

# PRODUCCION DE METALES FERROSOS



The background of the slide is a light gray gradient, decorated with several realistic water droplets of various sizes and positions. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance. The text is centered and reads:

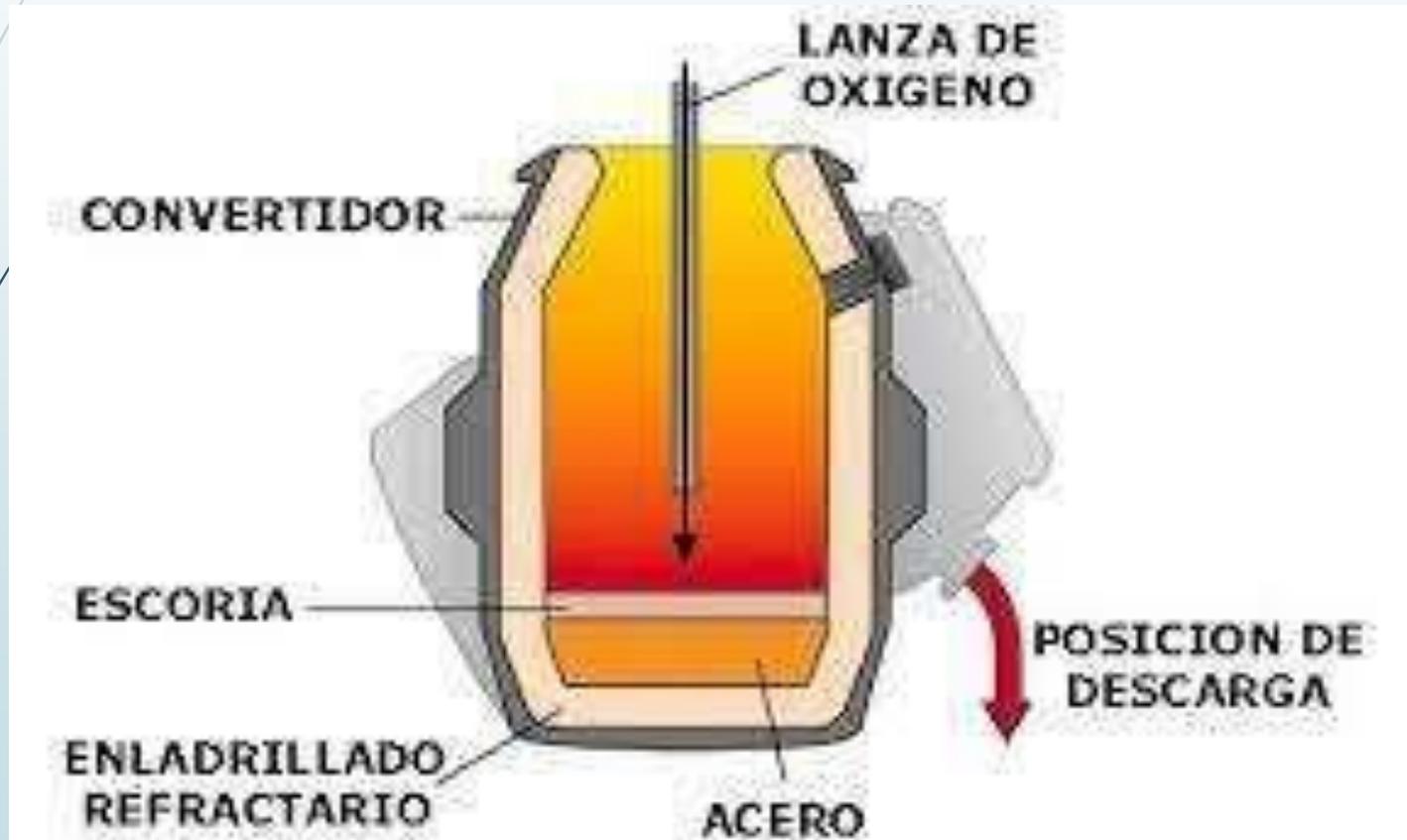
**UNIDAD III**

**PROCESOS DE**

**FABRICACION DE**

**ACERO**

# Convertidor básico al oxígeno (BOF).

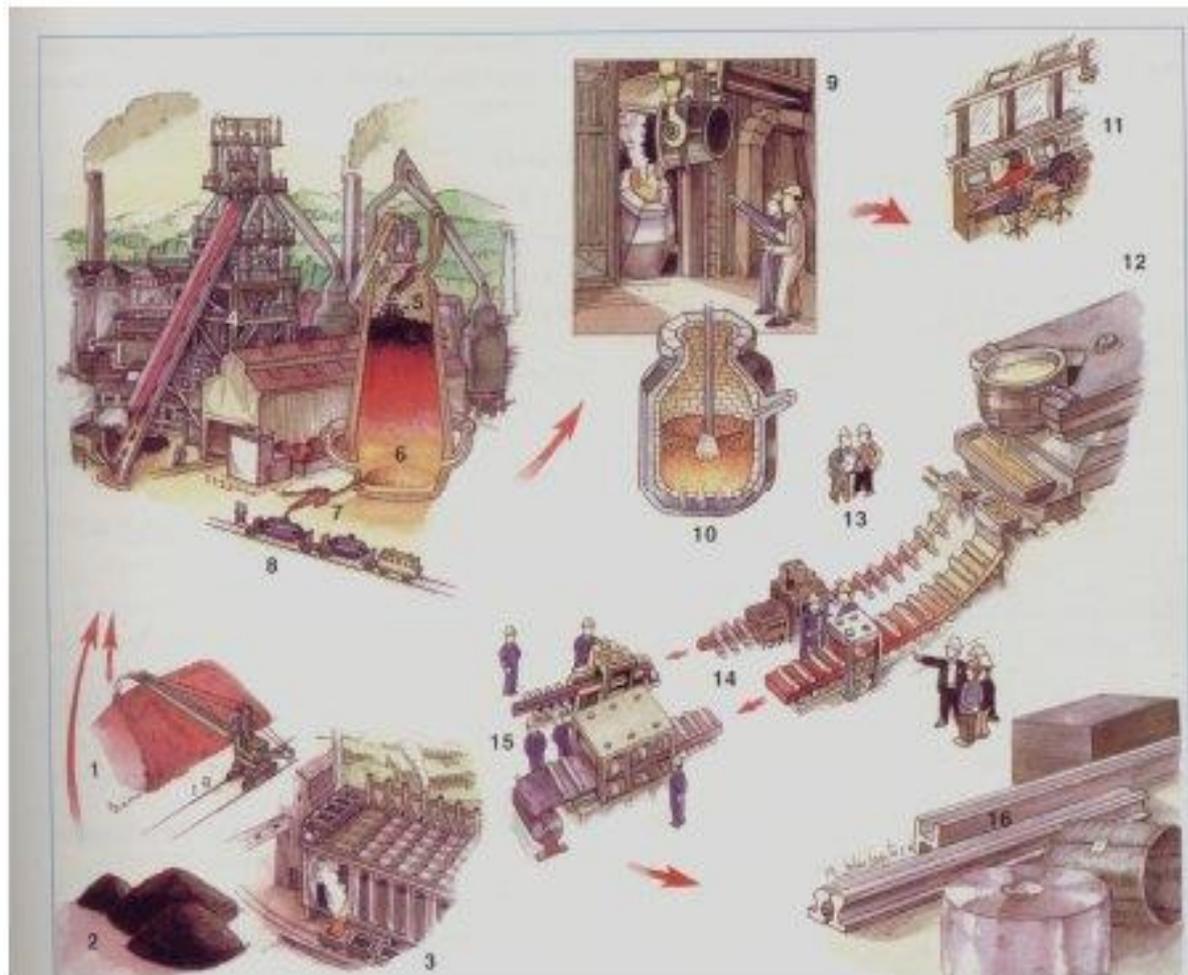




## 1.2.- PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACERO EN CONVERTIDOR BÁSICO AL OXIGENO

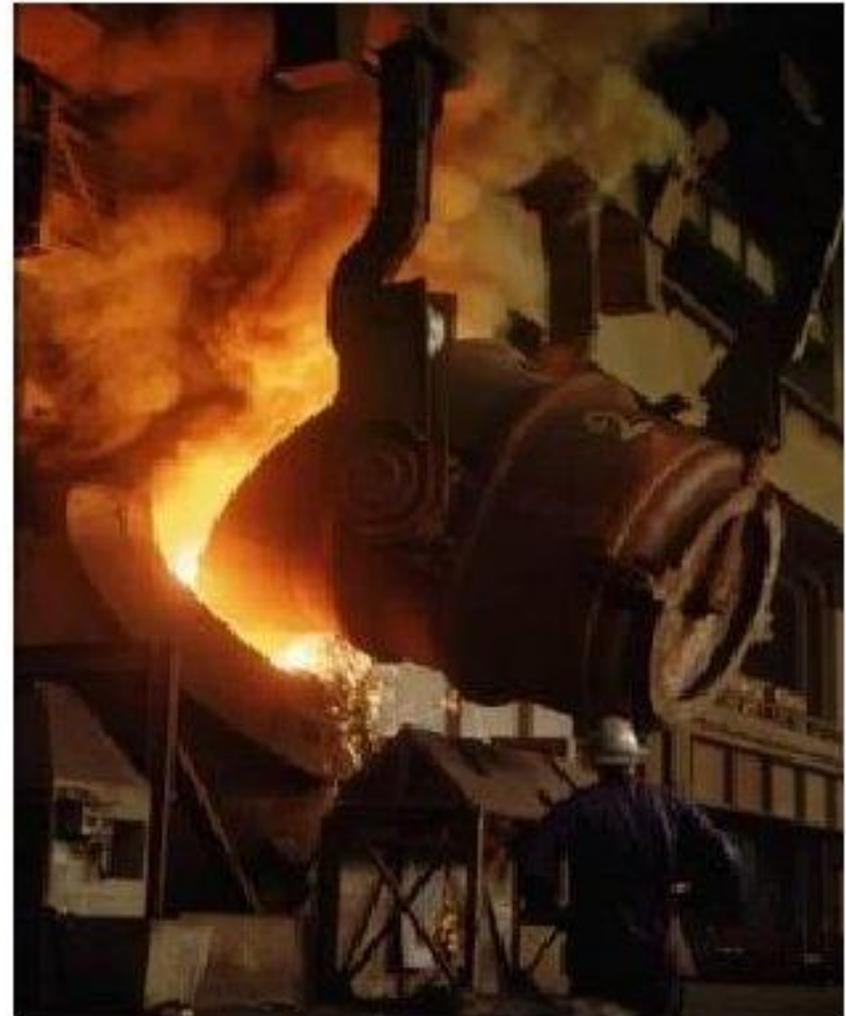
### 1.2.1.- DEFINICION.

Es donde el arrabio líquido traído directamente del alto horno es transformado en "ACERO". En Convertidores Básicos al oxígeno



## **1.2.2.- HORNO DE CONVERTIDOR OXIGENO BASICO.**

Es un horno en forma de pera revestido interiormente con ladrillo refractario y exteriormente de chapa metálica y esta sujeto por dos muñones que hace que el horno gire a  $360^{\circ}$ . Y que puede producir una cantidad aproximadamente de 300 toneladas de acero en alrededor de 45 minutos.





### 1.2.3.- MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN CONVERTIDOR BÁSICO AL OXIGENO.

Las principales materias primas son:

La cal, la chatarra metálica, la fluorita, los pelets de hierro, y el arrabio liquido traído directamente del alto horno.

### 1.2.4.- COMPOSICIÓN DEL ARRABIO.

Fe-----	93%
C-----	3% (mayor)
P-----	1%
S-----	1%
Y otros-----	4%

# Convertidor Básico al oxígeno (BOF)

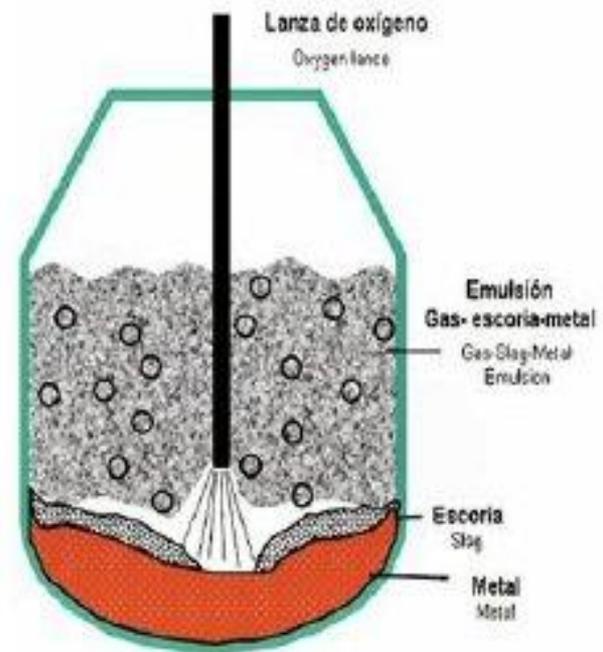


- Horno Básico de oxígeno

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 origino en Austria en 1952, fue hecho para convertir arrabio con bajo contenido de fosforo (0.3%) se bautizo con las iniciales LD Lanza de Linz.

## 1.2.5.- PROCESO

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.

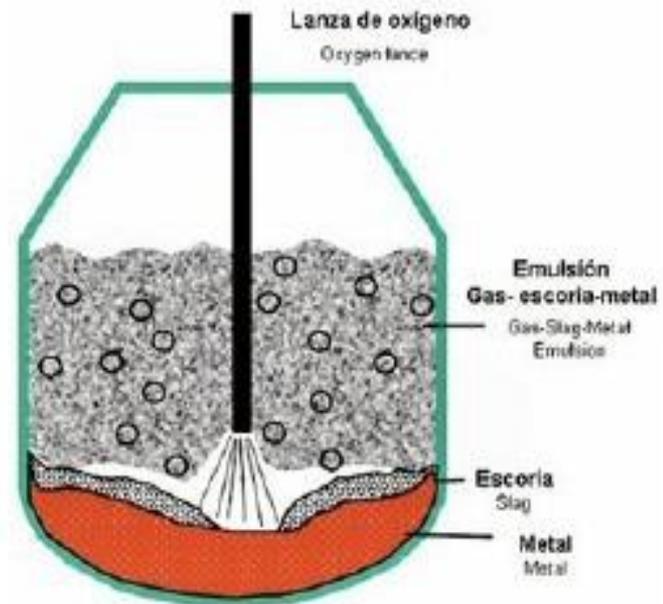


## 1.2.6.- REACCION QUIMICA

El oxígeno se combina con el carbono formando dióxido de carbono ( $O_2C$ ). y el carbono debe estar menor al 2%.

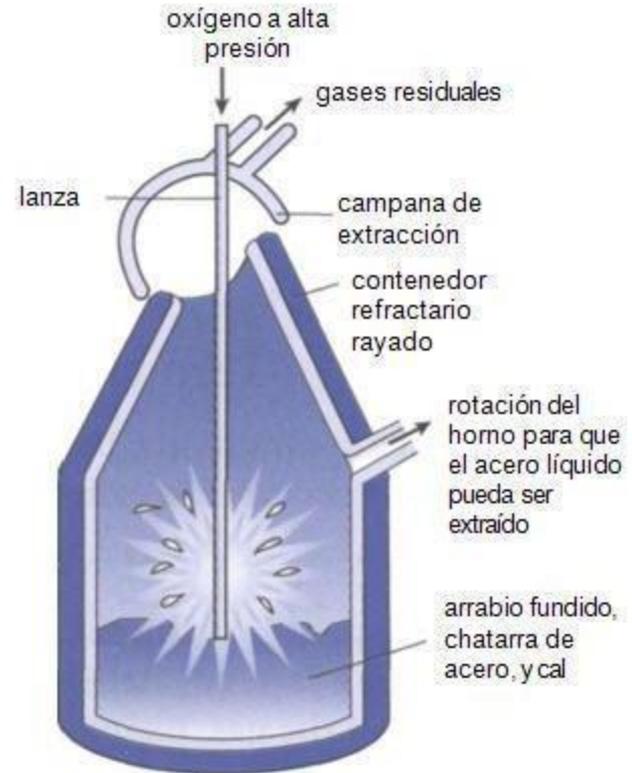
La cal elimina el fósforo, el azufre y otros elementos no deseados contenido en el arrabio.

Una vez eliminados todas las impurezas contenido en el arrabio es transformado en "ACERO".



# REACCIONES:

- De oxidación para eliminación de impurezas:
  - $C + O_2 \rightarrow 2CO_2$
  - $4P + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$
  - $Si + O_2 \rightarrow SiO_2$
  - Además se añade cal para formar: fosfato de calcio  $Ca_3(PO_4)_2$ , y silicato de calcio,  $CaSiO_3$
- Para controlar la temperatura se añade chatarra de acero.
- Para eliminar el oxígeno disuelto en acero, se añade aluminio y silicio.
- Para obtener acero de diferentes características se añaden elementos aleantes como cromo y níquel.



