

PRODUCCION DE METALES FERROSOS



UNIDAD I

REDUCCIÓN DE LOS ÓXIDOS DE HIERRO



Método por reducción indirecta

Materias primas



Coque

Es un aglomerado de finos de mineral de hierro, carbonato de calcio y finos de coque.

Se procesa en un horno para producir terrones que alimentan el alto horno.



Sinter

Es un aglomerado de finos de mineral de hierro, carbonato de calcio y finos de coque.

Se procesa en un horno para producir terrones que alimentan el alto horno.

Fabricado en acería



Mineral

Se usan directamente de las minas. Son más baratos que los pélets pero tienen propiedades más pobres.

Genera finos

Menor reducibilidad

Temperatura de fusión más baja.



Pellets

Mezcla homogénea de finos de mineral de hierro y finos de coque (<1%). Se mezcla con agua y arcilla.

Funde a menor temperatura que el sinter por es menos reducible.

⌘ **Mineral de hierro:** El hierro es el metal más abundante de la corteza terrestre tras el aluminio (bauxita). Se encuentra. En la naturaleza se encuentra combinado en formando diferentes minerales siendo de interés industrial únicamente 5 o 6 de ellos: la magnetita, los hematítes, la siderita, limonita, ilmenita y en casos especiales la taconíta o piritita.

⌘ En yacimientos, el mineral útil (mena) está acompañado de impurezas y minerales que no son útiles (ganga) para la siderurgia, por lo que antes de comenzar el proceso siderúrgico hay que someterlo a una serie de tratamientos:

➤ Tratamientos mecánicos (cribado, triturado y molienda): para facilitar tratamientos posteriores.

➤ Tratamientos de separación (hidrodinámicos, por flotación y/o por arrastre): para concentrar la mena separándola de la ganga.

➤ Tratamientos térmicos (calcinación y tostación): para facilitar reducciones (reacciones químicas) posteriores y eliminar impurezas volátiles.

Tratamientos de aglomeración (briqueteado, nodulación, siterización y pelletización): para aglomerar los finos y evitar el bloqueo de los intersticios o huecos en el interior de los altos hornos.

MINERALES DE HIERRO



Hematita (Fe_2O_3), óxido férrico, contiene hasta un 70% de Fe. Se presenta en masas terrosas de color rojo



Limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), óxido férrico hidratado con un 60% de Fe, masa terrosa de color variable del pardo al amarillo.



Magnetita (Fe_3O_4), óxido magnético, 70% de Fe, se lo llama piedra imán.



Siderita (CO_3Fe), carbonato ferroso, 48% de Fe, de color blanco.



Magnetita



Hematita



Limonita



Siderita



Pirita



Ilmenita

3.1. PELLETS

Pelotillas de 15mm a 25 mm de diámetro, de color negro y poseen buena resistencia mecánica, con 65 % de Fe



- ✓ Fe_2O_3 .HEMATITES, contiene 70% de Fe y 30% de O_2 , poco P y S.
- ✓ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ LIMONITAS, (o hematita pardo) contiene 60% de Fe y 14% de aguas de cristalización, el contenido en P varía grandemente.
- ✓ Fe_3O_4 MAGNETITA; contiene 72.4% de Fe y 27.6% de O_2 , contenido en P varía grandemente.
- ✓ FeCO_3 SIDEROSA; contiene 40.2% en Fe y 37.4 en CO_2 bajo contenido en Mn, Mg y Ca.
- ✓ FeS_2 PIRITAS; contiene 46.6 % de Fe y alto contenido de azufre (mayor de 45% en S) no utilizado como menas de hierro

✂ **Coque siderúrgico:** es el residuo sólido obtenido de la destilación o combustión en ausencia de aire (pirólisis) de mezclas de hasta 12 carbones. De esta forma se obtiene un combustible sólido compuesto en un 90-95% de carbono. Sus funciones son:

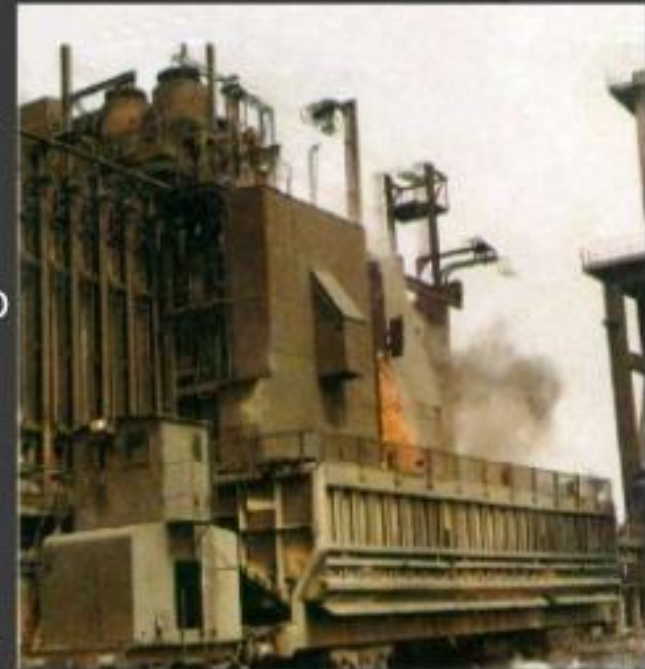
- **Combustible:** al reaccionar con el oxígeno del aire que entra en el alto horno a través de las toberas aporta el calor necesario para fundir la mena.
- **Reductor:** aporta el monóxido de carbono responsable de la reducción del hierro. Una pequeña parte reacciona con el hierro fundido.
- **Soporte:** de la carga en el interior del alto horno facilitando la combustión y el tránsito del hierro y escoria en sentido descendente y de los gases en sentido ascendente.

El coque se quema como combustible para calentar el horno, y al arder libera monóxido de carbono, que se combina con los óxidos de hierro del mineral y los reduce a hierro metálico. La ecuación de la reacción química fundamental de un alto horno es:



2.- Obtención del coque

- ❖ Se **obtiene** a partir de hullas grasas con menos del 1% de azufre y menos del 8% de cenizas.
- ❖ El **proceso de generación** de coque consiste en la introducción de carbón en un horno de la batería y dejarlo coquizando (calentando / quemando) durante un tiempo entre 10-24 horas (dependiendo del tamaño del horno).
- ❖ La **misión del coque** en el proceso siderúrgico es:
 - Producir, por combustión, el **calor necesario** para las reacciones químicas de reducción del hierro (eliminación del oxígeno), así como fundir la mena dentro del horno.
 - Producir un **gas reductor** (CO) que transforma los óxidos en arrabio.
 - Dar **permeabilidad** a la carga del alto horno.





- La coquización es una forma energética de craqueo térmico utilizada para obtener gasolina de destilación directa (nafta de coquificador) y diversas fracciones de destilación intermedia, que se utilizan como materiales para craqueo catalítico. Por este proceso, el hidrógeno de la molécula de hidrocarburo se reduce de forma tan completa, que el residuo es una forma de carbono casi puro, denominado coque.

Coquización

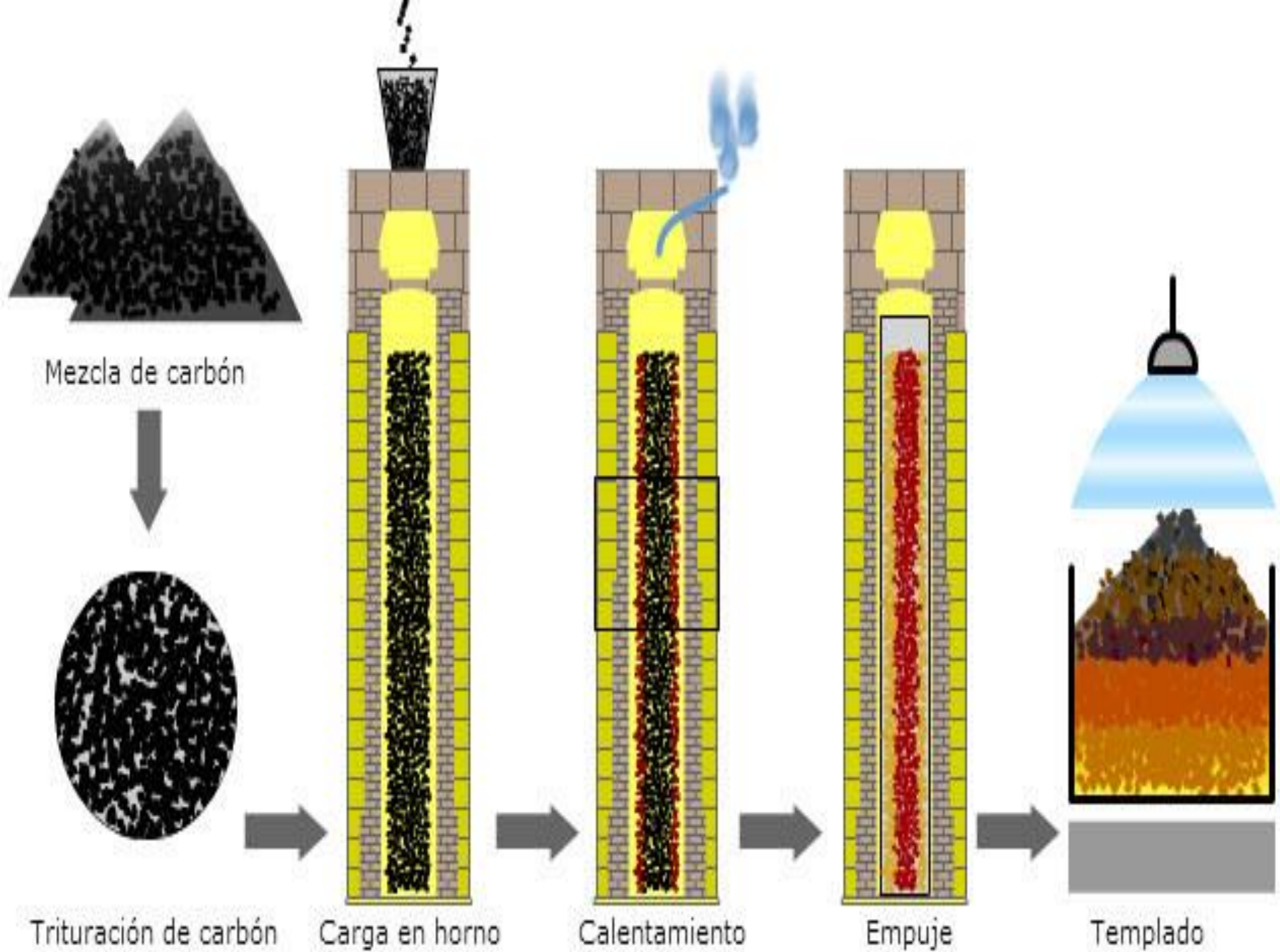
Coque

- Combustible obtenido de la calcinación o destilación seca de carbón mineral; está compuesto de carbono y tiene un alto poder calorífico
- Es usado principalmente en la metalurgia de menas ferruginosas y no ferruginosas.

- Las propiedades coquizantes describen el comportamiento del carbón durante la fabricación del coque, estos se determinan a través de los ensayos de plastometría, desgasificación y dilatometría, los cuales se realizan a velocidades de calentamiento más parecidas a las del horno de coquización.

Propiedades





- . **Tamaño y distribución del tamaño:** El tamaño promedio típico es de 45-55 mm. La distribución debe ser pequeña para asegurar una alta permeabilidad.
- . **Resistencia a la degradación física:** Durante el transporte y manipuleo el tamaño y la distribución del tamaño cambian debido a la degradación física.
- . **Resistencia a la abrasión:** La abrasión ocasiona la generación de finos.
- . **Reactividad del coque:** El coque reacciona con el CO_2 cambiando su matriz lo que lleva a un mayor consumo de coque en el horno. El coque con una reactividad baja y una mayor resistencia después de la reacción tiene una mayor resistencia mecánica en la parte baja del horno.

☞ **El Sinter** es una materia prima primordial para el proceso del alto horno, principal reactor a nivel mundial empleado para la producción de hierro de primera fusión.

Su producción se lleva a cabo en una máquina integrada por una cadena sin fin con una sección de ignición en el extremo inicial del recorrido y un sistema de succión de aire por la parte inferior para fomentar la combustión y en consecuencia la fusión incipiente de algunos componentes de la mezcla.

La materia prima consiste en una mezcla de finos de mineral de hierro, finos de coque, finos de pelet y fundentes, además, el proceso emplea gas de coque y aire de la atmósfera.

El proceso de sinterización consiste en aglomerar por fusión incipiente de una mezcla de minerales de hierro, fundentes y coque, con granulometría menor a 8 mm, el sinter ideal para la carga del alto horno deberá estar en el rango de tamaños de 12 a 35 mm, y debe poseer propiedades mecánicas que aseguren su integridad granulométrica bajo las presiones y temperaturas del horno.



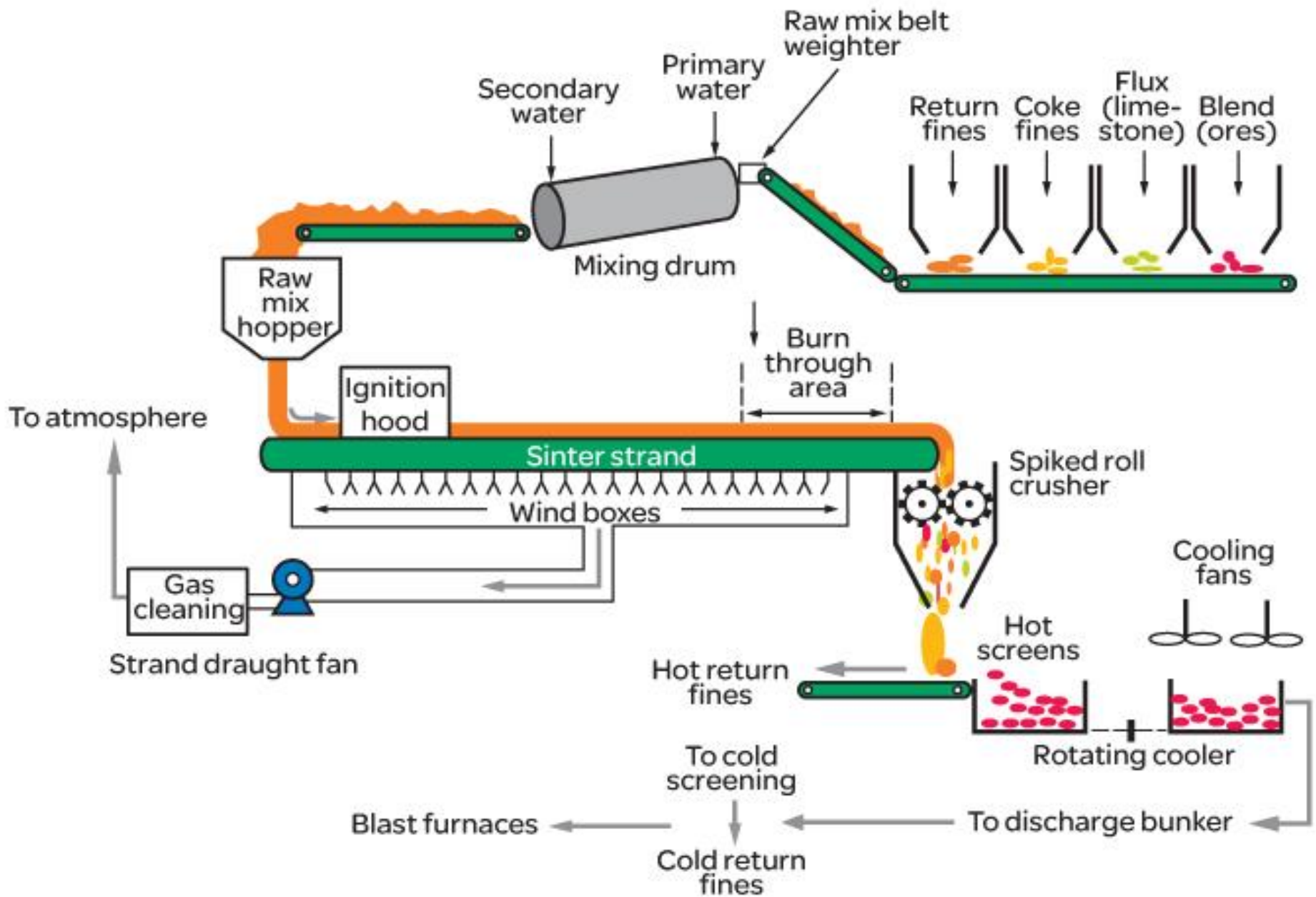


Figure 1: Simplified diagram of a sinter plant

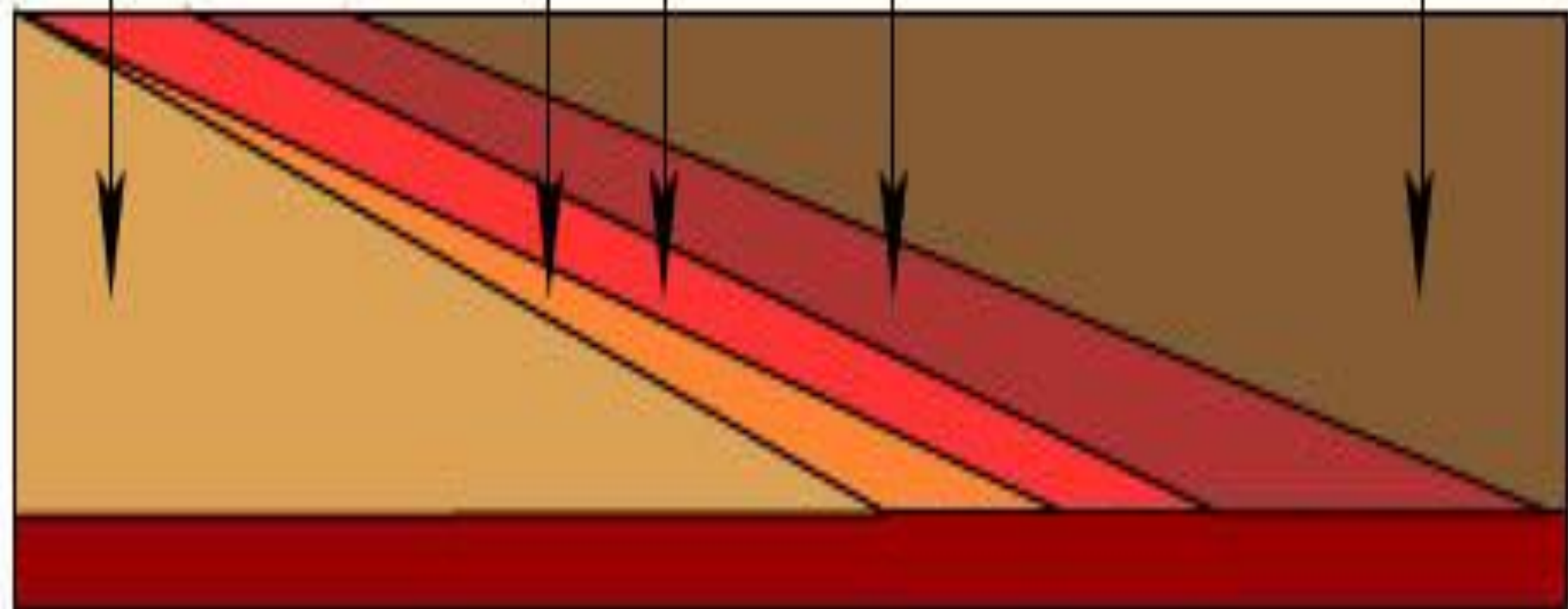
Frente de Llamas

Mezcla fría

Pre-calentamiento

Sínter Plástico

Sínter final



0 minutos

16 minutos

☞ **Los Fundentes** tiene como función combinarse con la ganga y con las impurezas impidiendo la formación de compuestos de hierro indeseados de alto punto de fusión.

La cantidad de fundente y su naturaleza debe establecerse con mucho cuidado, dependiendo de la naturaleza y composición de la ganga y la proporción de impurezas.

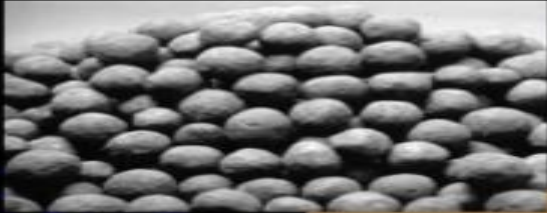
Generalmente se emplea piedra caliza (cal) que evita la formación de silicatos de hierro (de alto punto de fusión), formando silicato cálcico que tras fundirse flota sobre el arrabio líquido y se elimina a través de la bigotera junto con otras impurezas formando la escoria.

La escoria formada sirve para la fabricación de cementos, lana de escoria, fertilizantes...

La caliza de la carga del horno se emplea como fuente adicional de monóxido de carbono y como sustancia fundente. Este material se combina con la sílice presente en el mineral (que no se funde a las temperaturas del horno) para formar silicato de calcio, de menor punto de fusión. Sin la caliza se formaría silicato de hierro, con lo que se perdería hierro metálico.

3. MATERIALES UTILIZADOS

PELLETS



FUNDENTE



COKE



3.3. EL FUNDENTE.

ES EL MINERAL DE CaCO_3 QUE TIENE COMO FUNCIÓN PRINCIPAL LA COMBINACIÓN CON LAS IMPUREZAS (P, S, SI, ETC.) EXISTENTES EN EL MATERIAL DE HIERRO O EN PROPORCIONES REDUCIDAS DE LOS PELLETS FORMÁNDOSE ASÍ LA ESCORIA.

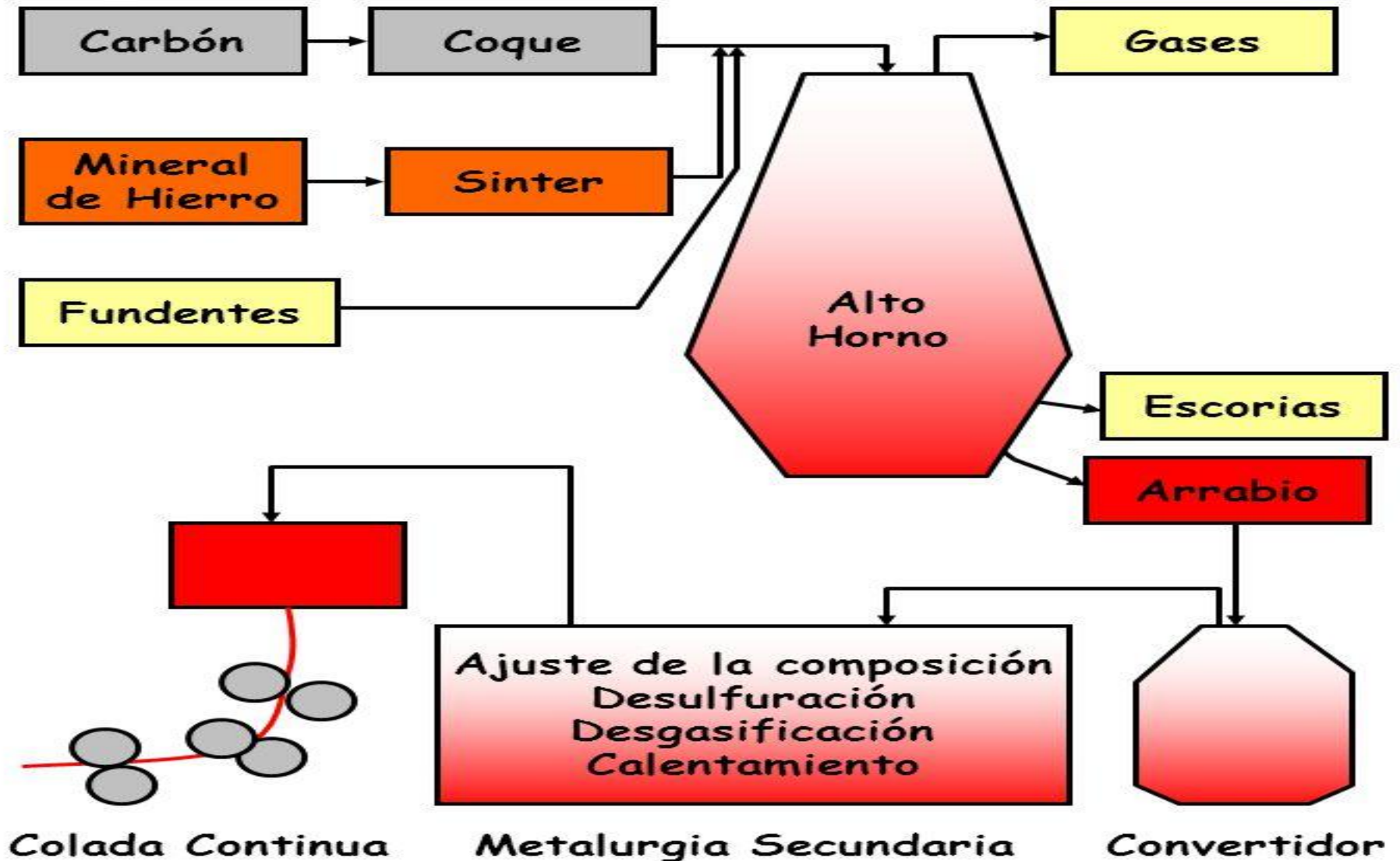




ANÁLISIS INDUSTRIAL

La Industria Siderúrgica: Introducción

Esquema del proceso siderúrgico.





1.2. Termodinámica y cinética de la reducción de óxidos.

La mayor parte de las reacciones pirometalúrgicas son heterogéneas, es decir, la interacción se realiza entre sustancias que se encuentran en diferentes fases. La combustión del carbón en los hornos y la reducción de los óxidos de hierro por los gases del horno pueden servir de ejemplo de este tipo de reacciones. (1) y (2)


- 1. La transferencia de las sustancias reaccionantes a la interfase, es decir, a la zona de la reacción.**
- 2. El acto químico de la interacción propiamente dicho.**
- 3. La evacuación de todos los productos de la zona de reacción.**

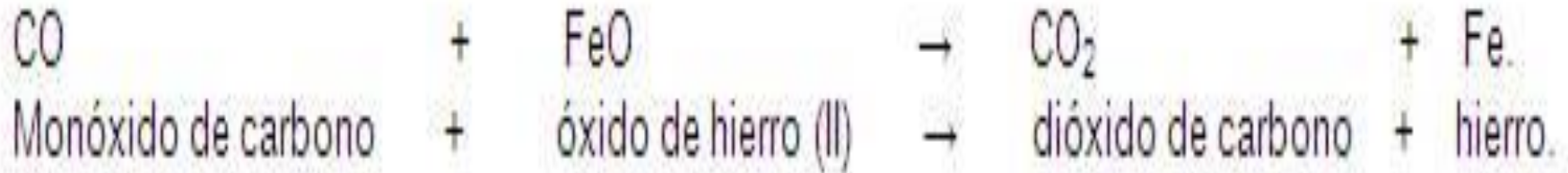
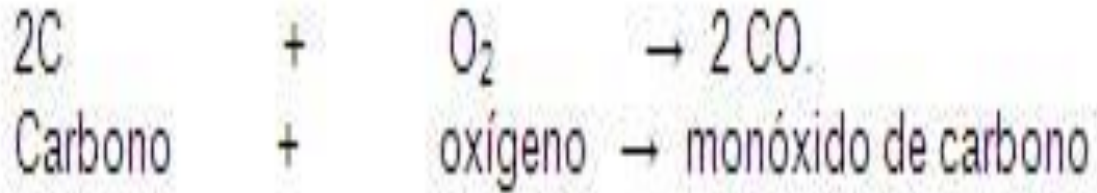
Cada etapa puede estar constituida por una serie de subetapas.

La formación de CO es favorecida por:

- incremento de la temperatura
- disminución de la presión
- baja relación CO/CO₂.

La formación de CO₂ es favorecida por:

- disminución de la temperatura
 - aumento de la presión
 - alta relación CO/CO₂.
- 



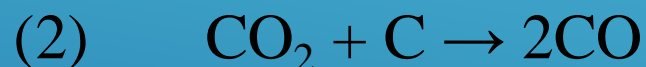
Se puede obtener hierro a partir de los óxidos con más o menos impurezas. Muchos de los minerales de hierro son óxidos, y los que no se pueden oxidar para obtener los correspondientes óxidos.

La reducción de los óxidos para obtener hierro llevada a cabo en el *alto horno*, como se ha señalado se añaden los minerales de hierro en presencia de coque, C, y carbonato de calcio, CaCO_3 , que actúa como escorificante.

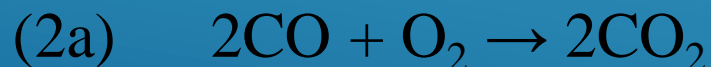
Los gases sufren una serie de reacciones; el coque puede reaccionar con el oxígeno para formar dióxido de carbono:



A su vez el dióxido de carbono puede reducirse para dar monóxido de carbono:



Aunque también se puede dar el proceso contrario al oxidarse el monóxido con oxígeno para volver a dar dióxido de carbono:



El proceso de oxidación de coque con oxígeno libera energía y se utiliza para calentar (llegándose hasta unos 1900 ° C en la parte inferior del horno).

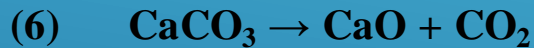
En primer lugar los óxidos de hierro pueden reducirse, parcial o totalmente, con el monóxido de carbono, CO; por ejemplo:



Después, conforme se baja en el horno y la temperatura aumenta, reaccionan con el coque (carbono en su mayor parte), reduciéndose los óxidos. Por ejemplo:



El carbonato de calcio (caliza) se descompone:



Y el dióxido de carbono es reducido con el coque a monóxido de carbono como se ha visto antes.

Más abajo se producen procesos de carburación:

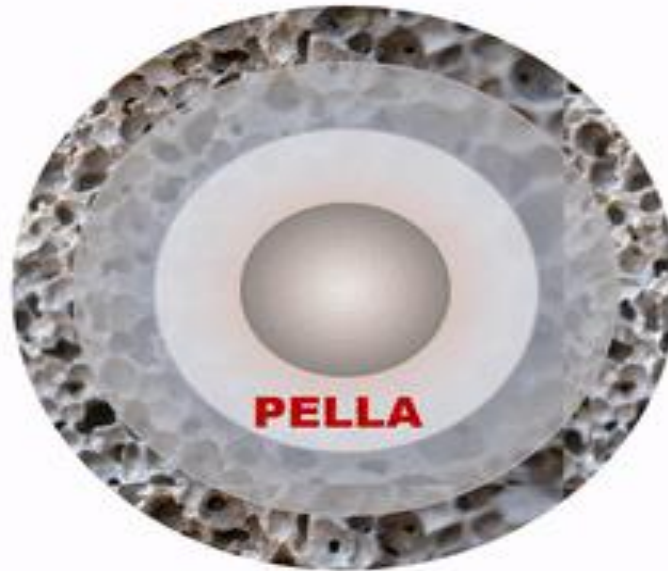


Finalmente se produce la combustión y desulfuración (eliminación de azufre) mediante la entrada de aire. Y por último se separan dos fracciones: la escoria y el arrabio: hierro fundido, que es la materia prima que luego se emplea en la industria.

