		10.57	5.9
MnO		0.1		2.75	2.55
Mn	0.6		0.04		
P	0.023		0.007	-	
P ₂ O ₅		0.048		0.63	
S		0.003		-	0.32

1. Energía teórica de las reacciones de oxidación

1.1. Oxidación del Silicio.



$$\text{Cantidad de Si chatarra} = 453 \frac{\text{kg ch}}{\text{tal}} \cdot \frac{0.20 \text{ kg Si}}{100 \text{ kg ch}} = 0,906 \frac{\text{kg Si}}{\text{tal}}$$

$$E_{\text{Si}} = \text{Energía de oxidación del Silicio} = 9 \frac{\text{Kw h}}{\text{kg Si}} \cdot 0,906 \frac{\text{kg Si}}{\text{tal}} =$$

$$E_{\text{Si}} = 8,15 \frac{\text{Kw h}}{\text{tal}}$$

1.2 Oxidación del Manganeso.



$$\text{Cantidad de Mn en la chatarra} = 453 \frac{\text{kg ch}}{\text{tal}} \cdot 0,60 \frac{\text{kg Mn}}{100 \text{ kg ch}} = 2,718 \frac{\text{kg Mn}}{\text{tal}}$$

$$\text{Cantidad de Mn en acero} = \frac{0,04 \text{ kg Mn}}{100 \text{ kg acero líq.}} \cdot 1000 \text{ kg acero líq.}$$

$$\text{Cantidad de Mn en acero} = 0,4 \frac{\text{kg Mn}}{\text{tal}}$$

$$E_{\text{Mn}} = \text{Energía de oxidación del Mn} = 2,04 \frac{\text{Kw h}}{\text{kg Mn}} \cdot (2,718 - 0,4) \frac{\text{kg Mn}}{\text{tal}}$$

$$E_{\text{Mn}} = 4,73 \frac{\text{Kw h}}{\text{tal}}$$

1.3. Oxidación del Aluminio.



$$\text{Cantidad de Al en la chatarra} = 453 \frac{\text{kg ch}}{\text{tal}} \cdot \frac{0,020 \text{ kg Al}}{100 \text{ kg ch}} = 0,091 \frac{\text{kg Al}}{\text{tal}}$$

$$E_{\text{Al}} = \text{Energía de oxidación del Al} = 7,1 \frac{\text{Kw h}}{\text{kg Al}} \cdot 0,091 \frac{\text{kg Al}}{\text{tal}} =$$

$$E_{\text{Al}} = 0,64 \frac{\text{Kw h}}{\text{tal}}$$

1.4. Oxidación del Fósforo.



$$\text{Cantidad de P en la chatarra} = 453 \frac{\text{kg ch}}{\text{tal}} \cdot \frac{0,023 \text{ kg P}}{100 \text{ kg ch}} = 0,104 \frac{\text{kg P}}{\text{tal}}$$

$$\text{Cantidad de P en acero} = \frac{0,007 \text{ kg P}}{100 \text{ kg acero líq}} \cdot 1000 \text{ kg acero líq.} = 0,07 \frac{\text{kg P}}{\text{tal}}$$

$$E_P = \text{Energía de Oxidación del Fósforo} = 2,7 \frac{\text{Kw h}}{\text{kg P}} \cdot (0,104 - 0,07) \frac{\text{kg P}}{\text{tal}}$$

$$E_P = 0,09 \frac{\text{Kw h}}{\text{tal}}$$

1.5. Oxidación del Hierro.



La cantidad de FeO formado presente en la escoria es:

$$= \frac{25,97 \text{ kg FeO}}{100 \text{ kg esc.}} \cdot \frac{129 \text{ kg esc}}{\text{tal}} = 33,47 \frac{\text{kg FeO}}{\text{tal}}$$

$$\text{Cantidad de Fe que reacciona} = 33,47 \frac{\text{kg FeO}}{\text{tal}} \cdot \frac{56 \text{ kg Fe}}{72 \text{ kg FeO}} = 26,03 \frac{\text{kg Fe}}{\text{tal}}$$

$$E_{Fe} = \text{Energía de oxidación del Fe} = 26,03 \frac{\text{kg Fe}}{\text{tal}} \cdot 1,2 \frac{\text{Kw h}}{\text{kg Fe}}$$

$$E_{Fe} = 31,24 \frac{\text{Kw h}}{\text{tal}}$$

1.6. Energía de las reacciones de oxidación.

$$E_{\text{oxidación}} = E_{Si} + E_{Mn} + E_{Al} + E_P + E_{Fe}.$$

$$= 8,15 + 4,73 + 0,64 + 0,09 + 31,24 =$$

$$E_{\text{oxidación}} = 45 \frac{\text{Kw h}}{\text{tal}}$$

2. Determinación del oxígeno necesario para las reacciones de oxidación.

Datos: Pesos Atómicos

C	O	Si	Al	Mn	P	Fe
12	16	28	27	55	31	56

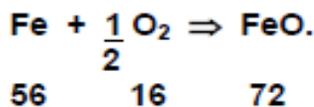
$$O_2 \text{ Silicio} = 0,91 \frac{\text{kg Si}}{\text{tal}} \cdot \frac{32 \text{ kg } O_2}{28 \text{ kg Si}} = 1,04 \frac{\text{kg } O_2}{\text{tal}}$$

$$O_2 \text{ Manganeseo} = 2,32 \frac{\text{kg Mn}}{\text{tal}} \cdot \frac{16 \text{ kg } O_2}{55 \text{ kg Mn}} = 0,67 \frac{\text{kg } O_2}{\text{tal}}$$

$$O_2 \text{ Aluminio} = 0,091 \frac{\text{kg Al}}{\text{tal}} \cdot \frac{48 \text{ kg } O_2}{54 \text{ kg Al}} = 0,08 \frac{\text{kg } O_2}{\text{tal}}$$

$$O_2 \text{ Fósforo} = 0,03 \frac{\text{kg P}}{\text{tal}} \cdot \frac{80 \text{ kg } O_2}{62 \text{ kg P}} = 0,023 \frac{\text{kg } O_2}{\text{tal}}$$

$$O_2 \text{ Hierro} =$$



$$O_2 \text{ Hierro} = 26,03 \frac{\text{kg Fe}}{\text{tal}} \cdot \frac{16 \text{ kg } O_2}{56 \text{ kg Fe}} = 7,44 \frac{\text{kg } O_2}{\text{tal}}$$

$$\Sigma O_2 = O_2 \text{ Silicio} + O_2 \text{ Manganeseo} + O_2 \text{ Aluminio} + O_2 \text{ Fósforo} + O_2 \text{ Hierro}$$

$$\Sigma O_2 = 1,04 + 0,67 + 0,08 + 0,023 + 7,44 = 9,25 \frac{\text{kg } O_2}{\text{tal}}$$

1 mol de O_2 en condiciones normales de presión y temperatura ocupa un volumen de 22,4 litros.

$$\Rightarrow 32 \text{ kg } O_2 \longrightarrow 22,4 \text{ m}^3$$

$$9,25 \text{ kg } O_2 \longrightarrow \boxed{\text{Cantidad de oxígeno necesario: } 6,5 \frac{\text{m}^3 O_2}{\text{tal}}}$$

3.3. Procesos alternativos (Q-BOP, Soplo Combinado, OBM)

El acero se elabora primordialmente por la transformación del hierro fundido en forma de arrabio. La tarea de la transformación del arrabio en acero se reduce a la extracción de las cantidades sobrantes de carbono, silicio, manganeso y las impurezas nocivas que contiene.