El convertidor L-D básico



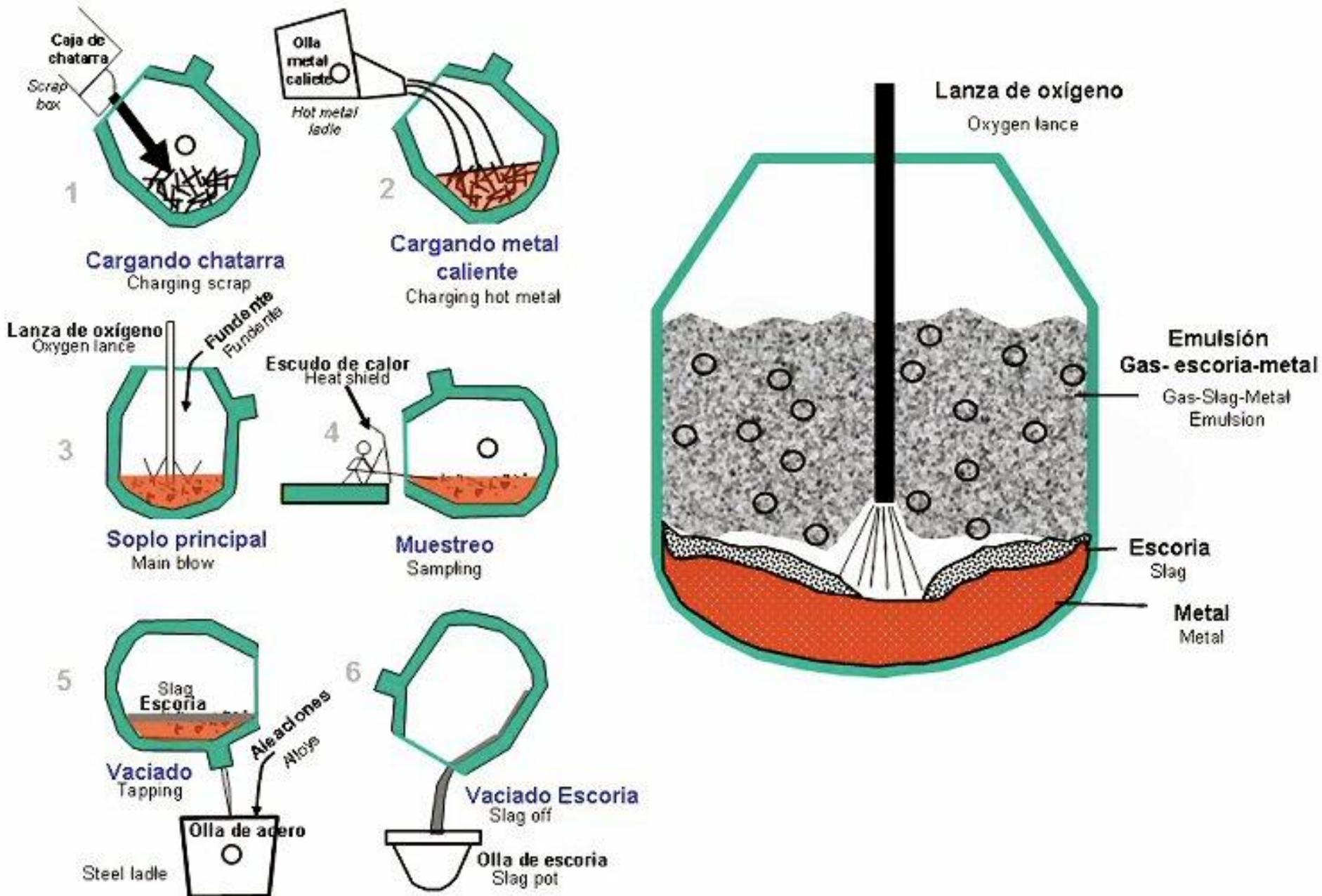






Los convertidores BOF (basic oxygen furnace) logran la refinación del arrabio empleando la misma idea de Bessemer para eliminar las impurezas y el exceso de carbono por oxidación, además de aprovechar el calor de la oxidación como fuente de energía para la fusión.

- 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.



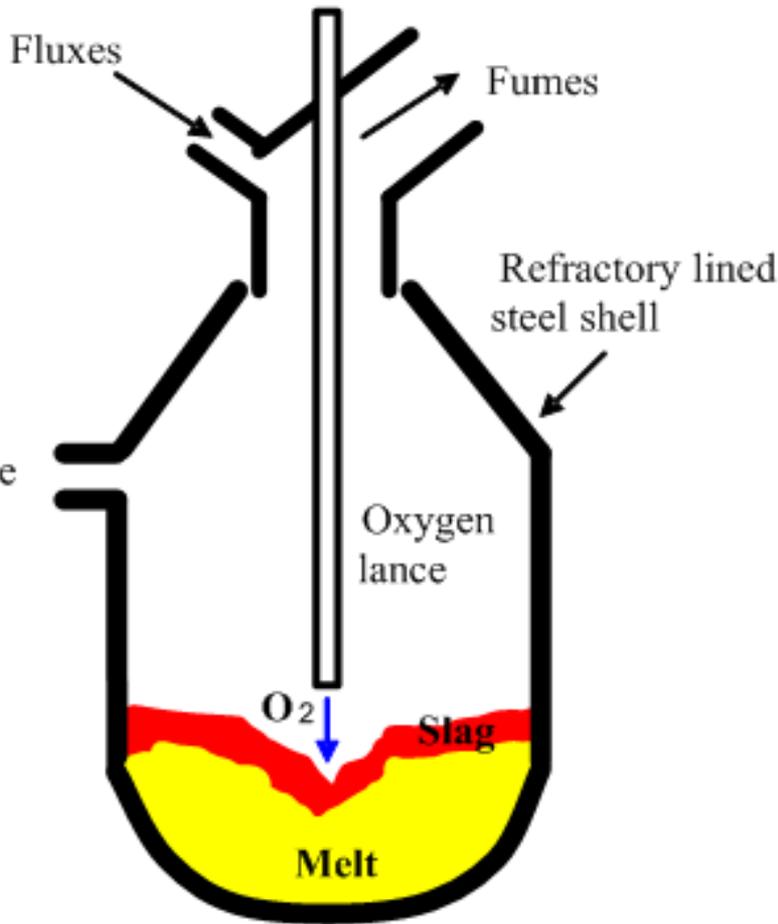


Originalmente el proceso BOF fue desarrollado en Austria para convertir arrabio con bajo contenido de fósforo (alrededor del 0.3%), y en ese tiempo se bautizó con las iniciales LD, de Linz Düsenverfahren (lanza de Linz).

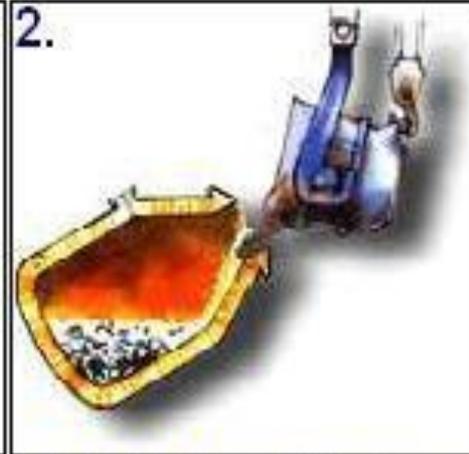
Luego la técnica se extendió, para arrabios de alto fósforo mediante la adición al chorro de oxígeno de polvo de piedra caliza.

Entonces se logró la producción de acero con arrabio de contenidos de fósforo tan altos que llegaban incluso al 2%.

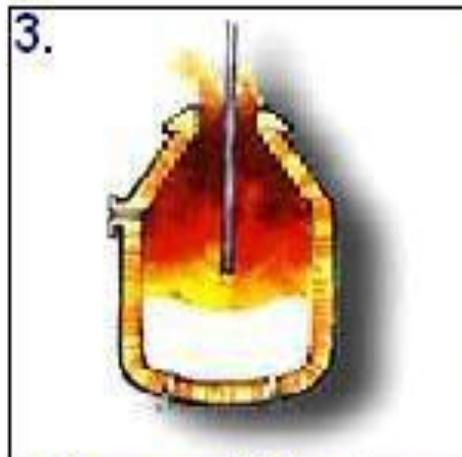
# Basic oxygen converter



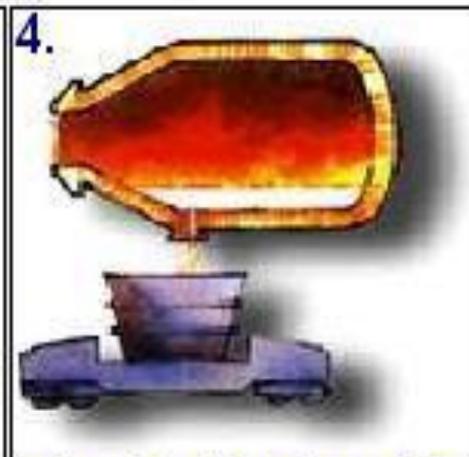
Scrap Charge



Hot Metal Charge



Oxygen Blowing



Tap Out & Transfer to Ladle Metallurgy Facility

# Acería de Convertidores al oxígeno



*Acería de  
Convertidores al Oxígeno*



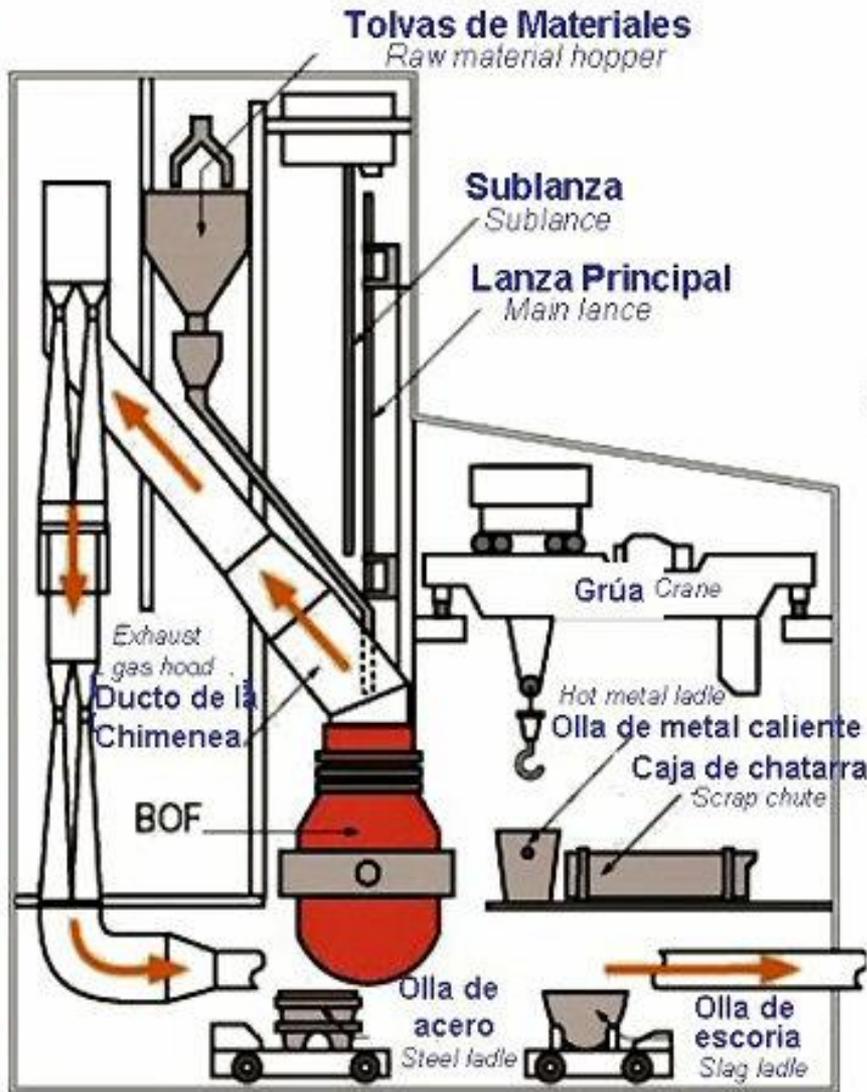
### 1.2.7.- COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO.

Fe	-----	98%
C	-----	2%
P	-----	0.005%
S	-----	0.005%
Y otros	-----	0.005%

El acero liquido todavía no está ajustado en esta etapa por que el porcentaje de (C) está próximo al 2%. Y este pasa a otra etapa que es el afino de acero.



- 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.

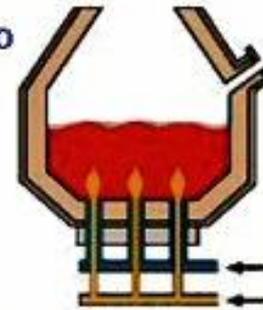


## Tipos de Convertidores

**Soplo por arriba**  
*Top blown vessel*



**Soplo por el fondo**  
*Bottom blown vessel*



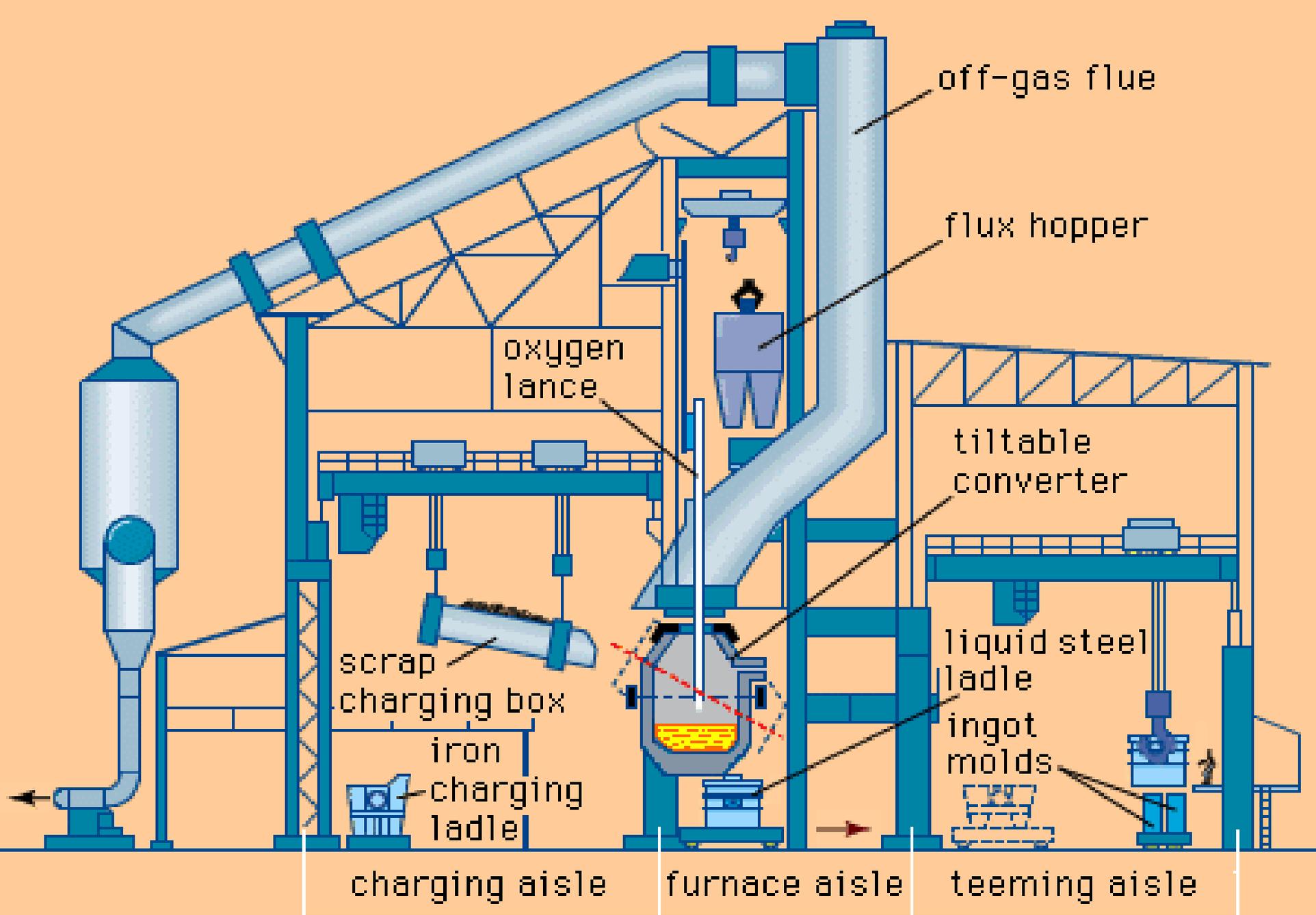
**Soplo por arriba y por el fondo**  
*Top and bottom blown vessel*



**Gas de salida**  
*Exhaust gas*



- 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.

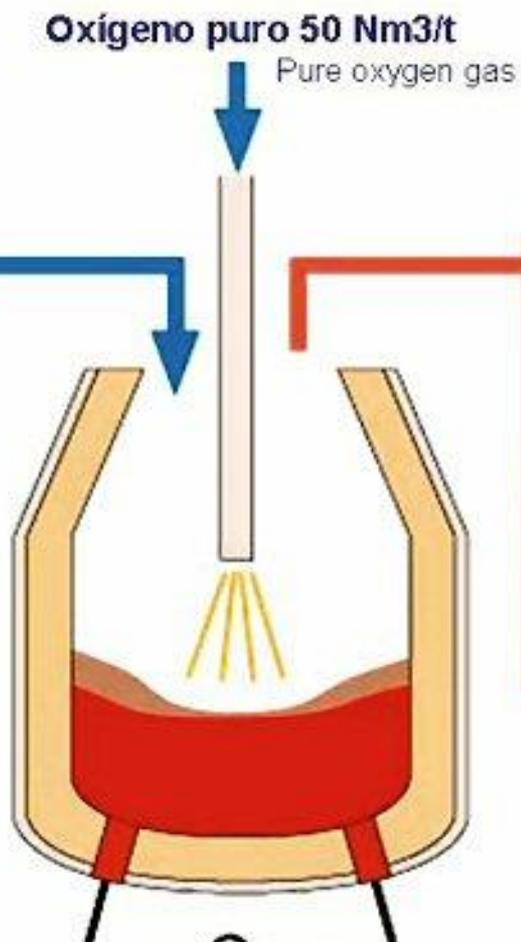


# Parámetros de la acería BOF

# Parameters of BOF Steelmaking

Carga de Materiales de entrada Charging raw materials (kg/t)		
Metal caliente <i>Hot metal</i>		1,033
Chatarra Scrap	280	
Arrabio sólido Pig Iron	4	
Cal Burnt Lime	23	
Ferroaleaciones <i>Ferroatloy</i>	11	
Dolomita Dolomite	8	

Composición del Metal Caliente (desp. Tratam.) (% en masa) Composition of Hot Metal (after treatment) (mass%)					
C	Si	Mn	P	S	
4.3	0.01	0.20	0.04	0.01	



Cantidad de gas colectado Amount of gas collected
101 Nm³/t

Composición del gas (vol %) Gas composition (vol. %)				
CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	
4.3	0.01	0.20	0.04	

Cantidad de escoria producida Amount of slag produced
50 kg/t

Composición del acero líquido Composition of molten steel					
C	Si	Mn	P	S	
0.04	0.01	0.15	0.01	0.007	