Gases de salida

CO₂

H₂O

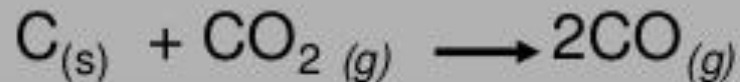
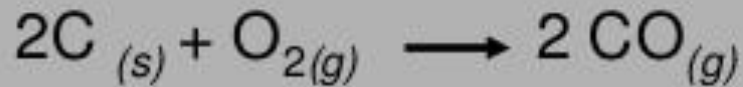


CO

H₂

Gases reductores

5. REACCIONES DE FORMACION DEL ARRABIO



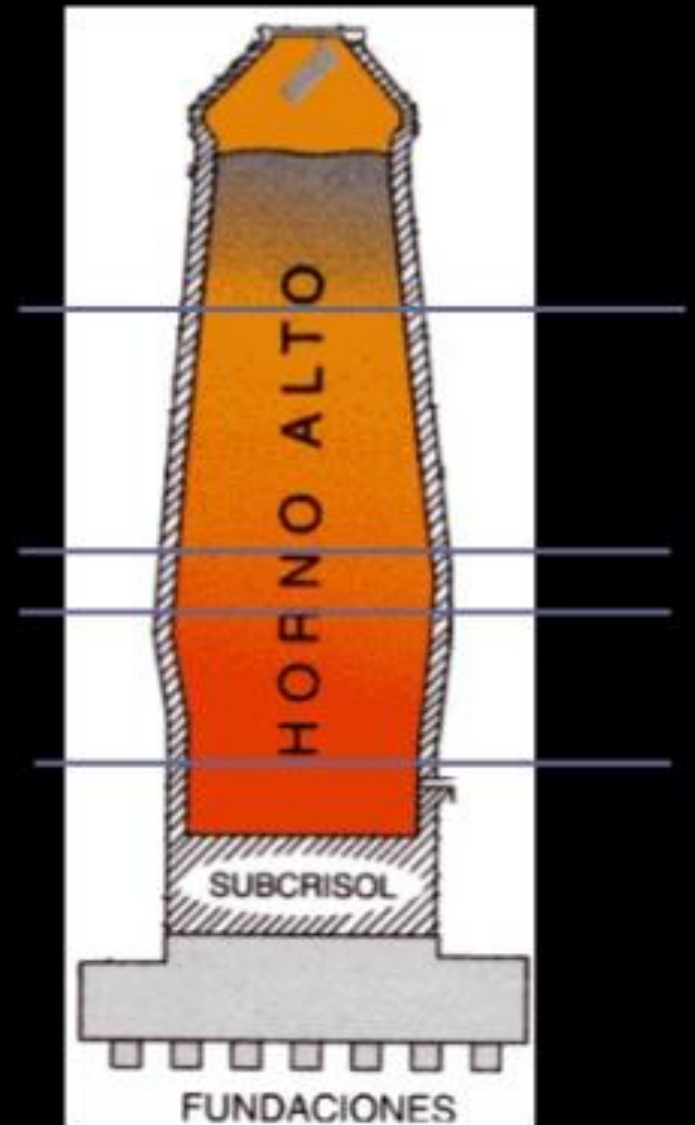
Reducción Indirecta



Reducción directa



Carburización



6. ZONA DE REACCIÓN

I. ZONA: 150° A 400° C DE TEMPERATURA

- eliminación del agua higroscópica

II. ZONA: 400° A 700° C

a) Reducción indirecta de los óxidos de hierro:



b) Solución del carbono por reacción de CO₂:



c) Descomposición de los Óxidos de manganeso:

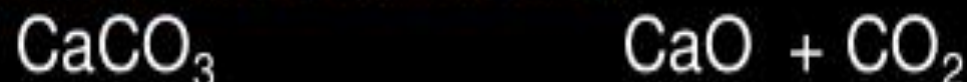


III ZONA: 700° A 1,350° C (absorción de calor)

- Reducción directa del óxido ferrico:



- Disociación de los carbonatos:



- Reducción de los óxidos de manganeso:



- Formación de la escoria primaria, silicatos:

- El silicio existente en el mineral forma de sílice (SiO_2),



IV ZONA: 1,360° A 1,550° C

- En esta zona, el hierro conserva un estado semisólido pastoso y esponjoso, mezclado aún con parte de la ganga aún no disuelta totalmente:

Carburación de la fundición:



Reducción de óxidos y formación de escorias:

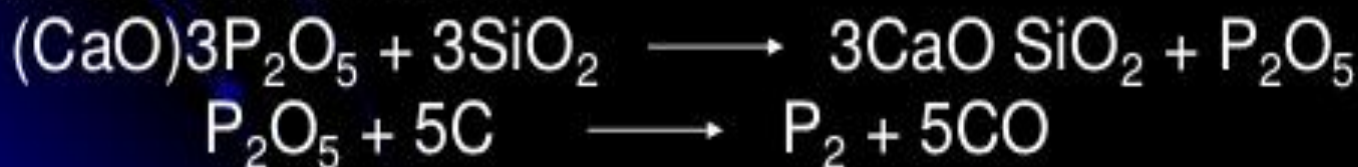
- Reducción directa del manganeso:



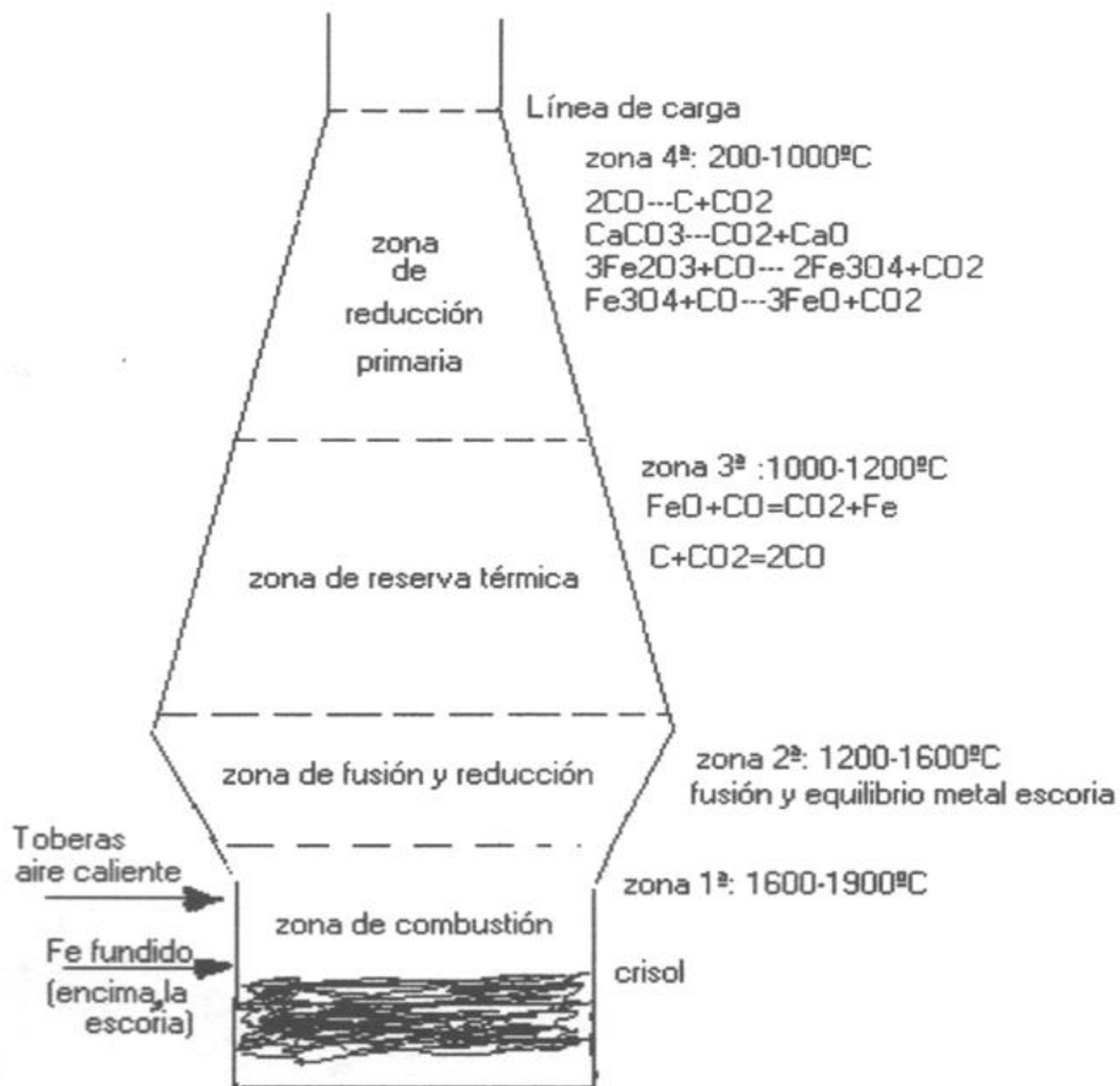
- Reducción directa del silicio:



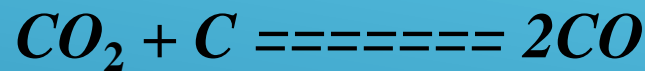
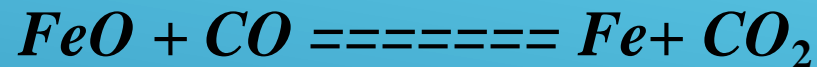
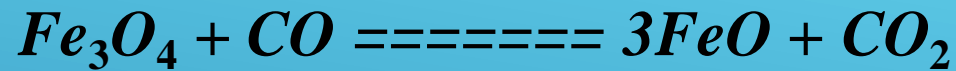
- Reducción del fósforo:







Reacciones de reducción por el CO:



Las curvas de Chaudron señalan las posibles reacciones teóricas que se pueden producir a diversas temperaturas entre los óxidos de hierro Fe_2O_3 , Fe_3O_4 y FeO con diferentes proporciones de CO y CO_2 .

Es decir, estas curvas señalan las proporciones de CO que se deben rebasar para que se pueda producir a diversas temperaturas la reducción de los diferentes óxidos de hierro.

FABRICACION DE HIERRO, ACEROS Y FUNDICIONES

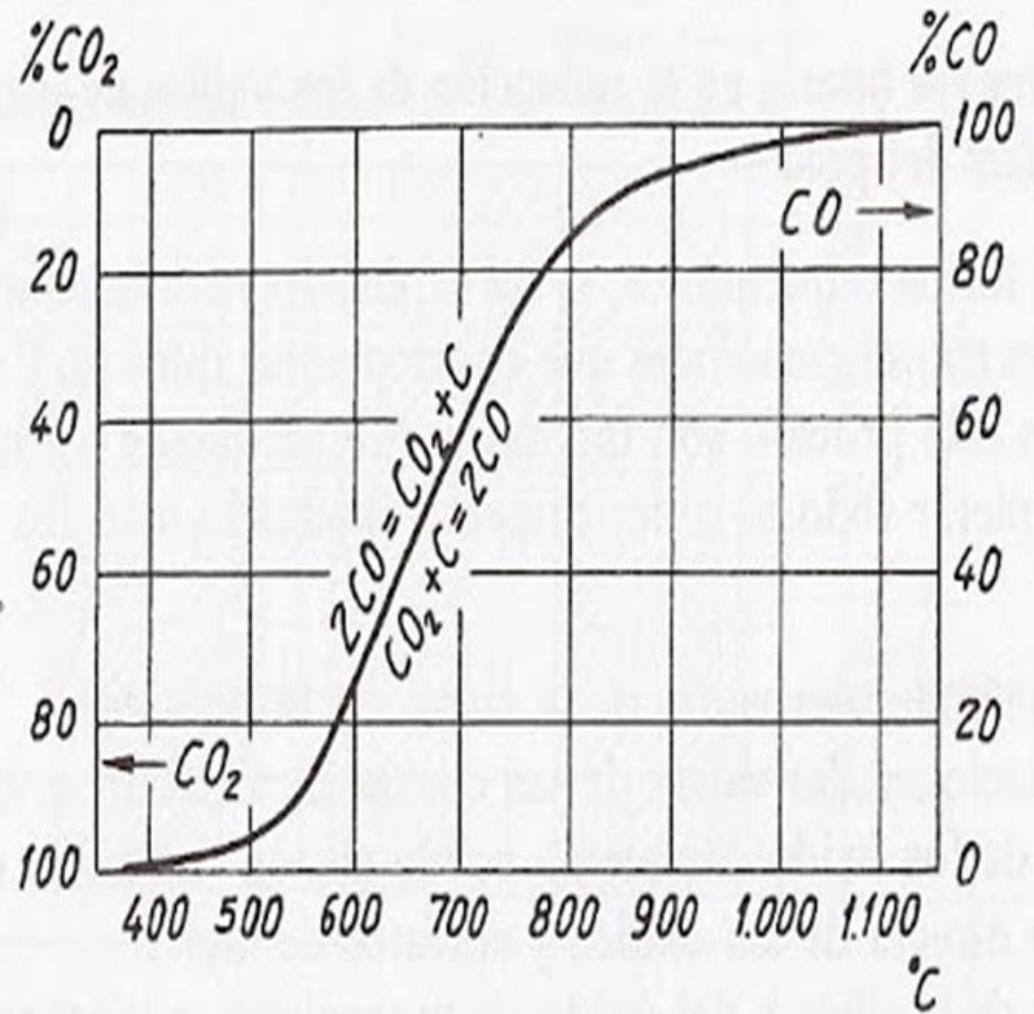
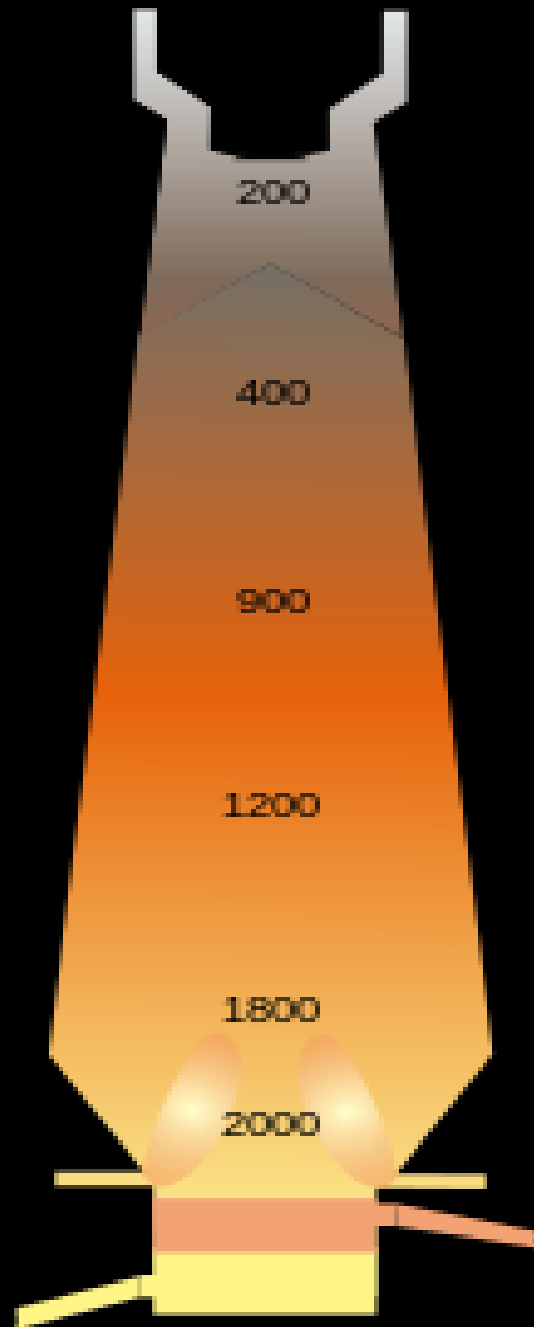
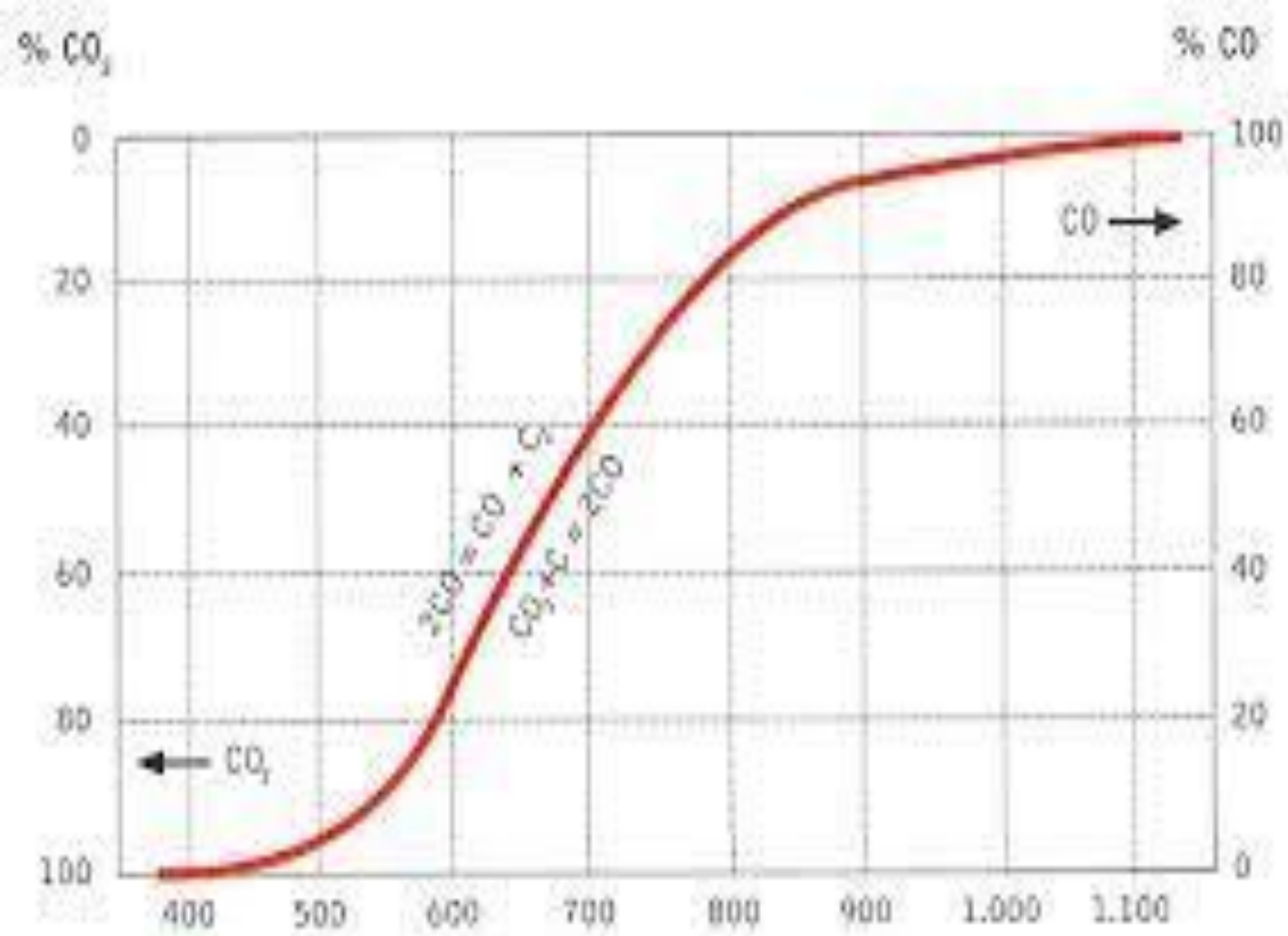
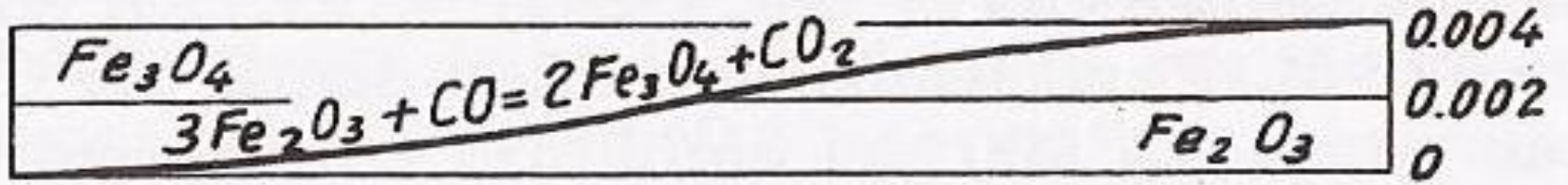
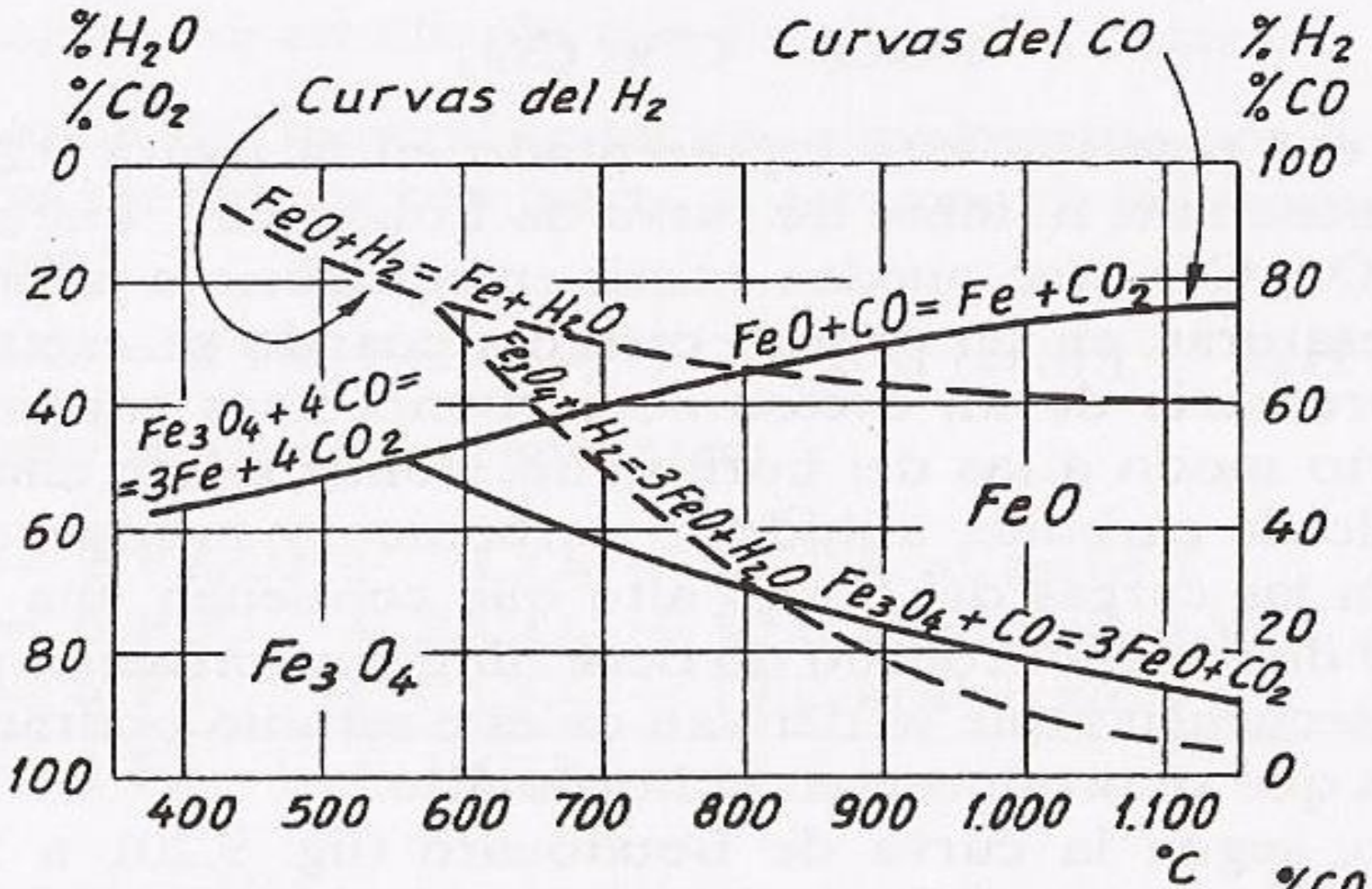
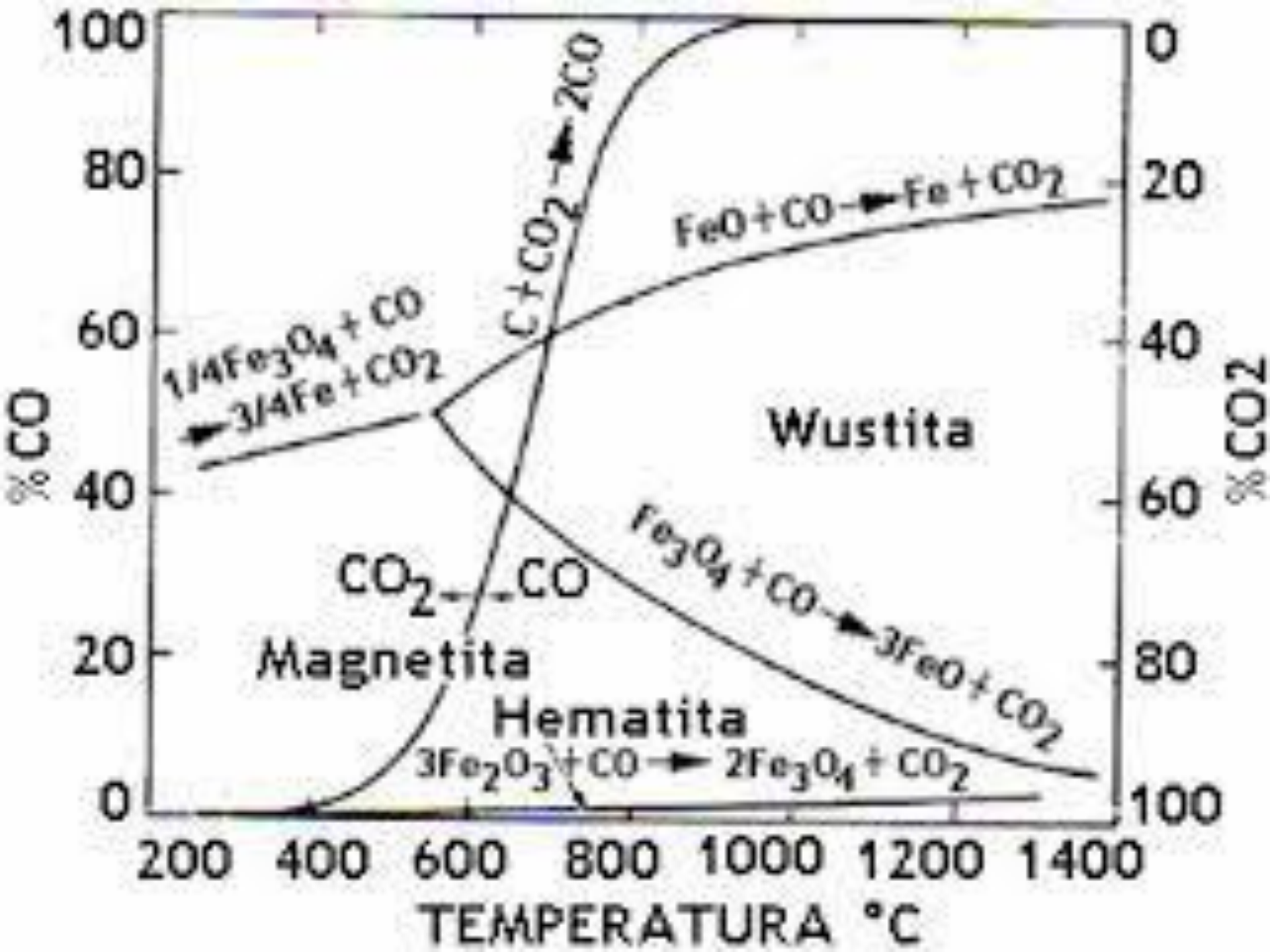


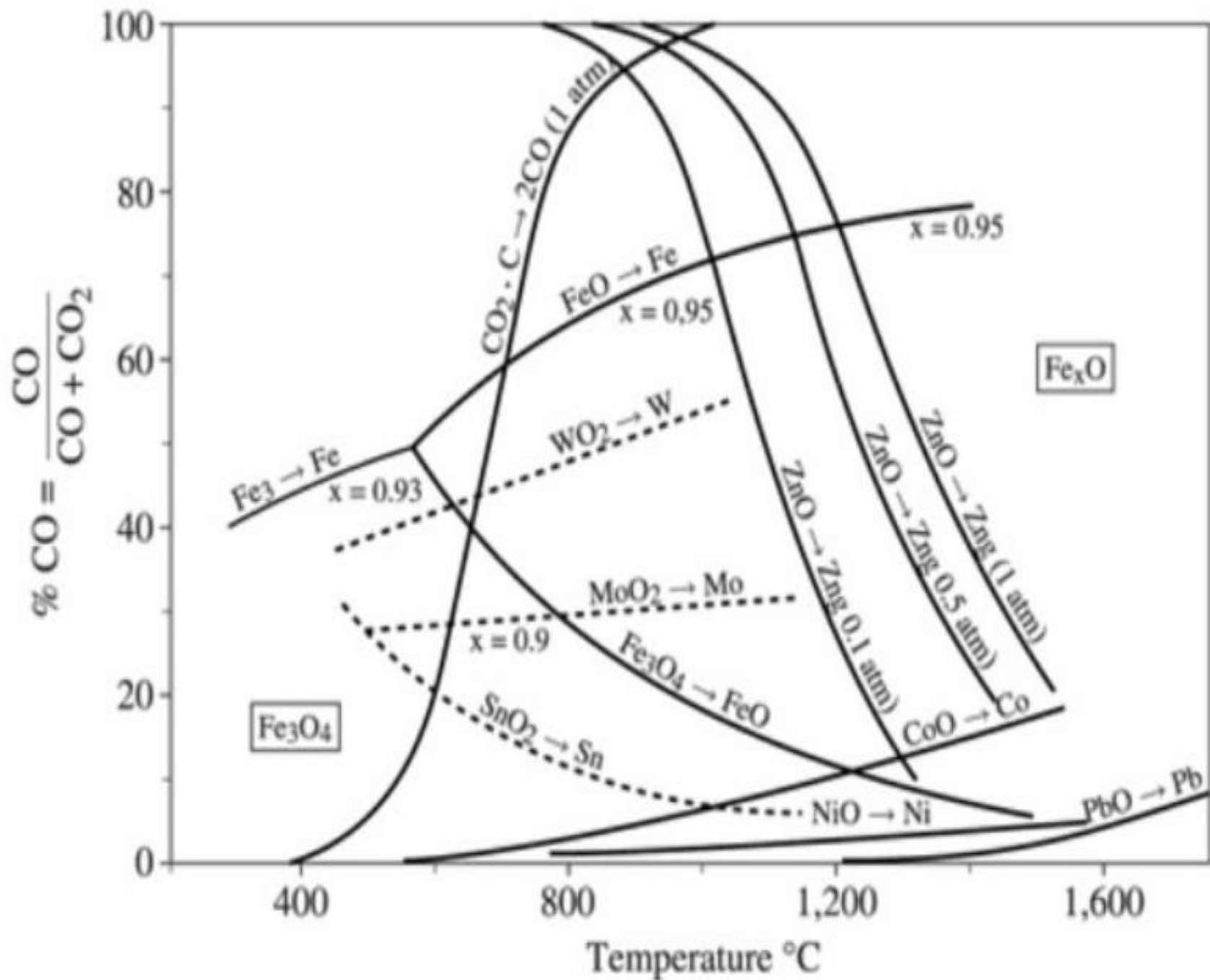
FIGURA 9.20
Curva de Boudouard.