Esta tarea se puede llevar a cabo porque el carbono y las otras impurezas, bajo la acción de altas temperaturas, se unen con el oxígeno de un modo más enérgico que el hierro y pueden extraerse con pérdidas insignificantes de hierro. El carbono del arrabio al reaccionar con el oxígeno se transforma en gas monóxido de carbono (CO) que se volatiliza.

Otras impurezas se transforman en óxidos (SiO_2 , MnO , y P_2O_5) que tienen una densidad menor que la del metal fundido y por tanto flotan formando la escoria. Para la transformación del arrabio a acero se utilizan dos métodos generales;

- El método de los convertidores
- El uso de hornos especiales

✂ Los Convertidores

La esencia del método de los convertidores para la obtención del acero consiste en que a través del hierro fundido líquido cargado al convertidor, se inyecta aire, que burbujea dentro de la masa fundida y cuyo oxígeno oxida el carbono y otras impurezas.

El convertidor representa un recipiente en forma de pera, soldado con chapas gruesas de acero y revestido interiormente con material refractario. En la parte central del convertidor, exteriormente se hallan dos tetones cilíndricos llamados muñones que sirven de soporte y permiten girar el convertidor. Uno de los muñones es hueco y se une con el tubo conductor de aire.

Del muñón el aire es conducido por un tubo y por la caja de aire al fondo. En el fondo del convertidor están las toberas a través de las cuales el aire se suministra al convertidor a presión. También se utiliza la insuflación de oxígeno con lo que el proceso se hace más rápido y eficiente

Para cargar el convertidor este se hace girar de la posición vertical a la horizontal, se agrega el arrabio fundido y se regresa el convertidor a su posición vertical, en ese momento se pone en marcha el soplado. El volumen de metal incorporado constituye de 1/5 a 1/3 del volumen de la altura de la parte casi cilíndrica.

El calor necesario para calentar el acero hasta las altas temperaturas necesarias se produce a expensas de la oxidación de las impurezas del arrabio, ya que todas las reacciones de oxidación generan calor.

En dependencia de la composición del arrabio los convertidores se dividen en dos tipos:

- **Convertidor con revestimiento ácido:** (procedimiento Bessemer) utilizado para los arrabios con una cantidad mínima de fósforo (0.07%) y azufre (0.06%).
- **Convertidor con recubrimiento básico:** (procedimiento Thomas) utilizado para los arrabios con mayor abundancia de fósforo (hasta 2.5%).



Procesos de fabricación

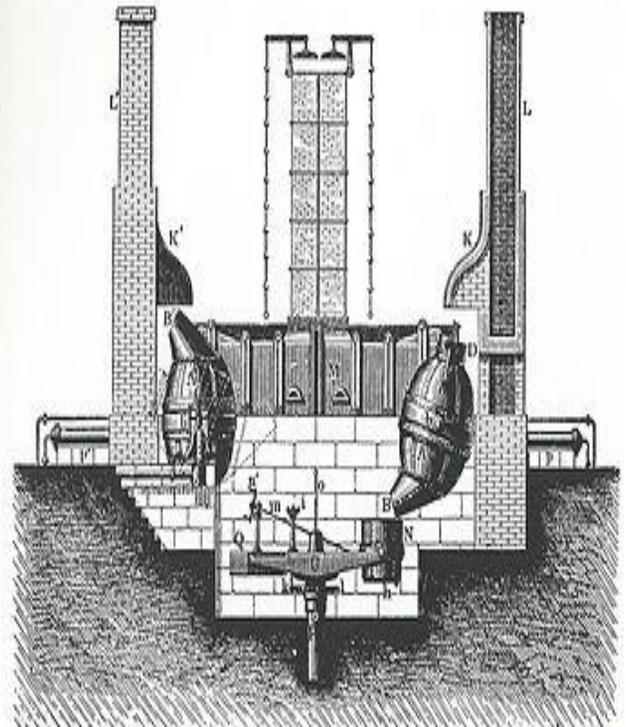
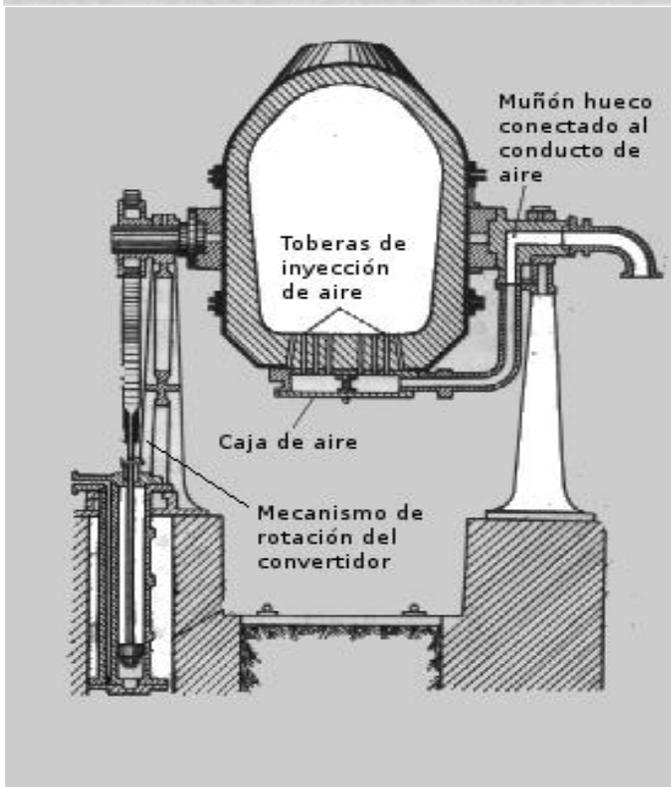


Figura. 3.11. Procedimientos generales y tipos de convertidores.

DIAGRAMA DE FLUJO

Se llama convertidor por cuanto convierte el arrabio ya procesado, es decir, la fundición, en acero o en hierro.