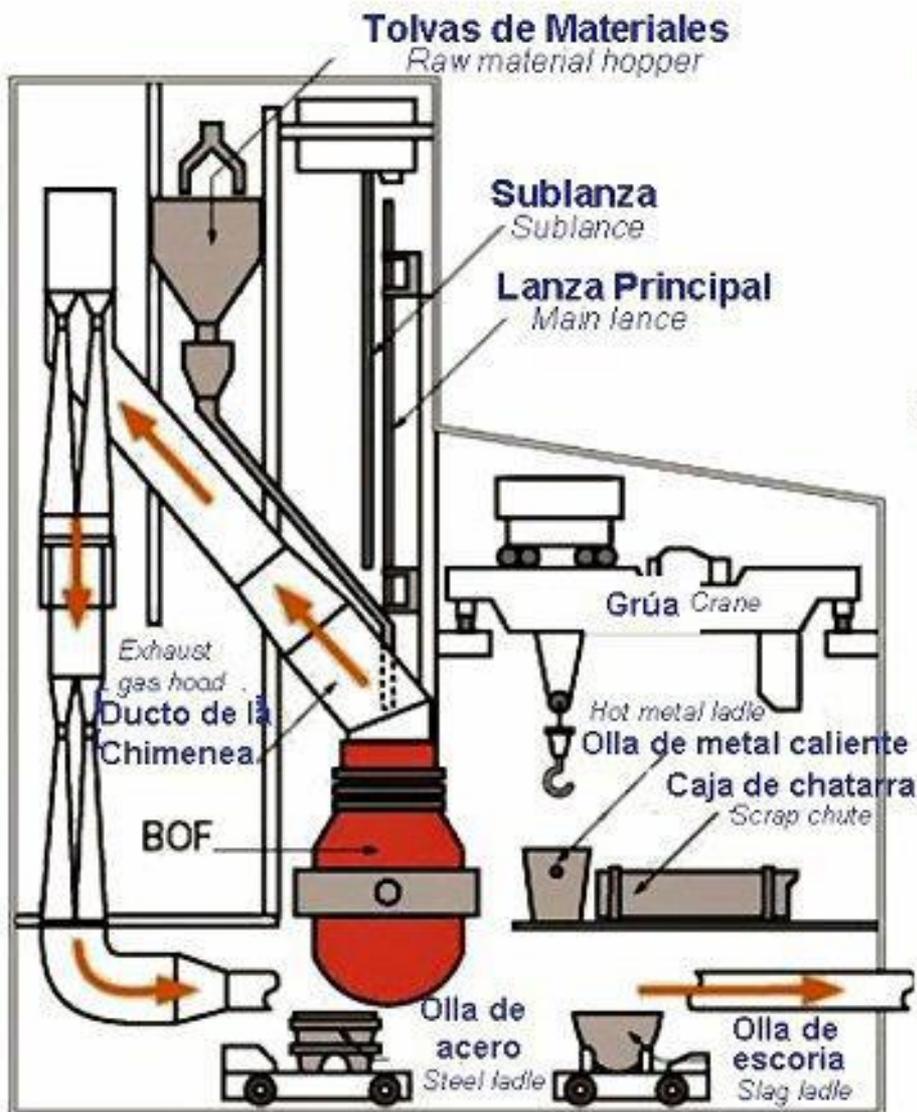
Gas inerte (Ar, N<sub>2</sub>) } 1.6Nm<sup>3</sup>/t  
CO, CO<sub>2</sub>  
*inert Gas*

↓  
Para refinación secundaria  
*To secondary refining*

INDUSTRIAS QUÍMICAS II

EXPTE. D. Y U. NO. 9833  
DEP. LEGAL M-34. 542-83

AUTORIZADA PARA  
AUTOSALINEACIONES



## Tipos de Convertidores

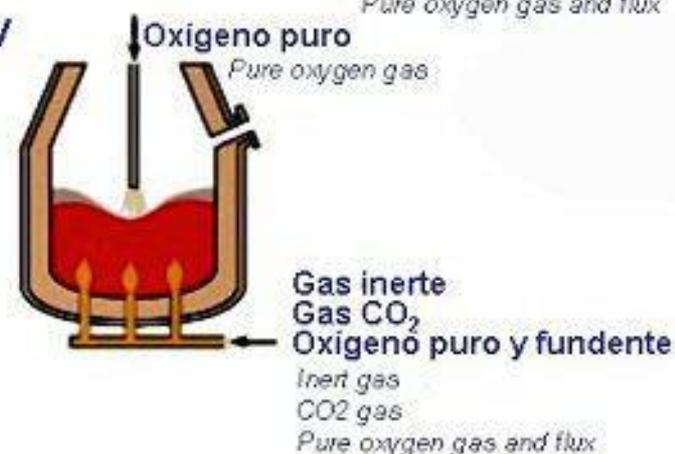
**Soplo por arriba**  
*Top blown vessel*



**Soplo por el fondo**  
*Bottom blown vessel*



**Soplo por arriba y por el fondo**  
*Top and bottom blown vessel*



# ACERO : Producción de acero en Convertidores

- ❖ Convertidor Bessemer
- ❖ Convertidor Thomas
- ❖ Convertidor L.D
- ❖ El método del bajo hogar o Siemens Martins.



# Convertidor LD

- Dispositivo que permite obtener acero por soplado de oxígeno. Se insufla oxígeno a presión hasta la superficie del metal fundido mediante una lanza refrigerada por agua.

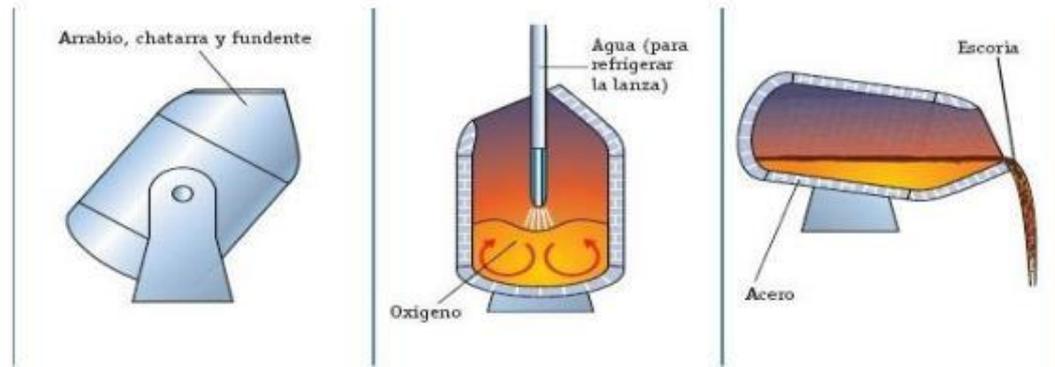
- Fases:

**Llenado:** Se introduce en el convertidor, en primer lugar, el arrabio líquido procedente del horno alto; a continuación, la chatarra de acero y, finalmente, el fundente encargado de formar y arrastrar la escoria.

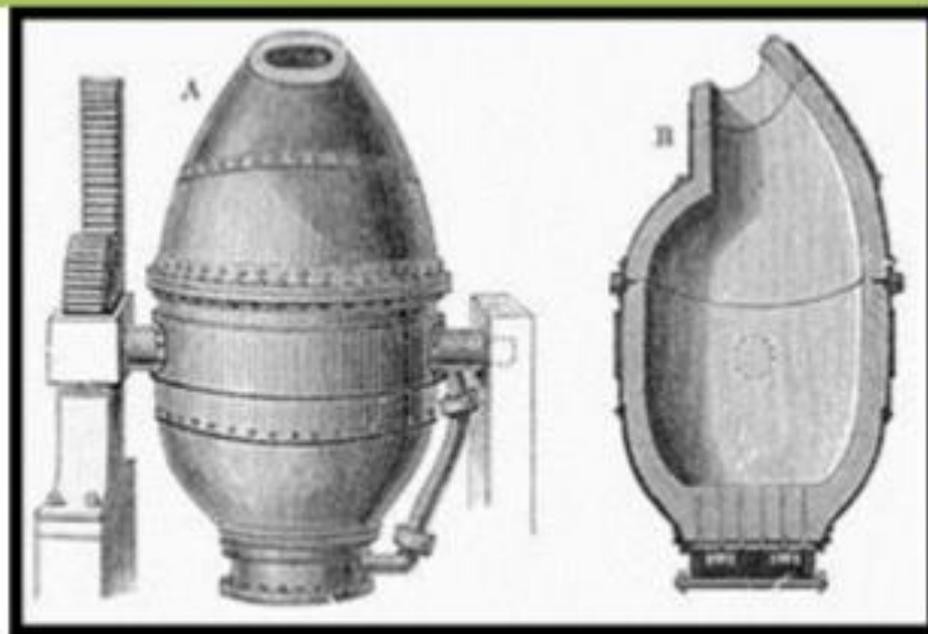
**Afino:** Se inyecta oxígeno mediante la lanza (refrigerada a una presión de 12atm.). Esto produce una reacción que reduce el contenido de carbono (proceso muy rápido y a altas temperaturas). Al mismo tiempo, se elimina el exceso de fósforo, azufre y silicio.

Al final del proceso, se añaden distintos aleantes dependiendo de las propiedades que queramos obtener en ese acero.

**Vaciado :** Se elimina la escoria (mezcla de óxidos metálicos, aunque puede contener sulfuros) y se vacía el acero.



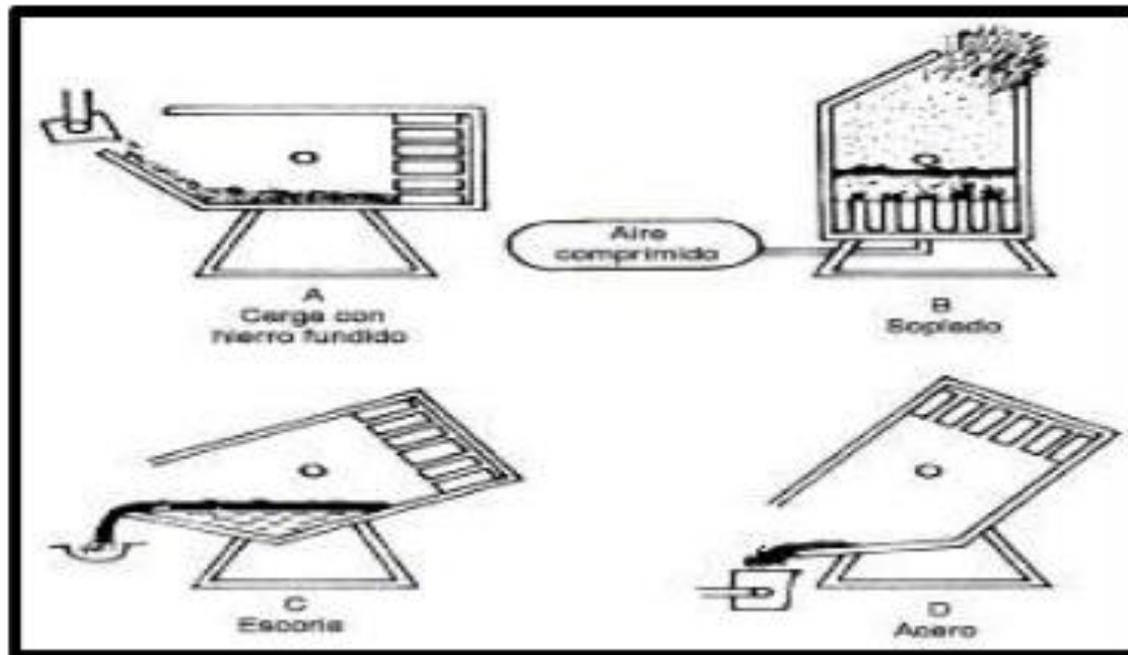
## CONVERTIDOR THOMAS - BESSEMER



- \* El aparato ideado por el inglés Henry Bessemer se llama convertidor por cuanto convierte el arrabio ya procesado, es decir, *la fundición*, en acero o en hierro.

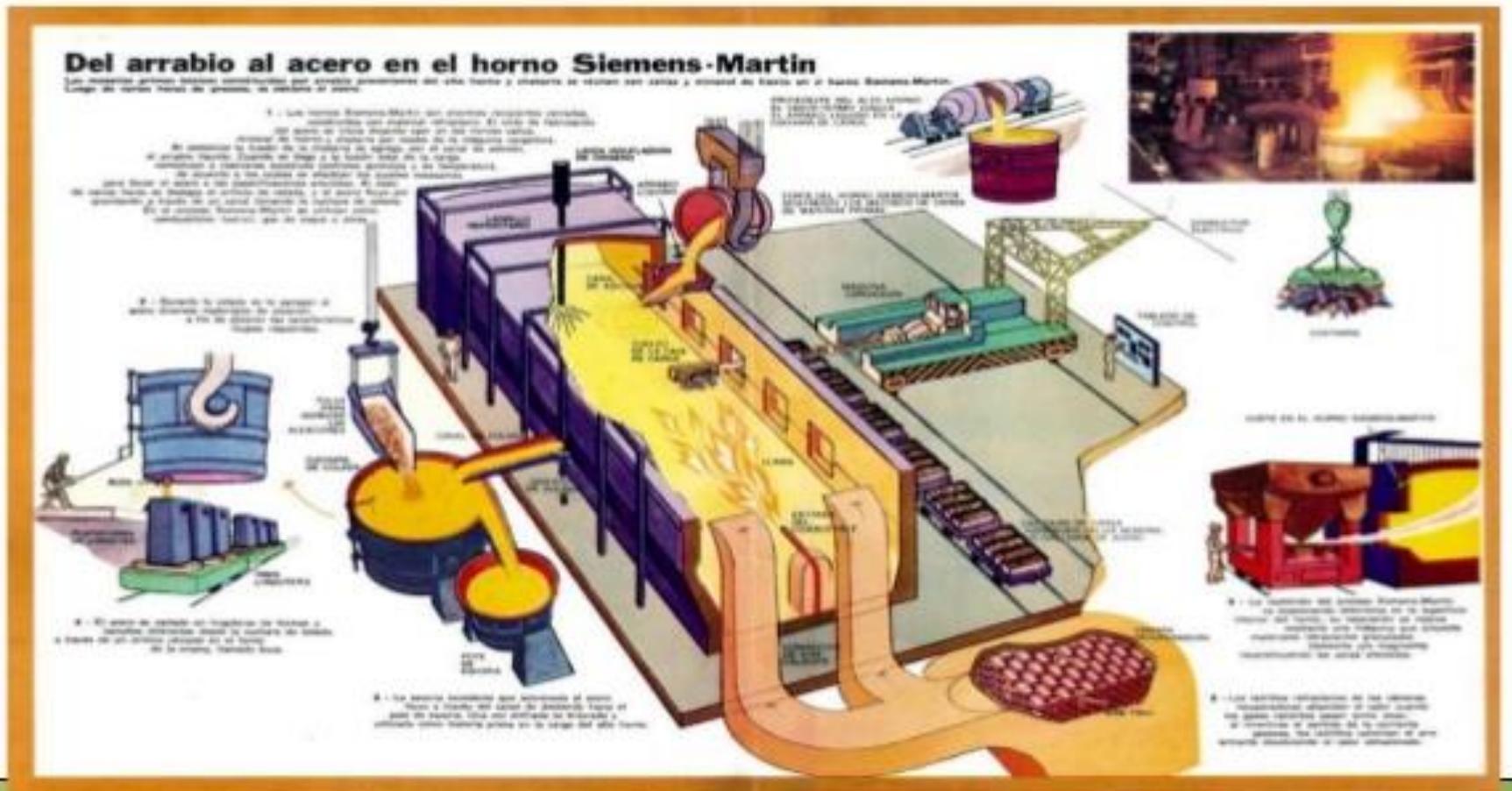
# CONVERTIDOR THOMAS - BESSEMER

Bessemer diseñó (1856) un convertidor en el que se soplaba aire en una masa de hierro fundido para reducir su cantidad de carbón y transformarlo directamente en acero, reduciendo notablemente el costo de producción.



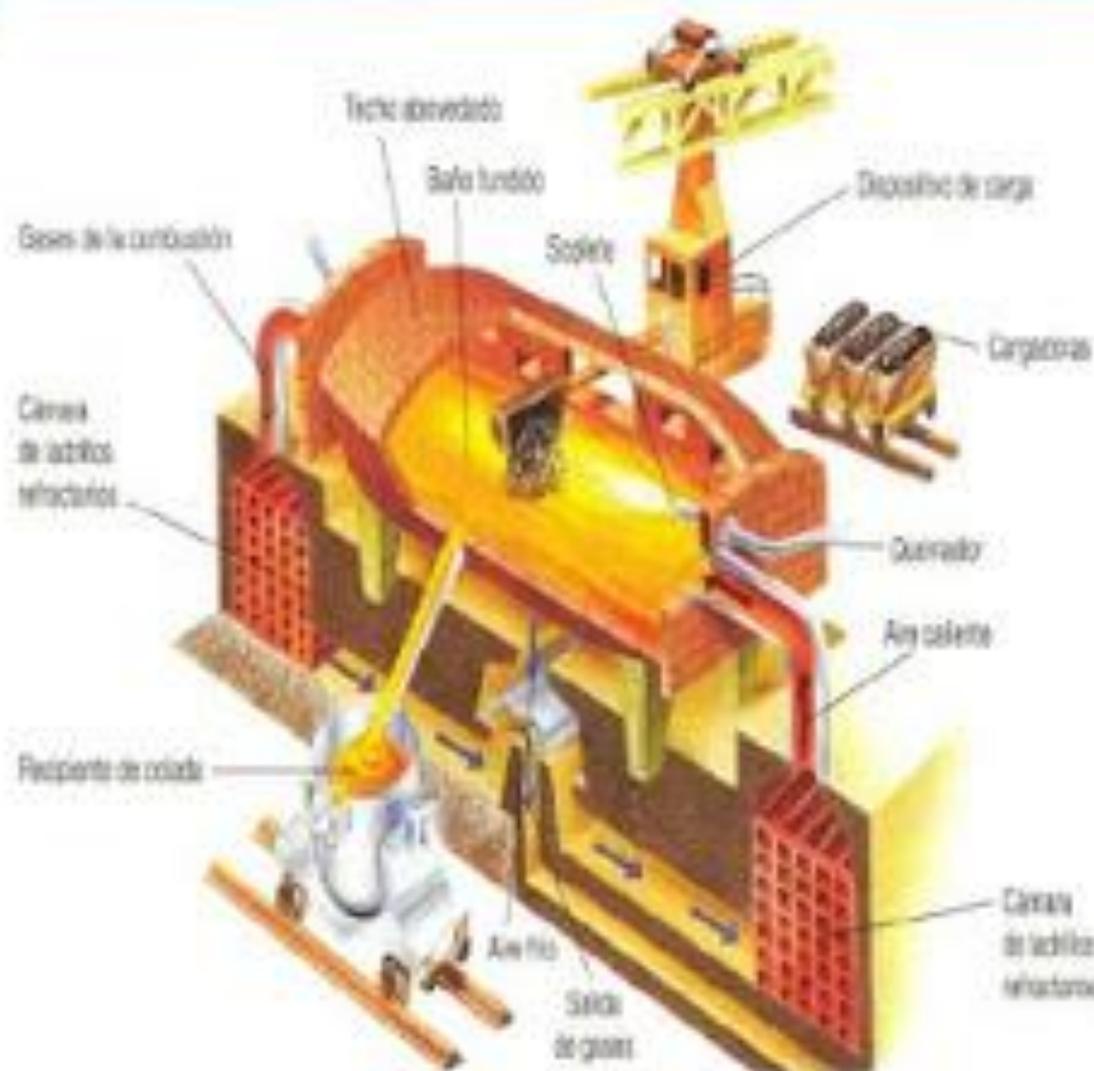
● La bóveda:

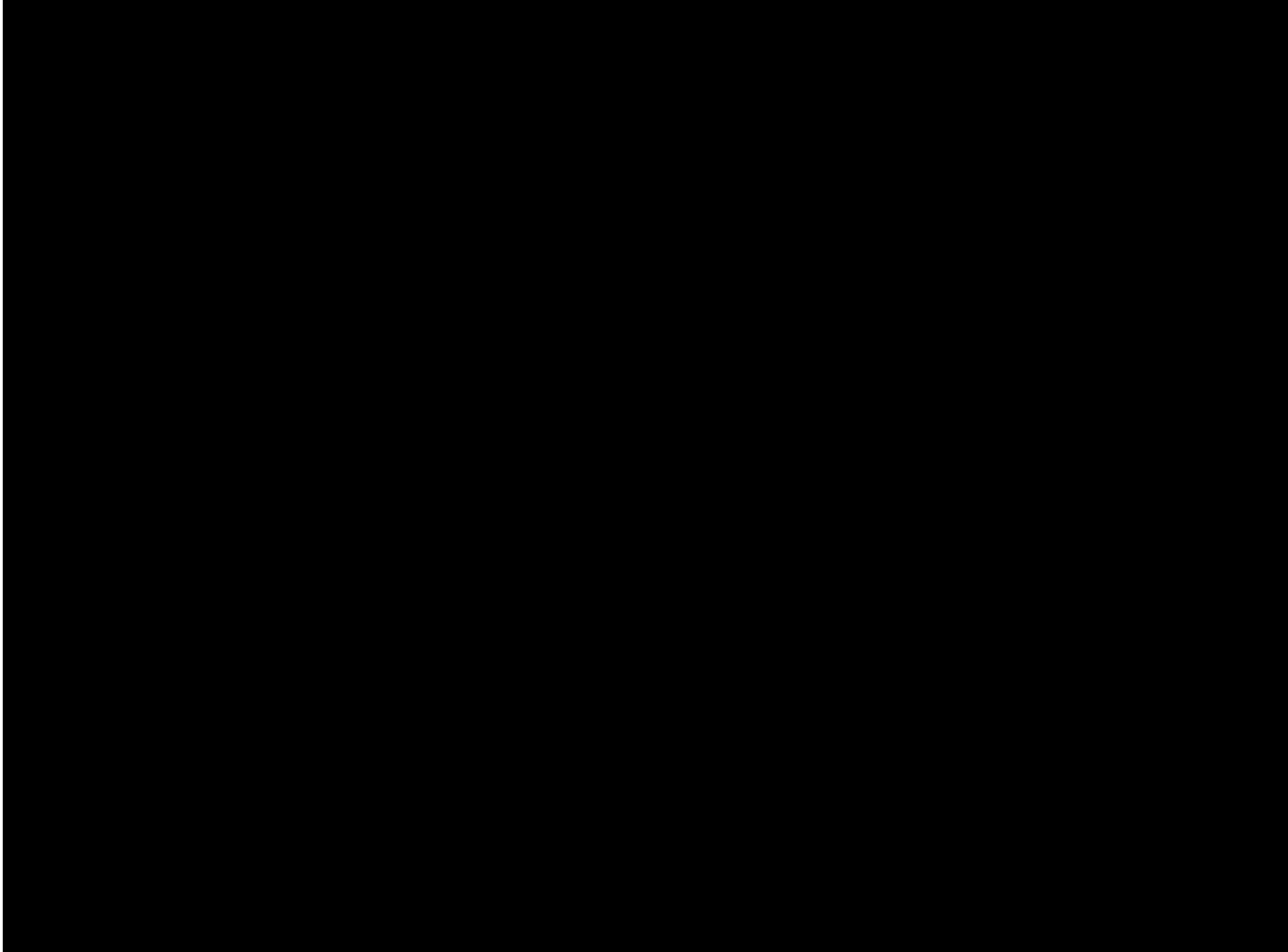
es de ladrillos silíceos. Su misión es dirigir el calor por radiación sobre la solera.[4]



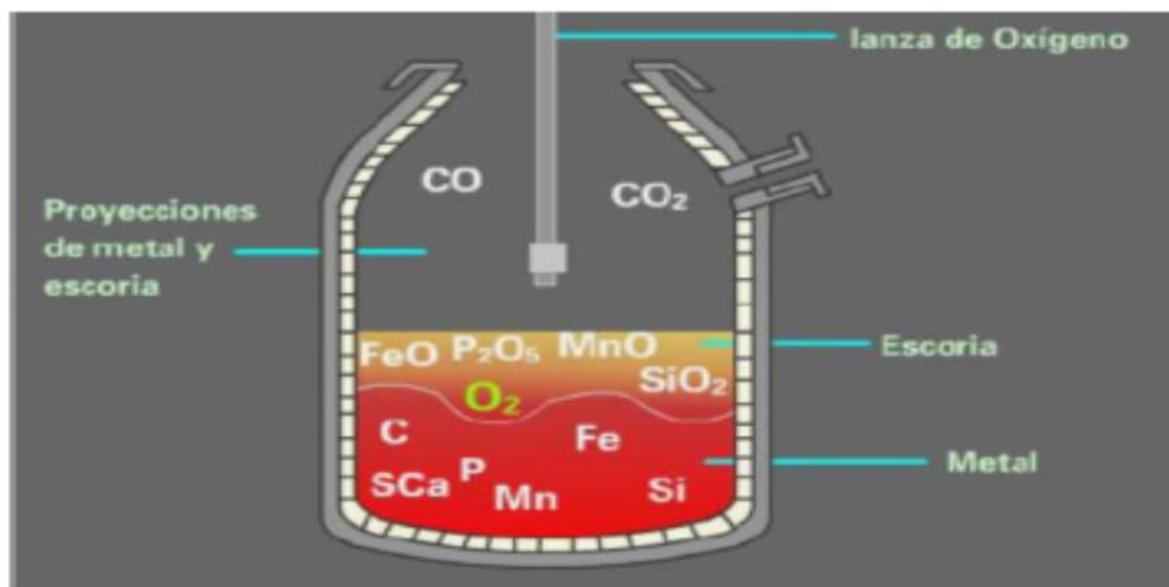
## Proceso de Afino en horno Martin-Siemens o de hogar abierto:

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





# 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 Nm<sup>3</sup> 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

	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% CO<sub>2</sub>
- 8 Kgs. de O<sub>2</sub>/ton arrabio se consumen en la formación de óxidos de hierro.
- Pureza O<sub>2</sub>: 99.5%

## Otros datos: Pesos Atómicos

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

Determinar: Necesidades de O<sub>2</sub> para obtener el acero

1) Eliminación del Carbono:

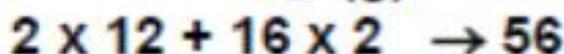
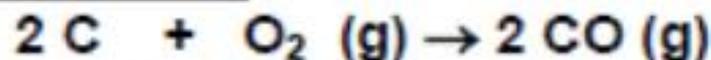
$$\text{C arrabio} - \text{C acero} = 4,3\% - 0,06\% = 4,24\%$$

$$4,24\% \times (1000 \text{ kg}/100) = 42,4 \text{ kg. C / ton. arrabio}$$

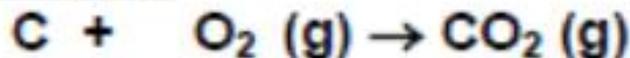
42,4 kg.:            38,16 kg. Se eliminan con el CO (90 %)

                          4,24 kg. Se eliminan con el CO<sub>2</sub> (10%)

1.a) Como monóxido de carbono:



1.b) Como anhídrido carbónico:

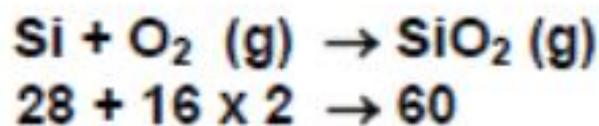


El total de oxígeno es:            50,9 + 11,3: **62,2 kg. O<sub>2</sub> / ton. arrabio**

## 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



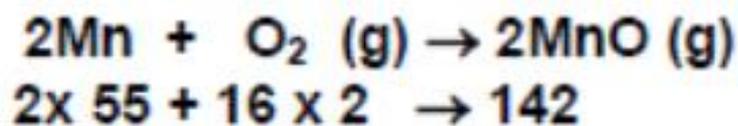
28 kg de Si → 32 kg O<sub>2</sub>

12 kg de Si → X = **13,71 kg. O<sub>2</sub> / ton. arrabio**

## 3) Eliminación del Manganeso:

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

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



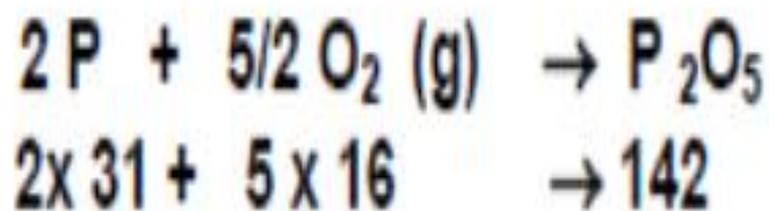
110 kg de Mn → 32 kg O<sub>2</sub>

8 kg de Mn → X = **2,33 kg. O<sub>2</sub> / ton. arrabio**

#### 4) Eliminación del Fósforo:

$$P \text{ arrabio} - P \text{ acero} = 0,1 \% - 0,015 \% = 0,085 \%$$

$$0,085 \% \times (1000 \text{ kg}/100) = 0,85 \text{ kg. de P/ ton de arrabio}$$



$$62 \text{ kg. de P} \quad \rightarrow 80 \text{ kg. } O_2$$

$$0,85 \text{ kg. de P} \quad \rightarrow X = 1,1 \text{ kg. } O_2 / \text{ton. arrabio}$$

## NECESIDADES TOTALES DE OXIGENO ( kg. O<sub>2</sub> / ton. arrabio)

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

1 molécula – gramo (mol) de O<sub>2</sub> = 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.

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

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

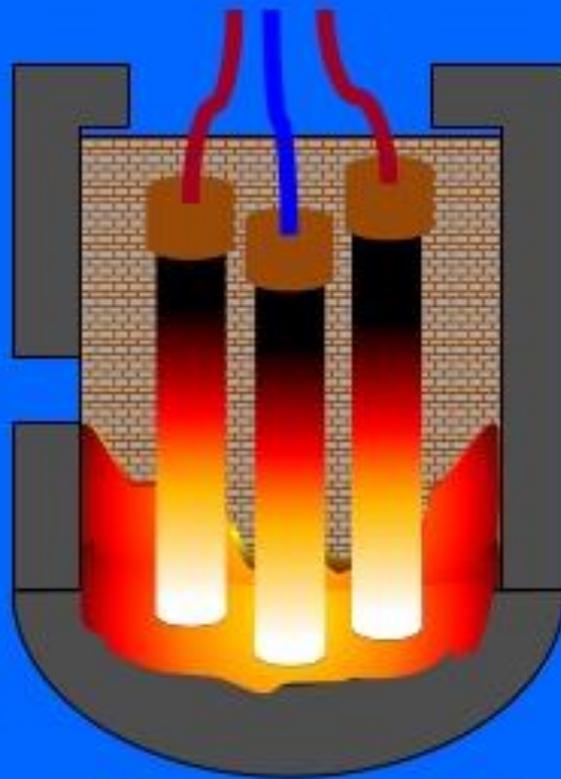
$$\text{ARRABIO} = 0,7 \times 180 = 126 \text{ toneladas de arrabio.}$$

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

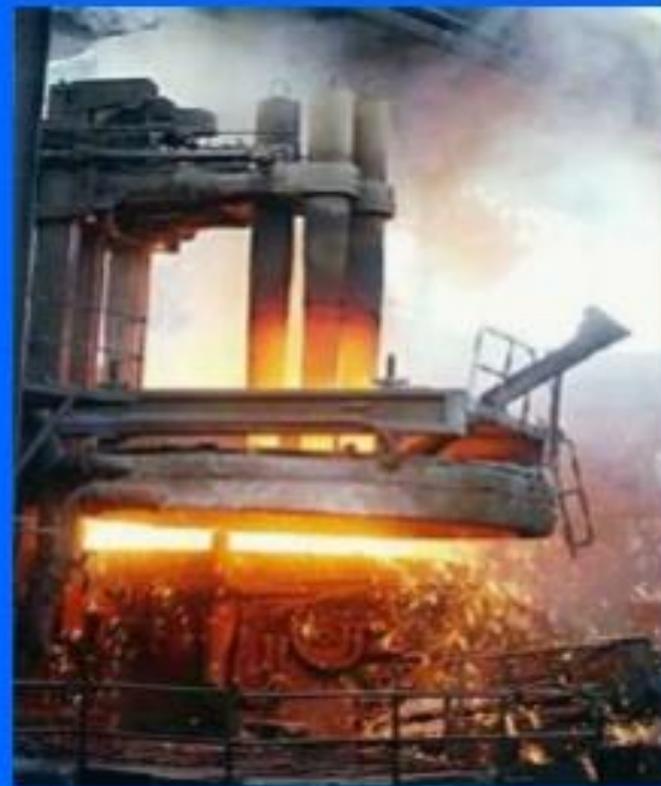
$$\text{Cantidad de O}_2: 7736.4 \text{ Nm}^3$$



# HORNO ELÉCTRICO DE ARCO (HEA)



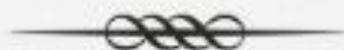
HORNO DE ARCO ELECTRICO





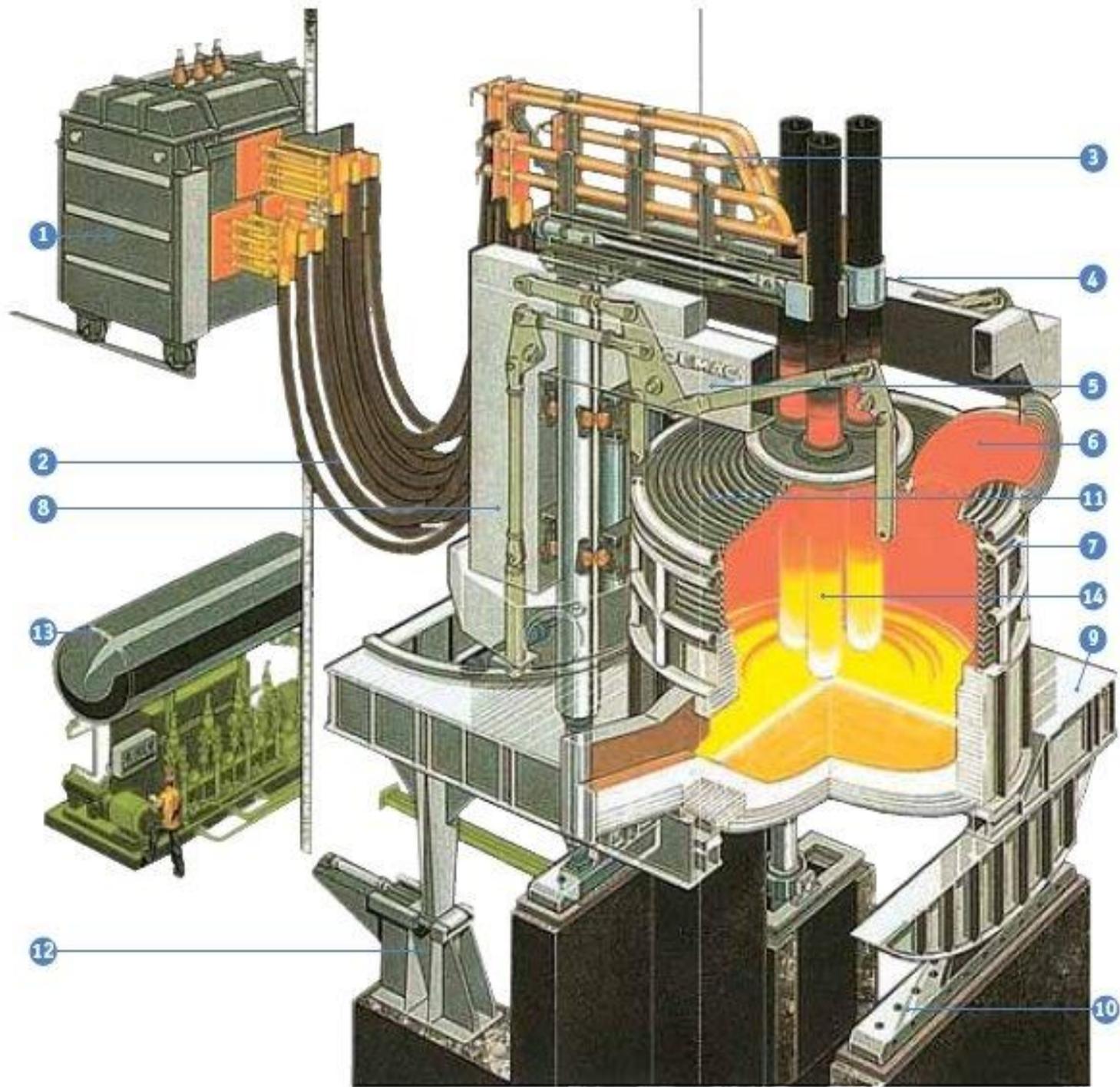
Carga eléctrica:  
115 millones de vatios

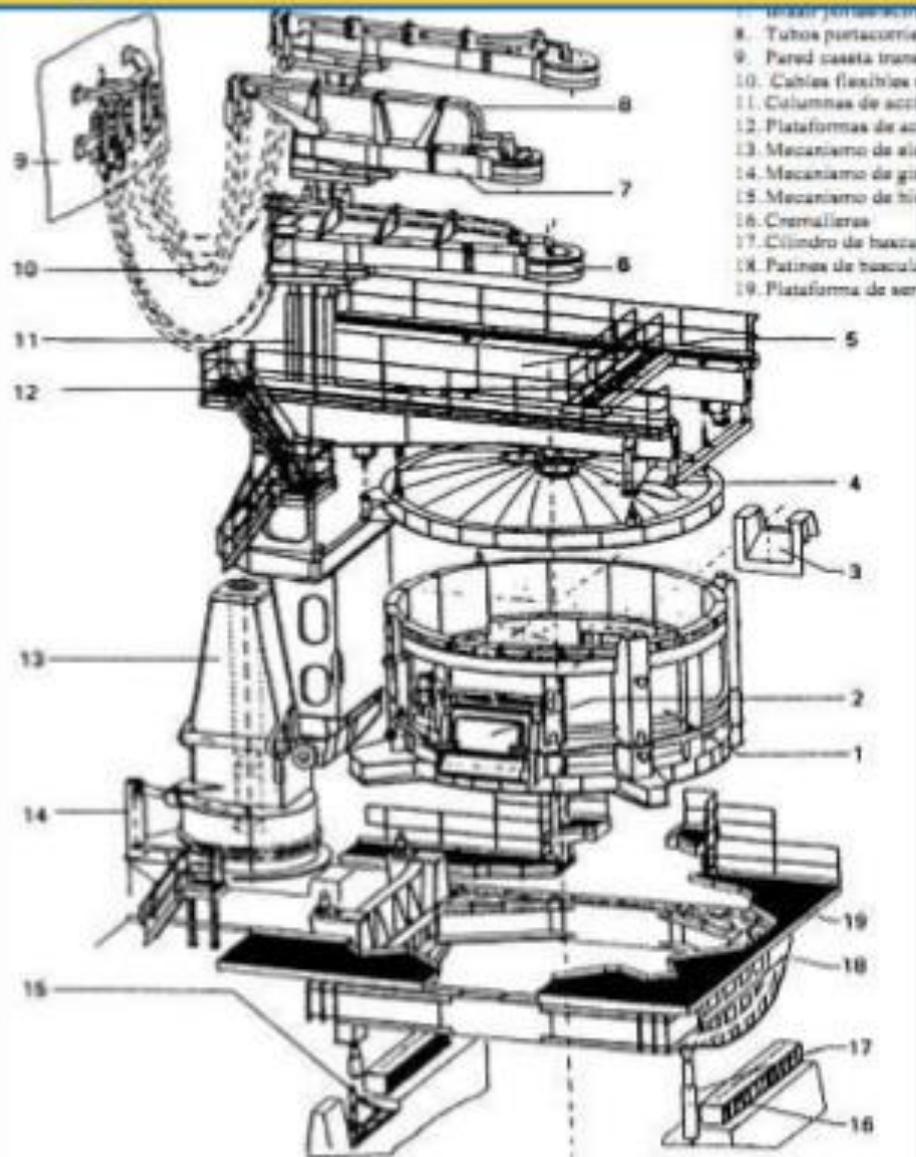
# ¿Qué es?