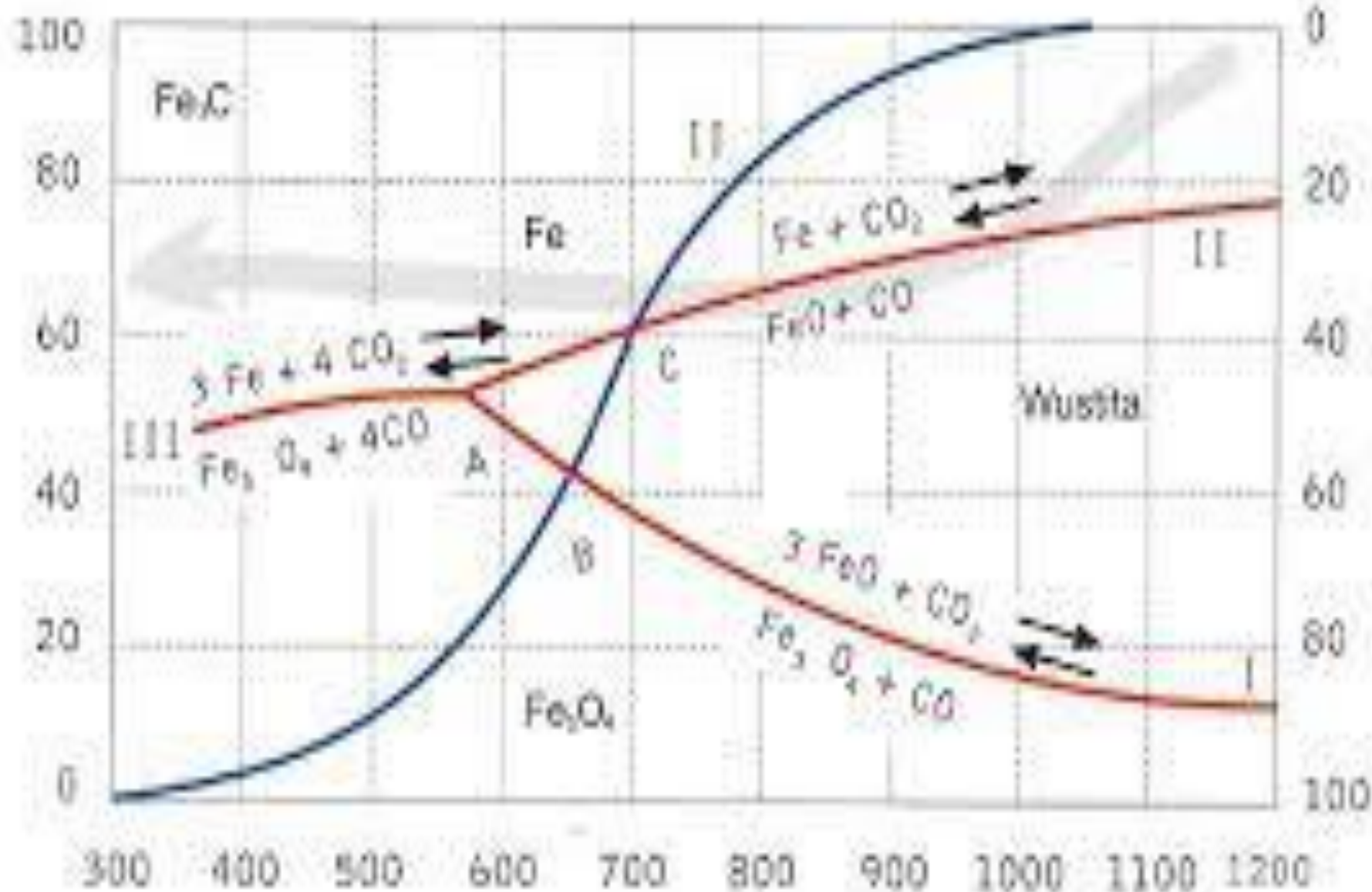


b)

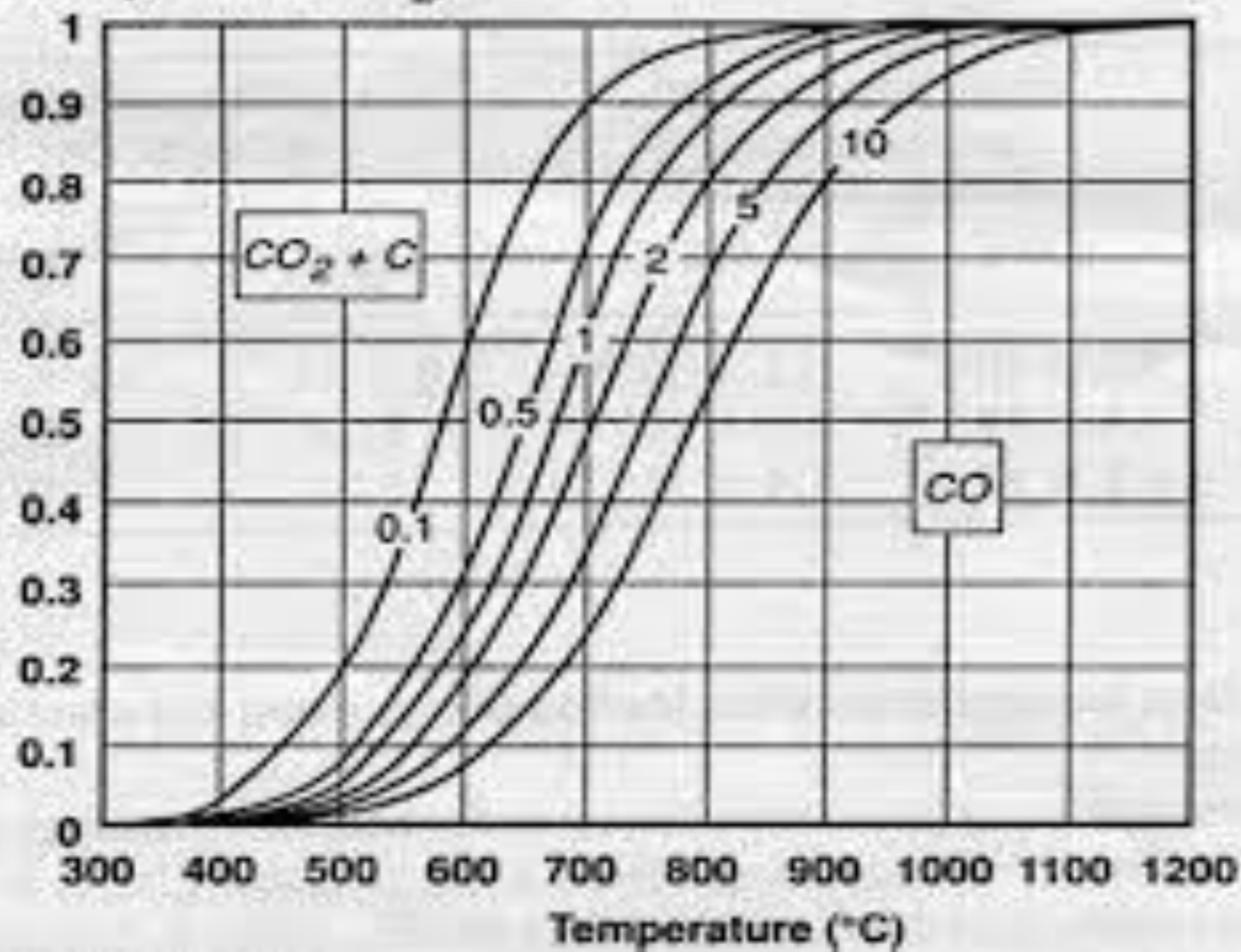


Volumen de CO, en %

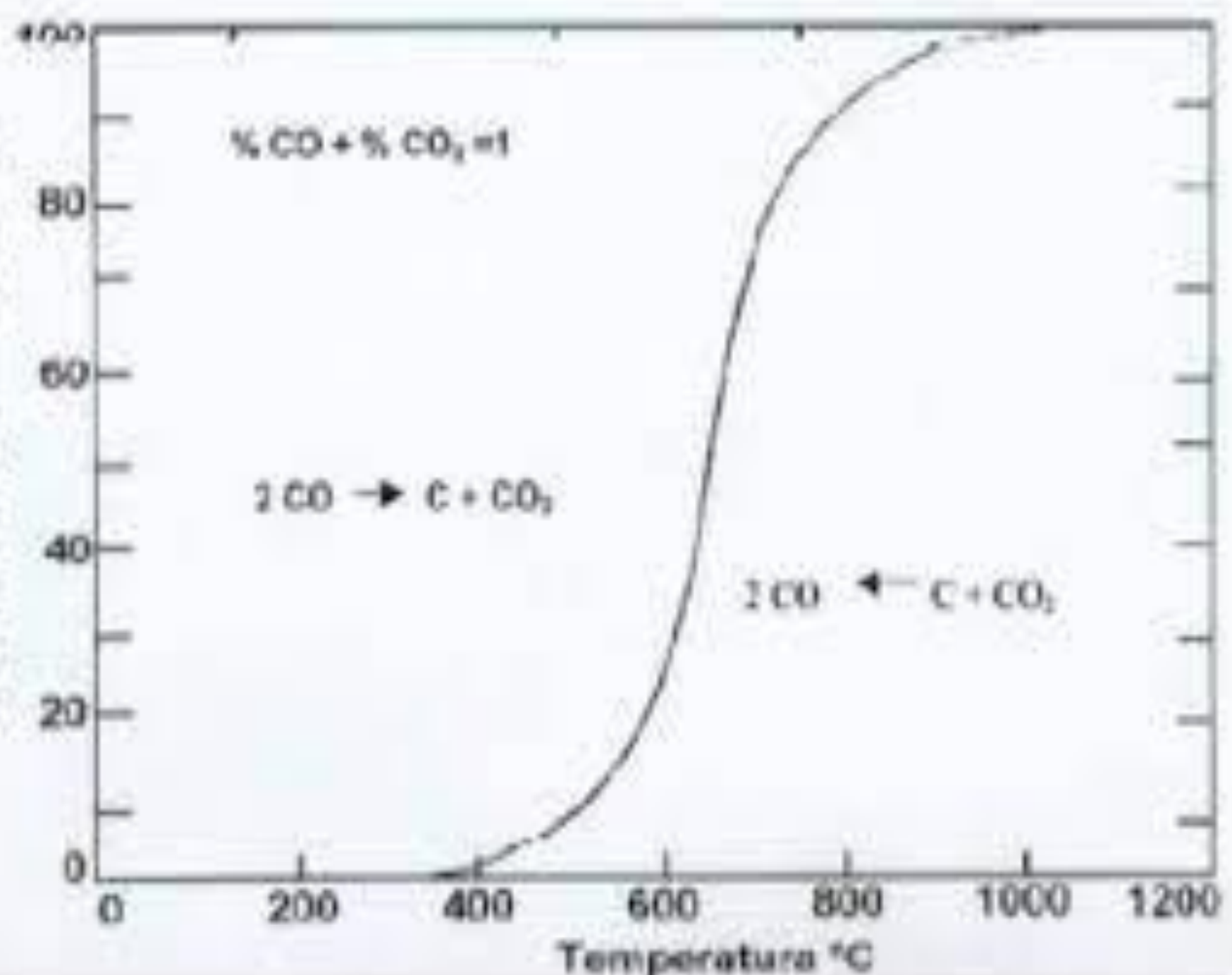
Volumen de CO₂, en %



%CO/(%CO + %CO₂)



PERCENT CO-CO₂



$\% \text{CO} + \% \text{CO}_2 = 1$

$2 \text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$

$2 \text{CO} \leftarrow \text{C} + \text{CO}_2$

Temperatura °C

1.2.1. Reducción de óxidos de hierro por medio de hidrógeno.

En calidad de reductores de los óxidos de hierro en el alto horno sirven el carbono y el hidrógeno. La reducción por carbono se llama reducción directa y la reducción por gases, reducción indirecta.

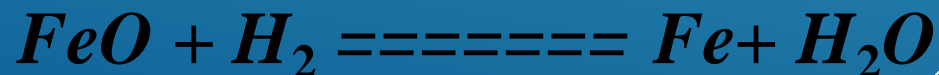
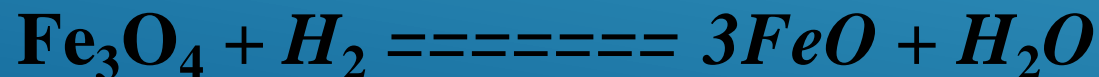
Sin embargo, la interacción directa del carbono con los óxidos sólidos está limitada por el contacto imperfecto entre los pedazos del material.

Para la producción de hierro también se puede utilizar el método de reducción directa el que emplea agentes reactivos reductores como gas natural, coque, aceite combustible, monóxido de carbono, hidrogeno o grafito.

El procedimiento consiste en triturar la mena de hierro y pasarla por un reactor con los agentes reductores, con lo que algunos elementos no convenientes para la fusión del mineral son eliminados.

El producto del sistema de reducción directa de hierro puede ser utilizado directamente para la producción de hierro con características controladas

Las reacciones de reducción por Hidrogeno (H_2), son:



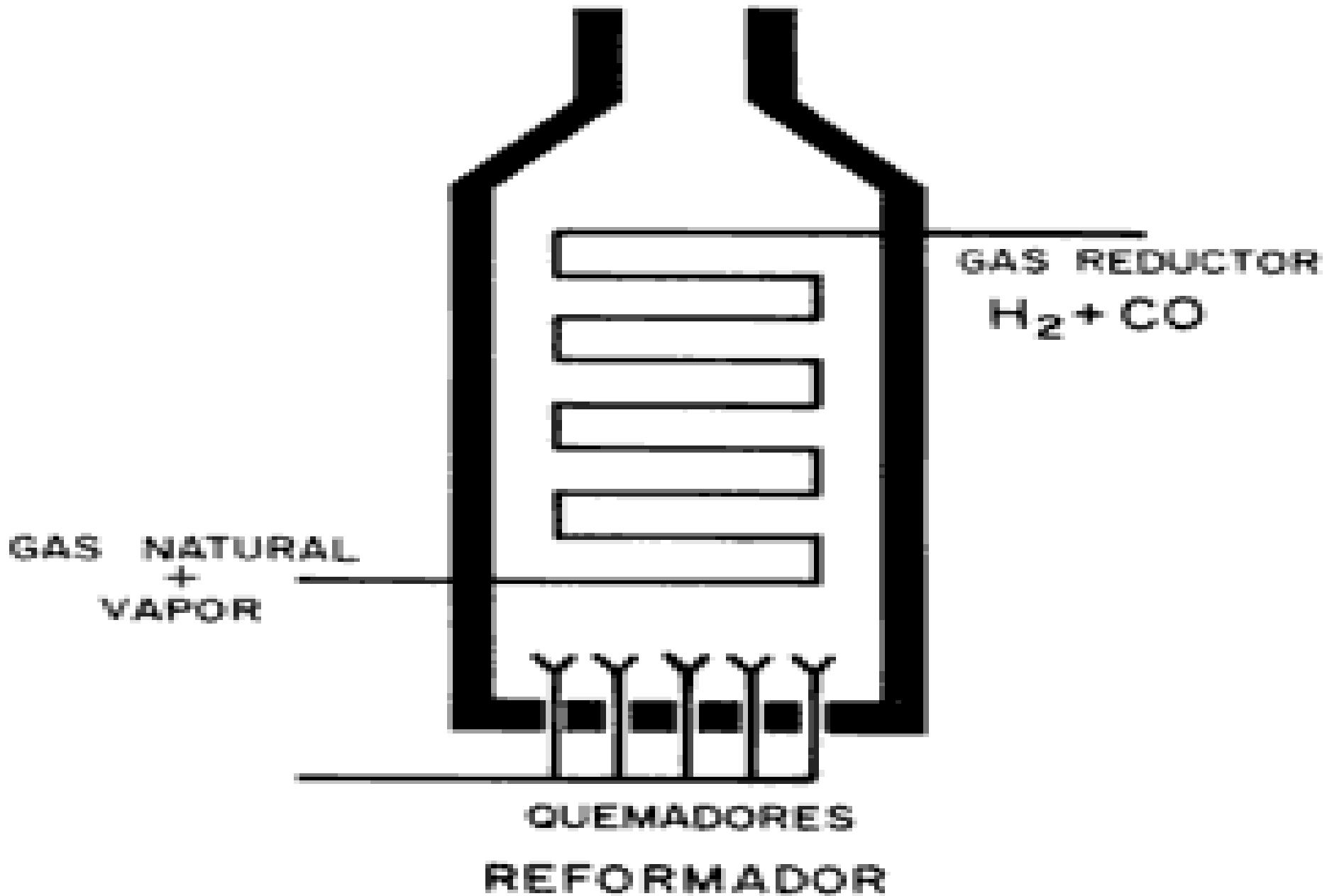


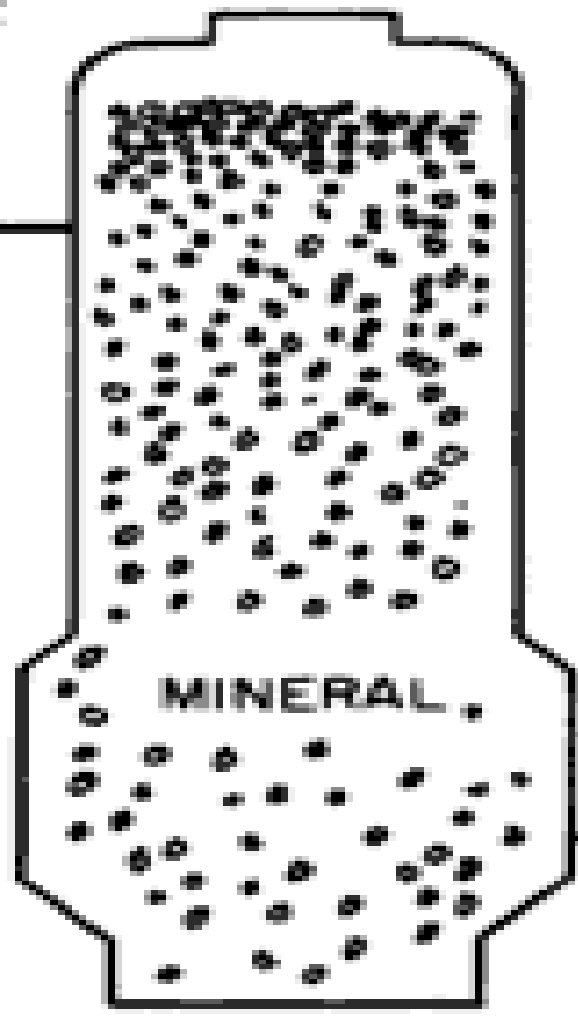
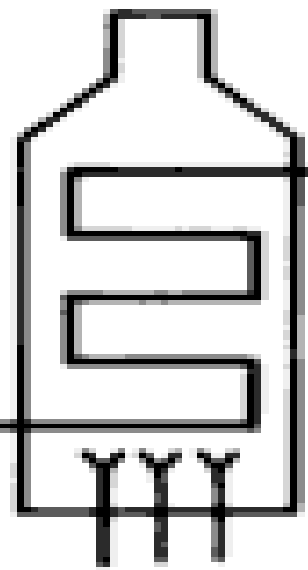
Figura 12. El reformador es un reactor químico que a altas temperaturas convierte una mezcla de gas natural y vapor en un gas de alto poder reductor formado de hidrógeno y monóxido de carbono.

PRECALENTADOR

GAS REDUCTOR



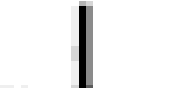
COMBUSTIBLE



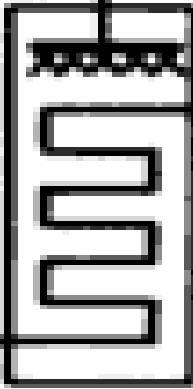
MINERAL

REACTOR

AGUA



ENFRIADOR



UNIDAD REDUCTORA

Figura 13. La unidad reductora consta de una enorme vasija donde se deposita un aglomerado de esferas del mineral por donde pasa el gas reductor previamente calentado a altas temperaturas. Posteriormente el gas residual es enfriado en una tubería bañada con agua.

CUADRO 1.- Composición del mineral de hierro empleado en el proceso

<i>Sustancia</i>	<i>Porcentaje en masa</i>
Hierro	67%
Oxígeno (en el hierro)	67%
Fósforo	0.05%
Azufre	0.02%
Óxido de calcio	1.8%
Óxido de magnesio	0.75%
Óxido de aluminio	1.03%
Óxido de silicio	1.3%
Impurezas	1.1%

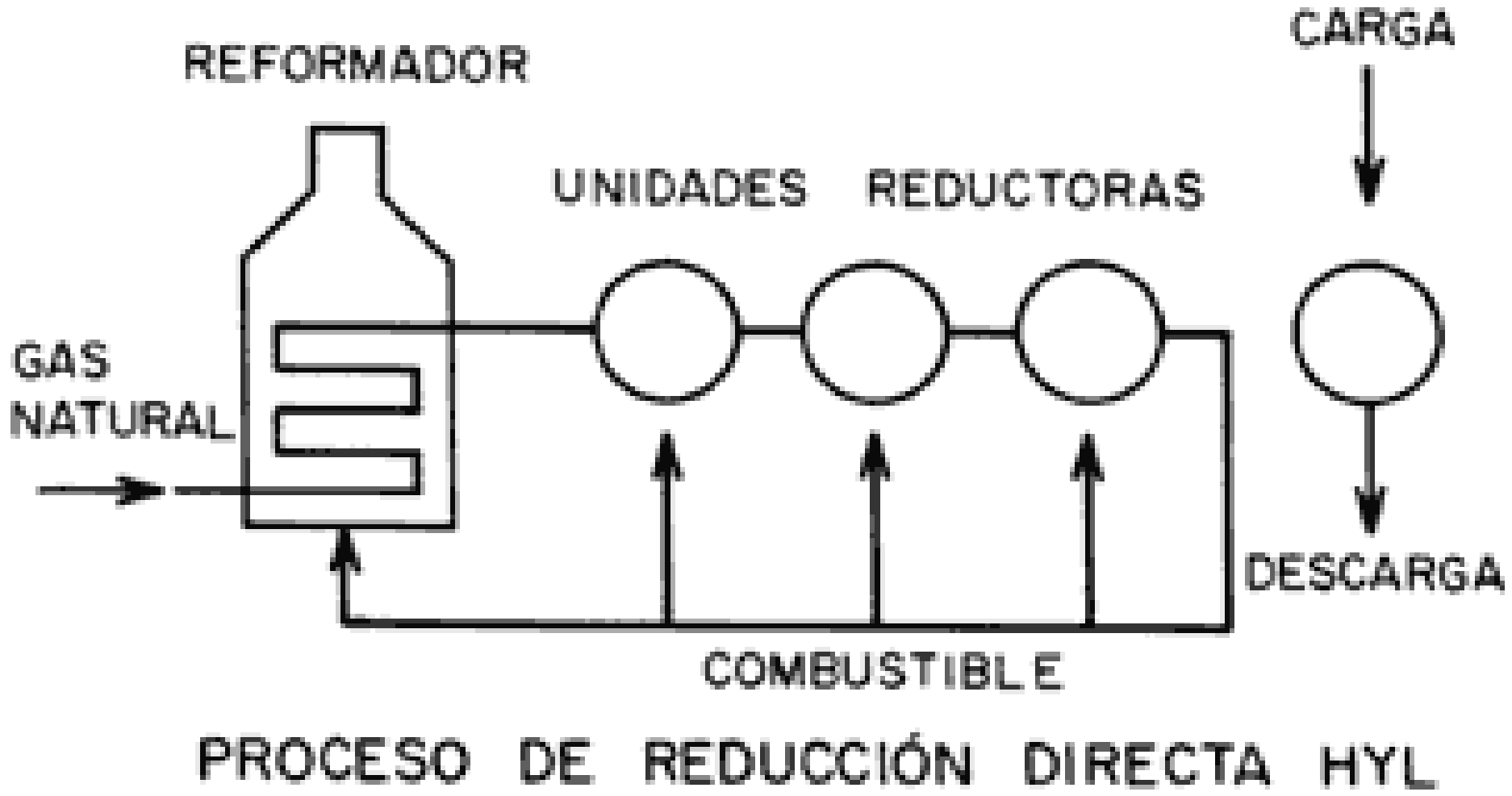


Figura 14. Una planta de reducción directa es un ensamble de un reformador y varias unidades reductoras. Las materias primas y los minerales en el proceso HYL son aprovechados al máximo al emplear el gas reductor residual como combustible para las unidades calefactoras.

1.2.2. Reacción de Boudouard.

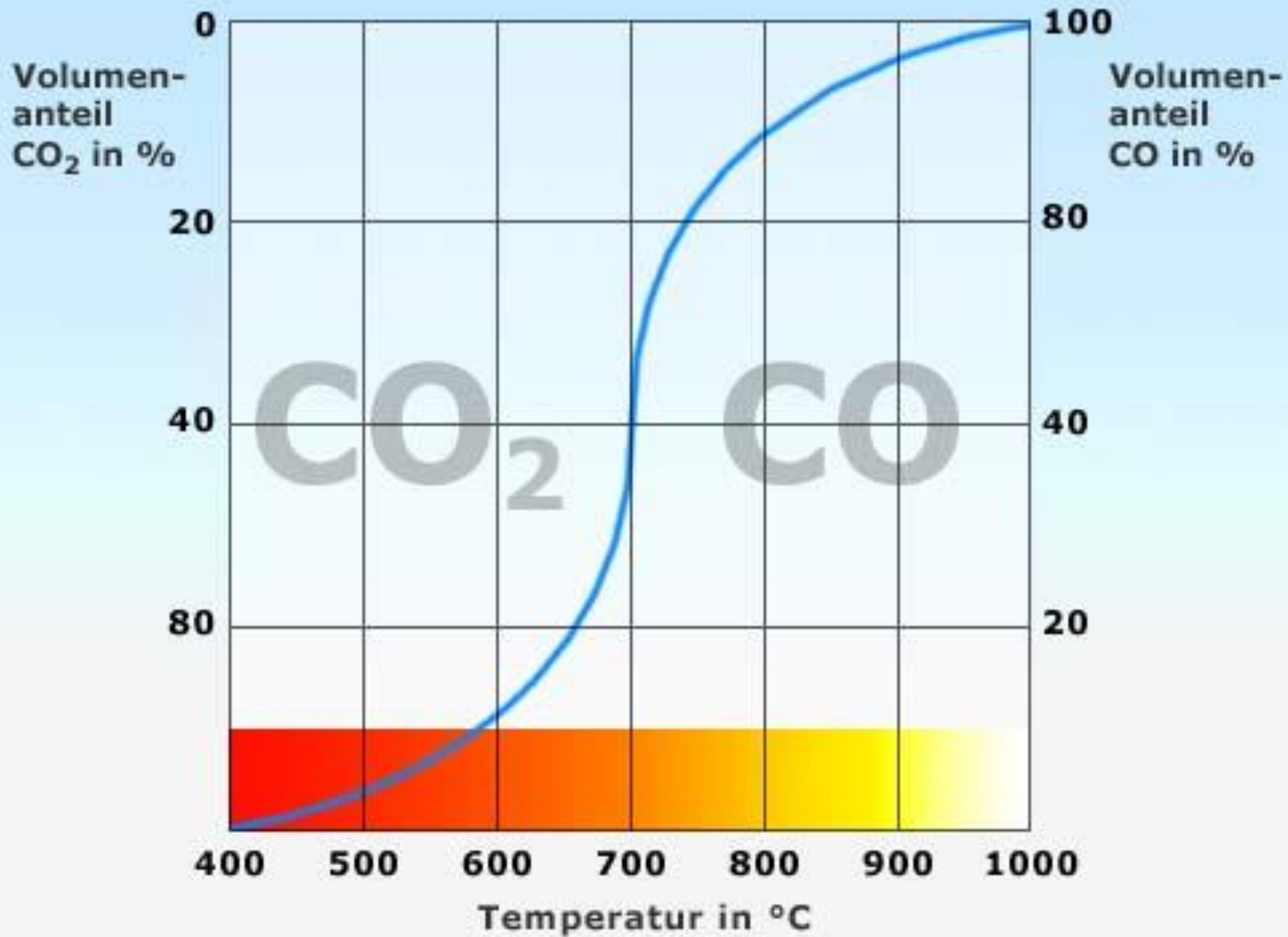
La reacción de Boudouard es la reacción redox de una mezcla de equilibrio químico de monóxido de carbono y dióxido de carbono a una temperatura dada. Es la desproporción del monóxido de carbono en dióxido de carbono y grafito o su reverso:



Mientras que la entalpía de formación de CO_2 es mayor que la de CO , la entropía de formación es mucho menor.

En consecuencia, según el diagrama de Ellingham, el cambio total de energía libre de formación de CO_2 por oxidación del carbono es casi constante e indiferente de la temperatura, mientras que el cambio de energía libre de formación de CO es una línea decreciente.

Estas dos líneas se encuentran a 700°C , por lo que la reacción de Boudouard implica que a temperaturas más bajas el equilibrio está en el lado exotérmico del dióxido de carbono y en temperaturas más altas la formación endotérmica de monóxido de carbono es la reacción dominante.



Curva de Boudouard

La curva de Boudouard señala las proporciones teóricas de CO y CO₂ que pueden existir en equilibrio a la presión atmosférica y a diferentes temperaturas, en un recinto, cuando se encuentran mezclados esos dos gases en presencia de un exceso de carbono (1).