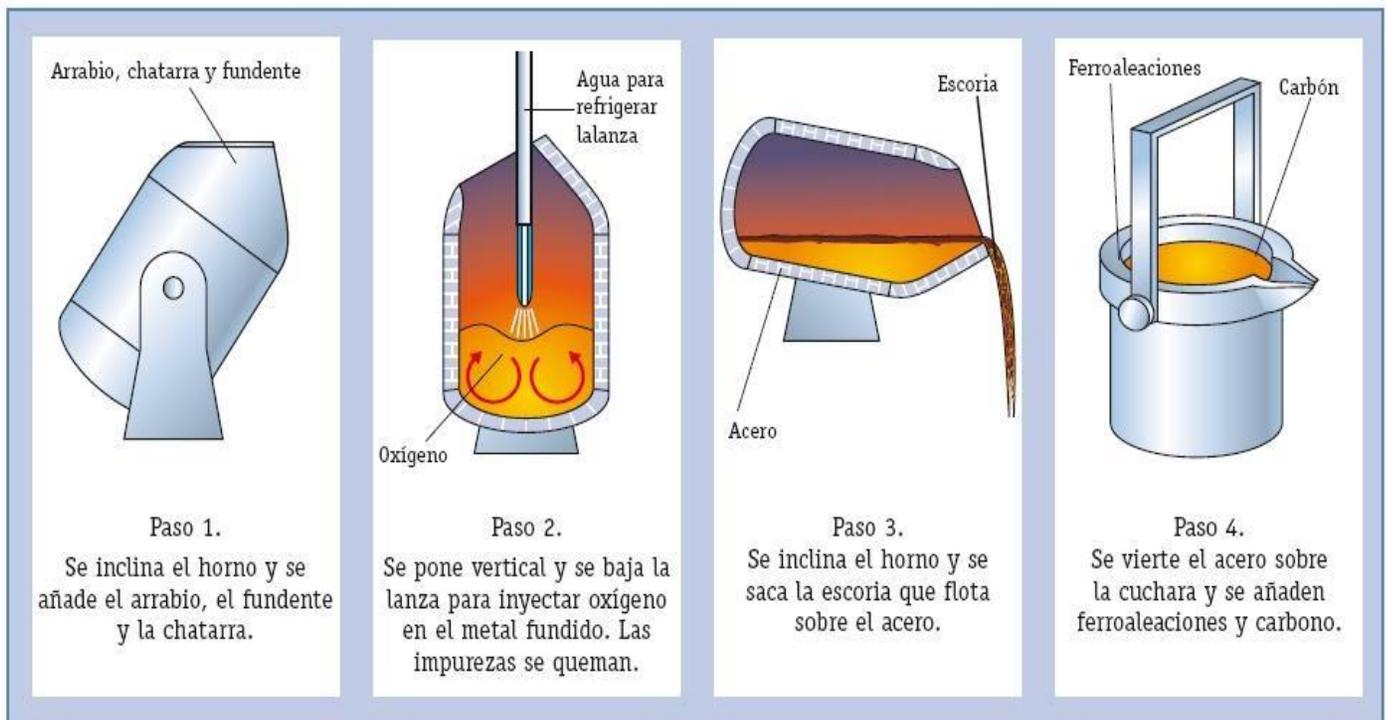


Figura. 3.11 bis. Procedimientos generales de los convertidores.

⌘ El proceso Q-BOP, Soplo Combinado y OBM

La dureza del acero depende de su contenido de la aleación. El proceso Q-BOP para la fabricación de acero es una variación del proceso básico de oxígeno (BOP), que consiste en soplar oxígeno de alta pureza a través de un baño de arrabio fundido.

Esto se denomina el proceso de Q-BOP, utilizado en la producción de acero de baja aleación, que se define como el acero que no tiene más de 5 por ciento total de todos los elementos de aleación.

Otra, aunque menos común, el sistema de producción de acero de oxígeno es un proceso de abajo hacia soplado conocido como Q-BOP (Quick-Quiet BOP) en América del Norte y el OBM (del alemán, *Oxígeno Maxhuettenbodenblasen*, o "fondo de soplado de oxígeno del horno") en Europa.

En este sistema, el oxígeno se inyecta con cal a través de boquillas o toberas, situado en el fondo del recipiente. Las toberas consisten en dos tubos concéntricos: oxígeno y cal se introducen a través del tubo interior, y un hidrocarburo tal como gas natural se inyecta a través del anillo exterior.

El endotérmico (absorbe calor) de descomposición del hidrocarburo cerca del baño fundido se enfría de las toberas y protege el refractario adyacente. Aún otra variación, que ha encontrado una amplia aplicación en hornos de soplado superior, es la inyección de gases inertes en el baño fundido a través de bloques permeables en el fondo del recipiente con el propósito de mejorar las reacciones químicas.

Fases del proceso

- **Escorificación**
- Cuando se trata de la primera conversión, primero se limpia y se retiran las cenizas; luego se coloca en sentido horizontal y se carga de fundición hasta 1/5 de su capacidad, la capacidad es de 8 a 15 toneladas.
- Se le inyecta aire a presión y enseguida se devuelve al convertidor a su posición normal.
- El oxígeno del aire, a través de la masa líquida, quema el silicio y el manganeso que se encuentra en la masa fundente y los transforma en los correspondientes óxidos.
- Esta primera fase se efectúa sin llamas dentro de unos 10 min, y recién se termina la operación aparecen chispas rojizas que salen de la boca del convertidor.

Figura. 3.12. Fases del proceso Q-BOP Soplo Combinado y OBM.

Fabricación de acero de oxígeno básico (BOS, BOP, BOF, y OSM), también conocida como la fabricación de acero Linz-Donawitz-Verfahren o el proceso convertidor de oxígeno es un método de fabricación de acero fundido principal en el que ricos en carbono Arrabio (MPI) está hecho en acero.

Soplado de oxígeno a través de arrabio fundido disminuye el contenido de carbono de la aleación y la cambia en acero de bajo carbono. El proceso se conoce como básico debido al tipo de materiales refractarios de óxido de calcio y óxido de magnesio-que recubren los vasos para resistir la alta temperatura del metal fundido.

El proceso se desarrolló en 1948 por Robert Durrer y comercializado en 1952-1953 por VOEST austriaco y ÖAMG. El convertidor LD, el nombre de las ciudades austríacas de Linz y Donawitz (un distrito de Leoben) es una versión refinada del convertidor Bessemer donde el soplado de aire es reemplazado con el soplado de oxígeno. Se reduce el costo de capital de las plantas, momento de la fundición, y el aumento de la productividad del trabajo.

Entre 1920 y 2000, requerimientos de mano de obra en la industria se redujo en un factor de 1,000, de más de 3 trabajador-hora por tonelada a sólo 0.003. La gran mayoría del acero fabricado en el mundo se produce utilizando el horno de oxígeno básico; en 2000, representó el 60% de la producción mundial de acero. Hornos modernos tendrán un suplemento de hierro de hasta 350 toneladas y convertirlo en acero en menos de 40 minutos, en comparación con 10-12 horas en un horno de hogar abierto.