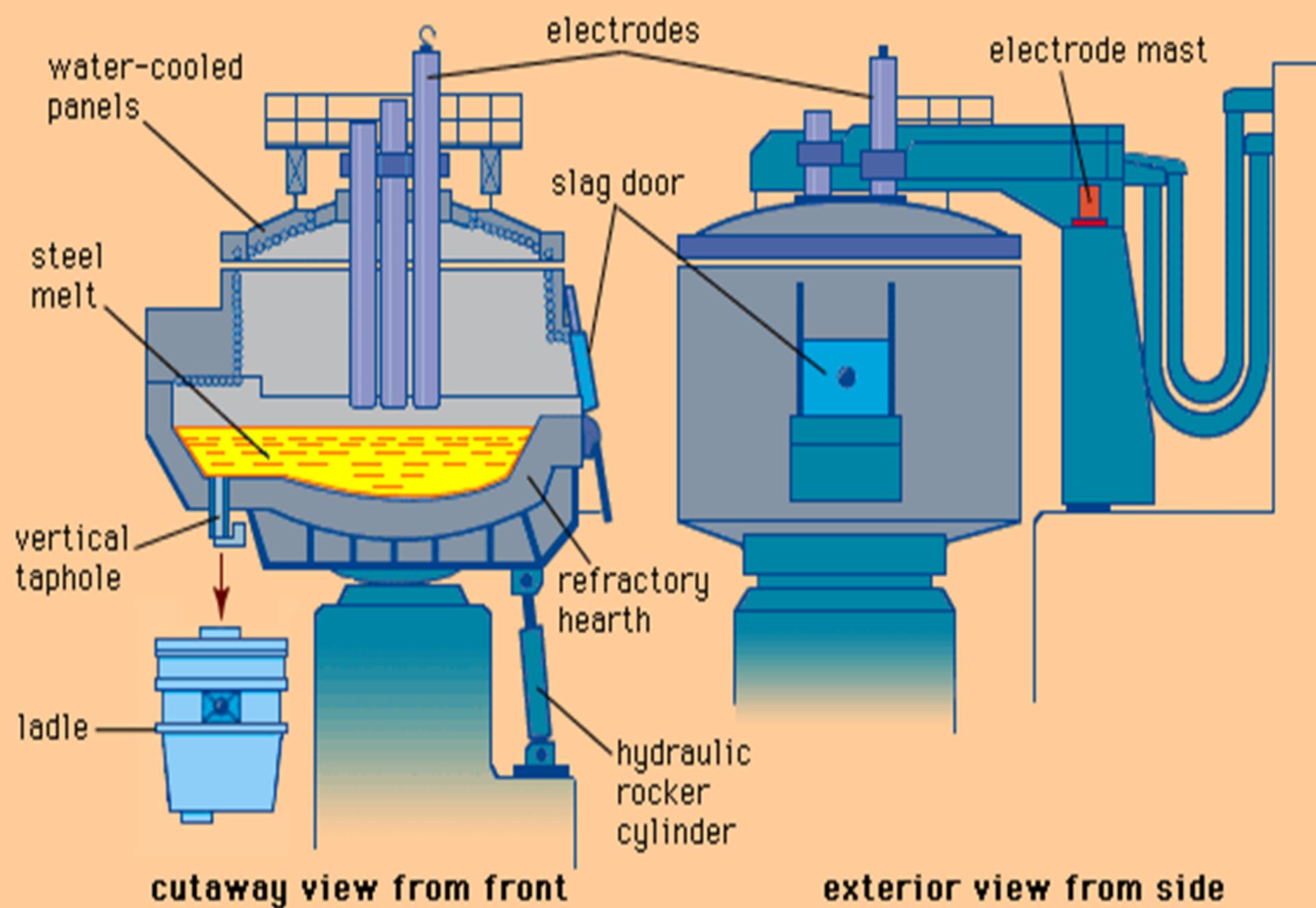
- ☞ Un horno de arco eléctrico es aquel horno, que como su nombre lo dice, se calienta a travez de un arco eléctrico.
- ☞ Es el más versátil de todos los hornos para fabricar acero. No solo puede proporcionar temperaturas hasta 1930 C, sino que también puede controlarse eléctricamente con un alto grado de presición. Debido a que no emplea combustible alguno, no se introduce ningún tipo de impurezas. El resultado es un acero de lo más limpio.

- 1 Transformador
- 2 Conexión de cable flexible
- 3 Brazos de los electrodos
- 4 Sujeción de los electrodos
- 5 Pórtico con brazos
- 6 Salida de humos refrigerada
- 7 Paneles refrigerados
- 8 Estructura
- 9 Estructura oscilante
- 10 Cremallera
- 11 Bóveda refrigerada
- 12 Dispositivo del volteo
- 13 Grupo hidráulico
- 14 Electrodos





1. Cuba de horno
2. Puerta de escoria del horno
3. Piquera
4. Bóveda
5. Estructura soporte de bóveda
6. Mordaza de electrodo
7. Brazo portaelectrodo
8. Tubos portacorrientes
9. Pared caseta transformador
10. Cables flexibles refrigerados por agua
11. Columnas de accionamiento de electrodos
12. Plataformas de acceso
13. Mecanismo de elevación de bóveda
14. Mecanismo de giro de bóveda
15. Mecanismo de bloqueo de horno
16. Cremalleras
17. Cilindro de basculación
18. Patines de basculación
19. Plataforma de servicio







# PROCESO DE FUSIÓN

La fusión se compone de los siguientes periodos

## 1. Preparación del horno

Consiste en la corrección de las zonas desgastadas y deterioradas del revestimiento de la solera. Se echa el polvo de magnesita, o polvo mojado con vidrio liquido o arena.

## 2. Carga de los materiales

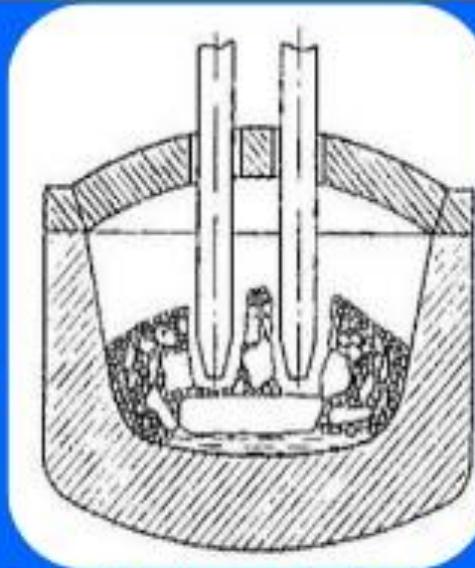
El componente principal de los materiales de carga es el HRD o la chatarra de acero ( de 90% a 100% ) para aumentar el contenido de carbono en la carga se introduce el arrabio (< del 10% ), así como pedazos de electrodos o coque.





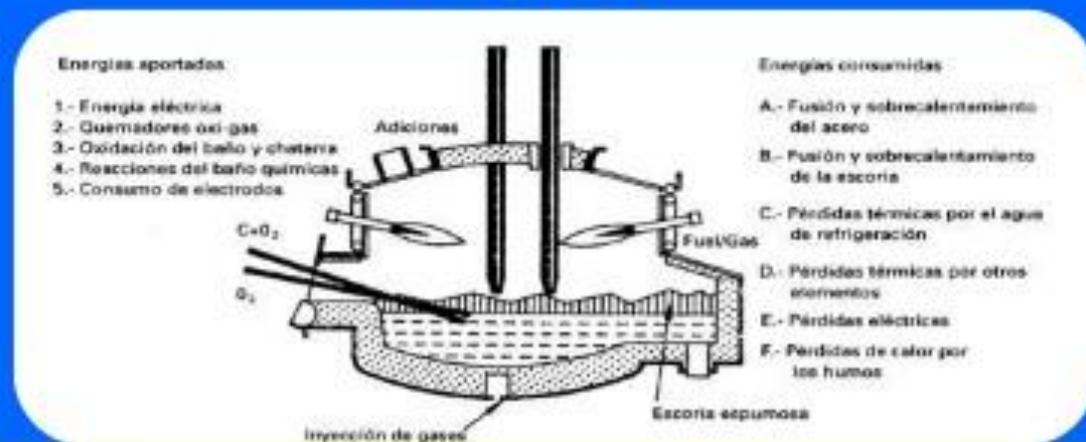
### 3. Derretimiento

Una vez terminada la carga, se bajan los electrodos paulatinamente y se conecta la corriente; los materiales se funden a medida que va aumentando el metal líquido los electrodos se elevan ya que los reguladores automáticos mantienen constante la longitud del arco.



Derretimiento de los materiales de carga en el HAE

Se oxidan los componentes de la carga, se forma la escoria y se pasa el fósforo a ella. La baja temperatura y la escoria básica ferruginosa favorece la desfosforación. Para acelerar el derretimiento se usan a veces los quemadores de gas y oxígeno que se introducen en el espacio útil a través de la lanza bóveda.





## 4. Periodo de oxidación

Comienza con la evacuación de 65 – 75% de la escoria formada en el periodo de derretimiento. Inclinando el horno 10-12°; una vez eliminada la escoria, en el hornos e introducen los escorificantes: de 1-1,5% de cal y en caso de necesidad 0,15 a 0,25% de espato de flúor, pedazos de chamota o bauxita.

El objetivo es

- Disminuir el contenido de fosforo en el metal hasta 0,01-0,015%
- Disminuir el contenido de hidrogeno y nitrógeno en el metal.
- Calentar el metal hasta una temperatura próxima a la de sangría.

La adición de la mena de hierro provoca una oxidación intensa de carbono y efervescencia intensa del baño producida por las burbujas de oxido de carbono. Bajo la acción de los gases la escoria se espuma, su nivel se eleva.

Se desoxida el metal empleando el método de precipitación y difusión.





## 5. Periodo de reducción

La finalidad consiste en :

- Desoxidar el metal.
- Eliminar el azufre.
- Poner a punto la composición química del acero y corregir la temperatura.

Se introduce en el horno una cantidad de ferromanganeso necesaria para que el contenido de Mn en el metal corresponda.

Se desoxida el metal empleando el método de precipitación y difusión.



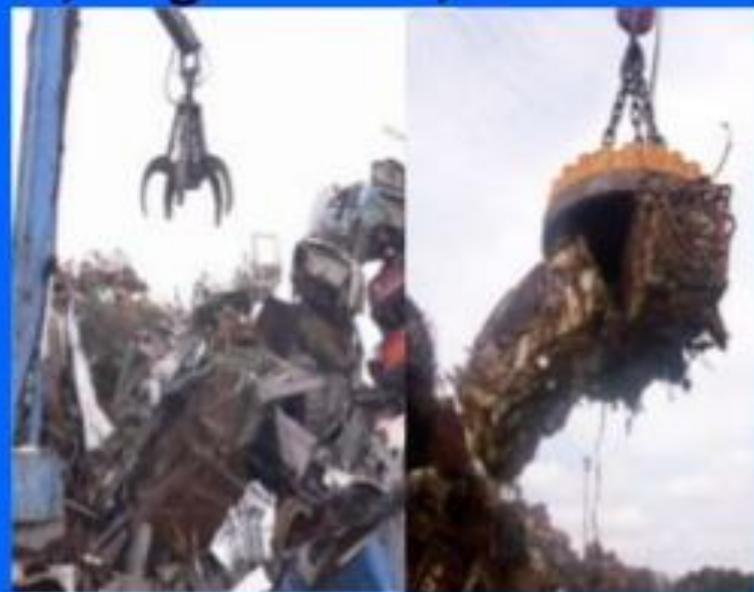




## DEMANDA DEL METAL

Entre los materiales destinados para la fusión eléctrica el principal es la chatarra de acero. En su composición ha de hallarse la cantidad min. De Ni y Cu, pero la chatarra no debe contener otros metales no ferrosos; el fósforo en la chatarra no debe exceder 0,05% porque esta aumenta el tiempo de fusión.

- Hierro colado: bloques de motor, cigüeñales, carcazas, tambores de frenos, entre otros.
- Pesada: rieles, planchas, tubos,
- Hojalata: envases y recipientes.
- Liviana :láminas, capos, etc





## **CLASIFICACIÓN Y MANIPULACIÓN DE LOS MATERIALES**

**Los materiales, a su entrada, se clasifican según su naturaleza:**

- 1. Férricos: chatarra de hierro y acero.**
- 2. No férricos: chatarra de otros metales.**
- 3. Mixta: chatarra de hierro o acero mezclada con otros metales.**

**Los materiales se manipulan de manera manual o mecánica según su dimensión.**

**Los materiales largos (1 m o más) son tratados en máquinas "prensa-cizalla", donde se cortan a granel o se empaquetan, según el caso.**

**Los materiales mixtos se desguazan con pequeña herramienta: soplete, etc., para su clasificación definitiva a férricos o no férricos.**

**Una vez clasificados se acumulan en pilas de chatarra de su misma naturaleza y se preparan para su salida.**





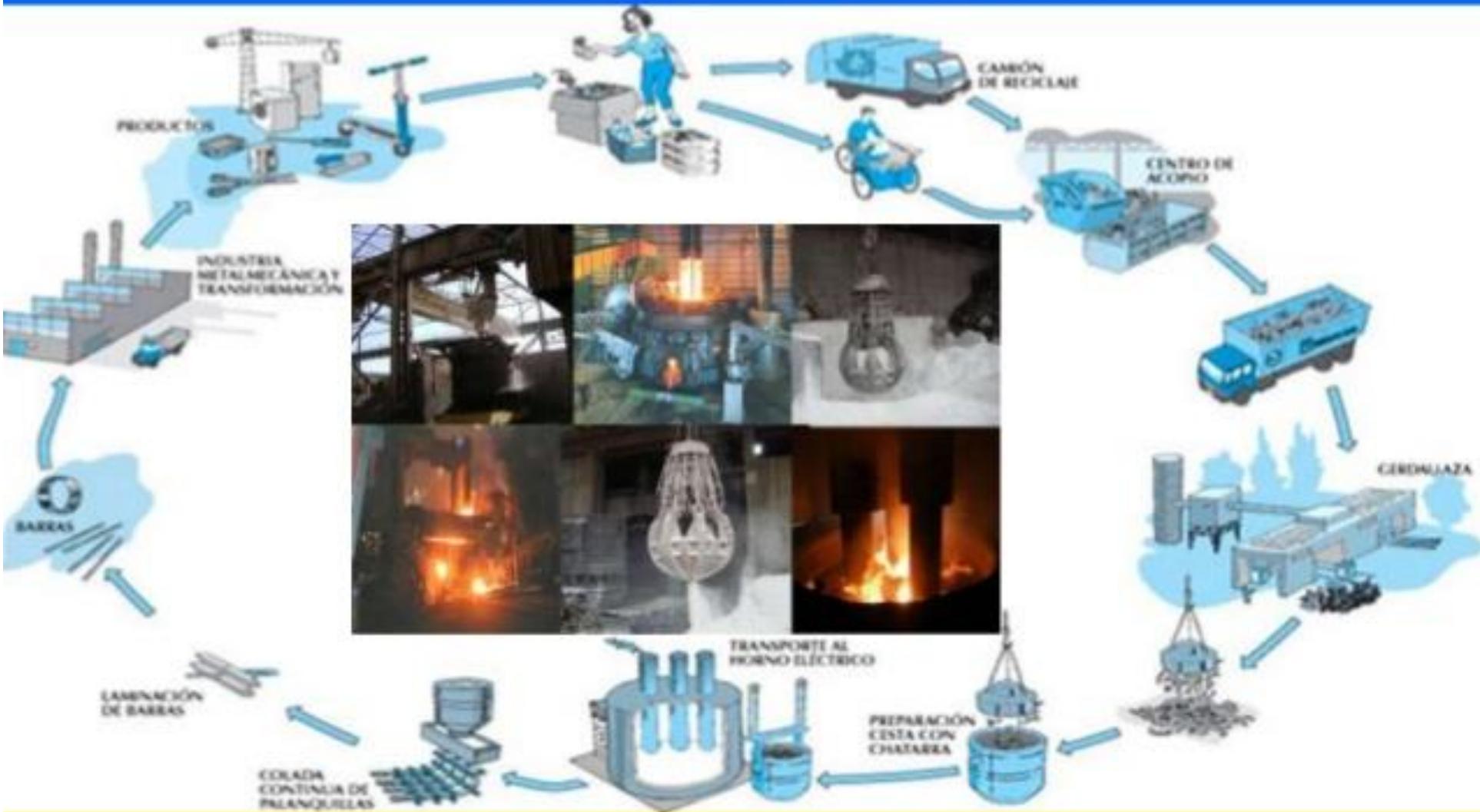
## Operación de HAE

La chatarra se carga en grandes cubos llamados canastas, con puertas de "concha de almeja" para una base. Se tiene cuidado de que la capa de la chatarra en la cesta para asegurar un buen funcionamiento del horno. Fusión pesada se coloca en la parte superior de una capa ligera de fragmento de protección, en la parte superior de la cual se coloca más pizca. Estas capas deben estar presentes en el horno después de la carga.

Después de la carga, la cesta puede pasar a un pre-calentador de chatarra, que utiliza horno caliente los gases residuales para calentar la chatarra y recuperar energía, el aumento de eficiencia de la planta.