Así, por ejemplo, según la curva de Boudouard, a 500 C, el equilibrio corresponde aproximadamente a: CO 5% y CO₂ 95 %; a 800 C hay equilibrio con CO 85 % y CO₂ 15 %.

En términos generales puede decirse, que a temperaturas inferiores a 400 °C son estables grandes porcentajes de CO₂, los que son inestables a altas temperaturas.

En cambio, importantes porcentajes de CO son estables a temperaturas superiores a 900 °C, e inestables a bajas temperaturas (2).

Óxidos de carbono

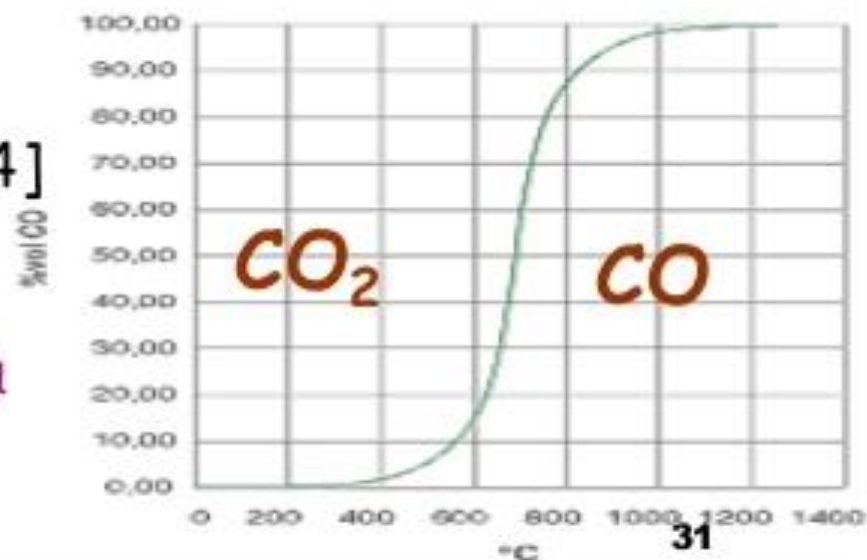
	ΔH° KJ.mol ⁻¹	ΔS° J.K ⁻¹ mol ⁻¹
$2C(s) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$ [1]	-221,0	+178
$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ [2]	-393,5	+3
$2CO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g)$ [3]	-565	-86

Equilibrio de Boudouard



$$\Delta H^\circ = -172, \text{Kj/mol}$$

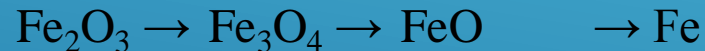
$$\Delta S^\circ = -176,5 \text{ J.K}^{-1}\text{mol}^{-1}$$



Curvas de Chaudron y Boudouard.

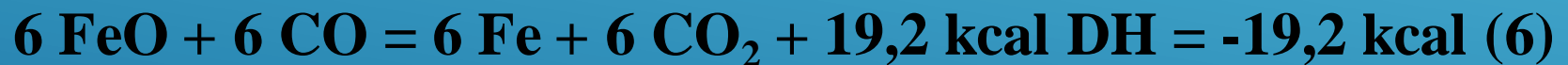
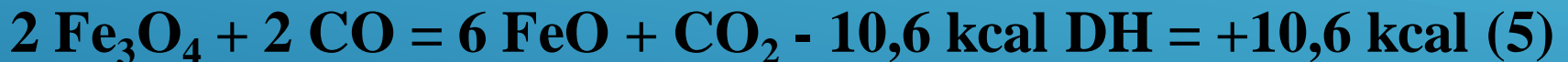
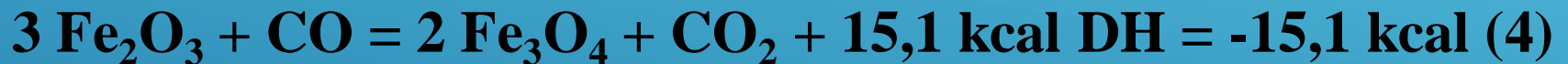
Las curvas de Chaudron y Boudouard señalan las posibles reacciones teóricas que se pueden producir a diversas temperaturas entre los óxidos de hierro Fe_2O_3 , Fe_3O_4 y FeO con diferentes proporciones de CO y CO_2 . Es decir, estas curvas señalan las proporciones de CO que se deben rebasar para que se pueda producir a diversas temperaturas la reducción de los diferentes óxidos de hierro /2/.

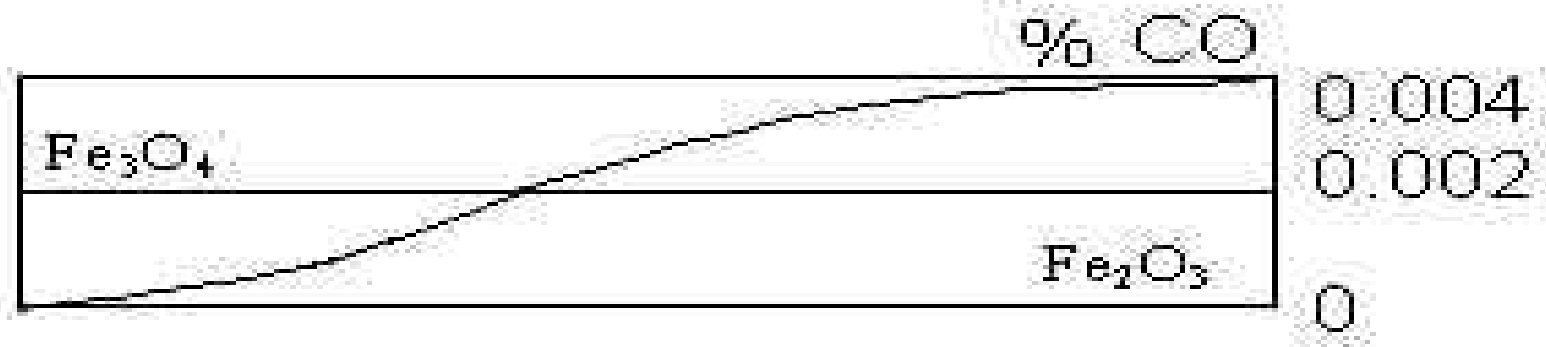
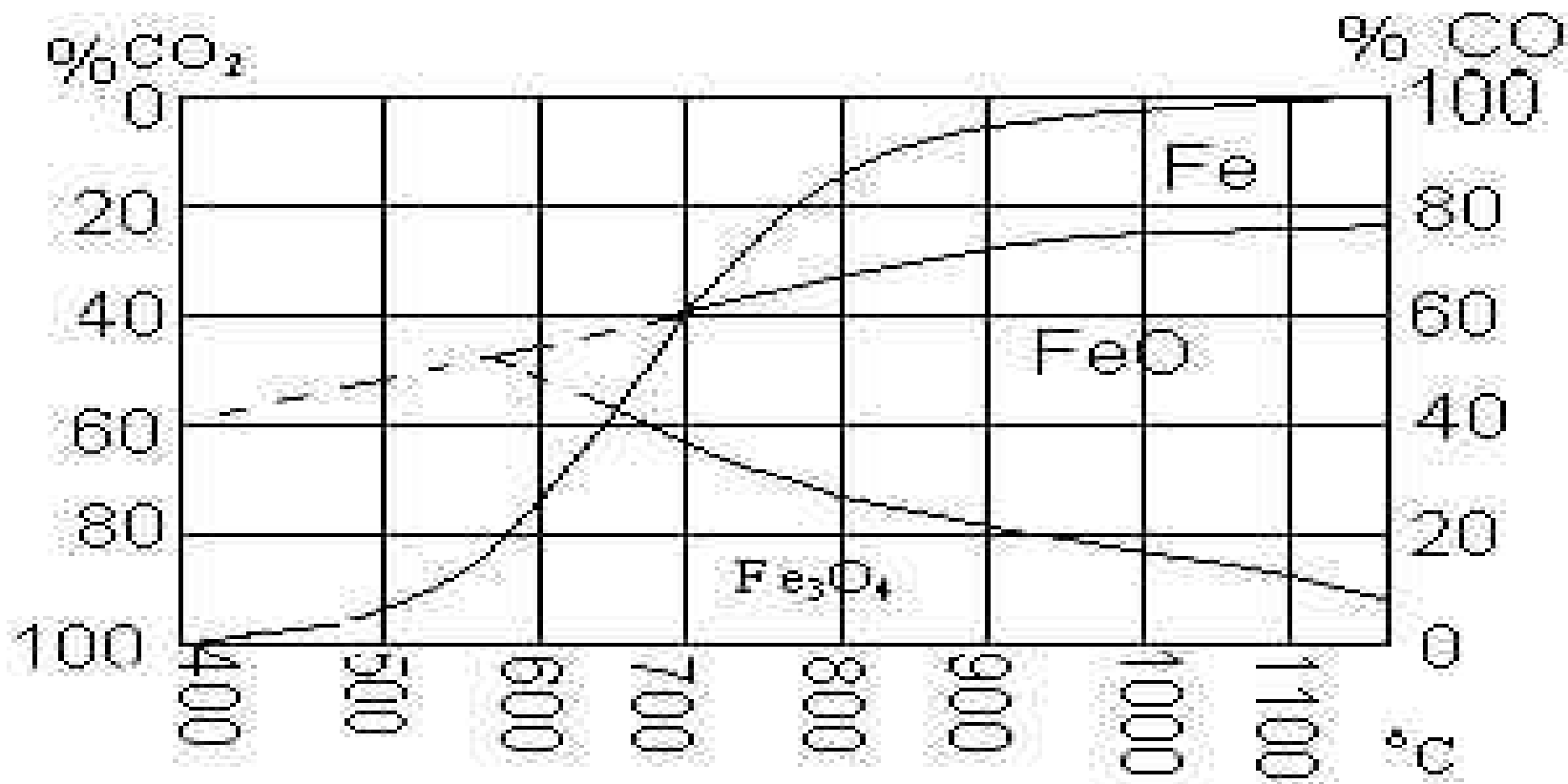
A temperaturas superiores a $555\text{ }^\circ\text{C}$, la reducción de los óxidos de hierro por la acción de mezclas de CO y de CO_2 se realiza en tres etapas sucesivas, avanzando las transformaciones en la siguiente forma:



A temperaturas inferiores a $555\text{ }^\circ\text{C}$, el paso de Fe_2O_3 a Fe se verifica solamente a través del Fe_3O_4 , sin la aparición de la fase FeO intermedia. Es interesante indicar que el óxido de hierro FeO , denominado *wustita*, no es estable a la temperatura ambiente, y normalmente no se encuentra libre en forma estable en la naturaleza, donde aparece en forma combinada, y sólo en algunas ocasiones se presenta, pero en forma inestable. El FeO solamente es estable a temperaturas superiores a $560\text{ }^\circ\text{C}$. /3/.

Teóricamente, las transformaciones $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ y $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ por la acción del CO, sólo pueden producirse a temperaturas superiores a 555 °C.



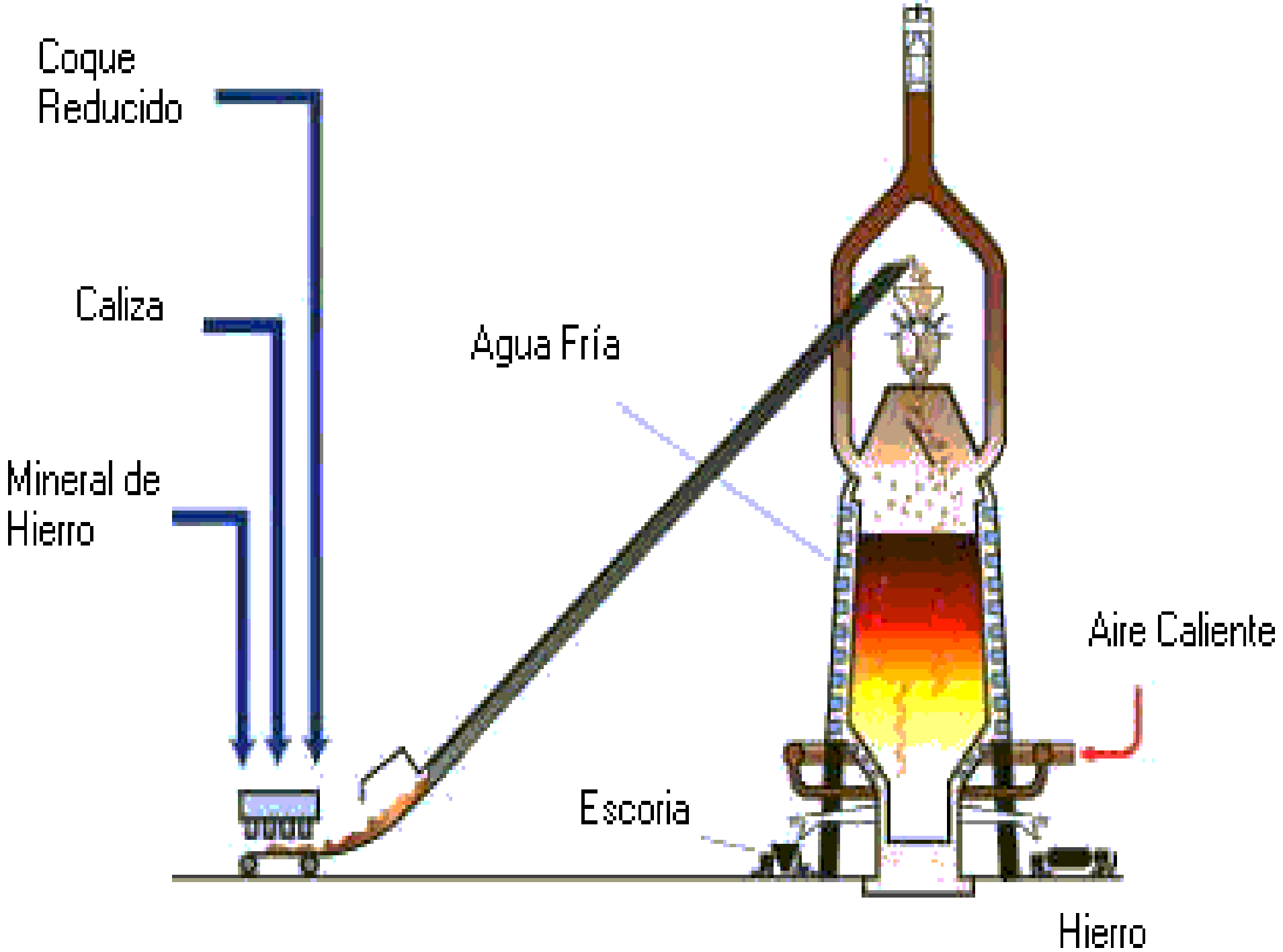


1.3. El alto horno.

Aunque existen otros métodos, el método más empleado para su obtención es por reducción química de los óxidos de hierro en un alto horno (su nombre correcto es horno alto), debido a su bajo costo, alta productividad y alto rendimiento térmico.

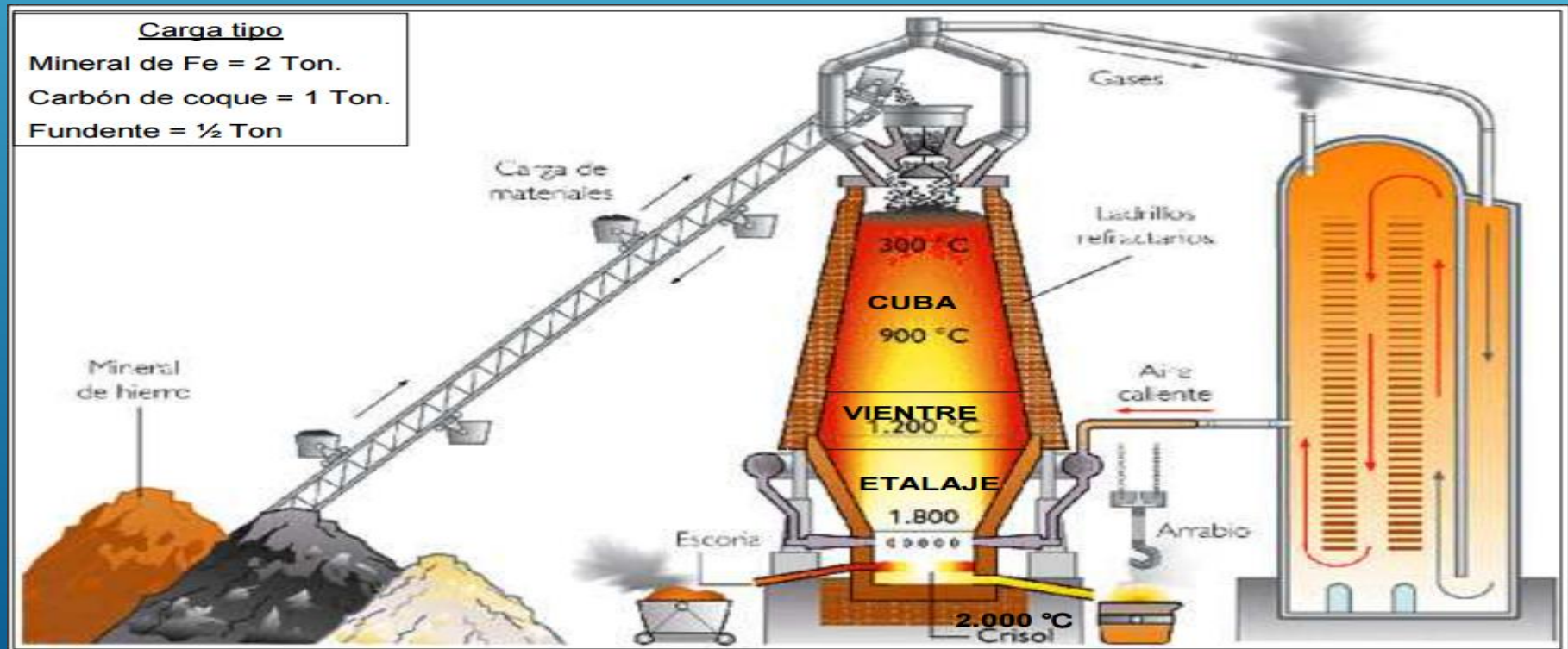
Un alto horno es un horno especial recubierto de material refractario (capaz de soportar altas temperaturas) en el que tienen lugar la fusión de los minerales de hierro y la transformación química de éstos en el llamado fundición de primera fusión o, en la terminología siderúrgica, arrabio, con un contenido en carbono del 2.6-4.3% en carbono.

Un alto horno es una planta química en forma de columna de una altura entorno los 20-30 m, en el que el diámetro aumenta desde su parte superior (tragante) hasta alcanzar el máximo (vientre) conformando la cuba. Desde el vientre su diámetro disminuye en la zona llamada etalaje hasta hacerse cilíndrico en la obra, cuya parte inferior se llama crisol.



El crisol dispone de dos orificios de salida, uno (bigotera) por encima del otro (piquera) para la evacuación de la escoria y el arrabio, respectivamente.

Los gases calientes que salen por la parte superior del horno, contienen dióxido y monóxido de carbono y óxidos de azufre que arden con facilidad, por lo que se queman en otros hornos especiales (estufas Cowper) para calentar el aire que se introduce en el alto horno a través de una serie de conducciones (toberas) por encima de la bigotera.



1.3.1. Instalación.

El alto horno es la instalación industrial para la obtención de hierro en forma de arrabio a partir de los minerales de hierro. Esta obtención de hierro se realiza por reducción química de dichos minerales de hierro.

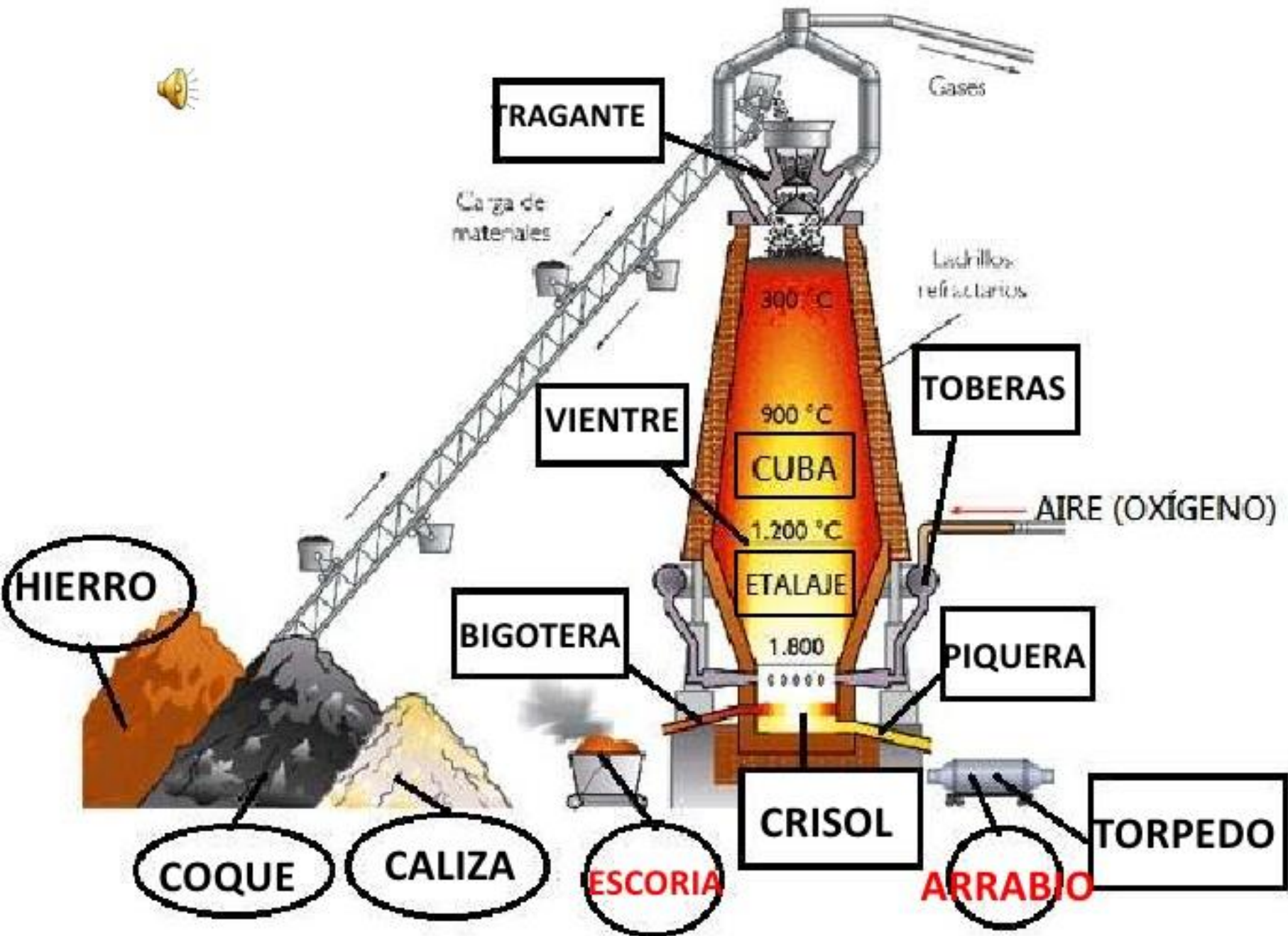
Un alto horno típico está formado por una cápsula cilíndrica de acero de unos 30 m de alto forrados con un material no metálico y resistente al calor, como asbesto o ladrillos refractarios.

El diámetro de la cápsula disminuye hacia arriba y hacia abajo, y es máximo en un punto situado aproximadamente a una cuarta parte de su altura total denominada vientre. La parte inferior del horno está dotada de varias aberturas tubulares llamadas toberas, por donde se fuerza el paso del aire que enciende el coque.

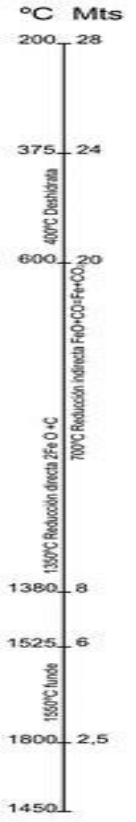
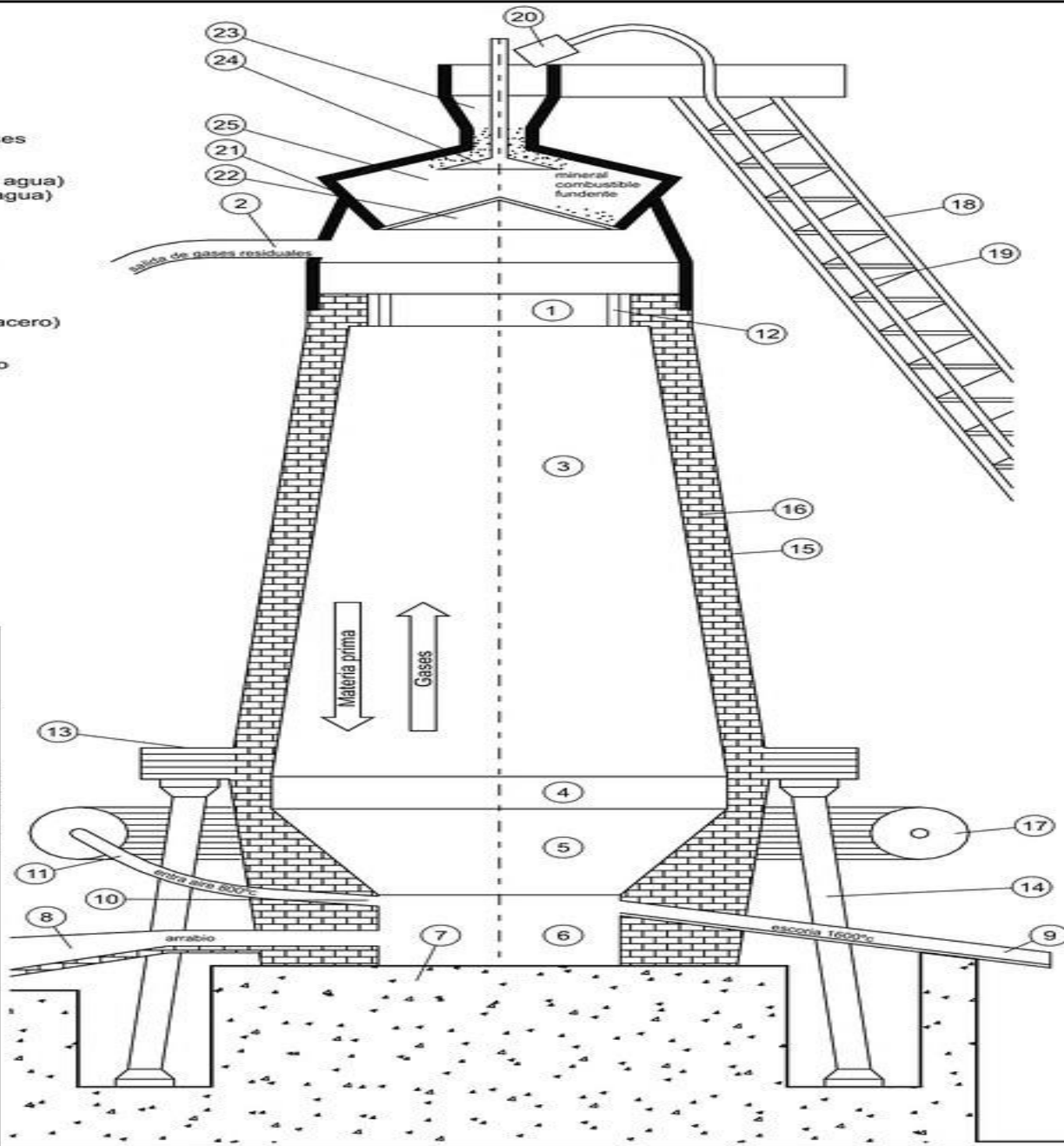
1.3.1. Instalación.

Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que fluye el arrabio cuando se sangra el alto horno que recibe el nombre de piquera. Encima de ese orificio, pero debajo de las toberas, hay otro agujero para retirar la escoria denominado bigotera.

La parte superior del horno contiene respiraderos para los gases de escape y un par de tolvas redondas, cerradas por válvulas en forma de campana, por las que se introduce el mineral de hierro, el coque y la caliza.