Fabricación de acero básico de oxígeno es un proceso de producción de acero primaria para convertir el fundido Arrabio (MPI) en el acero por soplado de oxígeno a través de una lanza sobre el arrabio fundido en el interior del convertidor. El convertidor utilizado para la fabricación de acero se llama como horno de oxígeno básico por el calor exotérmico generado por las reacciones de oxidación durante el soplado.



Figura. 3.13. Convertidores para el proceso Q-BOP Soplo Combinado y OBM.

El proceso básico de fabricación de acero a partir Q-BOP, Soplo Combinado y/o OBM es el siguiente:

1. Molten Arrabio (MPI) (a veces referido como “metal caliente”) de un alto horno se vierte en un recipiente grande con revestimiento refractario llamado un cucharón;
2. El metal en la cuchara de colada se envía directamente para la fabricación de acero de oxígeno básico o a una etapa de pretratamiento. De oxígeno de alta pureza a una presión de 100-150 psi (libras por pulgada cuadrada) se introduce a una velocidad supersónica sobre la superficie del baño de hierro a través de una lanza refrigerada por agua, que está suspendida en el recipiente y se mantiene a unos pocos metros por encima del baño.

El pretratamiento del metal caliente de alto horno se realiza externamente para reducir el azufre, silicio, y fósforo antes de cargar el metal caliente en el convertidor. En pretratamiento desulfuración externa, una lanza se baja en el hierro fundido en la cuchara y se añaden varios cientos de kilogramos de magnesio en polvo y las impurezas de azufre se reducen a sulfuro de magnesio en una reacción exotérmica violenta.

El sulfuro se pasó entonces fuera. Pretratamientos similares son posibles para desiliconisation externa y desfosforación externo utilizando cascarilla de laminación (óxido de hierro) y cal como fundentes. La decisión de pretratar depende de la calidad del metal caliente y la calidad final requerida del acero.

3. Llenar el horno con los ingredientes se llama carga. El proceso de BOS es autógena, es decir la energía térmica requerida se produce durante el proceso de oxidación. Mantener el equilibrio de carga adecuado, la proporción de metal caliente, de fusión, a la escoria fría.

Por lo tanto, es muy importante. Recipiente BOS se puede inclinar hasta 360 ° y se inclina hacia el lado desescoriación de chatarra y metal caliente de carga. El recipiente BOS es acusado de acero o chatarra de hierro (25%-30%) si se requiere.

El hierro fundido desde la cuchara se añade según sea necesario para el equilibrio de cargas. Una química típica de Hotmetal cargada en el recipiente BOS es: 4% C, 0.2-0,8% De Si, 0.08%-0,18% P, y 0,01-0,04% S todo lo cual puede ser oxidado por el oxígeno suministrado a excepción de azufre (requiere la reducción de la condición).

4. El recipiente se fija entonces en posición vertical y un refrigerado por agua, cobre con punta de lanza con 3-7 boquillas se baja hacia abajo en él y oxígeno de alta pureza se entrega a velocidades supersónicas. La lanza “golpes” 99% oxígeno puro sobre el metal caliente, encender el carbono disuelto en el acero, para formar monóxido de carbono y dióxido de carbono, y provocando que la temperatura aumente a aproximadamente 1700 ° C.

Esta se funde la chatarra, disminuye el contenido de carbono del hierro fundido y ayuda a eliminar los elementos químicos no deseados. Es este uso de oxígeno puro en vez de aire que mejora el proceso de Bessemer, como el nitrógeno (un elemento particularmente indeseable) y otros gases en el aire no reaccionan con la carga.

5. Fundentes (cal viva o dolomita) se introducen en el recipiente para formar la escoria, para mantener la basicidad más de 3 y absorbe impurezas durante el proceso de fabricación de acero. Durante “soplado,” batido de metal y los flujos en el recipiente forma una emulsión, que facilita el proceso de refinación. Cerca del final del ciclo de soplado, que tiene sobre 20 minutos, la temperatura se mide y se toman muestras. Una química típica del metal fundido es 0,3-0,9% C, 0.05-0,1% Mn, 0.001-0,003% De Si, 0.01-0.03% S y 0.005-0.03% P.

Ø OBM

En Europa, este proceso se denomina proceso de OBM (oxígeno inferior Maxhütte), más allá Europa es el proceso Q-BOP (Quick proceso básico de oxígeno). Propano o natural, más barato gas, que contiene hasta un 98% de metano, se utilizan para la protección térmica de lanzas. Francés acerías modificaron la tecnología de OBM y se utilizan aceites combustibles líquidos para proteger lanzas en el parte inferior de un convertidor - este proceso se indica como proceso CLU.

En la antigua Checoslovaquia, el primer convertidor LD 130 toneladas se puso en funcionamiento en el Kosice VSZ sólo en 1966 (es decir, 14 años después de su estreno mundial), y sólo en 1983 LD proceso se llevó a cabo en una planta de acero de oxígeno-convertidor de la fundición Trinec. Los primera parte inferior convertidor de soplado de un tonelaje de 70 t se encontraba bajo el nombre puesto en OXYVIT operación en Vitkovice en 1981, lo que de nuevo, 14 años después de su entrada en servicio en la empresa Maxmilianhütte.

1958 - Entre los procesos de oxígeno, que han demostrado ser históricamente formas poco prometedoras de las tecnologías básicas de fabricación de acero, también incluimos proceso tándem. Este proceso fue implementado en los años 60 en Japón, en medio de la tormenta desarrollo de convertidores de oxígeno.

Desarrollo del proceso de producción en tándem fue un intento de fundamentalmente modernizar la estructura y el principio de los hornos de SM. De este modo, el combustible auxiliar de hornos SM fue eliminado completamente y el calor físico y químico de monóxido de carbono, generado en una solera en tándem, se utilizó para el precalentamiento de la carga sólida.

Desde la perspectiva de la industria siderúrgica checa, proceso tándem es interesante en dos ocasiones:

- ✓ Acería de Vitkovice y en Nueva cabaña de Ostrava contribuyeron significativamente a la verificación de este proceso de producción,
- ✓ Actualmente, una planta de acero en tándem Arcelor-Mittal Ostrava es el mayor productor de acero en la República Checa y su participación en la producción total de acero en nuestro país es alrededor del 43%.

Comparación esquemática de proceso tándem con proceso SM se muestra en la sig Fig. Para simplificar, un horno tándem se compone de dos hornos de "Martin" - dos hogares - y una canal de conexión. En una solera de refinado, las reacciones de oxidación tienen lugar como resultado de la pura oxígeno soplando a través de una lanza colocada oblicuamente por encima de la superficie del baño, mientras que en una precalentar la combustión de solera de CO a CO₂ conduce a precalentamiento de la chatarra de acero cargada.

Después de cada toma, funciones de hogares mutuamente cambian. Que permitió aumentar proporción de chatarra de acero en una carga en comparación con el convertidor LD desde el 25 hasta el 33 - El 35%. Tandem horno, con su fabricación y parámetros económicos, no alcanza la nivel de convertidores de oxígeno, por lo que este proceso de fabricación es casi no se utiliza en el mundo.