# FORMA DE OPERACION





## Operación de HAE

La cesta de la chatarra se lleva luego a la acería, el techo se abrió fuera del horno y el horno se carga con chatarra de la cesta. La carga es una de las operaciones más peligrosas para los operadores de EAF. Una gran cantidad de energía potencial se libera por múltiples toneladas de metal cayendo; cualquier metal líquido en el horno a menudo se desplaza hacia arriba y hacia el exterior por la chatarra sólida, y la grasa y el polvo en la chatarra se enciende si el horno está caliente, lo que resulta en una bola de fuego en erupción



## **Operación de HAE**

**Después de la carga, el techo se gire hacia el horno y la crisis comienza. Los electrodos se bajaron a la chatarra, un arco se golpea y los electrodos se establece a continuación, para perforar en la capa de fragmento en la parte superior del horno.**

**Voltajes más bajos son seleccionados para esta primera parte de la operación para proteger el techo y las paredes del calor excesivo y el daño de los arcos.**

**Una vez que los electrodos han alcanzado la masa fundida pesada en la base del horno y los arcos están protegidos por la chatarra, la tensión se puede aumentar y los electrodos eleva ligeramente, alargar los arcos y aumentar el poder de la masa fundida. Esto permite a un baño de fusión para formar más rápidamente, reduciendo un conmutador a veces**



## Operación de HAE

El oxígeno se inyecta en la chatarra, quemar o cortar el acero, y el calor químico adicional es proporcionada por murales quemadores de combustible y oxígeno. Ambos procesos aceleran la fusión de chatarra. Boquillas de los jets supersónicos permiten oxígeno penetren espuma de escoria y llegar al tanque de líquido.

Escoria por lo general consiste en óxidos metálicos, y actúa como un destino para las impurezas oxidadas, como una manta térmica y ayuda a reducir la erosión del revestimiento refractario

los formadores de escoria habituales son el óxido de calcio y óxido de magnesio.

# ¿Qué produce?



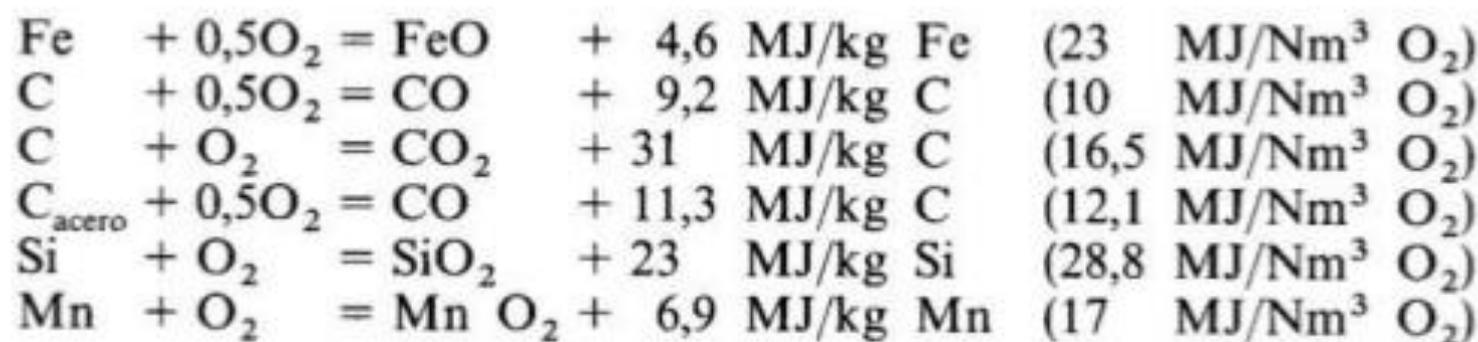
- ☞ Puede producir todo tipo de aceros, desde aceros con regular contenido de carbono hasta aceros de alta aleación, tales como aceros para herramientas, inoxidables y aceros especiales.
- ☞ Su chatarra es cuidadosamente seleccionada. El arrabio fundido raramente se ocupa.

**<https://www.facebook.com/watch/?v=2599823173672196>**





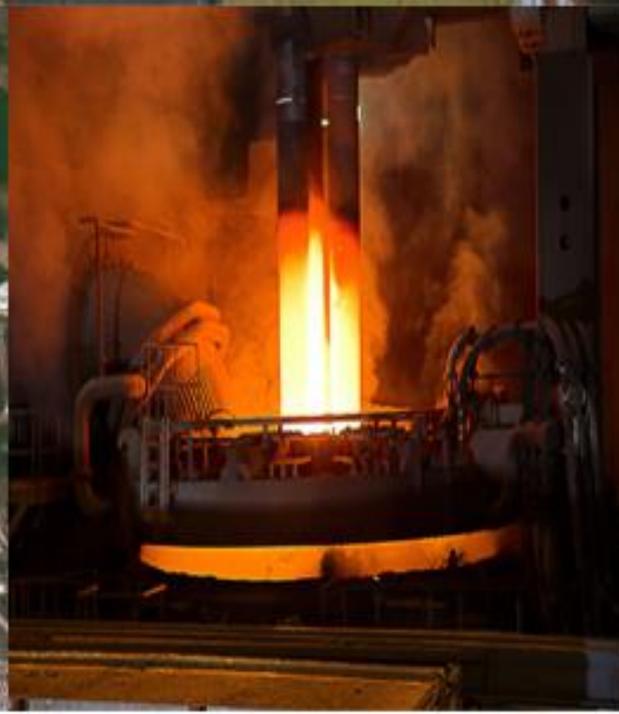
El  $O_2$  inyectado oxida la chatarra, el carbón introducido con la chatarra, los electrodos y, finalmente, durante el afino, reduce el contenido de Si, Mn y C del acero. Las reacciones correspondientes y las energías desprendidas (son valores suficientemente aproximados para los cálculos) son:



Los óxidos de Fe, Si y Mn pasan a la escoria, mientras que el CO y el  $CO_2$  pasan a los humos. La escoria espumosa se forma al reducir el FeO con carbón según la reacción:



mediante el CO que burbujea a través de la escoria.



鞍山市金龙达有色金属进出口有限公司

www.enr.com



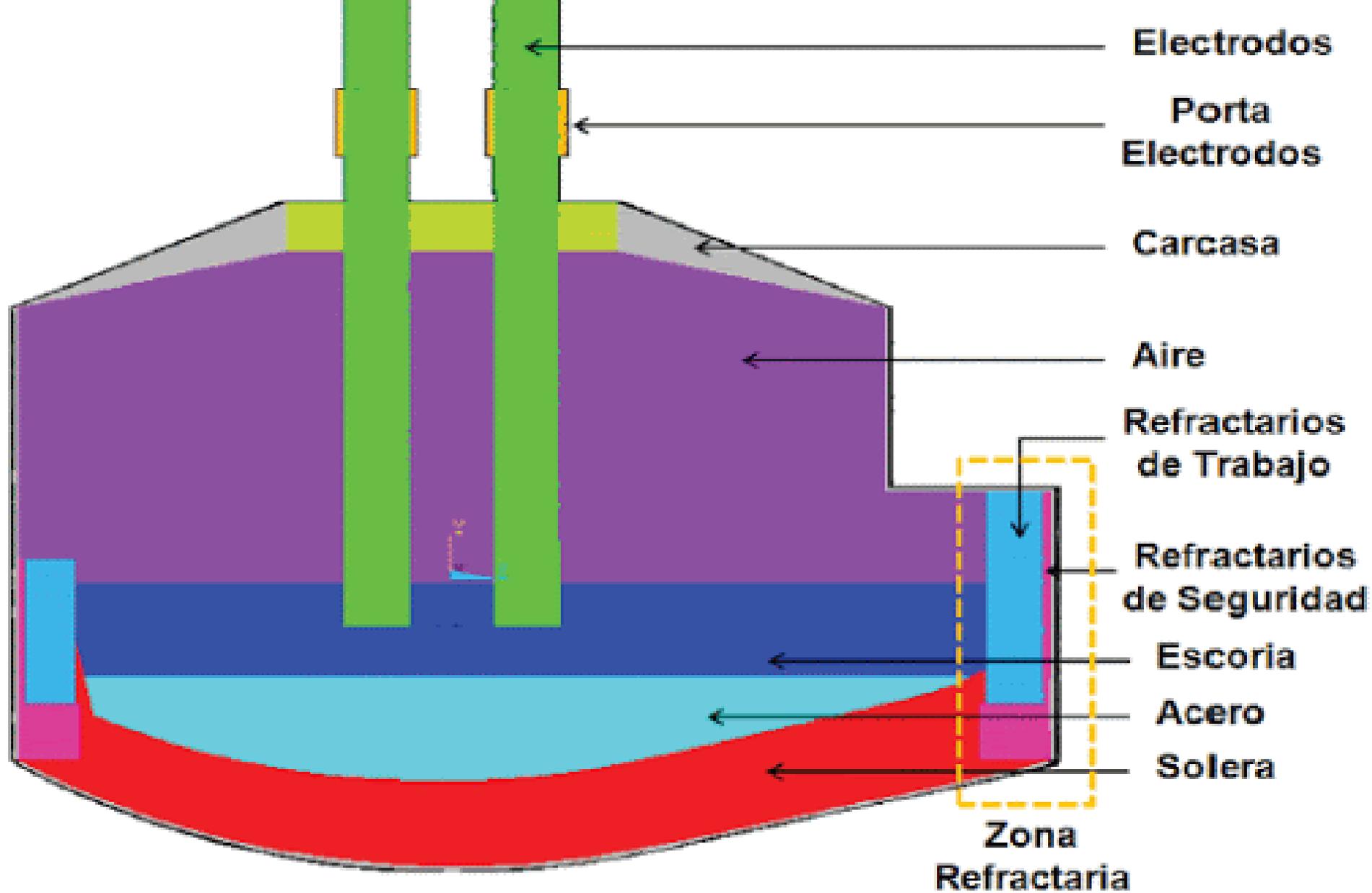
# ELECTRODOS EN LOS HAE

Los electrodos que se utilizan pueden agruparse en 3 tipos diferentes.

**ELECTRODOS DE CARBONO AMORFO.** Constituidos por coque de antracita o de petróleo. Ambos calcinados.

**ELECTRODOS DE GRAFITO.** Se obtienen sometiendo los electrodos de carbono amorfo a un proceso de grafitización y luego aun enfriamiento muy lento de 20 a 30 días.

**ELECTRODOS CONTINUOS DE SODERBERG.** Están formados o por una envoltura cilíndrica en chapa dentro de la cual se introduce y se apisona una pasta de electrodo. ( carbono amorfo) el conjunto es cocido por el calor del horno.

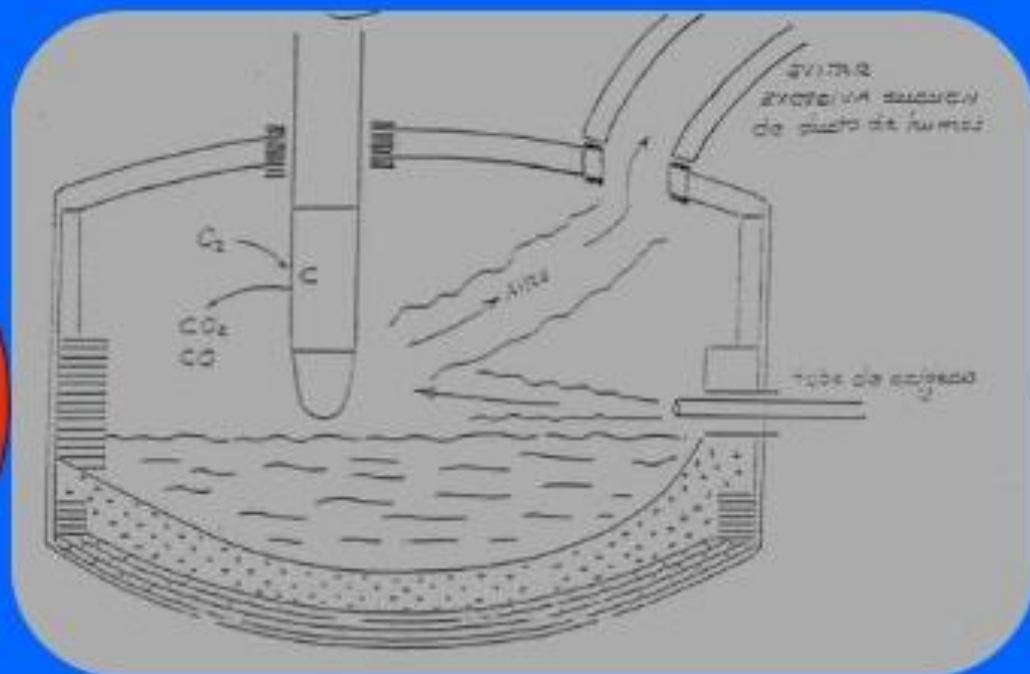
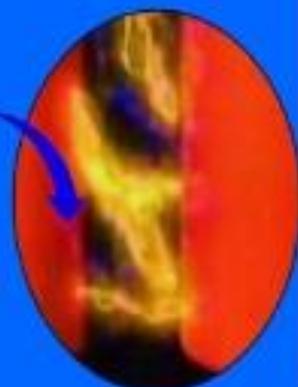
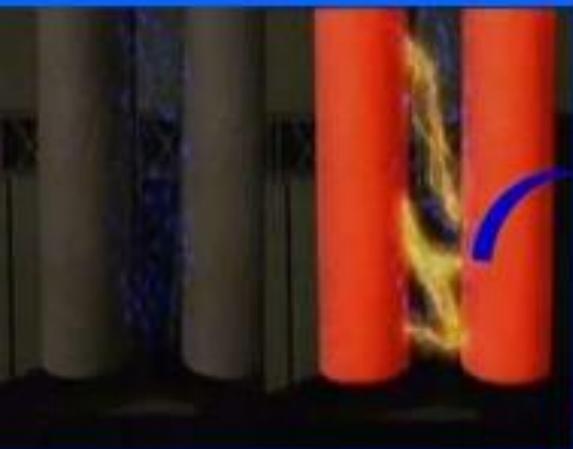


**Figura 2. Corte Longitudinal de un HAES**



# CONSUMO DE LOS ELECTRODOS DE GRAFITO POR OXIDACION

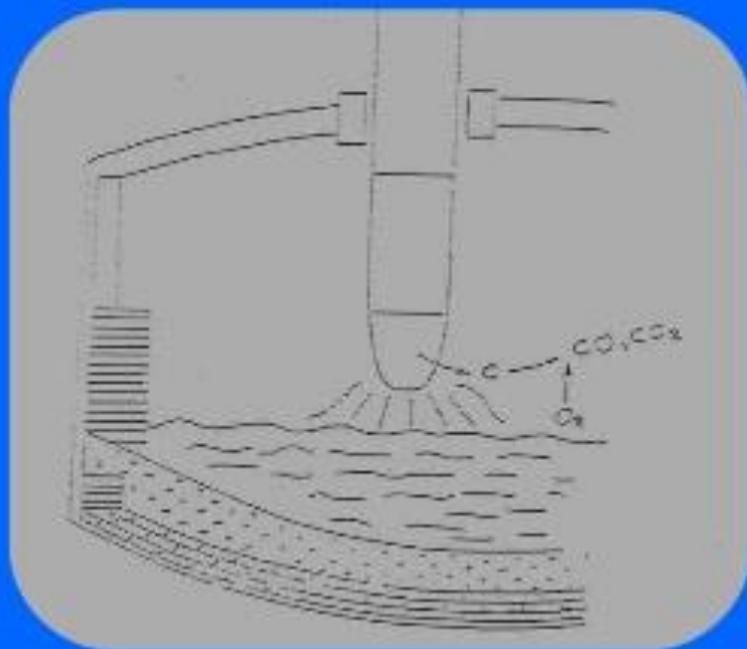
A temperaturas altas el grafito se consume por la reacción sobre el oxígeno formando  $CO$  y  $CO_2$  por las velocidades de la lanza de aire .





## POR SUBLIMACION

El grafito se evapora a altas temperaturas. Por eso la sublimación del grafito ocurre en la punta del electrodo durante la operación.

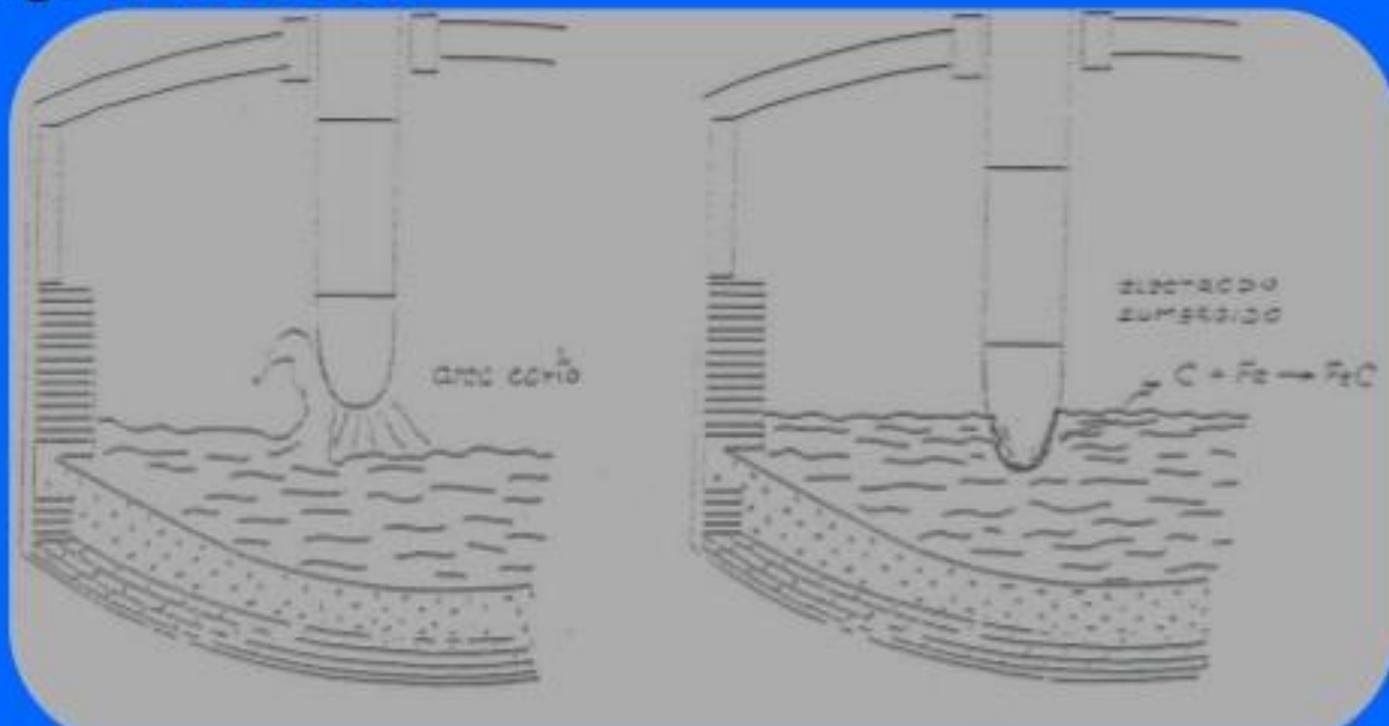


La sublimación es grande por la alta corriente eléctrica por eso la excesiva corriente debe ser evitada



## LA ADSORCION

El grafito desciende fácilmente en el metal fundido por tanto el consumo puede ser alto en la operación de arco corto y cuando se sumerge el electrodo.