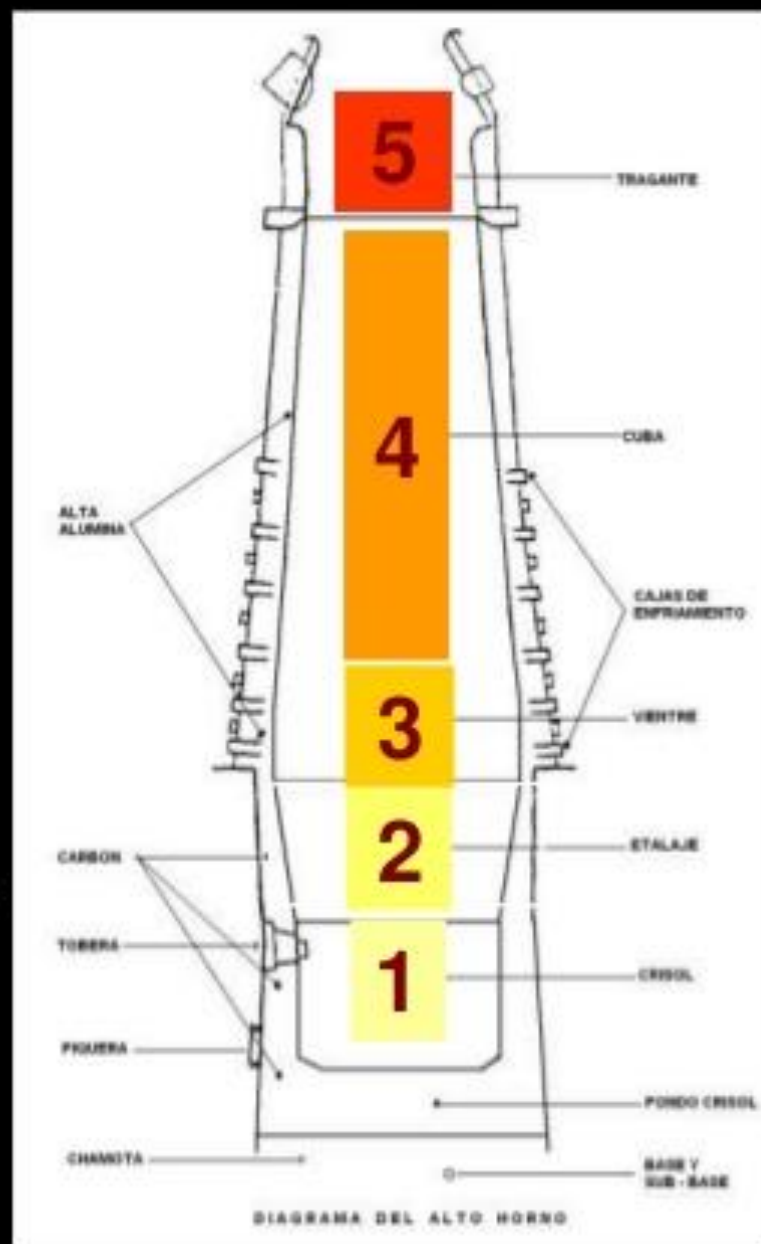
- 1-Tragante
- 2-Tubo de salida de gases
- 3-Cuba
- 4-Vientre
- 5-Etalaje(refrigerado por agua)
- 6-Crisol(refrigerado por agua)
- 7-Solera
- 8-Piquera
- 9-Bigotera
- 10-Tobera
- 11-Manga de la tobera
- 12-Aros
- 13-Aro de apoyo
- 14-Sosten
- 15-Camisa (chapas de acero)
- 16-Revestimiento
- 17-Tubo para aire
- 18-Montacarga Inclinado
- 19-Carril
- 20-Vagoneta
- 21-Embudo grande
- 22-Cono grande
- 23-Embudo pequeño
- 24-Como pequeño
- 25-Carga



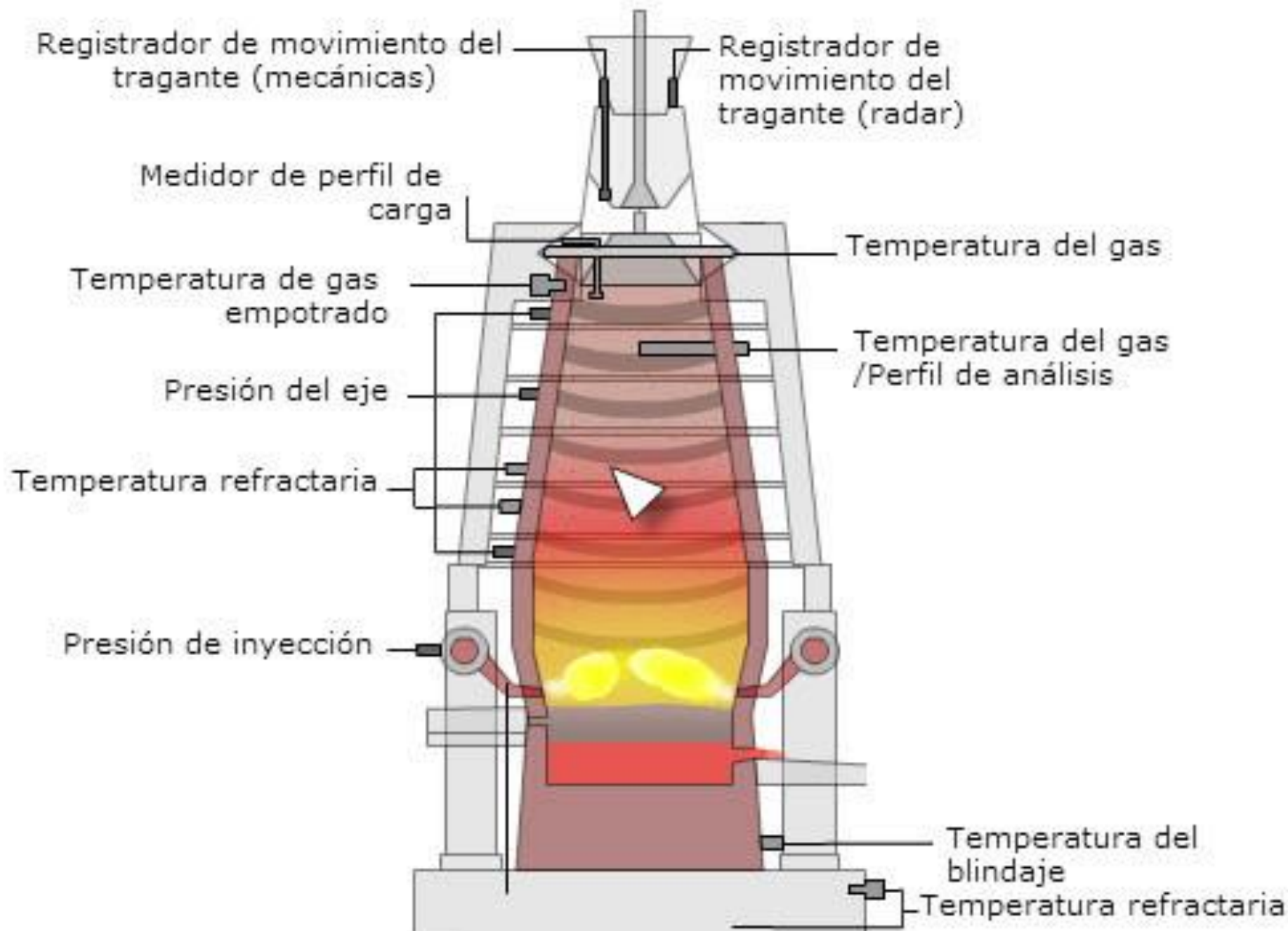
2009	FADU	Esc:1125	Docente: Flores Pablo	Tecnología 1
Tercer	Rev:	Apr:	Alto Horno	Alumno: Drega Matias
Rug:	Fecha:	Nombre:	Lamina N°: 1	Firma:
(T.P.N°7 esquema de un alto horno)				

2. PARTES DEL ALTO HORNO

1. **CRISOL.** Esta parte sirve como depósito de los materiales fundidos, el arrabio y la escoria; tienen una forma cilíndrica.
2. **ETALAJE.** Esta parte ubicada encima del crisol; de forma cónica truncada.
3. **VIENTRE.** Esta parte forma la zona entre los etalajes y la cuba.
4. **CUBA.** Forma cónica truncada es la unidad más alta del horno.
5. **TRAGANTE.** Extremo superior del alto horno donde se carga la carga



A continuación se describe un ejemplo de un alto horno moderno, bien instrumentado:



1.3.1. Equipo auxiliares.

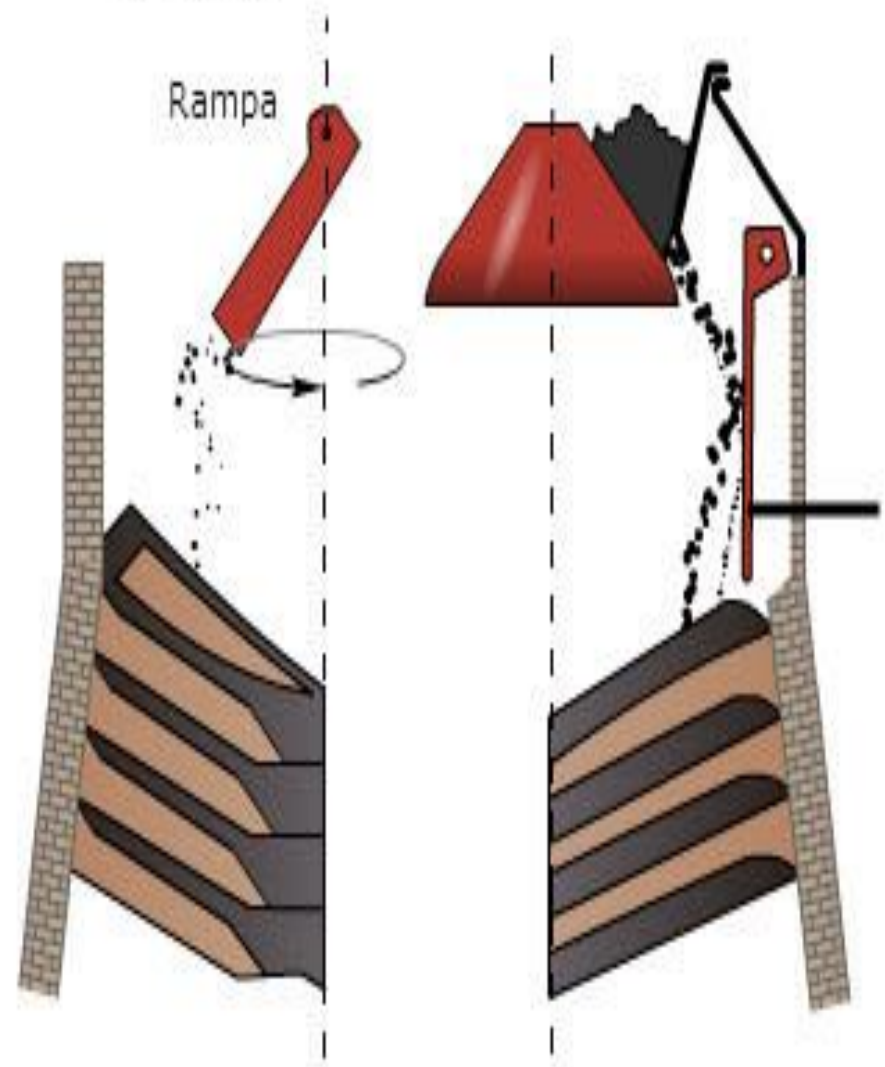
El diseño de los sistemas auxiliares del proceso suele ser la última fase del diseño del mismo y es crítico para el éxito comercial de dicho proceso. A la hora de diseñar los sistemas auxiliares hay que tener en cuenta las condiciones de la planta industrial.

En el caso del alto horno es conveniente y necesario que se apoye en equipos auxiliares que fortalezcan el equipo principal y fomenten el buen funcionamiento del horno en condiciones de recuperación de calor, inyección de aire, enfriamiento, etc. Además de la estructura principal del alto horno, existen los siguientes equipos auxiliares:

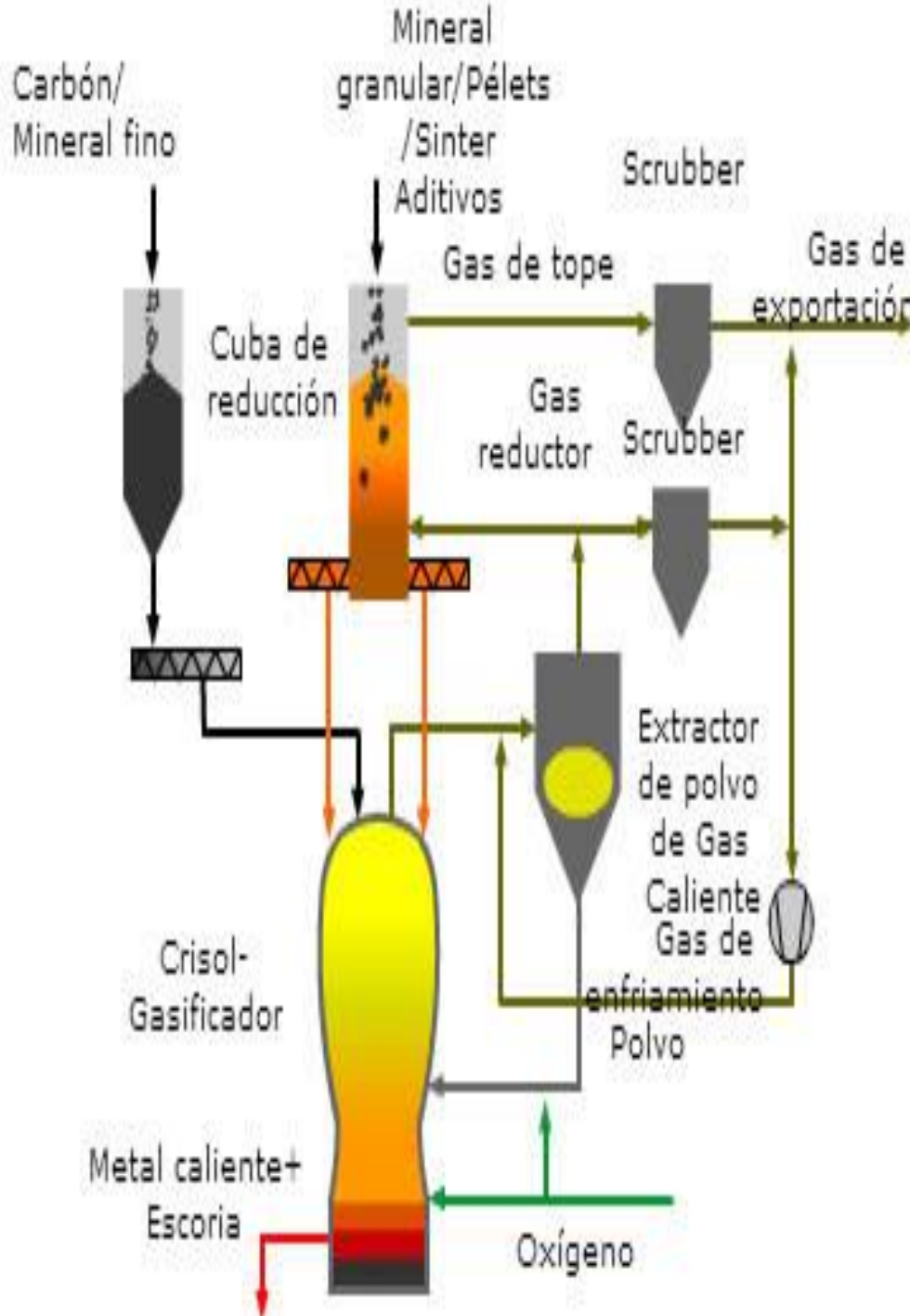
- ✓ **Cintas transportadoras** para transportar las materias primas (mineral y coque) al tragante del alto horno.
- ✓ **Tolvas** para almacenar temporalmente estas materias primas.
- ✓ **ICP** (inyección de carbón pulverizado) con equipo para pulverizar el carbón e inyectarlo bajo presión.
- ✓ **Carga de campana**, las materias primas entran en el horno a través del espacio creado al bajar una pequeña campana invertida. Esta campana se cierra y una campana más grande (ancha por abajo) se abre para permitir que las materias primas caigan en la cuba que se encuentra abajo.
- ✓ **Carga sin campana**, las materias primas se cargan en el horno a través de una rampa giratoria.

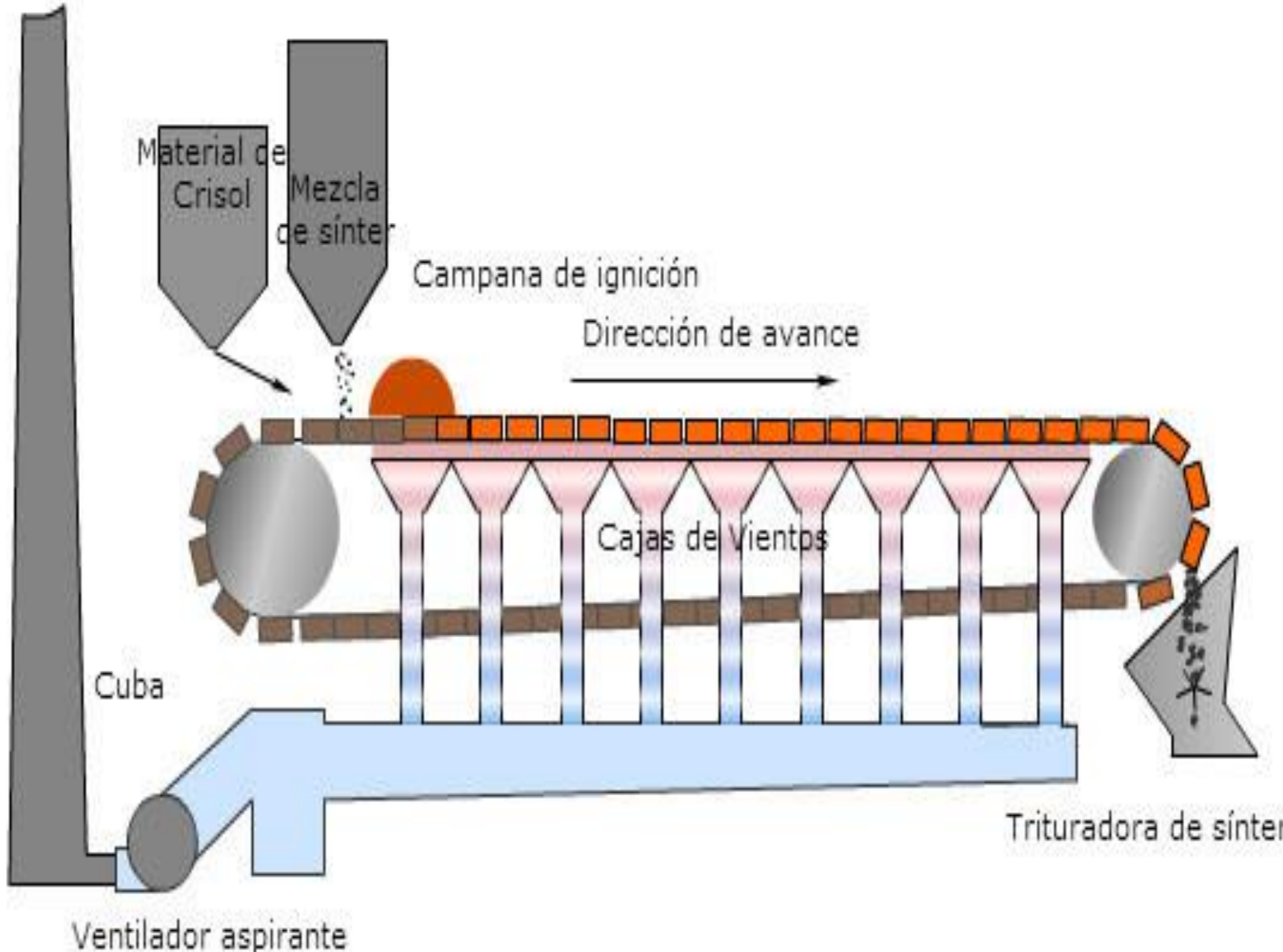
Carga de tragante sin campana

Carga de doble campana



Gruesos
 Material fino





Material de Crisol

Mezcla de sinter

Campana de ignición

Dirección de avance

Cajas de Vientos

Cuba

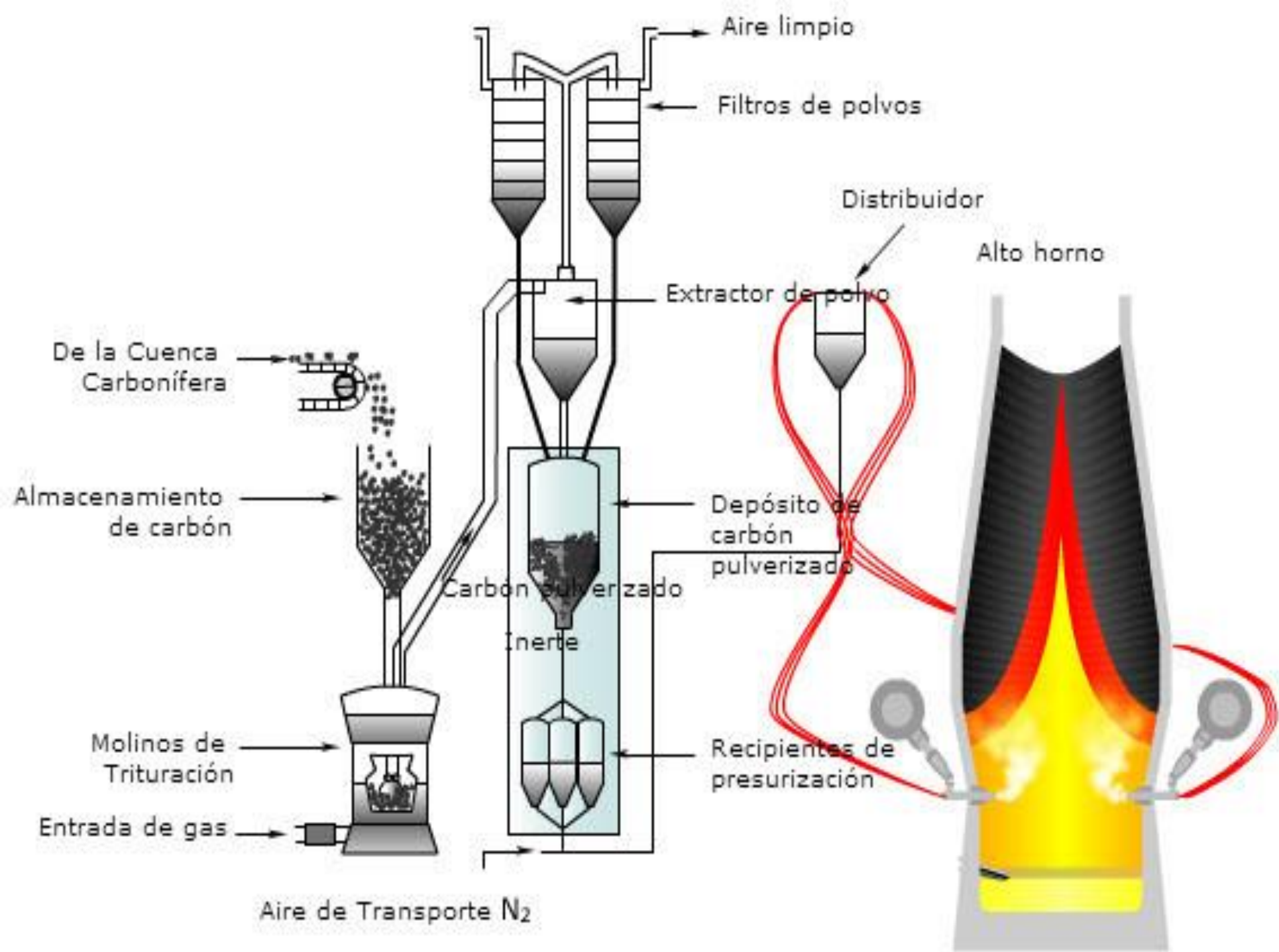
Trituradora de sinter

Ventilador aspirante

- ✓ *Máquinas soplantes o compresores* se las emplea para alimentar de aire al A. H, son accionados por motores a gas producidos por el A. H. En instalaciones experimentales también se ha demostrado que la producción se incrementa enriqueciendo el aire con oxígeno.
- ✓ *La estufa Cowper* para calentar el aire. Es un horno cilíndrico de alrededor 12 m de diámetro y unos 55 m de altura y tiene una cámara llena de ladrillos cuadrículados de sílice.

La estufa Cowper es un tipo de intercambiador de calor en el cual el calor producido por la combustión del gas de alto horno se almacena en la cámara de recuperación del calor, después de lo cual se sopla aire frío a través del recuperador de calor para producir el aire caliente precalentado para el horno.

Dos o más estufas funcionan en ciclos alternos, proporcionando una fuente continua de aire caliente al horno.



✓ **Turbina de recuperación de la presión** del tragante del alto horno: Por lo general un alto horno funciona con una presión del tragante de alrededor de 250 kPa.

Para recuperar la energía del gran volumen de los gases de escape de alta presión, el alto horno está equipado, después de la eliminación del polvo, con una turbina de recuperación de la presión del tragante para generar energía eléctrica usando la diferencia de presión entre el tragante del horno y el gasómetro de almacenamiento de gas.

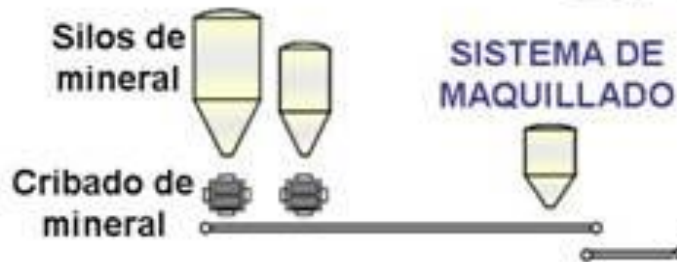
✓ **Recuperadores de polvo** son equipos para la eliminación del polvo y recuperación de partículas que impiden la buena combustión o reacciones dentro del alto horno.

✓ **Recuperadores de calor**: Es la principal instalación auxiliar, se los emplea para calentar el aire a insuflar en el A .H, a una temperatura que oscila entre los 800 y 1.000 °C, con el propósito de mejorar la eficiencia de la combustión. Se utilizan como mínimo 3 torres o estufas. Son aparatos construidos con ladrillos refractarios huecos.

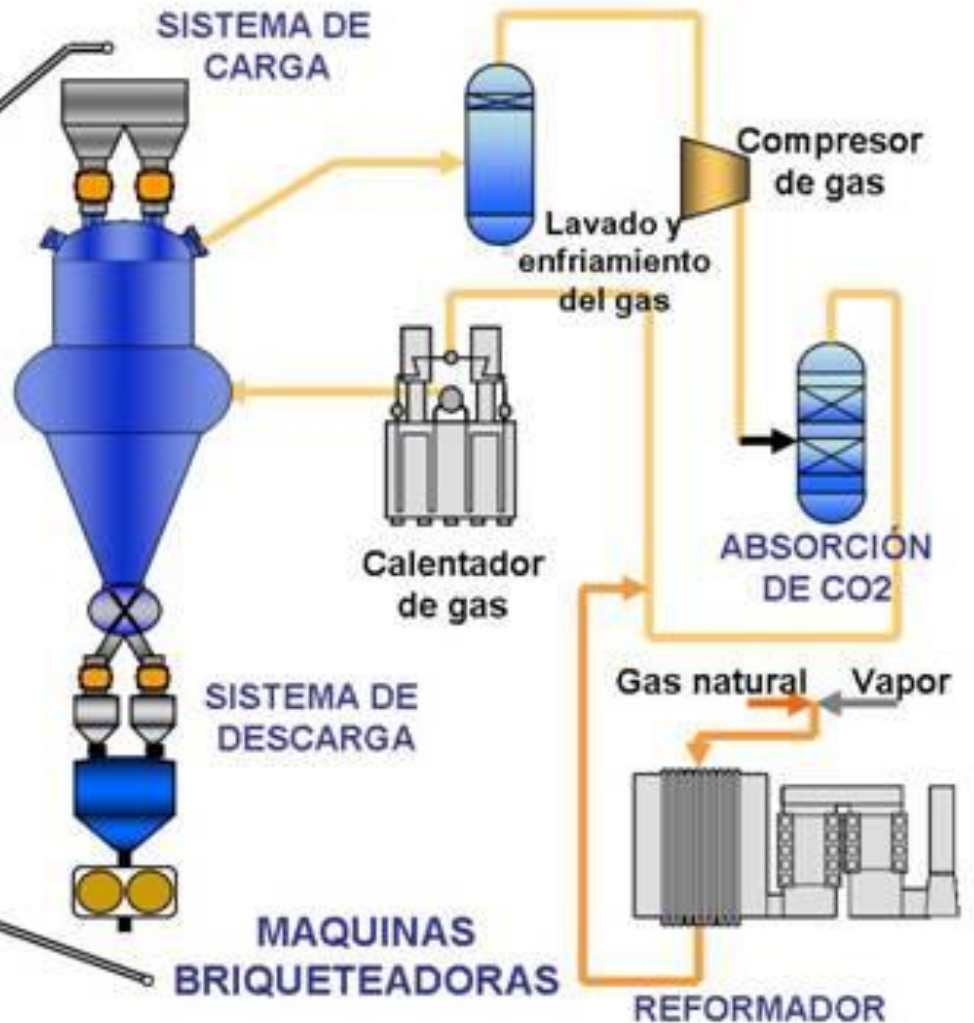
MANEJO DE MINERALES

Material desde Toppca

Material desde patio

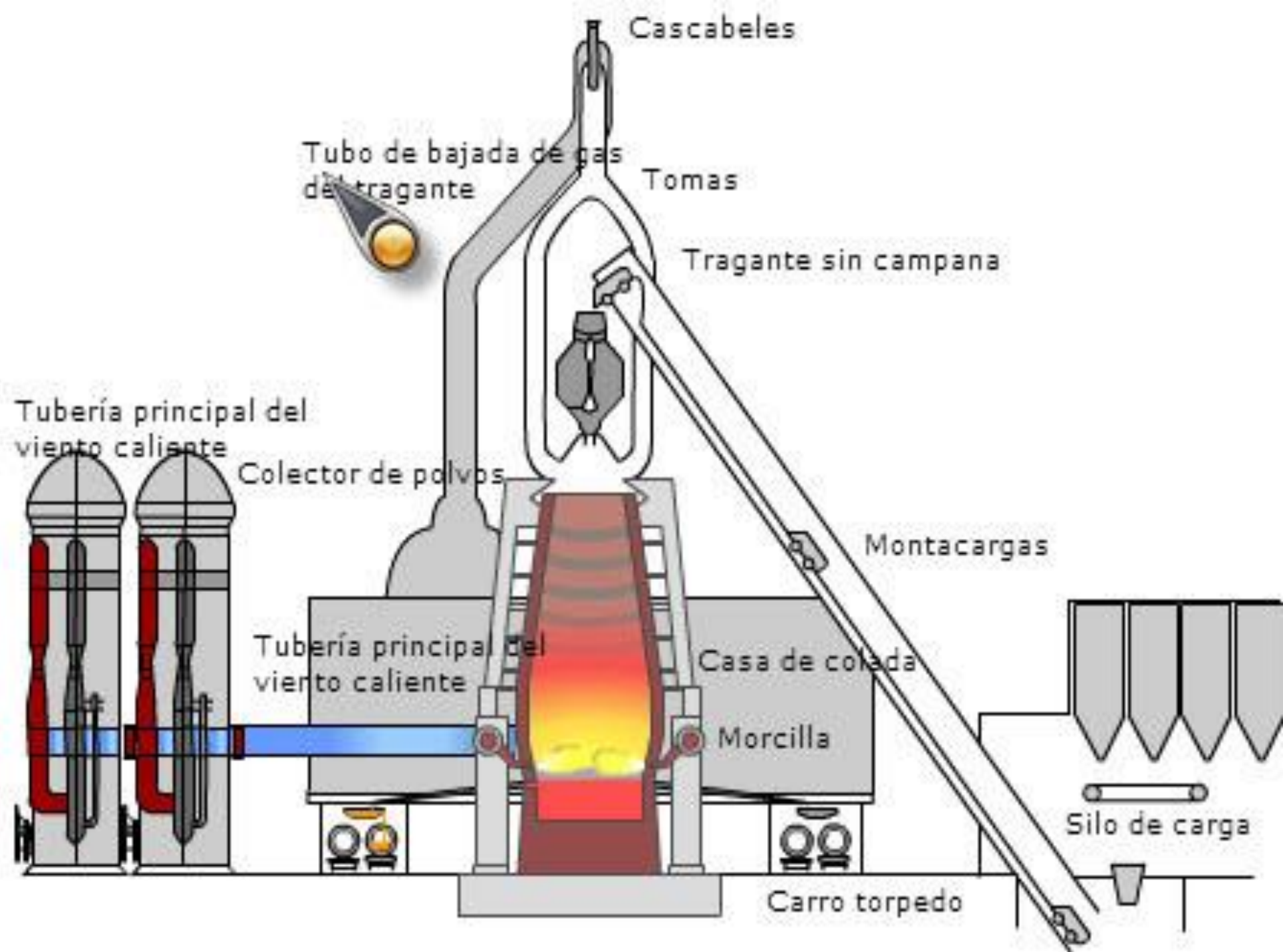


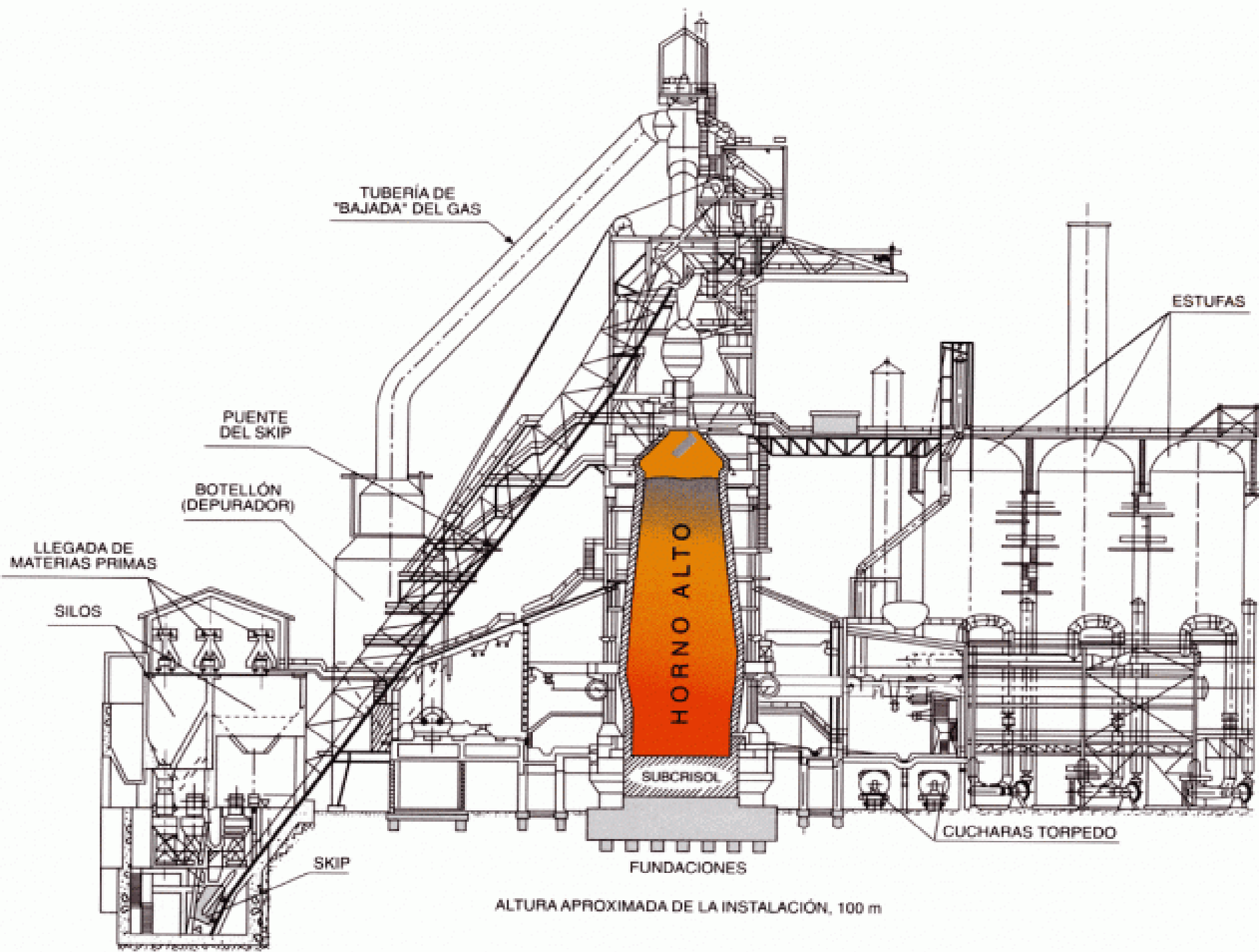
CIRCUITO DE REDUCCIÓN



MANEJO DE PRODUCTO







TUBERÍA DE "BAJADA" DEL GAS

PUENTE DEL SKIP

BOTELLÓN (DEPURADOR)