Nivel actual de desarrollo de los procesos de convertidor está representado por las tecnologías de soplado combinado. Consisten en la combinación de soplado de oxígeno y gas inerte para reducir la concentración y el gradiente de temperatura del baño y acercarse al equilibrio del estado, especialmente en las reacciones que tienen lugar entre la escoria y el metal.

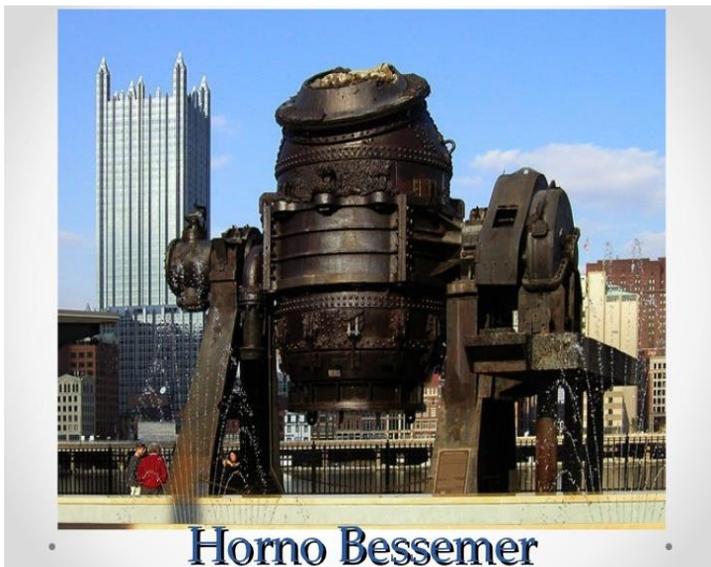
Soplado de oxígeno desde arriba (como en LD proceso) y de soplado de gas inerte desde el fondo de un convertidor es la más comúnmente utilizado opción. Activos demostrables de convertidores de oxígeno - alta eficacia de estos métodos de producción (Refinación tarda unos 16 minutos y el tiempo de fusión incluyendo carga y la colada se trata de 45 minutos, independientemente del tamaño de un convertidor) hicieron que a principios del siglo 21, el oxígeno convertidores junto con los hornos de arco eléctrico (sobre todo tipo de UHP y SUHP) casi desplazada de solera abierta (llama hornos

⌘ Procedimiento Bessemer.

Para el procedimiento Bessemer el convertidor se reviste interiormente de ladrillos refractarios de sílice (no menos de 94.5% de SiO_2) y arena cuarzosa, los que suelen fundirse a 1710°C . Este revestimiento no se corroe por las escorias de carácter ácido, por consiguiente en este convertidor solo pueden tratarse arrabios al silicio.

El aire que entra en la masa fundida suministra el oxígeno que en primera instancia interactúa con el hierro para formar óxido ferroso (FeO). Por consiguiente las impurezas comienzan a oxidarse en dos direcciones: por el oxígeno del aire que pasa a través del metal y por el óxido ferroso que se forma y disuelve en el metal fundido. Durante la inyección de aire para hacerlo pasar a través del metal se diferencian tres períodos característicos:

- La oxidación del hierro, silicio, manganeso y la formación de la escoria.
- La quema del carbono
- La desoxidación o la desoxidación-carburación



Horno Bessemer:

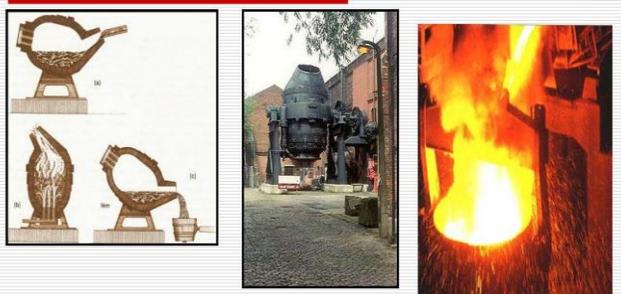


Figura. 3.14. Ejemplos del convertidor Bessemer.

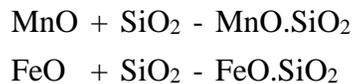
➤ Etapas del proceso

✓ Primer período:

En esta etapa se oxida el hierro, el silicio y el manganeso generando calor por lo que el metal se calienta. Durante este tiempo se forma la escoria. Las reacciones químicas que se producen son:



A su vez los óxidos generados entran en combinación según:



y forman la escoria. Si la cantidad de SiO_2 por la oxidación del silicio contenido en el arrabio no es suficiente, pasa a la escoria la sílice del revestimiento del convertidor.

Todos estos procesos de oxidación han calentado el metal y se produce la segunda etapa.

⌘ Segundo período

Dada la alta temperatura del metal comienza a quemarse el carbono:



Este proceso se realiza con absorción de calor, pero el metal no se enfría porque al mismo tiempo se está oxidando el hierro en el convertidor que supe el calor necesario para mantener la temperatura. El monóxido de carbono que se produce, produce una fuerte ebullición del metal y al salir del convertidor se quema con el aire atmosférico, formando dióxido de carbono, el convertidor genera una llamarada clara.

A medida que se consume el carbono, la llama comienza a extinguirse hasta desaparecer por completo, esto indica que el carbono se ha quemado casi en su totalidad y marca el fin de la segunda etapa.

⌘ Tercer período

En este momento se interrumpe la insuflación de aire, ya que con su suministro ulterior y con muy poco carbono comenzará a oxidarse el propio hierro a óxido férrico con las consiguientes pérdidas de metal. Una vez interrumpido el suministro de aire el convertidor se lleva a la posición horizontal para realizar la desoxidación y carburación del acero.

El objetivo de este paso es eliminar el oxígeno disuelto como FeO , como desoxidantes generalmente se utilizan las ferroaleaciones y el aluminio puro. Para elevar el contenido de carbono en el acero a los valores deseados se utiliza una fundición especial. El material terminado se convierte a grandes lingotes para su uso en los laminadores.

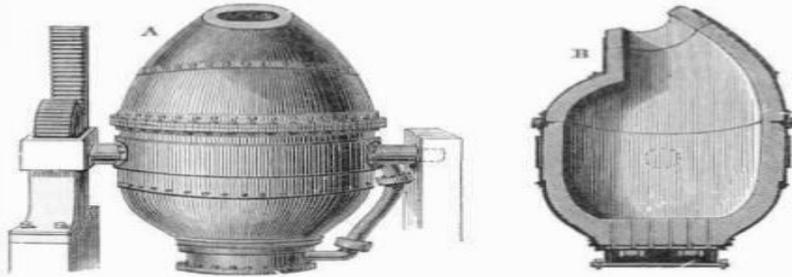
El acero Bessemer se utiliza en piezas de uso general, varillas para hormigón armado, vigas laminadas, hierro comercial para construcciones y similares.