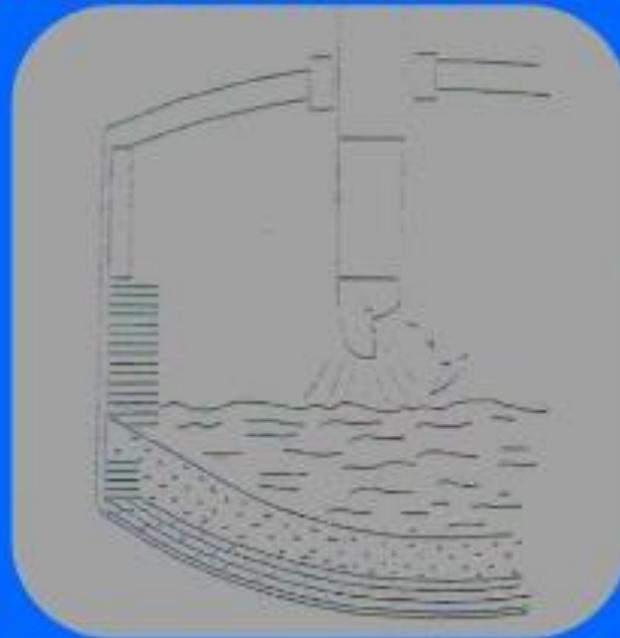




## ASTILLADO

**El desastillado el electrodos es causado por someter a esfuerzos térmicos.**

**El electrodo durante la operación a altas temperaturas tiende a desastillarse parcialmente causando una distorsión termal.**

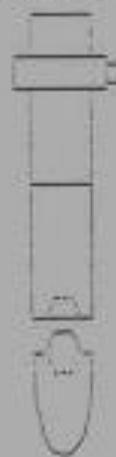




## ROTURA

La rotura del electrodo es causado por factores extremos y calidad del electrodo, como quiera que sea la principal causa de rotura es por la chatarra.

Los electrodos son frágiles y consumibles a un costo de US\$ 200 por electrodo. Tenga en cuenta que este costo sólo será agregado a su costo total en caso de producirse una rotura de electrodo.

	SOCKET	NIPPLE	SALUNG OFF	CRACKING	
FORMA DE ROTURA					
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"><li>• CHATARRA GRANDE</li><li>• MATERIAL NO CONDUCTOR</li><li>• PERDIDA DE LA UNION</li><li>• INCORRECTA POSICION DEL ELECTRODO SUPERIOR</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>• PERDIDA DEL AMPALME</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• CALIDAD INFERIOR DEL ELECTRODO</li><li>• CORRIENTE EXCESIVA</li></ul>	



## **VENTAJAS DEL HAE sobre Hornos Siemens y Convertidores**

- a) Menor inversión / tn capacidad instalada
- b) Menores gastos de mantenimiento, refractarios y mano de obra
- c) Hasta 80% de mayor rendimiento respecto de un horno Siemens-Martin
- d) Admite mayor flexibilidad en la carga metálica, puede funcionar con 100% chatarra, presenta mayores posibilidades de afinación y por lo tanto pueden obtenerse aceros de alta aleación a menor costo.
- e) Ocupa menos espacio, no necesita depósito de combustión, hogares ni cámaras recuperadoras.

### **Desventajas:**

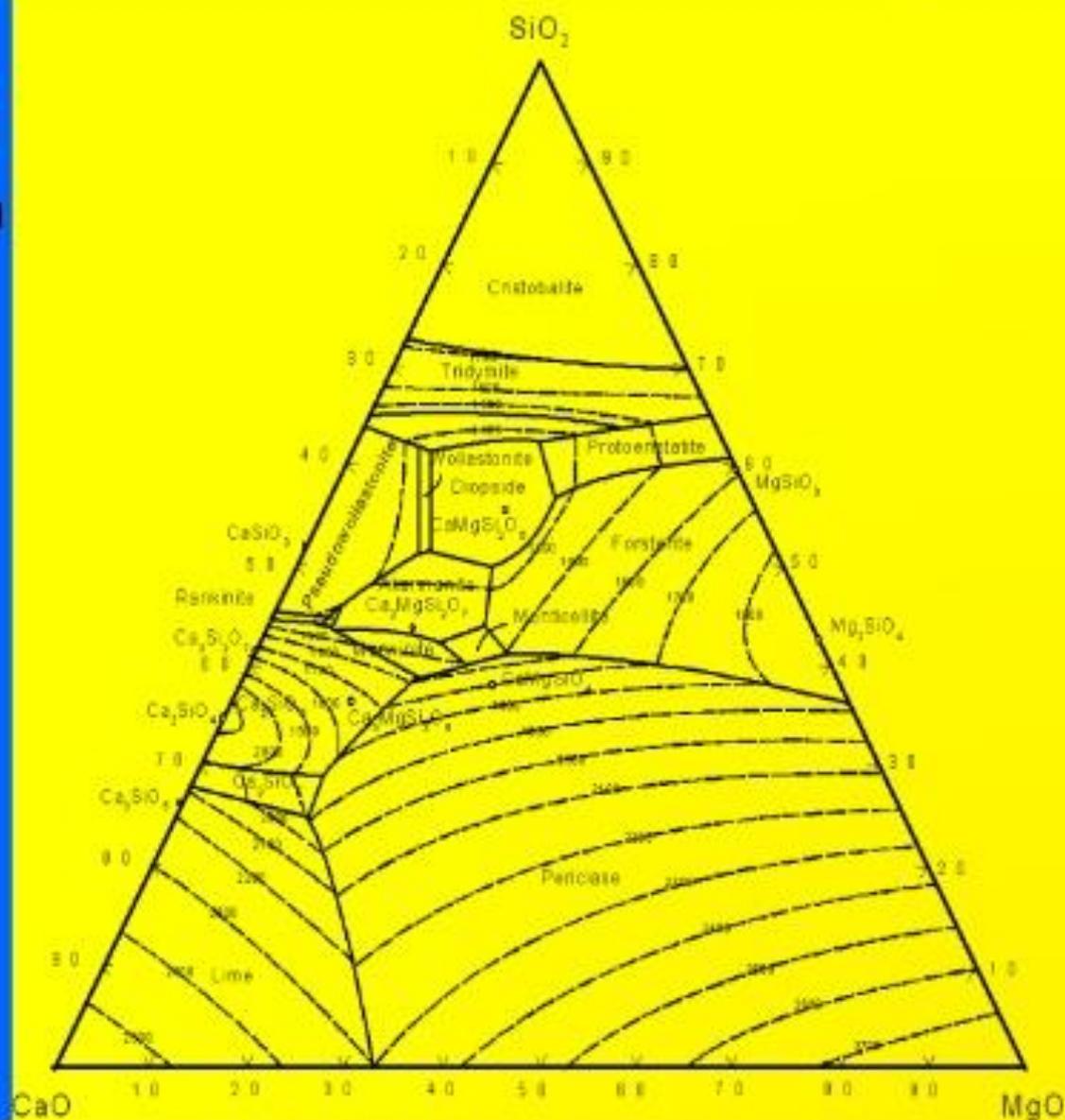
- Costo de la energía eléctrica.
- La producción de acero medida en cantidad/tiempo es menor.



## Escorias en el HEA

Producto de desecho de la fabricación de acero, usado para remover impurezas.

Solución compleja de óxidos, silicatos, aluminatos, sulfuros y otros compuestos en estado fundido; y fases multicristalinas en el estado sólido.





## **ESCORIAS: Formación**

En la formación de la escoria participan:

Los óxidos que se forman durante la oxidación (silicio, manganeso, fósforo, cromo, hierro) y otros elementos que forman parte de la composición de la carga metálica.

El mineral de hierro, la cal, la caliza, la alúmina, la fluorita, etc.

Las áreas desgastadas del revestimiento refractario del horno.

La suciedad de la chatarra de acero (tierra, arena, grasa, etc.)

### **LAS FUNCIONES PRINCIPALES DE LA ESCORIA EN LOS HORNOS DE FUNDICIÓN DE ACERO SON:**

Eliminar los elementos perjudiciales tales como: fósforo, azufre, etc.

Facilitar los procesos normales de oxidación en el baño metálico (la escoria regula el tiempo de transmisión del oxígeno desde la fase gaseosa al metal)

Proteger al metal de la penetración de los gases de la atmósfera del horno (Evita la re-oxidación).



## TIPOS DE ESCORIAS

Según el contenido de óxido de silicio y óxido de calcio, las escorias se dividen en: ESCORIAS ÁCIDAS y BÁSICAS.

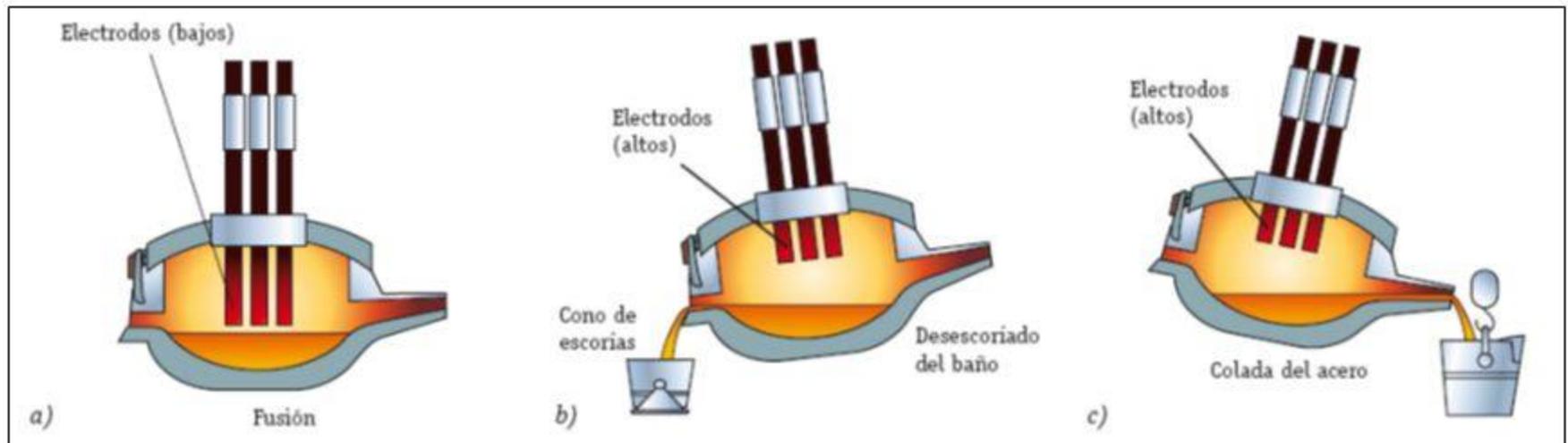
**Las Escorias Ácidas** contienen más del 40% de  $\text{SiO}_2$  y menos cantidad de  $\text{CaO}$  (3-15%). Se usan durante la fusión de acero en hornos ácidos, en los cuales el revestimiento refractario es de óxido de silicio.

**Las Escorias Básicas** generalmente contienen menos del 30% de óxido de silicio y gran cantidad de óxido de calcio. Se emplea durante la fusión de acero en hornos con revestimiento refractario de magnesita o dolomita.

- ❑ Materia prima que utiliza el horno eléctrico
- ❑ Características del horno eléctrico
- ❑ Funcionamiento del horno eléctrico



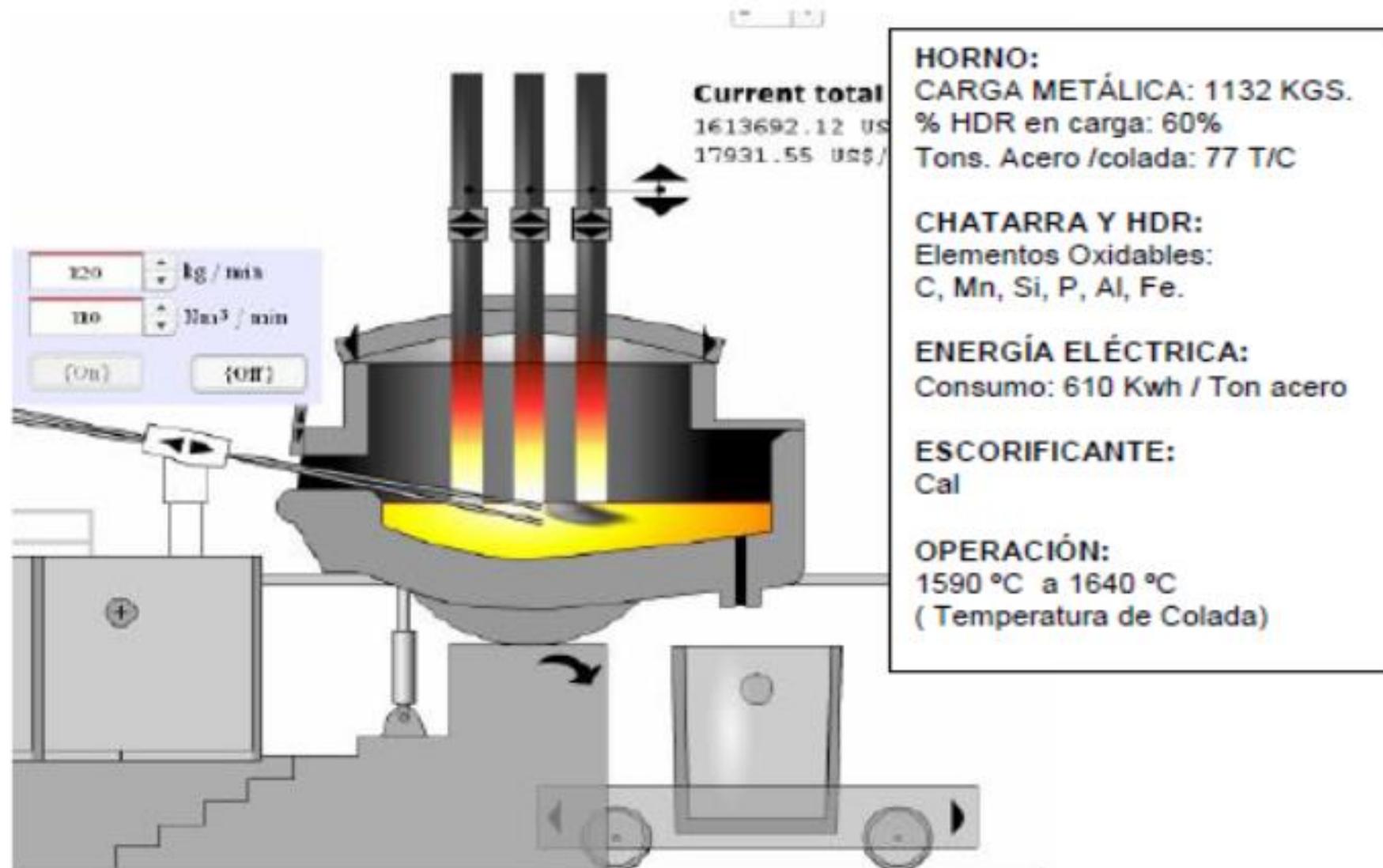
*Exterior de un horno eléctrico en funcionamiento.*



*Esquema de funcionamiento de un horno eléctrico.*



## HORNO ELÉCTRICO DE ARCO

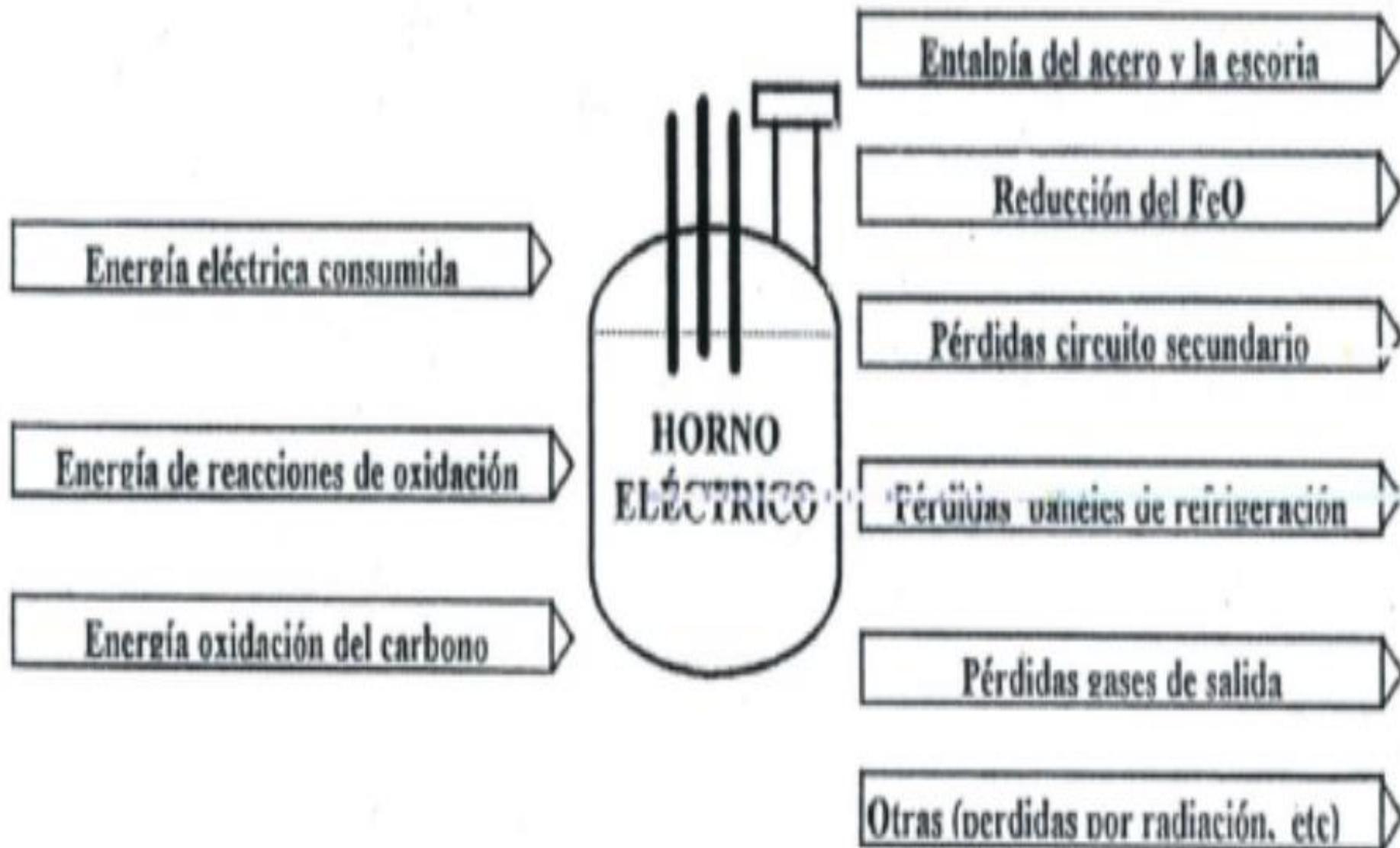


<b>ETAPAS DEL PROCESO</b>	<b>TIEMPO (Min.)</b>
Carga de chatarra y HDR	5.5
Fusión	17.1
Afinación	5.9
Colada del acero	5.7
Total	55