LLEGADA DE MATERIAS PRIMAS

SILOS

SKIP

HORNO ALTO

SUBCRISOL

FUNDACIONES

ESTUFAS

CUCHARAS TORPEDO

ALTURA APROXIMADA DE LA INSTALACIÓN, 100 m

1.3.2. Operación del Proceso.

- ☆ El alto horno consiste en una especie de depósito troncocónico y tienen un diámetro mayor a 8 m y llegan a tener una altura superior de los 60 m.
- ☆ Están revestidos de refractario de alta calidad en el cual se cargan desde arriba capas alternadas de mineral de hierro carbón y fundente.
- ☆ Un fuerte calentamiento del carbón de las capas inferiores (obteniendo mediante corrientes de aire caliente) provoca una absorción del oxígeno del mineral de hierro por parte del carbono.

☆ Los altos hornos pueden producir entre 800 y 1600 toneladas de arrabio cada 24 h. La caliza, el coque y el mineral de hierro se introducen por la parte superior del horno por medio de vagones que son volteados en una tolva.

☆ Para producir 1000 toneladas de arrabio, se necesitan 2000 toneladas de mineral de hierro, 800 toneladas de coque, 500 toneladas de piedra caliza y 4000 toneladas de aire caliente.

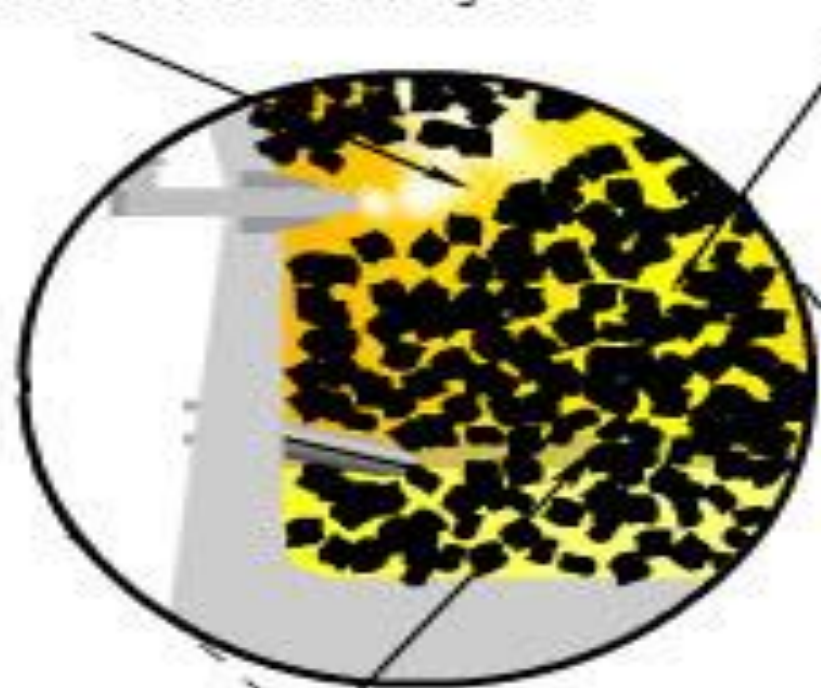
☆ Con la inyección de aire caliente a 550°C , se reduce el consumo de coque en un 70%. Los sangrados del horno se hacen cada 5 o 6 horas, y por cada tonelada de hierro se produce $1/2$ de escoria.

- ☆ La alta temperatura así obtenida da lugar a la fusión del hierro, que es recogido, mezclado con grandes cantidades de carbono (arrabio), por un orificio situado en la parte baja del horno.
- ☆ El aire se insufla por medio de una decena de toberas de bronce situadas radialmente en la parte baja del horno y alimentadas por una batería de sopletes accionados por motores de explosión. La escoria, más ligera que el arrabio, se recoge encima de este y sale por orificios practicados en las paredes del crisol.
- ☆ Cada 3 horas, aproximadamente, se extrae el arrabio por unos orificios situados debajo de los anteriores. El aire insuflado en el horno se precalienta haciéndolo pasar por recuperadores Cowper, los cuales están constituidos por cilindros verticales de plancha de 7 mm de diámetro y más de 30 metros de altura llenos de material refractario.

- ☆ Existen 4 Cowper al servicio de cada horno alto; dos de ellos están atravesados por gases muy calientes, obtenidos de la combustión y que proviene de la boca del propio horno, hasta que el instante que el material refractario alcanza una temperatura muy elevada;
- ☆ Un tercero, que ya se halla caliente, cede el calor almacenado al aire que los sopletes envían al alto horno; el cuarto es de reserva. La fase de calentamiento dura de una a dos horas.
- ☆ En el horno alto tienen lugar fenómenos fisicoquímicos complicados, que no han sido aún aclarados en todos sus detalles. El coque no posee tan sólo la misión de quemar los materiales cargados y ponerlos a elevada temperatura, sino que el óxido de carbono CO, producido por su combustión, reacciona con el óxido de hierro transformándose en anhídrido carbónico, CO₂, y liberando el hierro.

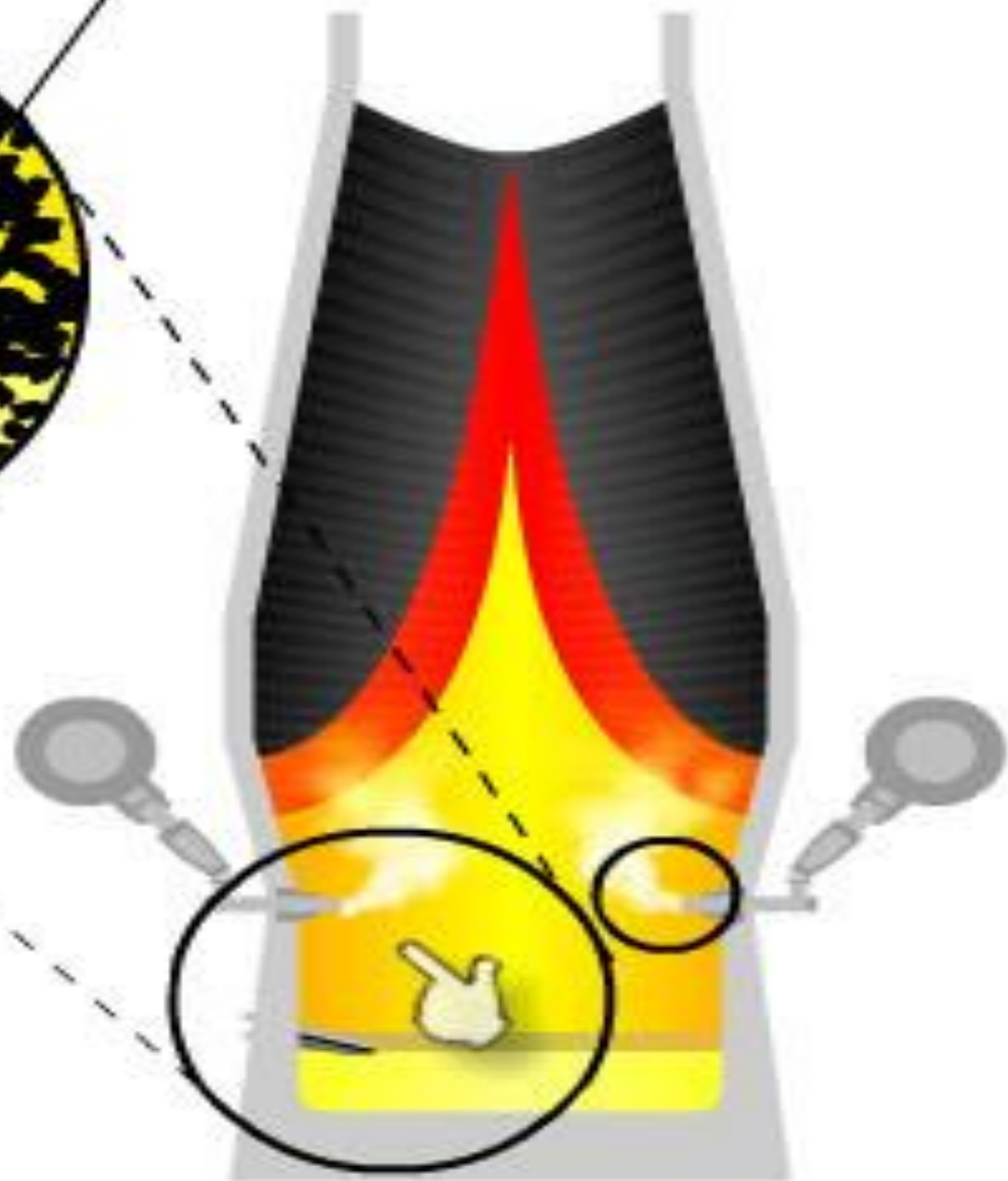
Efecto Nido de Pájaro

Hombre Muerto

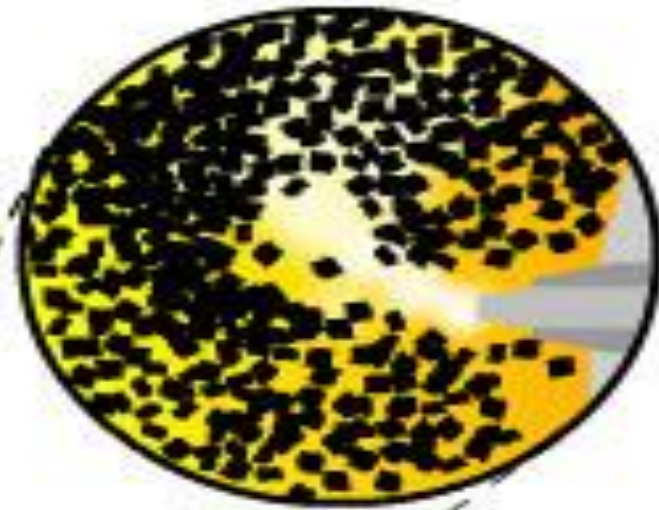


Zona en forma de hongos

Crisol



Dardo (raceway)



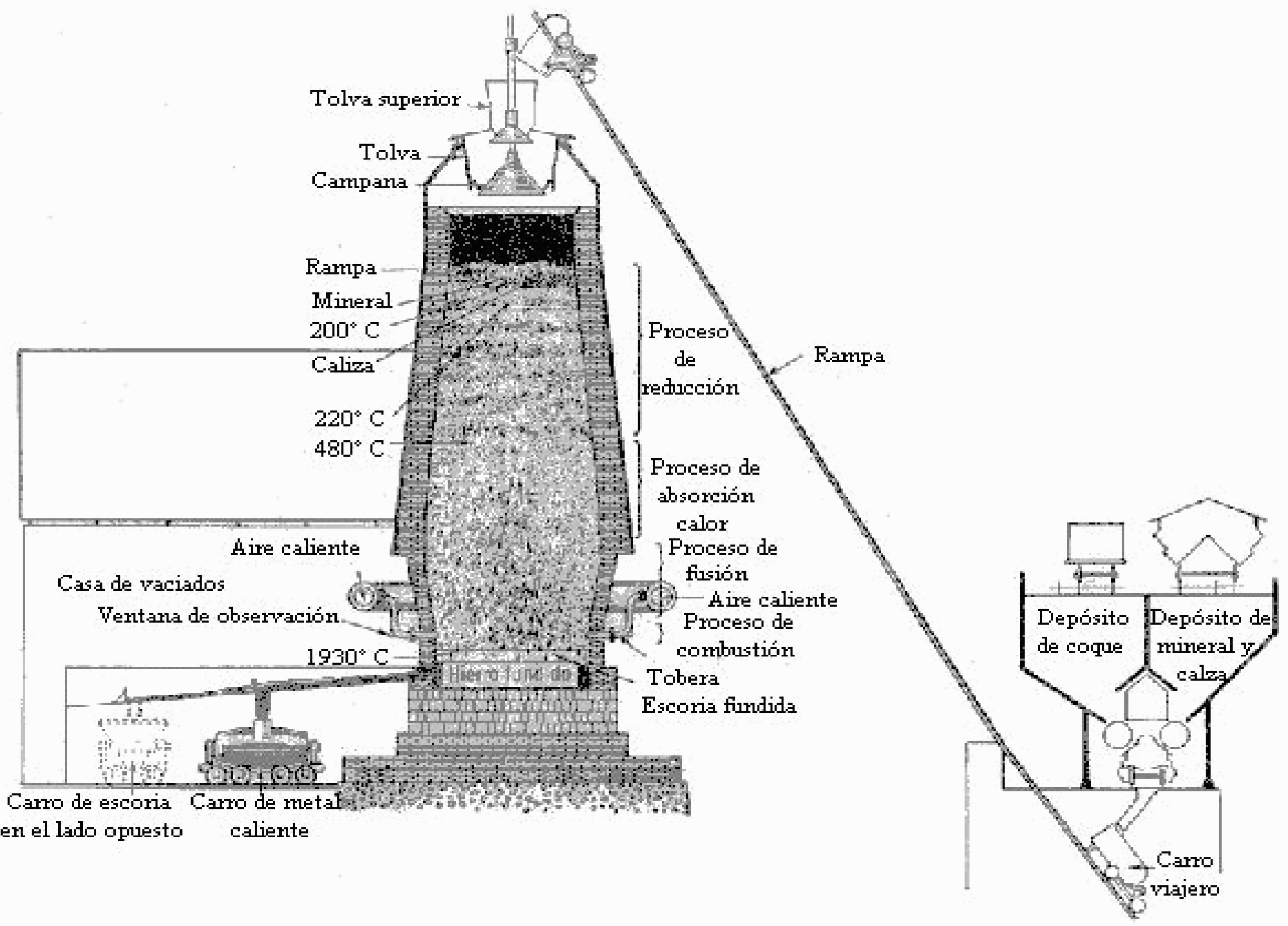
2200°C
CO, N₂, H₂

CO, CO₂

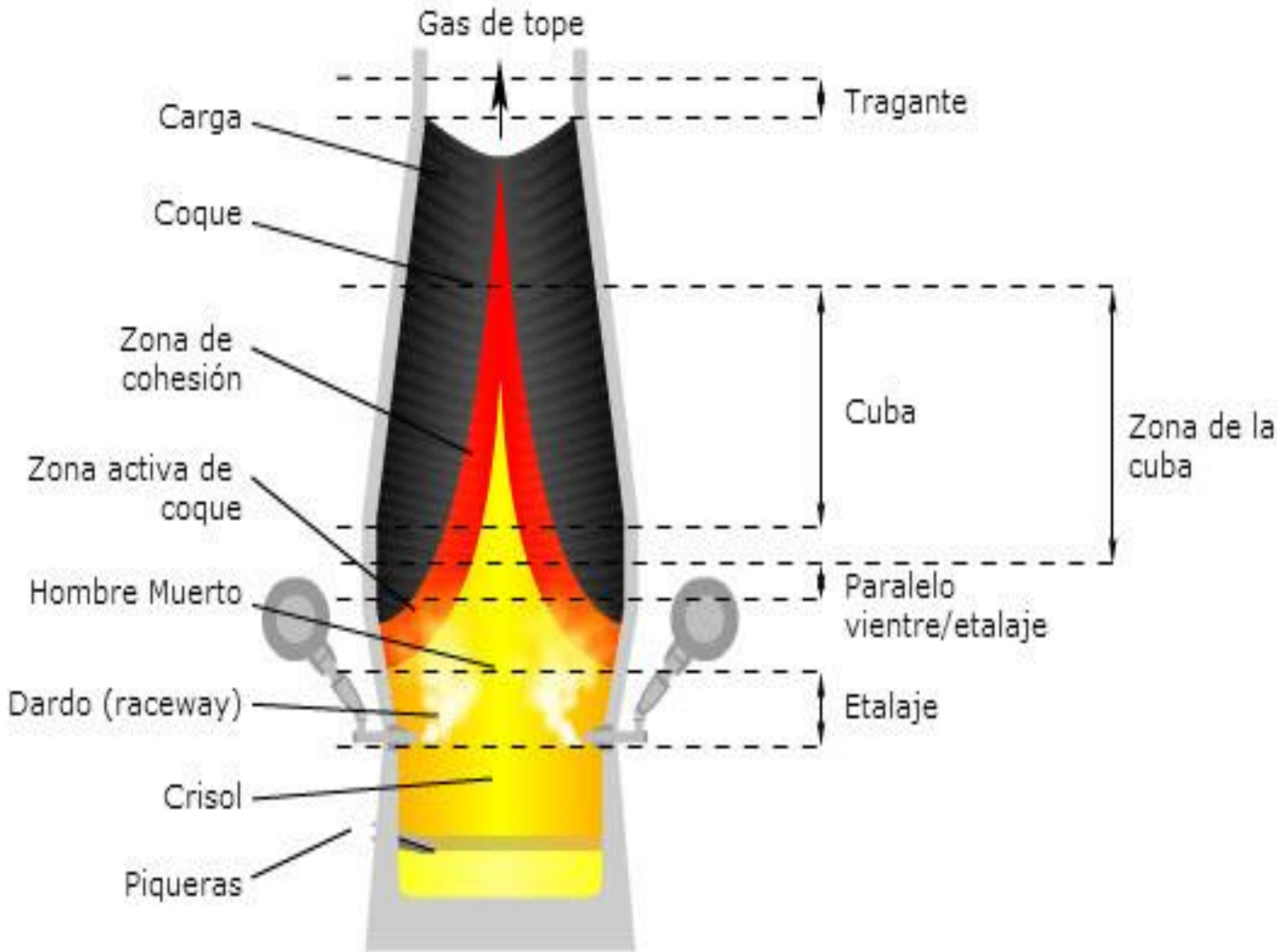
Inyección de
aire

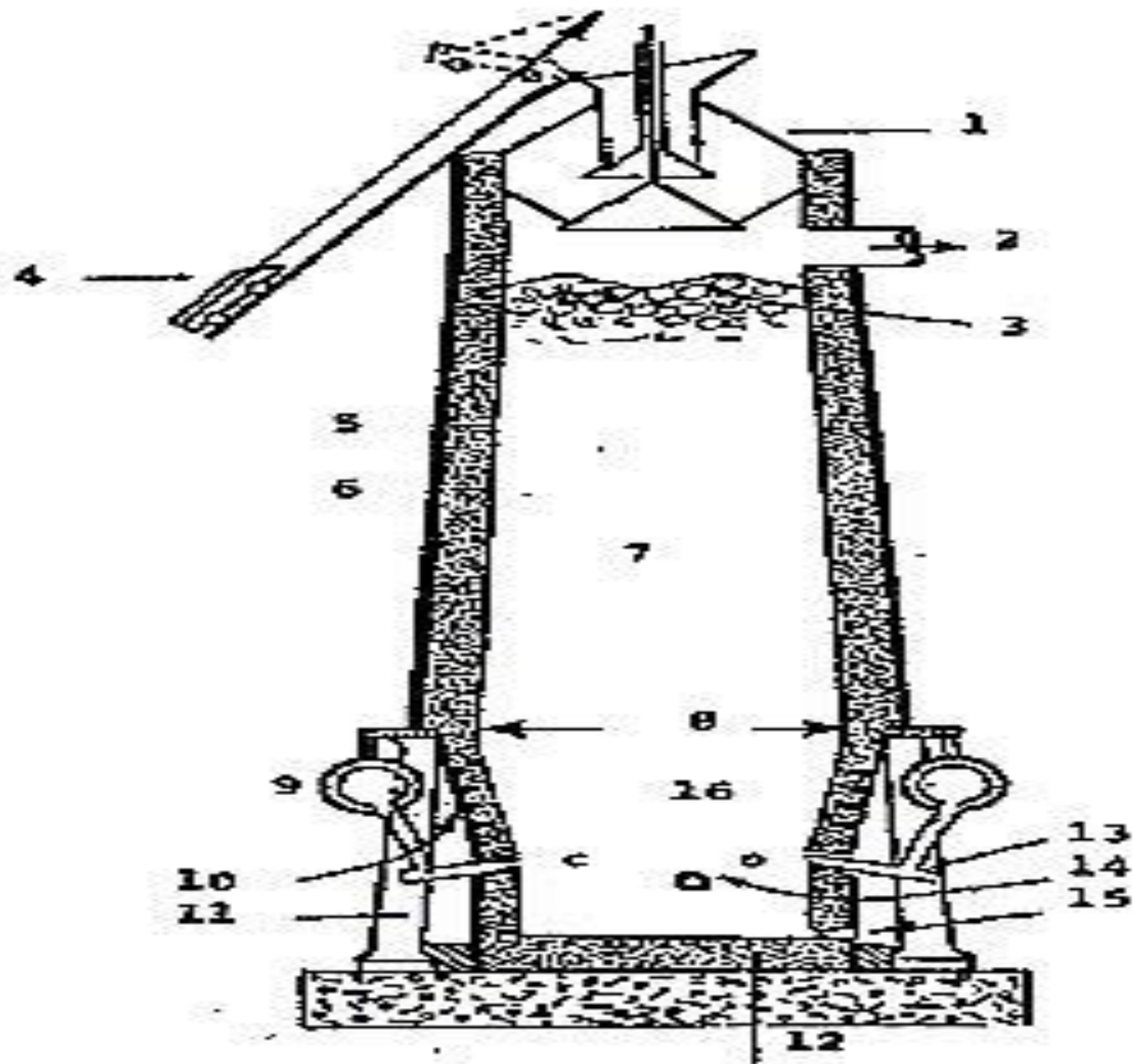
Coque + Carbón
 $C + 1/2 O_2 \rightarrow CO$

Tobera

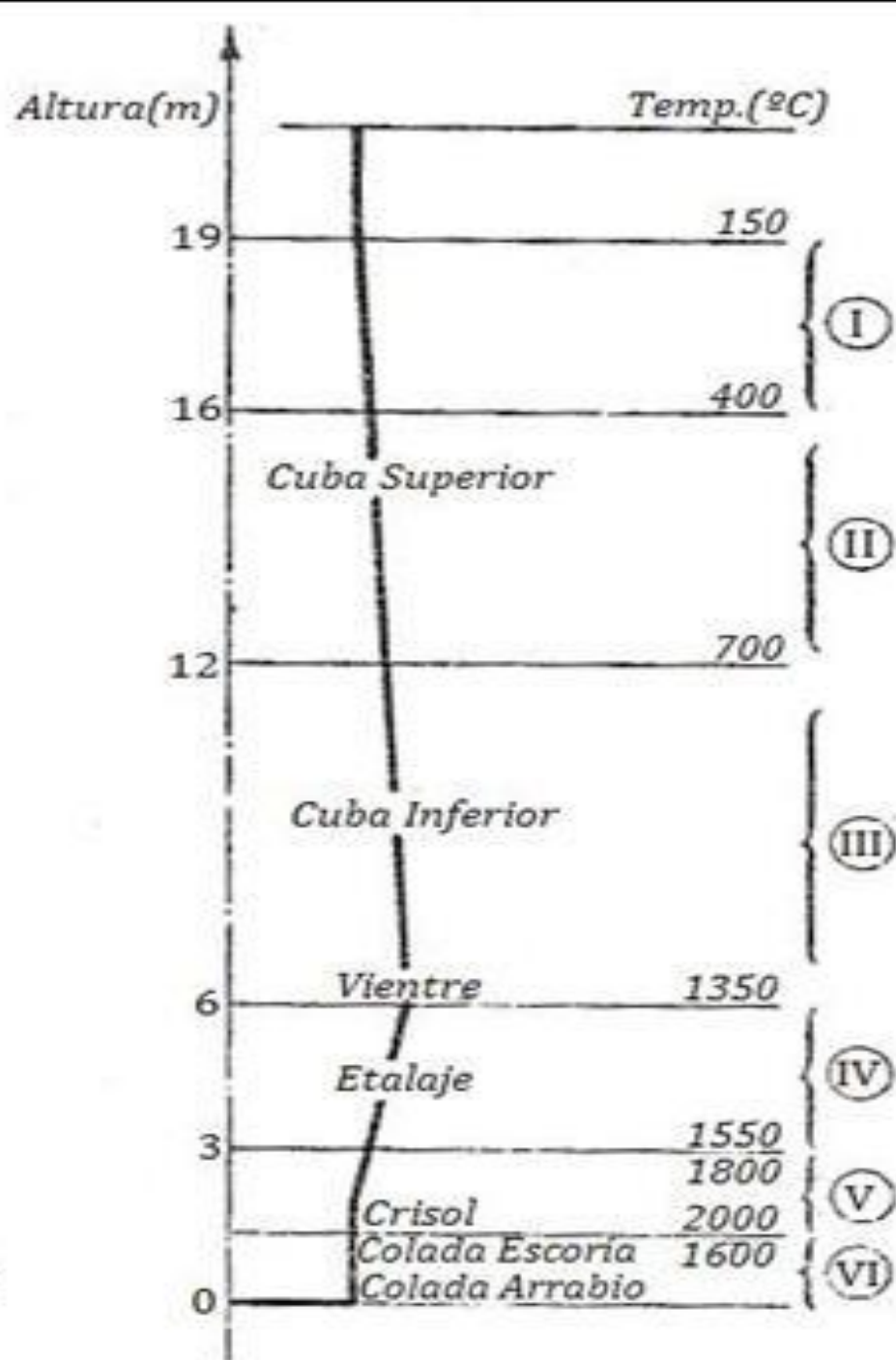
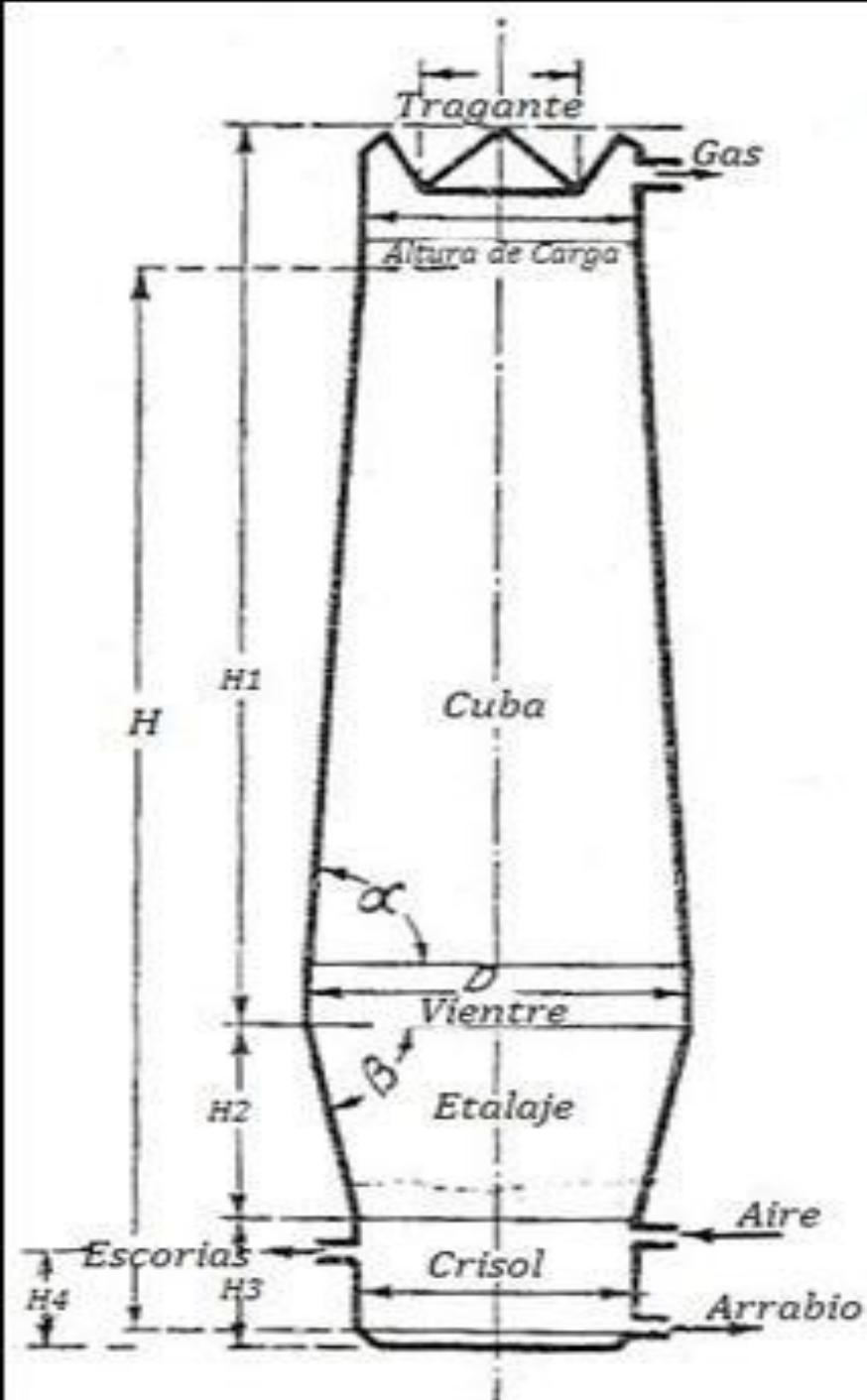