Las deficiencias de este método son:

- La imposibilidad de eliminar del metal el fósforo y el azufre
- La elevada pérdida de hierro por oxidación (8-15%)
- La saturación del hierro con nitrógeno y óxido de hierro que empeoran su calidad.

Horno Bessemer

- La idea es eliminar las impurezas del arrabio líquido y reducir su contenido de carbono mediante la inyección de aire en un "convertidor" de arrabio en acero.
- El sistema Bessemer permite convertir el hierro en acero mediante un proceso de descarburación gracias a la introducción de chorros de aire caliente. Este sistema logró mejorar la calidad y la producción del producto consumiendo menos mineral y utilizando además un tipo de mineral no fosfato extraído de las propias minas.

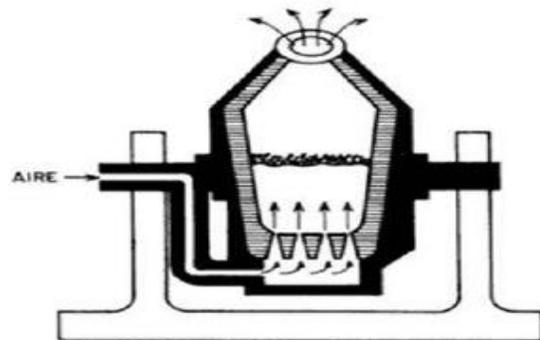


Afino en convertidor o horno básico de oxígeno Bessemer :

También conocido por de SOPLO
Consiste en quemar por medio de oxígeno tanto las impurezas (fósforo, azufre) como el exceso de carbono del arrabio líquido, además de aprovechar el calor de la oxidación como fuente de energía para la fusión.

Los problemas de estos convertidores es que producen óxido de hierro y nitrógeno por lo que los aceros obtenidos son de calidad media aptos para elaborar tubos, chapas, perfiles laminados, alambre.

Un flujo de aire se inyecta por la parte inferior del horno para que elimine gran parte del carbono y otras impurezas del arrabio por oxidación. El oxígeno reacciona con las impurezas del arrabio produciendo escoria que sube y flota en la superficie del acero líquido.



⌘ Procedimiento Thomas

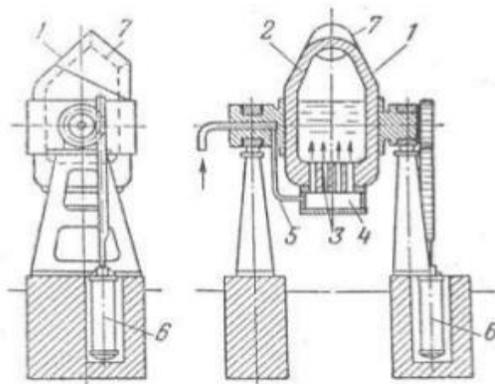
En este convertidor el interior se reviste de material refractario básico, ladrillos de magnesita en las paredes y el fondo con una mezcla de brea de carbón mineral y dolomita. Como fundente para la formación de la escoria se utiliza la cal viva (CaO) con un contenido mínimo de los óxidos ácidos sílice (SiO₂) y alúmina (Al₂O₃).

Surge de la necesidad de tratar las fundiciones con alto contenido de fósforo, obtenidas de menas ferrosas que se encuentran bastante propagadas en la corteza terrestre. A su vez el contenido de sílice debe ser muy bajo (menos de 0.5%) para evitar el uso excesivo de fundente neutralizador.

CONVERTIDOR THOMAS - BESSEMER

- * Consiste en una gran caldera piriforme, forrada con grueso palastro de acero y revestida interiormente de material refractario; la parte superior está abierta y la inferior es redonda y móvil en torno de un eje horizontal y taladrada por pequeños agujeros para la insuflación del aire.
- * El aparato descansa sobre dos soportes, uno de los cuales posee un mecanismo hidráulico que hace girar el recipiente para que sea posible cargar la fundición sin que se tapen los agujeros del fondo, y también para facilitar la colada del acero una vez realizada la conversión.

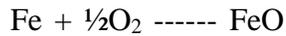
CONVERTIDOR THOMAS - BESSEMER



1. Recipiente
2. Cavity interior
3. Entrada de aire
4. Caja de cierre
5. Toma de aire
6. Mecanismo basculante
7. Boca

Figura. 3.16. Explicación del afino en convertidor Thomas.

El proceso de fundición en un convertidor Thomas se efectúa del modo siguiente: primero se carga el convertidor con la cal, después se vierte el hierro fundido, se inicia el viento y se gira el convertidor a la posición vertical. Lo primero que pasa es a oxidación del hierro según la reacción:



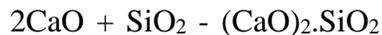
el óxido ferroso formado se disuelve en el metal y oxida el resto de las impurezas Si, Mn, C y el fósforo.

Se distinguen tres períodos:

- Oxidación del silicio y el manganeso
- Combustión intensa del carbono
- Oxidación del fósforo.

⌘ Primer período

La oxidación del silicio produce sílice, la sílice formada SiO_2 , se une a la cal (óxido de calcio) según la reacción:



y pasa a la escoria. El óxido de manganeso (MnO) y una parte del óxido ferroso (FeO) también pasan a la escoria, en este período el metal se calienta dado que las reacciones producen calor y comienza el segundo período.

⌘ Segundo período

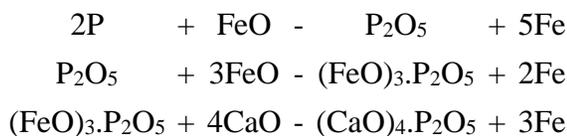
El metal se ha calentado suficiente y el carbono comienza a quemarse de manera intensa según la reacción:



El baño comienza a ebullición por la producción del monóxido de carbono y el horno genera una llamarada clara por la boca debido a la combustión del CO con el oxígeno del aire de la atmósfera. El contenido de carbono se reduce a un valor mínimo y el metal se enfría con lo que comienza el tercer período.

⌘ Tercer período

En este momento comienza la oxidación del fósforo y comienza a elevarse de nuevo la temperatura del metal, las reacciones características de esta etapa son:



En la oxidación del fósforo y la subsiguiente reacción de su óxido con otros, se desprende una considerable cantidad de calor y el metal se calienta rápidamente. El fosfato cálcico formado pasa a la escoria. Cuando se ha terminado la oxidación del fósforo y su paso a la escoria, el convertidor se gira a la posición horizontal, se interrumpe el aire y se descarga la escoria para evitar que el fósforo y el óxido ferroso que contiene puedan volver al metal.

Finalmente se desoxida el metal o se desoxida-cementa. En el proceso Thomas se produce cierta extracción del azufre que pasa a la escoria en forma de sulfuros de manganeso (MnS) y de calcio (CaS). Después de la desoxidación el acero se sangra en la cuchara y se cuela en lingoteras para la producción de [lingotes](#). El acero producido tiene aplicación en el laminado de hierro en chapas, alambres e hierro comercial.