**Problema:**

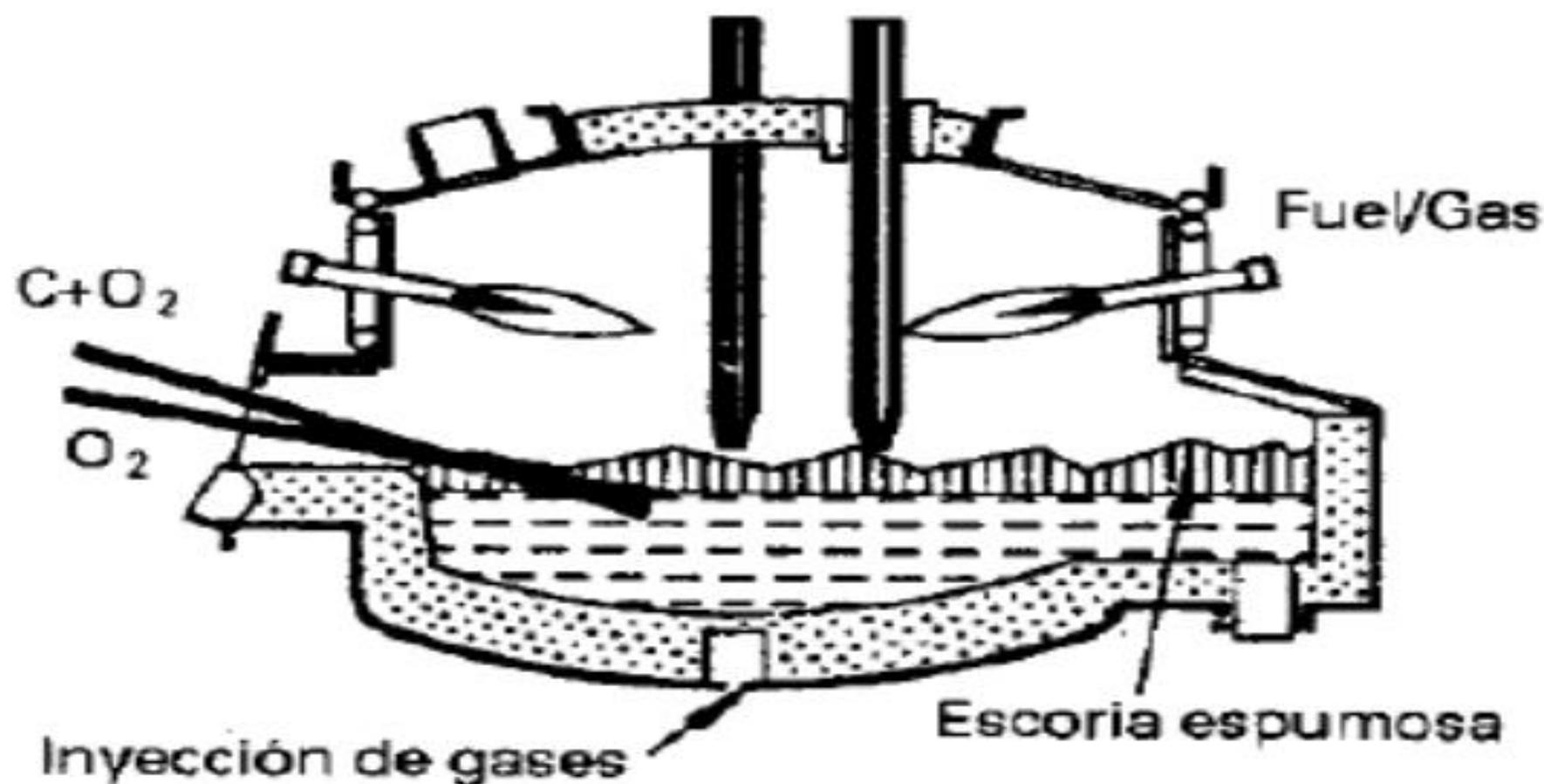
- **Determinación de las energías teóricas de oxidación**
- **Determinación del oxígeno necesario para las reacciones de oxidación**

## Balance 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 oxi-gas
- Empleo masivo de O<sub>2</sub> 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 líquido	Escoria	Finos
Fe <sub>T</sub>		92.4		29.16	61.9
Fe <sub>metálico</sub>	90	87.8		3.19	4.6
FeO		5.7		25.97	13.2
C	0.2	2.3	0.07	-	1.56
SiO <sub>2</sub>		1.55		11.81	4.15
Si	0.2				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.048		0.63	
S		0.003		-	0.32

## 1. Energía teórica de las reacciones de oxidación

### 1.1.Oxidación del Silicio.

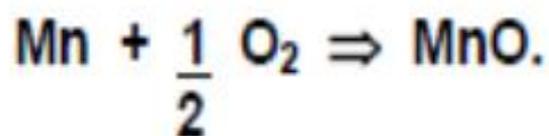


$$\text{Cantidad de Si chatarra} = 453 \frac{\text{kg ch}}{\text{tal}} \cdot \frac{0,20 \text{ kg Si}}{100 \text{ kg ch}} = 0,906 \frac{\text{kg Si}}{\text{tal}}$$

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

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

## 1.2 Oxidación del Manganeso.



$$\Delta H = -2,04 \frac{\text{Kw h.}}{\text{kg Mn}}$$

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

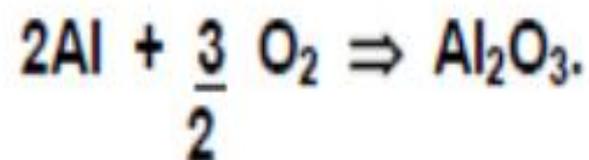
$$\text{Cantidad de Mn en acero} = \frac{0,04 \text{ kg Mn}}{100 \text{ kg acero liq.}} \cdot 1000 \text{ kg acero liq.}$$

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

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

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

### 1.3. Oxidación del Aluminio.



$$\Delta H = -7,1 \frac{\text{Kw h}}{\text{kg Al}}.$$

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

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

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

#### 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:

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

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

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

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

## 1.6. Energía de las reacciones de oxidación.

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

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

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

## 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

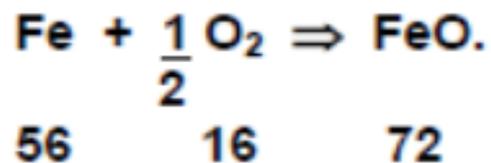
$$\text{O}_2 \text{ Silicio} = 0,91 \frac{\text{kg Si}}{\text{tal}} \cdot \frac{32 \text{ kg O}_2}{28 \text{ kg Si}} = 1,04 \frac{\text{kg O}_2}{\text{tal}}$$

$$\text{O}_2 \text{ Manganeso} = 2,32 \frac{\text{kg Mn}}{\text{tal}} \cdot \frac{16 \text{ kg O}_2}{55 \text{ kg Mn}} = 0,67 \frac{\text{kg O}_2}{\text{tal}}$$

$$\text{O}_2 \text{ Aluminio} = 0,091 \frac{\text{kg Al}}{\text{tal}} \cdot \frac{48 \text{ kg O}_2}{54 \text{ kg Al}} = 0,08 \frac{\text{kg O}_2}{\text{tal}}$$

$$\text{O}_2 \text{ Fósforo} = 0,03 \frac{\text{kg P}}{\text{tal}} \cdot \frac{80 \text{ kg O}_2}{62 \text{ kg P}} = 0,023 \frac{\text{kg O}_2}{\text{tal}}$$

$O_2$  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.

$$\Rightarrow 32 \text{ kg O}_2 \longrightarrow 22,4 \text{ m}^3$$

$$9,25 \text{ kg O}_2 \longrightarrow$$

Cantidad de oxígeno necesario:  $6,5 \frac{\text{m}^3 \text{ O}_2}{\text{tal}}$

### 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.
- ▶ Otras impurezas se transforman en óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ , y  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 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

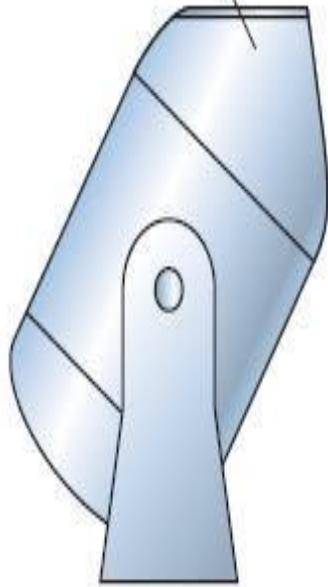
- ▶ El convertidor representa un recipiente en forma de pera, soldado con chapas gruesas de acero y revestido interiormente con material refractario.
- ▶ En la parte central del convertidor, exteriormente se hallan dos tetones cilíndricos llamados muñones que sirven de soporte y permiten girar el convertidor.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

# DIAGRAMA DE FLUJO

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



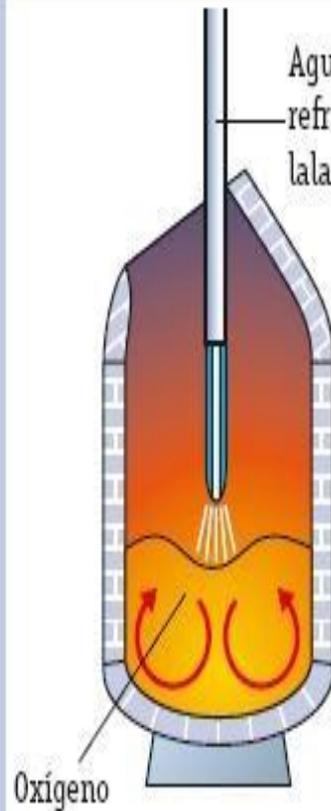
Arrabio, chatarra y fundente



Paso 1.

Se inclina el horno y se añade el arrabio, el fundente y la chatarra.

Agua para refrigerar la lanza

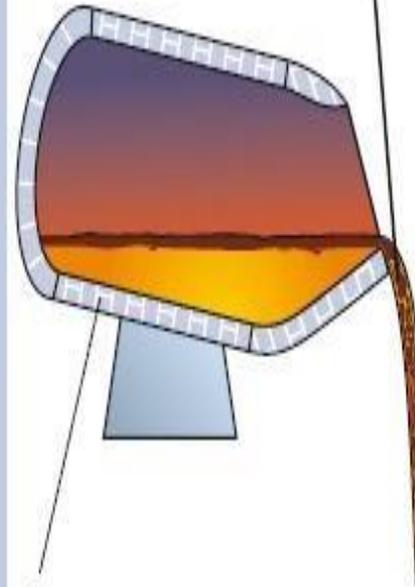


Oxígeno

Paso 2.

Se pone vertical y se baja la lanza para inyectar oxígeno en el metal fundido. Las impurezas se queman.

Escoria



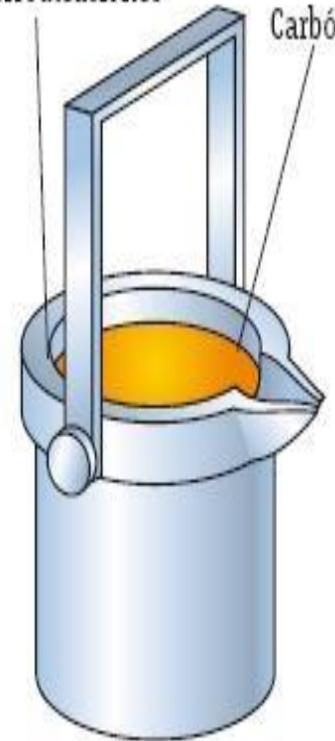
Acero

Paso 3.

Se inclina el horno y se saca la escoria que flota sobre el acero.

Ferroaleaciones

Carbón



Paso 4.

Se vierte el acero sobre la cuchara y se añaden ferroaleaciones y carbono.

# 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.

# Fases del proceso

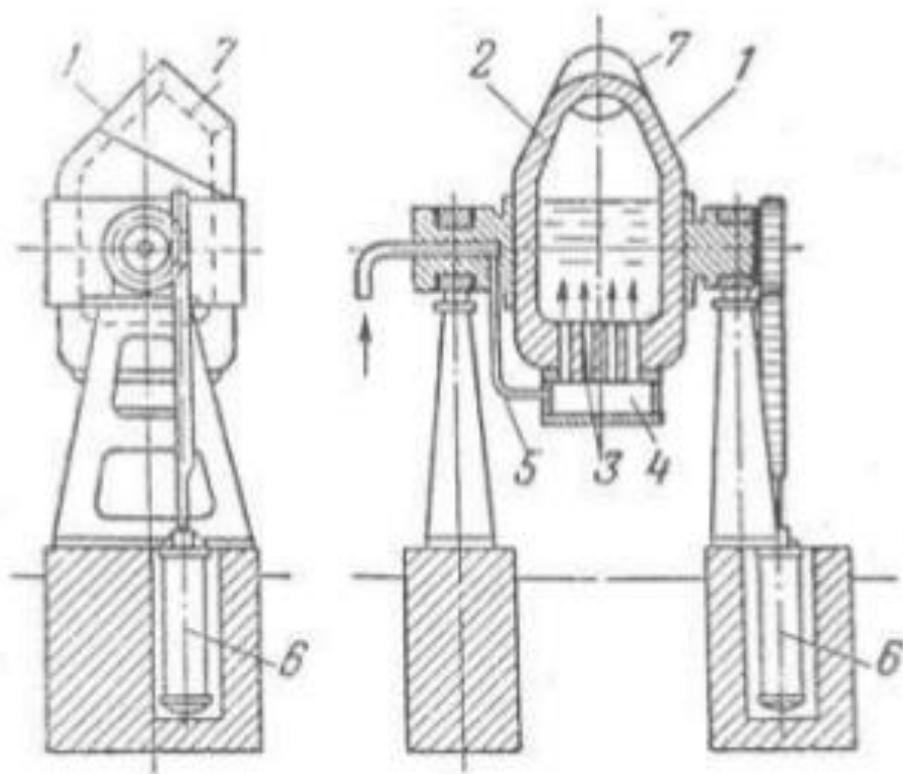
- **Escorificación**
- Cuando se trata de la primera conversión, primero se limpia y se retiran las cenizas; luego se coloca en sentido horizontal y se carga de fundición hasta 1/5 de su capacidad, la capacidad es de 8 a 15 toneladas.
- Se le inyecta aire a presión y enseguida se devuelve al convertidor 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.

# Proceso OBM

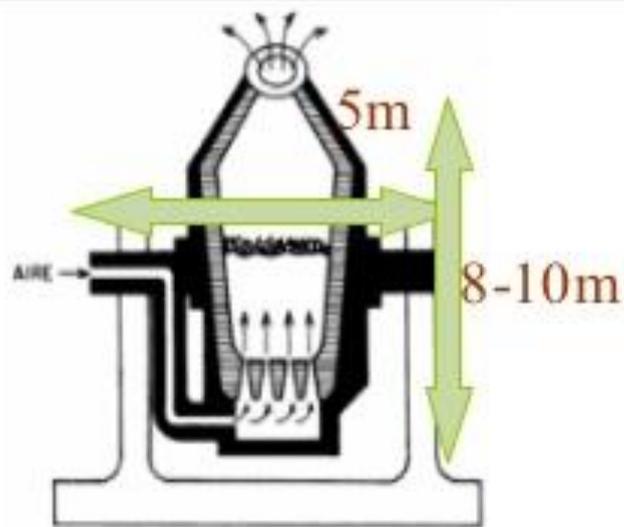
- ▶ En Europa, este proceso se denomina proceso de OBM (oxígeno inferior Maxhütte), más allá Europa es el proceso Q-BOP (Quick proceso básico de oxígeno).
- ▶ Propano o natural, más barato gas, que contiene hasta un 98% de metano, se utilizan para la protección térmica de lanzas.
- ▶ Francés acerías 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.

- ▶ 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

# 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

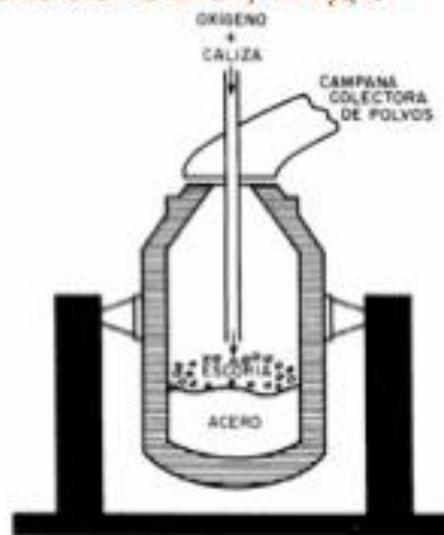


Convertidor Bessemer

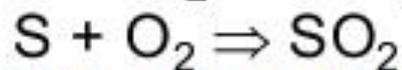
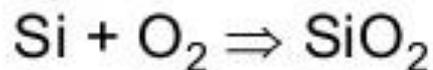
Óxidos Ácidos  $\text{SiO}_2$

Convertidor Thomas

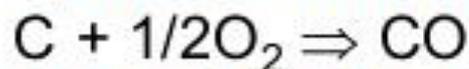
Óxidos Básicos  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$



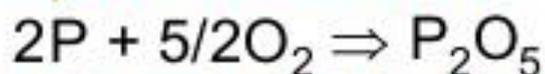
### 1) Combustión del S y Si.



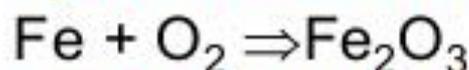
### 2) Combustión del C



### 3) Combustión de P.



### 4) Combustión de Fe



### 5) RECARBURACIÓN

Adición de ferromanganeso con %C

### Convertidor L.D

(Linz Dusenverfahren, lanza de linz)

(acero al oxígeno)

BOF (basic oxygen furnace)

## ⌘ 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,  $2000^{\circ}\text{C}$  o más; ya que el metal fundido al final del proceso tiene una temperatura de cerca de  $1650^{\circ}\text{C}$ .
- 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.