Vista seccional de un alto horno

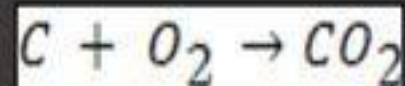




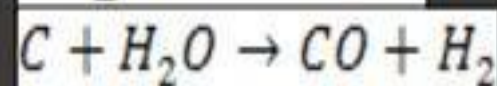
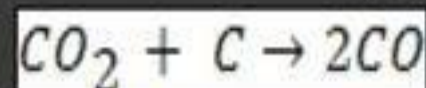
<i>1. Tragante y mecanismo de carga</i>	<i>2. Salida de gases</i>
<i>3. Nivel de carga</i>	<i>4. Vagoneta de carga</i>
<i>5. Cubierta de acero</i>	<i>6. Revestimiento refractario</i>
<i>7. Cuba</i>	<i>8. Vientre</i>
<i>9. Ducto de aire caliente</i>	<i>10. Agua de refrigeración</i>
<i>11. Columnas de soporte</i>	<i>12. Solera</i>
<i>13. Toberas</i>	<i>14. Orificio de escoria</i>
<i>15. Orificio de sangrSWsado</i>	<i>16. Atalaje</i>



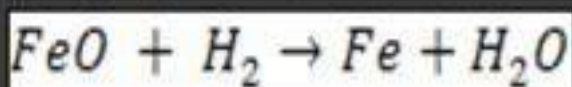
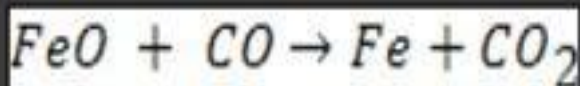
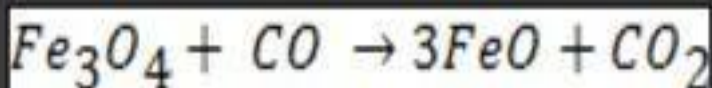
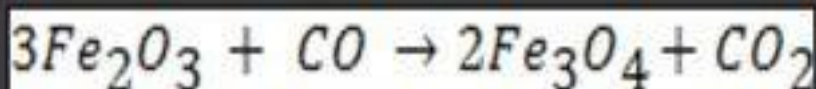
Combustión



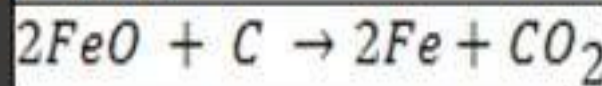
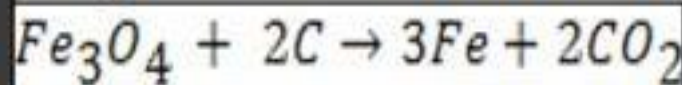
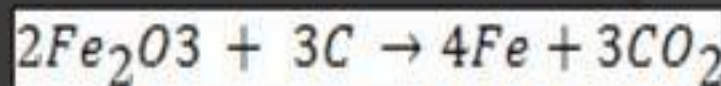
Formación de gases reductores



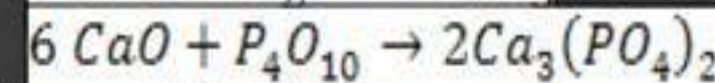
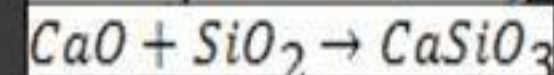
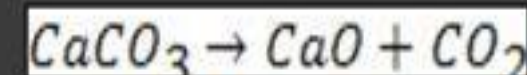
Reducción indirecta de los minerales



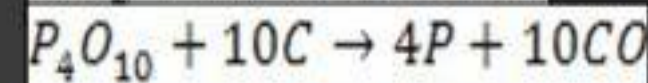
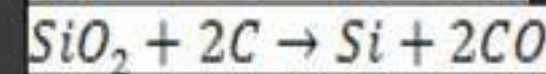
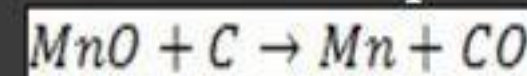
Reducción directa de los minerales



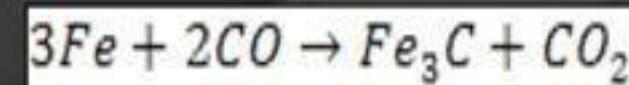
Formación de escorias

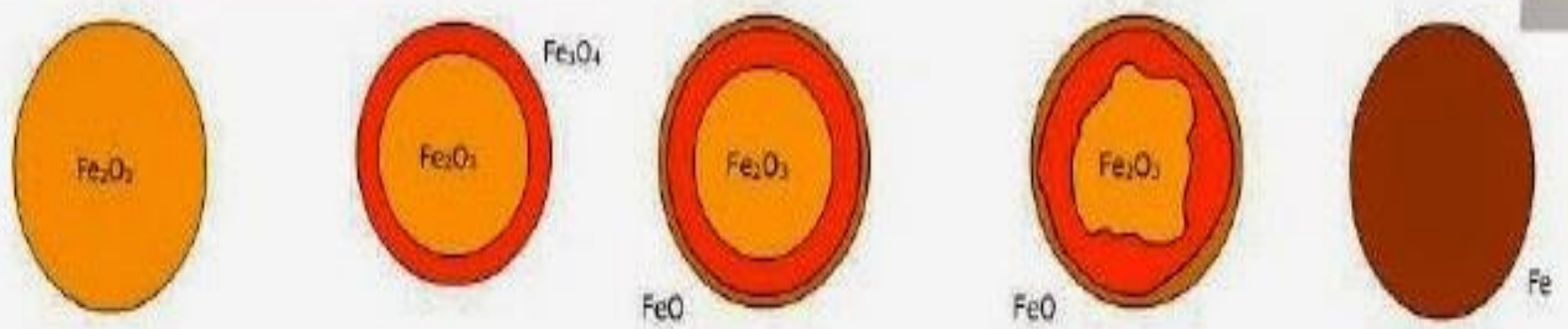
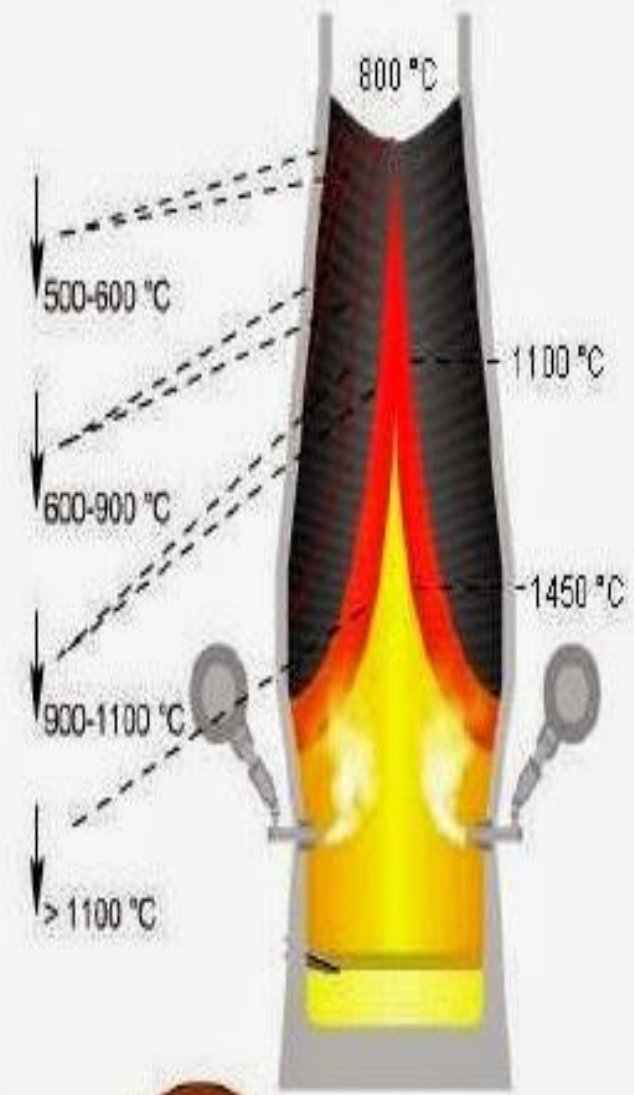
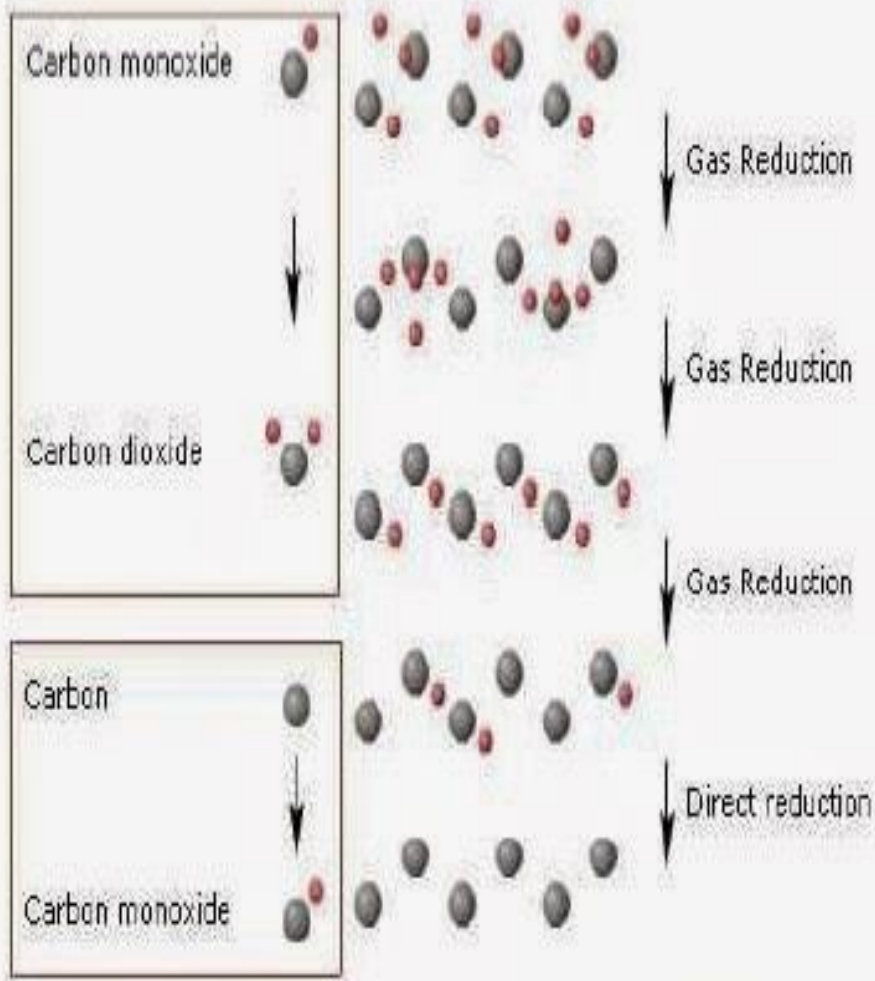


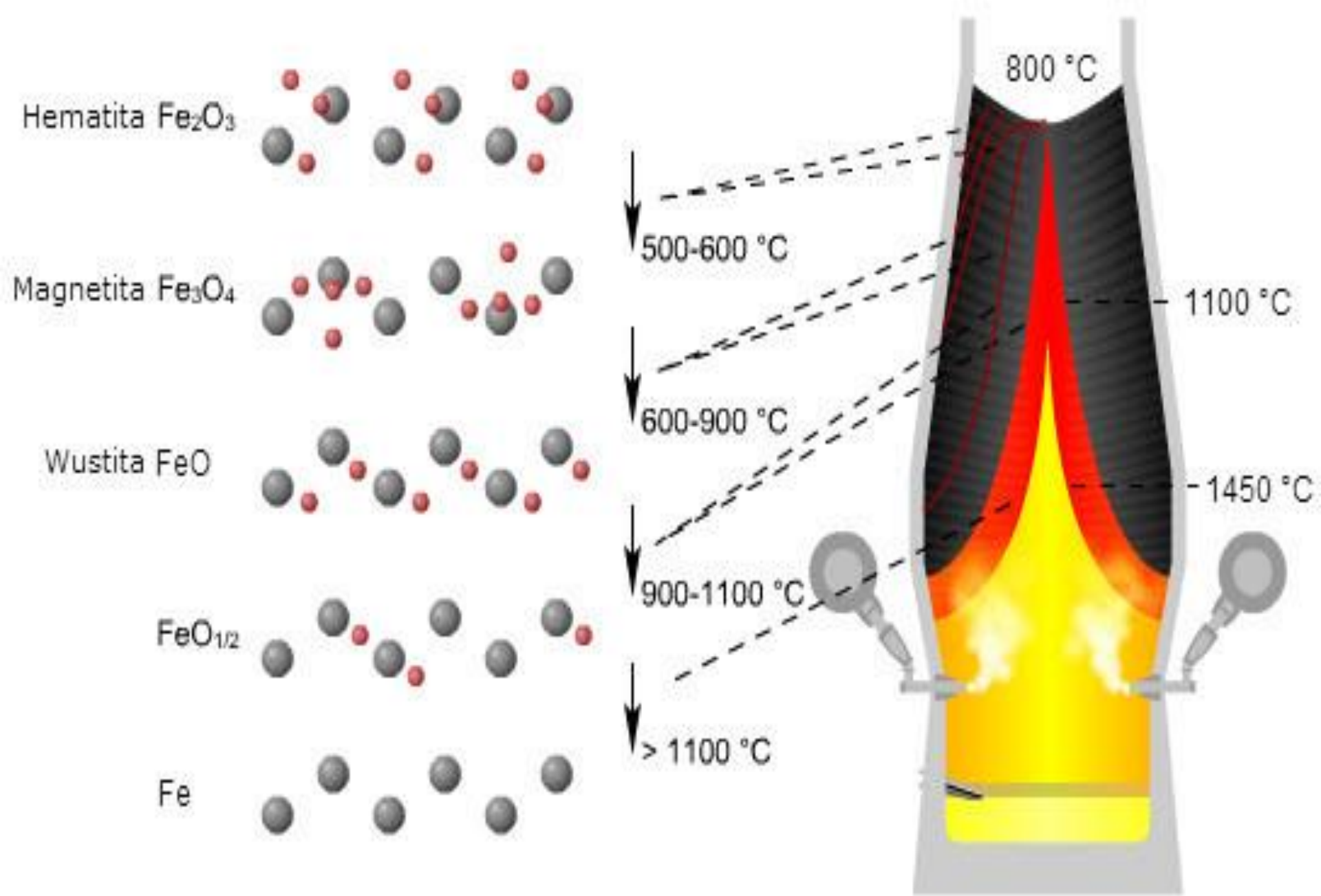
Formación de impurezas



Carburización del hierro

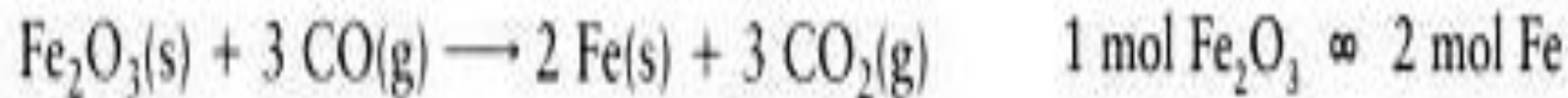






Reacciones de reducción y temperatura de la carga

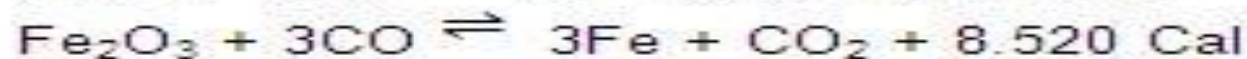
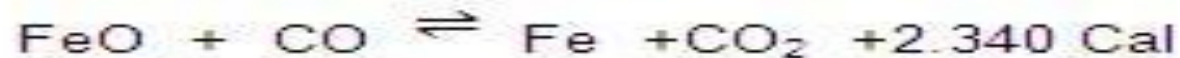
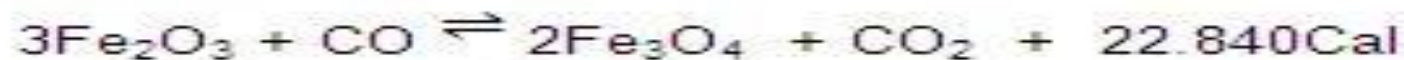
El requerimiento calórico de la desoxidación del hierro es la siguiente:



$$\text{Cantidad de Fe}_2\text{O}_3 \text{ (mol)} = 10,0 \text{ g Fe}_2\text{O}_3 \times \left(\frac{1 \text{ mol}}{159,69 \text{ g}} \right)$$

$$\text{Cantidad de Fe (mol)} = 10,0 \text{ g Fe}_2\text{O}_3 \times \left(\frac{1 \text{ mol}}{159,69 \text{ g}} \right) \times \left(\frac{2 \text{ mol Fe}}{1 \text{ mol Fe}_2\text{O}_3} \right)$$

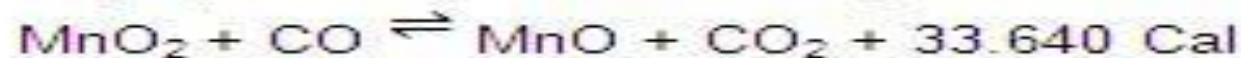
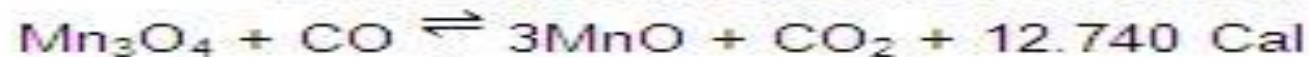
$$\begin{aligned} \text{Masa de Fe} &= 10,0 \text{ g Fe}_2\text{O}_3 \times \left(\frac{1 \text{ mol}}{159,69 \text{ g}} \right) \times \left(\frac{2 \text{ mol Fe}}{1 \text{ mol Fe}_2\text{O}_3} \right) \times \left(\frac{55,85 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \right) \\ &= 6,99 \text{ g Fe} \end{aligned}$$



- Solución del carbono por reacción de CO_2 :



- Descomposición de los óxidos de manganeso:



- ❖ Zona III (700° a 1350°C).

- Reducción directa del óxido férrico:



- Disociación de los carbonatos:



- Reducción de los óxidos de manganeso:



- Formación de la escoria primaria, silicatos:

Reacción de reducción indirecta $Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$

Reacción de reducción directa $Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 2Fe + 3CO$

Materiales de carga		
Materiales	Tamaño medio/ mm	Consumo de la Unidad/ kg/t*
Coque	50	380
Mineral sinterizado Granular	20	1,160
Pélets	25	280
	12	190

Condiciones de inyección de aire	
Volumen de inyección de aire / Nm ³ /t*	995
Carbón pulverizado / kg/t*	120
Humedad / kg/Nm ³	28
Temperatura / K	1,453
Presión / MPa	0.40
O2 enriquecimiento / vol %	2.3

t* = Tonelada de arrabio



Gas de tope	
Polvo / kg/t*	16
Volumen/ Nm ³ /t*	1,533
Temperatura / K	430
Presión / MPa	0.25
vol de CO %	22.0
CO ₂ / vol %	22.8
H ₂ / vol %	4.2

Metal caliente	Escoria
Metal caliente Temperatura/ K	1,800
Coeficiente escoria / arrabio	0.30

composición / mass %			
Metal caliente		Escoria	
C	4.50	SiO ₂	33.8
Si	0.39	CaO	42.5
Mn	0.27	Al ₂ O ₃	14.3
P	0.10	MgO	6.5
S	0.03	MnO	0.26
		S	0.96

PROBLEMA:

Que cantidad de mineral necesario, se necesita para obtener 1 ton. De arrabio

Datos:

Composición del mineral:

Fe_2O_3 ----- 79 %

SiO_2 ----- 12 %

MnO ----- 2.5 %

Al_2O_3 ----- 3 %

P_2O_5 ----- 2.5 %

H_2O ----- 1 %

Composición de las escorias: En las escorias se encuentran 0.5 % de Fe utilizado.

Composición del Arrabio obtenido

Fe----- 92.6 %

Mn -----0.9 %

Si ----- 2.0 %

P ----- 0.7 %

C ----- 3.6 %

S ----- 0.2 %

Calculo del peso del arrabio

$$\frac{790 \text{ kg Fe}_2\text{O}_3}{1 \text{ Ton Mineral}} \times \frac{112 \text{ kg Fe}}{160 \text{ kg Fe}_2\text{O}_3} = 553 \text{ kg Fe/ Tn Mineral}$$

Calculo del peso del Fe que pasa a la escoria

$$553 \times 0.005 = 2,765 \text{ kg Fe}$$

Calculo del peso Útil del Fe

$$553 \times 2.765 = 550,235 \text{ kg Fe}$$

Calculo del peso Real del Fe (arrabio)

$$\begin{array}{l} 550,235 \text{ kg Fe} \text{ ———— } 92.6 \% \\ X \text{ kg Fe} \text{ ———— } 100 \% \end{array} \quad \longrightarrow \quad X = 594,21 \text{ kg Fe}$$

Calculo del peso del mineral para 1 Tn Fe (arrabio)

$$\begin{array}{l} 594,21 \text{ kg Fe} \text{ ———— } 1 \text{ Tn de Mineral} \\ 1000 \text{ kg Fe} \text{ ———— } X \text{ Tn de mineral} \end{array} \quad \longrightarrow \quad X = 1,683 \text{ kg Mineral}$$

- Calculo del contenido de hierro que pasa a la escoria

$$553 \times 0.005 = 2.765$$

Contenido de hierro útil:

$$553 - 2.765 = 550.235$$

- Peso del mineral para obtener una tonelada de arrabio.

Del análisis se tiene: 92.6 % Fe

$$1000 \text{ kg} \times 0.926 = 926 \text{ t/ ton de arrabio}$$

Entonces:

$$1000 \text{ Kg} \text{ ————— } 550.235 \text{ t/ton de arrabio}$$

$$X \text{ ————— } 926 \text{ t/ton de arrabio}$$

$$X = \frac{1000 \times 926}{550.235} \quad \longrightarrow \quad X = 1682.91 \text{ kg/ton de arrabio}$$

Rta: Para 1 ton de arrabio se necesita 1682.91 kg de mineral/t de arrabio

Material	Análisis en % (Peso)						CaCO3
	Fe2O3	SiO2	MnO	Al2O3	H2O	C	
Mineral de hierro	80	12	1	3	4		
Caliza		4			1		95
Coque		10				90	

El análisis del arrabio producido es:

C: 4% Si: 1,2 % Mn: 1 % Fe: 93,8%

Se utilizan 1750 kg. de mineral de hierro y 500 kg. de piedra caliza por cada tonelada de arrabio producido.

El volumen de los gases de salida por tonelada de arrabio es 4200 m³.

Gases de salida; Su composición es:

CO: 26% CO2: 12% H2O: 4% N2: 58%

Calcular:

- A. La cantidad de coque utilizado por tonelada de arrabio**
- B. % de Composición de la escoria**
- C. Consumo de aire (m³) por tonelada de arrabio**

Mineral hierro, 1750 Kg
(80% Fe_2O_3 ; 12% SiO_2 ;
1% MnO ; 3% Al_2O_3 ; 4% H_2O)

Piedra Caliza, 500 Kg
(95% CaCO_3 ; 1% H_2O ;
4% SiO_2)

Coque
(10% SiO_2 ; 90% C)

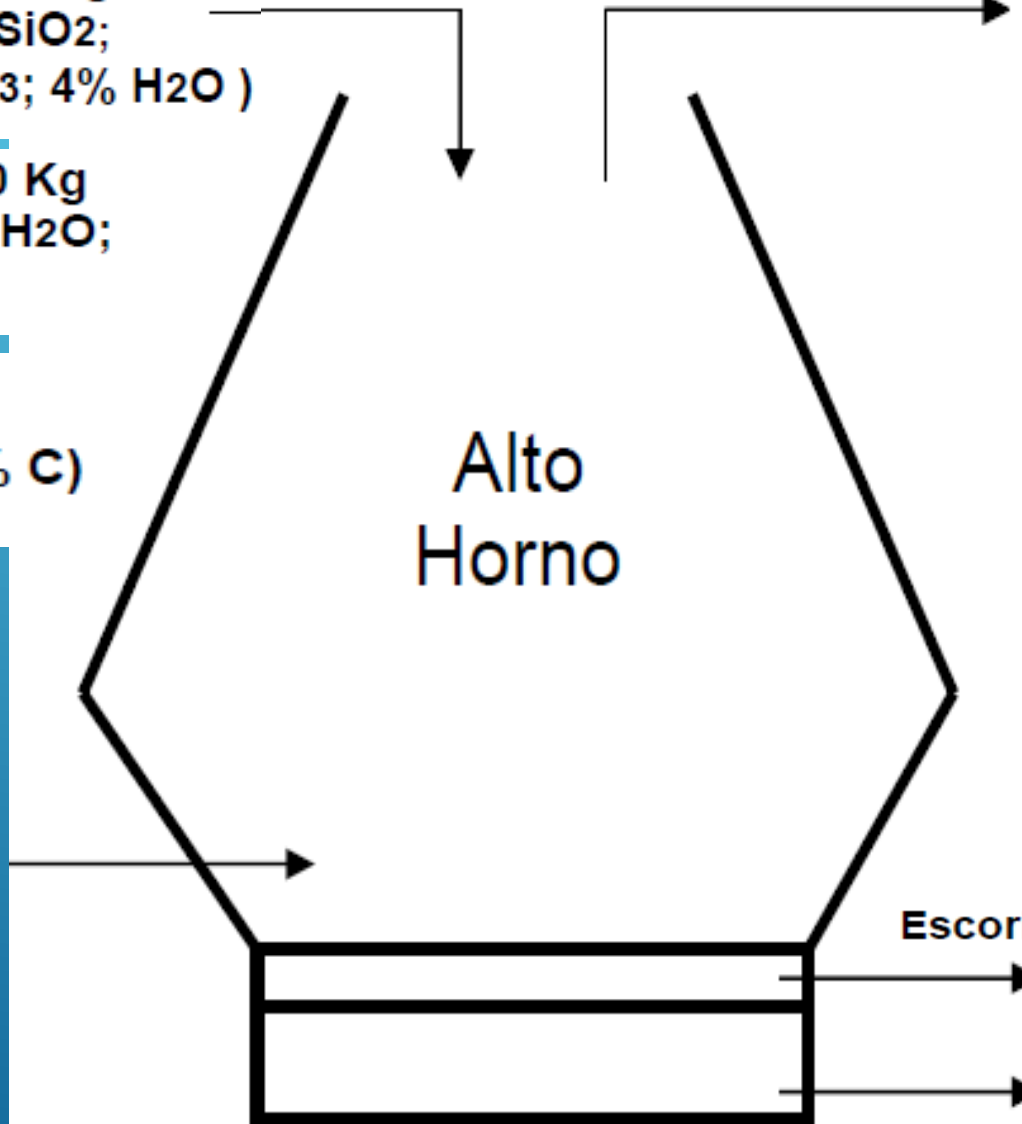
Aire
(79% N_2)

**Alto
Horno**

Gas salida, 4200 m³
(26% CO ; 12% CO_2 ;
4% H_2O ; 58% N_2)

Escoria (Fe_2O_3 , SiO_2 , MnO ,
 Al_2O_3 , CaO)

Arrabio, 1000 kg (4% C ; 1,2% Si ;
1% Mn ; 93,8% Fe)