El método de los convertidores en general, tiene la ventaja de su alto rendimiento, la simplicidad relativa de la instalación, gastos básicos bajos y la ausencia del consumo de energía para calentar el metal, pero no resuelve de manera óptima la obtención de aceros de diferentes calidades, no sirven para tratar todos los tipos de arrabio nacidos de la infinidad de menas disponibles y en ellos solo puede utilizarse de manera limitada la gran cantidad de chatarra disponible en la industria.

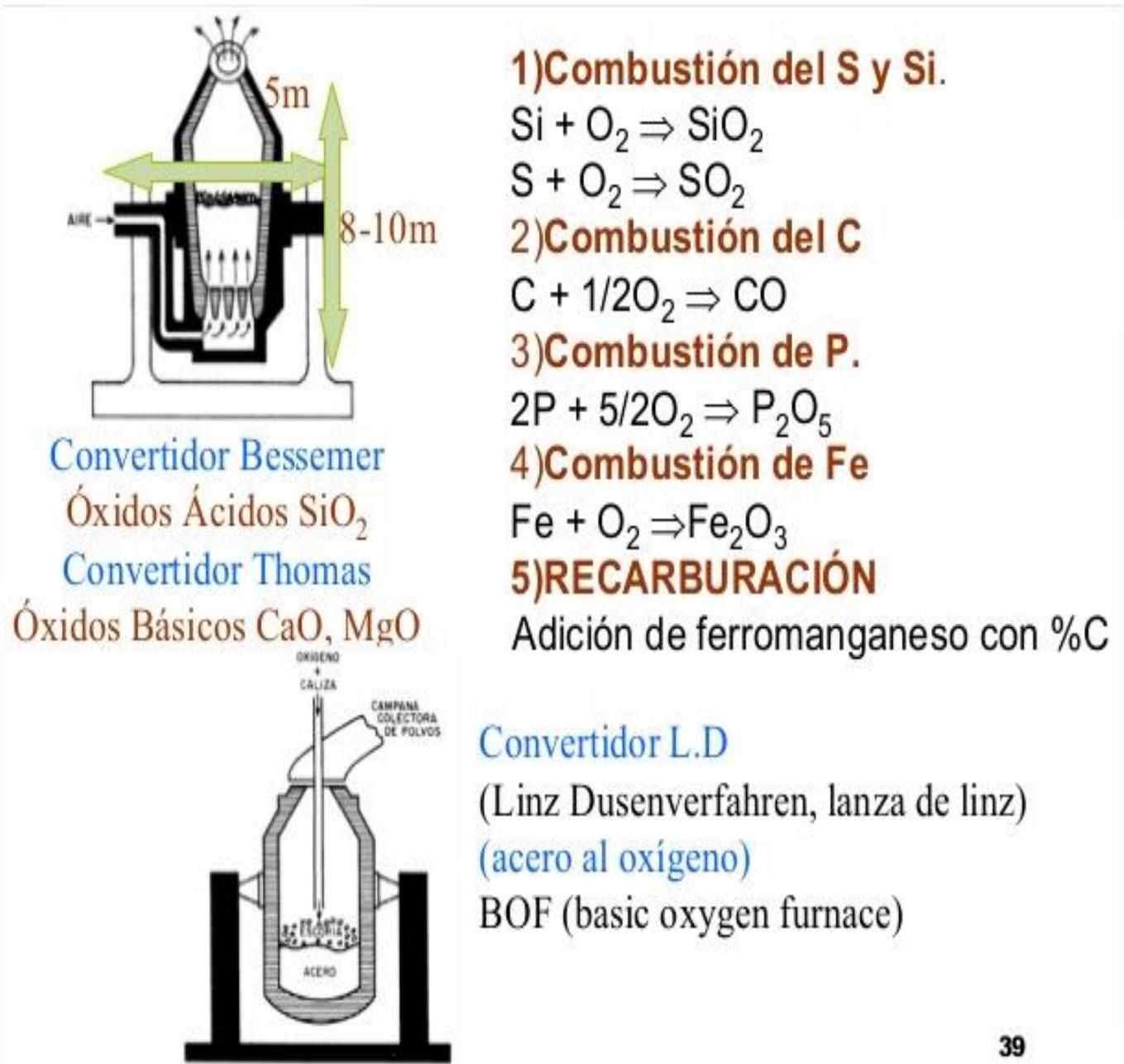


Figura. 3.17. Comparación de los procesos del afino en los diferentes convertidores.

⌘ Hornos Martin.

En los hornos Martin se elabora probablemente la mayor parte del acero producido en el mundo. En estos hornos el combustible utilizado puede ser gaseoso, líquido, sólido en polvo o sus combinaciones, las principales características que debe tener el combustible son:

- Que pueda producir una llama muy caliente, 2000°C o más; ya que el metal fundido al final del proceso tiene una temperatura de cerca de 1650°C.
- Que la llama sea lo mas radiante posible para que transmita calor por radiación al interior del horno, y así calentar el contenido de manera rápida y homogénea, y producir gases de escape mas fríos que afecten mínimamente los dispositivos de evacuación de gases.
- Que no introduzca elementos nocivos al proceso.

El horno Martin se compone de las siguientes partes principales:

- ✓ El espacio activo o de fundición (5)
- ✓ Conductos para manipular los gases de entrada y salida a ambos lados (3) y (4).
- ✓ Las cámaras regeneradoras de calor con enrejado refractario (1) y (2).
- ✓ Los mecanismos de conmutación de las cámaras de regeneración.
- ✓ Los separadores de polvo de los gases finales de escape y la chimenea (no mostrados).
- ✓ Los separadores de escoria (no mostrados)

Dentro del espacio activo o de fundición se pueden distinguir:

- ✓ La bóveda (7), la parte superior del horno
- ✓ La solera (6), que es la parte inferior del espacio de fundición.
- ✓ Las puertas de carga (8). Colocadas en la pared frontal del horno.
- ✓ Los orificios para sangrar el acero (no visibles), colocados en la pared trasera del horno.

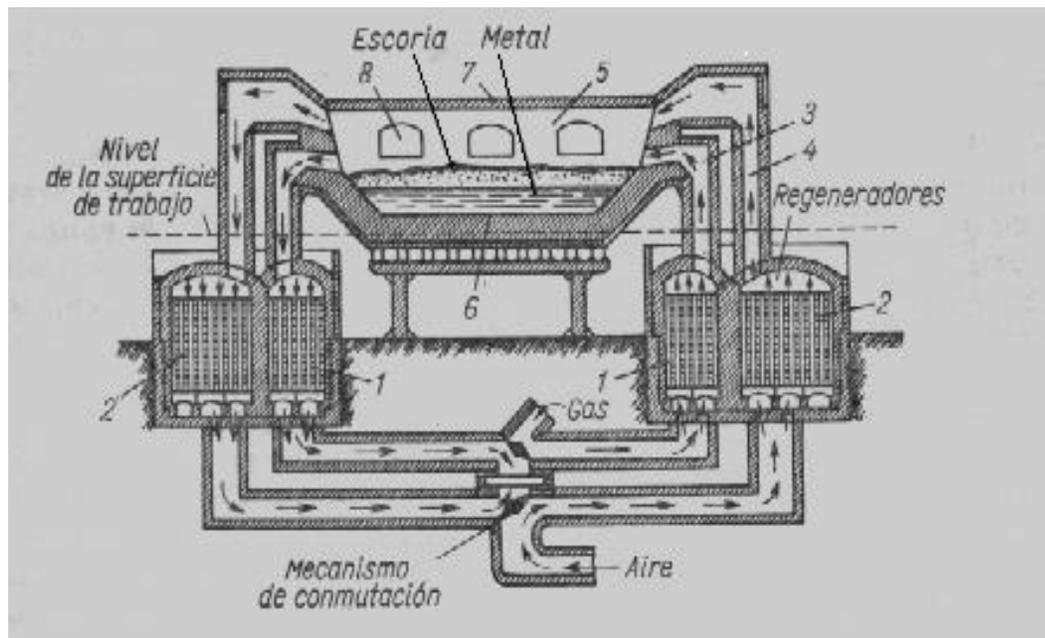


Figura. 3.18. Procesos del afino en el convertidor Horno Martin

Si asumimos ahora que el horno Martin mostrado funciona con combustible gaseoso podemos notar que hay cuatro conductos que dan acceso a la zona activa. Por el conducto 4 se insufla aire muy caliente, cuyo calor fue adquirido en el recuperador de la derecha, lo mismo con el conducto 3, pero en este caso se inyecta el gas combustible también muy caliente que ha pasado por el correspondiente regenerador. Al juntarse dentro del espacio activo con el aire, el gas se inflama produciendo la llama que calentará el metal contenido en el horno desde su superficie.

Note que los gases calientes producto de la combustión se retiran del horno por los conductos de la izquierda, estos gases calientan a su paso el enrejado refractario correspondiente a los dos regeneradores de ese lado, cuando los regeneradores de la derecha se han enfriado lo suficiente debido al paso de los gases fríos de entrada (aire y combustible) se giran los mecanismos conmutadores y se invierte el proceso. Ahora los regeneradores de la izquierda (muy calientes) calentarán los gases de entrada y los productos de la combustión calentarán los regeneradores de la derecha, obteniendo de esta manera un calentamiento continuo de los gases que entran al horno.

Mas tarde, y en dependencia de los requerimientos del acero pueden cargarse al horno nuevos fundentes y desoxidantes para retirar el azufre, agregar los elementos aleantes requeridos y se hace una última desoxidación con aluminio puro. En algunos casos se introduce al espacio activo del horno oxígeno, que favorece la oxidación de las impurezas y reduce el consumo energético.

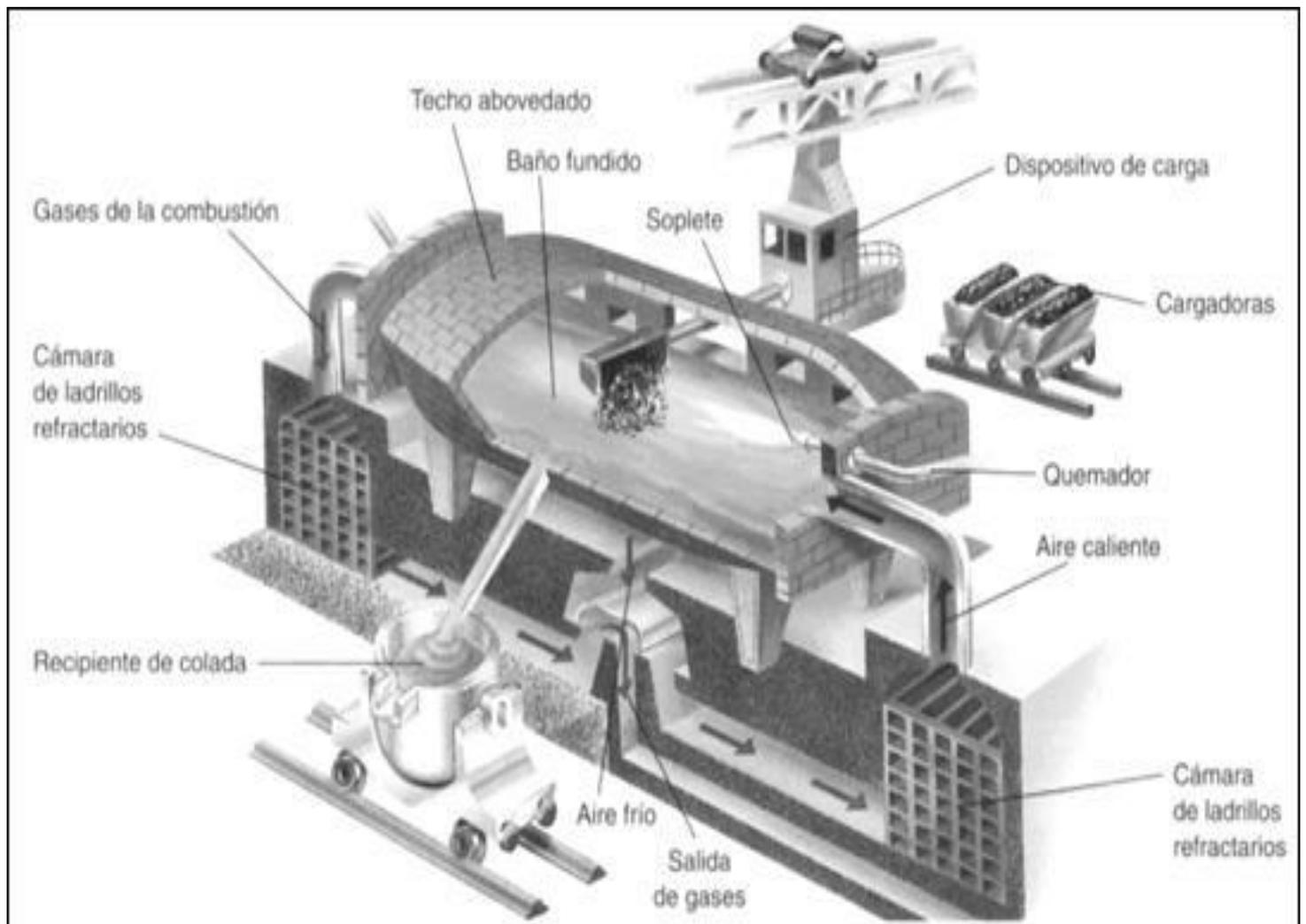


Figura. 3.18. Sección transversal del Horno Martin