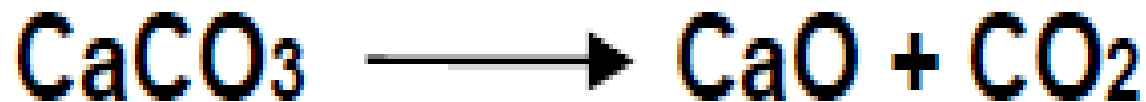


REACCIONES

Reducción indirecta del óxido de hierro



Calcinación Piedra Caliza



Combustión carbón en el coque



Reducción SiO_2



REACCIONES

Reducción MnO



Disolución carbón en el arrabio



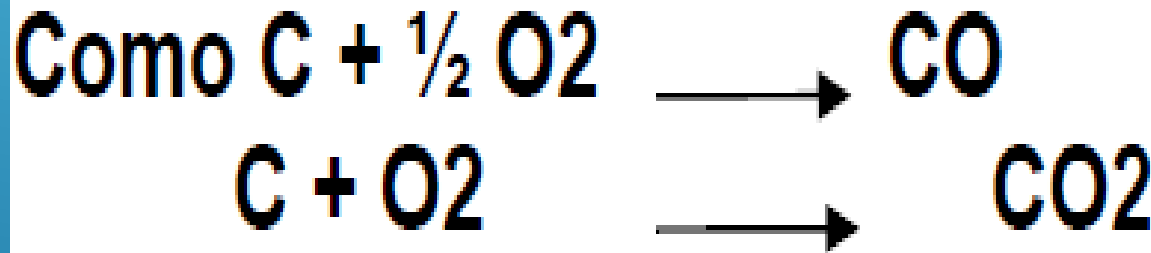
Formación de CO y CO₂



BALANCE DEL CARBON

$$\text{C (en coque)} + \text{C (p. Caliza)} =$$

$$\text{C (arrabio)} + \text{C (como CO}_2 + \text{CO en gases de salida)}$$



$$n\text{C} = n\text{CO} + n\text{CO}_2 = 28 + 44 = 72 \text{ Kg C}$$

(Peso atómico C=12) (Peso molecular CaCO₃ = 100)

BALANCE DEL CARBON

Coque

P. caliza

Arrabio

Gases salida

$$\frac{0,9 \cdot X}{12} + \frac{0,95 \cdot 500 \cdot \frac{12}{100}}{12} = \frac{0,04 \cdot 1000}{12} + 72 \text{ Kg C}$$

Por lo tanto:

$$0.075 \text{ x kg} + 4.75 \text{ kg} = 3.33 \text{ kg} + 72 \text{ kg}$$

$$0.075 \text{ x kg} = 3.33 \text{ kg} + 72 \text{ kg} - 4.75 \text{ kg}$$

$$\text{x kg Coque} = 70.58 \text{ kg} / 0.075 \text{ kg}$$

$$\text{x kg Coque} = \mathbf{941.11 \text{ kg} / \text{tonelada de arrabio}}$$

COMPOSICION DE LA ESCORIA

B) Composición escoria

Componentes escoria: Fe_2O_3 ; SiO_2 ; MnO ; Al_2O_3 ; CaO

Balance del Fe_2O_3

Fe_2O_3 (Mineral de Hierro) = Fe_2O_3 (En la escoria) + Fe_2O_3 (hierro en arrabio como Fe)

Fe_2O_3 (En la escoria) = Fe_2O_3 (Mineral de Hierro) - Fe_2O_3 (hierro en arrabio como Fe)

1750 kg Mineral - 80 % es Fe_2O_3 = 1400 kg

1400 kg Fe_2O_3 - 93.8 % Fe = 1313.2 Fe kg

Fe_2O_3 (En la escoria) = 1400 kg - 1313.2 kg = **86.8 kg Fe_2O_3**

COMPOSICION DE LA ESCORIA

Balance del SiO₂

SiO₂ (En el mineral de hierro) + SiO₂ (En la caliza) + SiO₂ (En el coque) = SiO₂ (En la escoria) + SiO₂ (En el arrabio como Si)

SiO₂ (En la escoria) = SiO₂ (En el mineral de hierro) + SiO₂ (En la caliza) + SiO₂ (En el coque) - SiO₂ (En el arrabio como Si)

1750 kg Mineral - 12 % es SiO₂ = 210 kg

500 kg Piedra caliza - 4 % SiO₂ = 20 kg

941.11 kg coque - 10 % SiO₂ = 94.1 kg

1000 kg Arrabio - 1.2 % SiO₂ = 12 kg

SiO₂ (En la escoria) = 210 kg + 20 kg + 94.1 - 12 = 312.1 kg SiO₂

COMPOSICION DE LA ESCORIA

Balance del MnO

MnO (En el mineral de hierro) = MnO (En la escoria) MnO + MnO (En el arrabio como Mn)

MnO (En la escoria) = MnO (En el mineral de hierro) - MnO (En el arrabio como Mn)

1750 kg Mineral - 1 % es MnO = 17.5 kg

1000 kg Arrabio - 1 % Mn = 10 kg

MnO (En la escoria) = 17.5 kg - 10 = 7.5 kg MnO

COMPOSICION DE LA ESCORIA

Balance del Al₂O₃

Al₂O₃ (En el mineral de hierro) = Al₂O₃ (En la escoria)

Al₂O₃ (En la escoria) = Al₂O₃ (En el mineral de hierro)

1750 kg Mineral - 3 % es Al₂O₃ = 52.5 kg

Al₂O₃ (En la escoria) = 52.5 kg Al₂O₃

Balance del CaO

CaO (Caliza) = CaO (En la escoria)

500 kg Caliza - 95 % es CaO = 475 kg (56/100) = 266 kg

CaO (En la escoria) = 266 kg CaO

% COMPOSICION DE LA ESCORIA

Fe₂O₃ -	86.8 kg	11.97 %
SiO₂ -	312.1 kg	43.06 %
MnO -	7.5 kg	1.03 %
Al₂O₃ -	52.5 kg	7.24 %
CaO -	266.0 kg	36.70 %
-----	-----	-----
	724.9 kg	100.00 %

1750 kg Mineral – 724.9 kg Escoria = 1025.1 kg Arrabio

3) Consumo aire (m³ / tonelada de arrabio)

El volumen de los gases de salida por tonelada de arrabio es 4200 m³. Su composición es:

Gases de salida:

CO: 26%

CO₂: 12%

H₂O: 4%

N₂: 58%

N₂ (aire) = N₂ (gases salida)

Consumo de aire =

2436. (100 / 79) = 3083.5 m³ Aire / ton. de arrabio

El hierro recién colado se denomina "arrabio".

El arrabio recién producido contiene de 5 a 6% de carbono y demasiadas impurezas para ser provechoso. Debe ser refinado, porque esencialmente, el acero es hierro altamente refinado que contiene menos de un 2% de carbono.

La fabricación del acero a partir del arrabio implica no sólo la remoción del carbono para llevarlo al nivel deseado, sino también la remoción o reducción de las impurezas que contiene.

Se pueden emplear varios procesos de fabricación de acero para purificar o refinar el arrabio; es decir, para remover sus impurezas. Cada uno de ellos incluye el proceso básico de oxidación.

1.3.4. Tratamiento externo de arrabio.

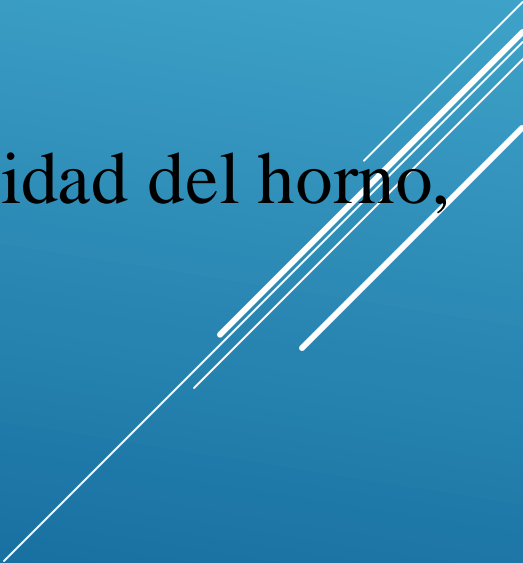
Tras el proceso de extracción del arrabio en el alto horno, éste se procesa para obtener los productos; hierro dulce, fundiciones y aceros con los que se elaboran los subproductos comerciales finales.

Puede ocurrir que se produzca más arrabio que el que se pueda utilizar inmediatamente, en este caso parte de él se deposita en unos recipientes (moldes) denominados lingoteras para procesarlos posteriormente.

El proceso de fabricación se divide en dos fases:

1. La fase de fusión. Una vez introducida la chatarra en el horno y los agentes reactivos y escorificante (principalmente cal) se desplaza la bóveda hasta cerrar el horno y se bajan los electrodos hasta la distancia apropiada, haciéndose saltar el arco hasta fundir completamente los materiales cargados.

El proceso se repite hasta completar la capacidad del horno, constituyendo este acero una colada.



2. La fase de afino se lleva a cabo en dos etapas. La primera en el propio horno y la segunda en un horno cuchara. En el primer afino se analiza la composición del baño fundido y se procede a la eliminación de impurezas y elementos indeseables (silicio, manganeso, fósforo, etc.) y realizar un **primer ajuste de la composición química por medio de la adición de ferroaleaciones** que contienen los elementos necesarios (**romo, níquel, molibdeno, vanadio, titanio, etc.**).

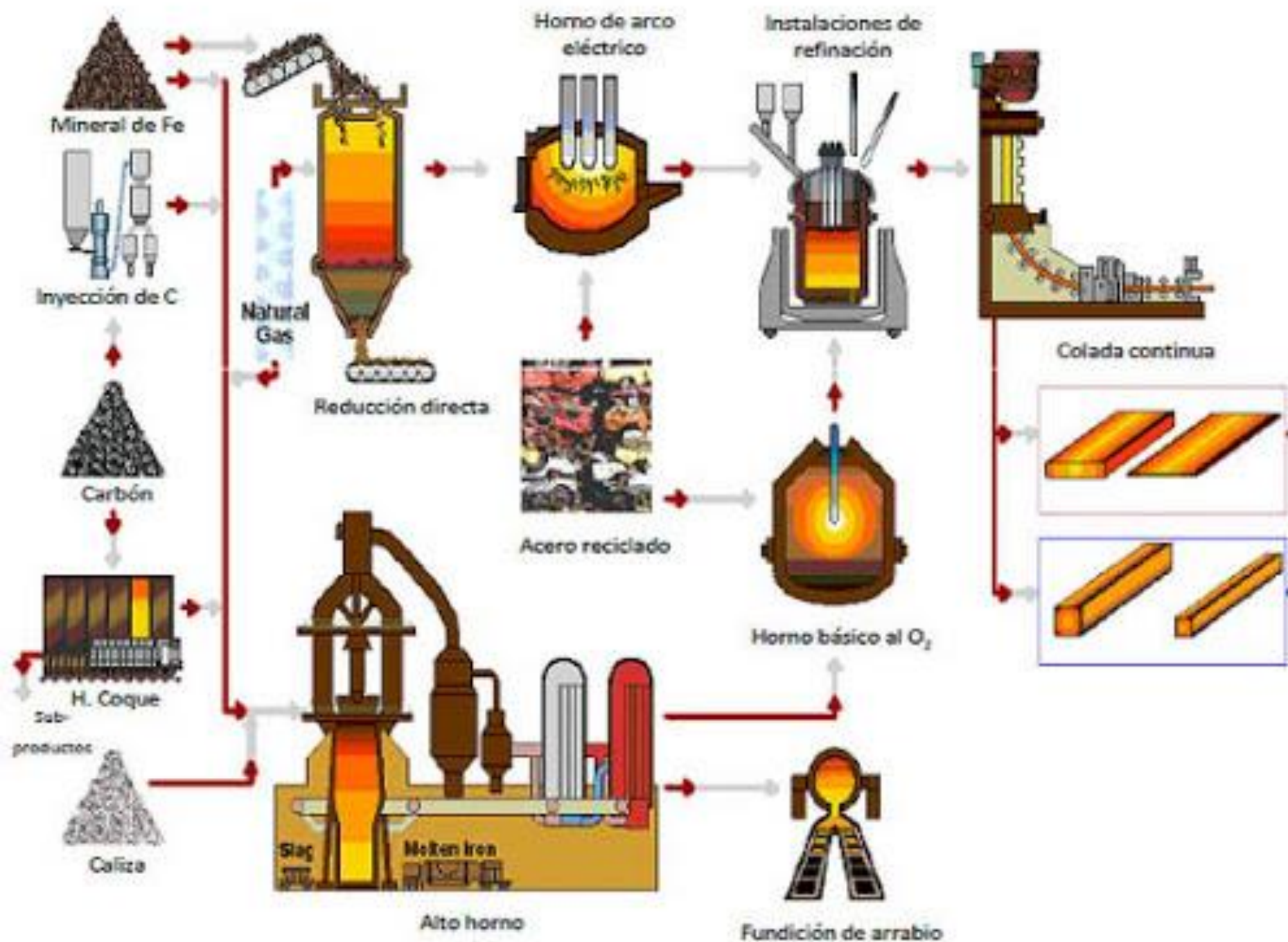
El acero obtenido se vacía en una cuchara de colada, revestida de material refractario, que hace la función de cuba de un segundo horno de afino en el que termina de ajustarse la composición del acero y de dársele la temperatura adecuada para la siguiente fase en el proceso de fabricación.

REFINACION DEL ARRABIO:

En el alto horno, el oxígeno fue removido del mineral por la acción del CO (monóxido de carbono) gaseoso, el cual se combinó con los átomos de oxígeno en el mineral para terminar como CO₂ gaseoso (dióxido de carbono)

Ahora, el oxígeno se empleará para remover el exceso de carbono del arrabio

A alta temperatura, los átomos de carbono (C) disueltos en el hierro fundido se combinan con el oxígeno para producir monóxido de carbono gaseoso y de este modo remover el carbono mediante el proceso de oxidación.



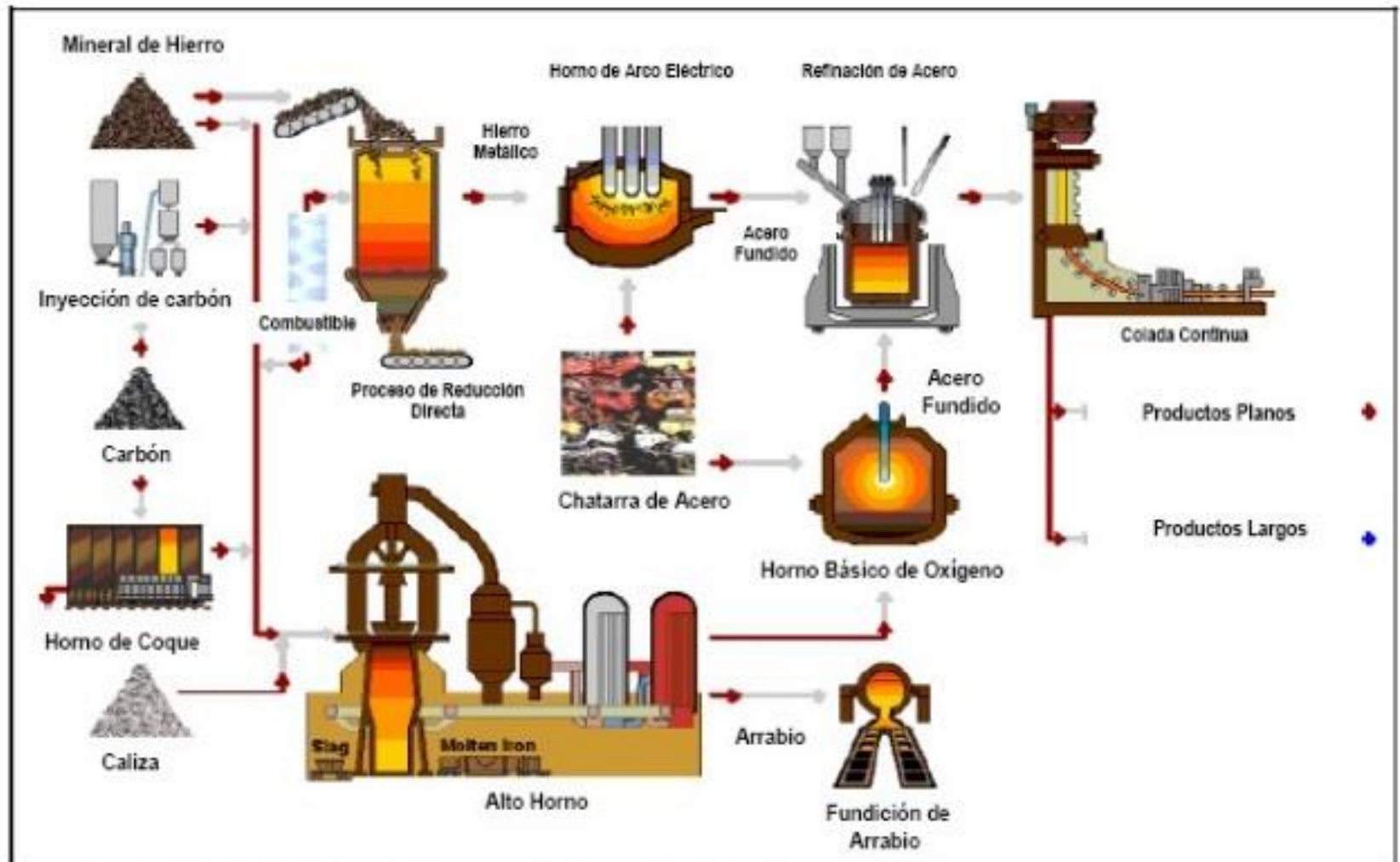
Forma de eliminación de elementos por Reacción química:

- Carbono. Al combinarse con el oxígeno se quema dando lugar a un gas gaseoso que se elimina a través de los humos.
- Manganeso. Se oxida y pasa a la escoria. Combinado con sílice da lugar a silicatos.
- Silicio. Se oxida y pasa a la escoria. Forma silicatos
- Fósforo. En una primera fase se oxida y pasa a la escoria. En presencia de carbono y altas temperaturas puede revertir al baño. Para fijarlo a la escoria se añade cal formándose fosfato de calcio.
- Azufre. Su eliminación debe realizarse mediante el aporte de cal, pasando a la escoria en forma de sulfuro de calcio. La presencia de manganeso favorece la desulfuración. Principales reacciones químicas en el afino

Finalizado el afino la cuchara de colada se lleva hasta la artesa receptora de la colada continua donde vacía su contenido en una artesa receptora dispuesta al efecto.

Proceso productivo del Acero

Figura 1. Diagrama de procesos para la fabricación de productos de acero



Fuente: International Iron and Steel Institute (IISI), 2005.

Posteriormente el arrabio se conduce a ser materia prima de los siguientes productos:

- **Hierro dulce**

Se denomina hierro dulce al hierro cuyo contenido en carbono es inferior al 0,1 %.

- **Fundiciones**

El arrabio o fundición de primera fusión, es el material que se obtiene directamente del horno alto.

- **Aceros**

El acero es una aleación de hierro y carbono en la que el contenido de carbono oscila entre el 0,1 % y el 1,76 %.

- **Aceros de baja aleación ultrarresistentes**

Es la más reciente de las cuatro grandes clases de acero. son más baratos que los aceros aleados convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación.

- **Aceros**

El acero es una aleación de hierro y carbono en la que el contenido de carbono oscila entre el

HIERRO FUNDIDO

*Son aleaciones ferrosas con amplia gama de propiedades, se fabrican con la intención de **ser fundidas para darles la forma deseada**, en lugar de ser trabajadas en su forma sólida.*

*A diferencia de los aceros, que usualmente contienen **menos de 1%C**, los hierros fundidos contienen:*

- *Entre **2%C y 4%C** y*
- *De **1% a 3% de silicio**.*

HIERRO FUNDIDO

PROPIEDADES GENERALES

- Forman **excelentes aleaciones, pueden ser fundidas con facilidad,**
- **Son muy fluidos en estado líquido** y no forman películas superficiales indeseables durante el vertido.
- Se **solidifican con una contracción entre leve y moderada durante la colada y el enfriamiento.**
- Tienen amplio rango de **resistencia y dureza**

HIERRO FUNDIDO

PROPIEDADES GENERALES

- En la mayoría de los casos, **son fáciles de maquinar.**
- Pueden alearse para obtener mejores cualidades en términos de **desgaste, abrasión y resistencia a la corrosión.**
- Tienen valores de **resistencia al impacto y ductilidad relativamente bajos,** y esto **limita su uso para algunas aplicaciones.**
- La amplia aplicación industrial de los hierros fundidos se debe sobre todo a su **costo relativamente bajo**

CLASIFICACIÓN DE LOS HIERROS FUNDIDOS

Tipos de hierro fundido:

- Hierro fundido Gris
 - Hierro fundido Dúctil
 - Hierro fundido Blanco
 - Hierro fundido Maleable
 - Hierros fundidos de alta aleación
-

HIERRO FUNDIDO

- ***Tipos:*** - ***fundición blanco***
 - ***fundición maleable***
 - ***fundición gris***
 - ***fundición nodular***
 - ***fundición atruchada***



HIERRO FUNDIDO BLANCO

El **hierro fundido blanco** se forma cuando durante la solidificación gran parte del carbono de un hierro colado derretido forma **carburo de hierro** en lugar de **grafito**.

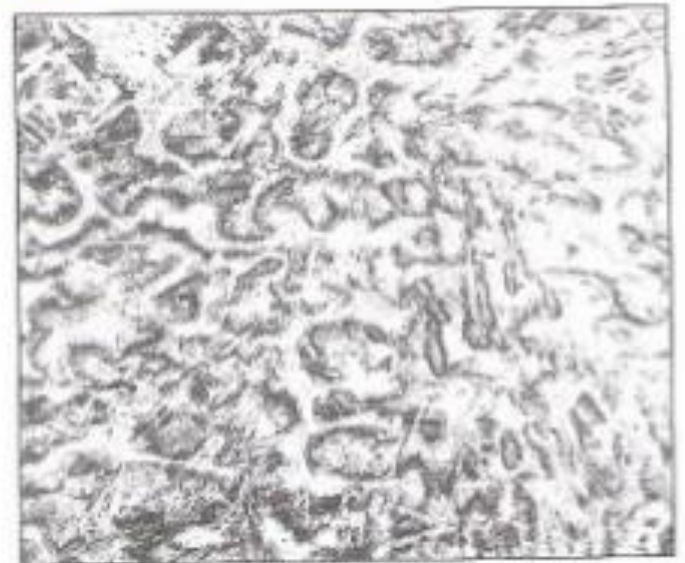


Figura 9.1 Microestructura del hierro fundido blanco. El componente blanco es carburo de hierro

HIERRO FUNDIDO BLANCO

Reciben ese nombre, porque, al **fracturarse producen una superficie fracturada cristalina "blanca" o brillante.**

Para que los **hierros fundidos blancos** puedan retener el carbono en forma de carburo de hierro, su contenido de carbono y silicio se debe mantener relativamente bajo (**2,5 – 3,0% C y 0,5 – 1,5% Si**).

HIERRO FUNDIDO GRIS

d)

El **hierro fundido gris** se forma cuando el **carbono** de la aleación rebasa la cantidad que puede disolverse en la **austenita** y se precipita como escamas de **grafito**.

Cuando un trozo de hierro gris solidificado se fractura, la **superficie fracturada adquiere un tono gris a causa del grafito expuesto en ella**.

Grafito: es una de las formas **alotrópicas** en las que se puede presentar el **carbono** junto al **diamante**. El término grafito deriva del griego (graphein) que significa escribir.

HIERRO FUNDIDO GRIS

*El hierro fundido gris es un material importante de ingeniería por su **Costo relativamente bajo y sus útiles propiedades para la ingeniería**, por:*

- *Su excelente **facilidad de maquinado** en niveles de dureza que ofrecen **buena resistencia al desgaste**,*
- *La resistencia a la **fricción por frotamiento** con lubricación restringida, y*
- ***Excelente capacidad para amortiguar las vibraciones.***

HIERRO FUNDIDO GRIS

COMPOSICION Y MICROESTRUCTURA

Los hierros fundidos grises no aleados contienen de **2,5 a 4%C** y **1 a 3% Silicio**.

Como el silicio es un elemento estabilizador del grafito, en los aceros fundidos se utiliza un contenido de silicio relativamente alto para promover la **formación del grafito**.

Figura 9.2: Se muestra la microestructura de un **hierro gris no aleado**, con escamas de grafito en una matriz de ferrita y perlita mezcladas



HIERRO FUNDIDO MALEABLE

Composición y microestructura.

Los hierros fundidos maleables se funden primero como **hierros fundidos blancos** que contienen grandes cantidades de **carburos de hierro** y no tienen grafito.

La composición química de los **hierros fundidos maleables**, se limita a las composiciones que forman **hierros fundidos blancos**. Como se aprecia en la **tabla 9.1**, los contenidos de carbono y de silicio de los hierros maleables están en los rangos de **2,0 a 2,6%C** y de **1,1 a 1,6% de Silicio**.

HIERRO FUNDIDO MALEABLE

Para producir una estructura de **hierro maleable**, el **hierro fundido blanco frío se calienta** en un horno, para disociar al carburo de hierro del hierro blanco y **convertirlo en grafito y hierro**.

El grafito del hierro fundido maleable se presenta en forma de agregados modulares irregulares que recibe el nombre de **carbono revenido**.

En la figura 9.4 se ilustra la microestructura de un hierro **fundido maleable ferrítico**.

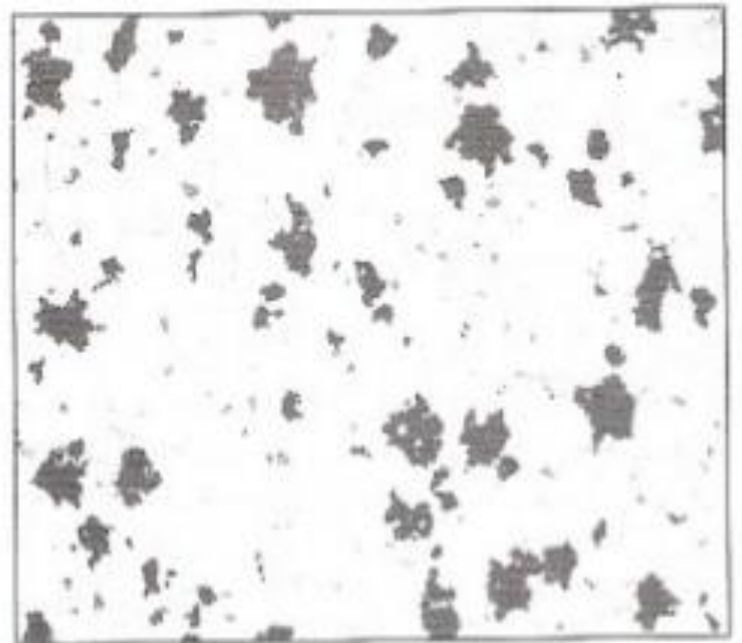


Figura 9.4 Microestructura del **hierro fundido maleable**

HIERRO FUNDIDO MALEABLE

Los **hierros fundidos maleables**, reúnen propiedades deseables en términos de:

- ***Fundición,***
- ***Maquinado,***
- ***Moderada resistencia,***
- ***Tenacidad, y***
- ***Resistencia a la corrosión en ciertas aplicaciones.***

HIERRO FUNDIDO MALEABLE

Tratamiento térmico.

El tratamiento térmico de los hierros blancos para producir hierros maleables se realiza en dos etapas:

Grafitización. *El hierro blanco fundido se calienta por arriba de la **temperatura eutectoide**, generalmente a casi **940°C**, y así se mantiene entre **3 y 20 h**, según la composición, estructura y tamaño de los vaciados.*

*En esta etapa, el carburo de hierro del hierro blanco se transforma en **carbón revenido**(**grafito**) y **austenita**.*

Enfriamiento. *En esta etapa, la austenita del hierro se puede transformar en tres tipos básicos de matrices: **ferrita, perlita o martensita**.*

HIERRO FUNDIDO DÚCTIL

Llamado a veces **hierro colado nodular**, combina las **ventajas del procesamiento del hierro fundido gris con las ventajas de ingeniería del acero.**

El hierro dúctil tiene:

- **Buena fluidez y moldeabilidad,**
- **Excelentes cualidades de maquinado y buena resistencia al desgaste.**
- *Además, tiene varias propiedades similares a las del acero, como **alta resistencia, tenacidad, ductilidad y posibilidad de ser trabajado en caliente y endurecido.***

HIERRO FUNDIDO DÚCTIL

COMPOSICION Y MICROESTRUCTURA

Las excepcionales propiedades del acero dúctil para la ingeniería se deben a los **nódulos esféricos de grafito** que existen en su estructura interna, como se aprecia en las microestructuras de la fig.9.3.

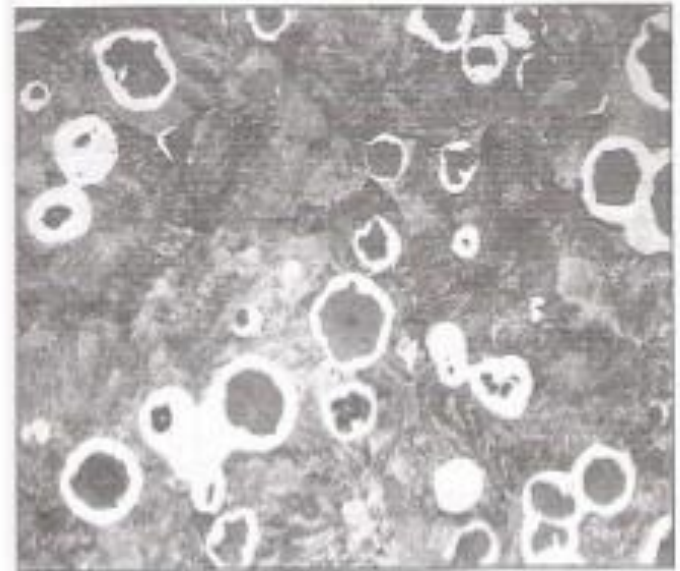


Figura 9.3 Acero fundido dúctil

HIERRO FUNDIDO DÚCTIL

La composición del **hierro dúctil** no aleado es similar a la del **hierro gris** en lo que se refiere al contenido de carbono y silicio.

Se aprecia en la tabla 9.1, el contenido de carbono del hierro dúctil sin alear fluctúa entre **3,0 y 4,0% C** y el **contenido de silicio, entre 1,8 y 2,8% Si**. Los niveles de **azufre** y **fósforo** del hierro dúctil de alta calidad se deben mantener muy bajos, en **0,03%S** como máximo y **0,1% de P** como máximo, porcentajes casi 10 veces menores que los niveles de otros elementos que se consideran impurezas.



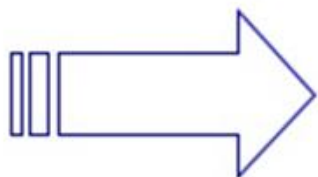
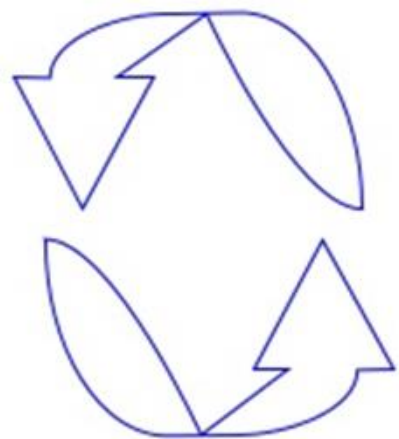
1.4. REDUCCION DIRECTA



Método de reducción directa

PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA.

Es un proceso en el cual el mineral de hierro se hace reaccionar en un reactor a base de gas natural e hidrógeno, para producir hierro metálico.

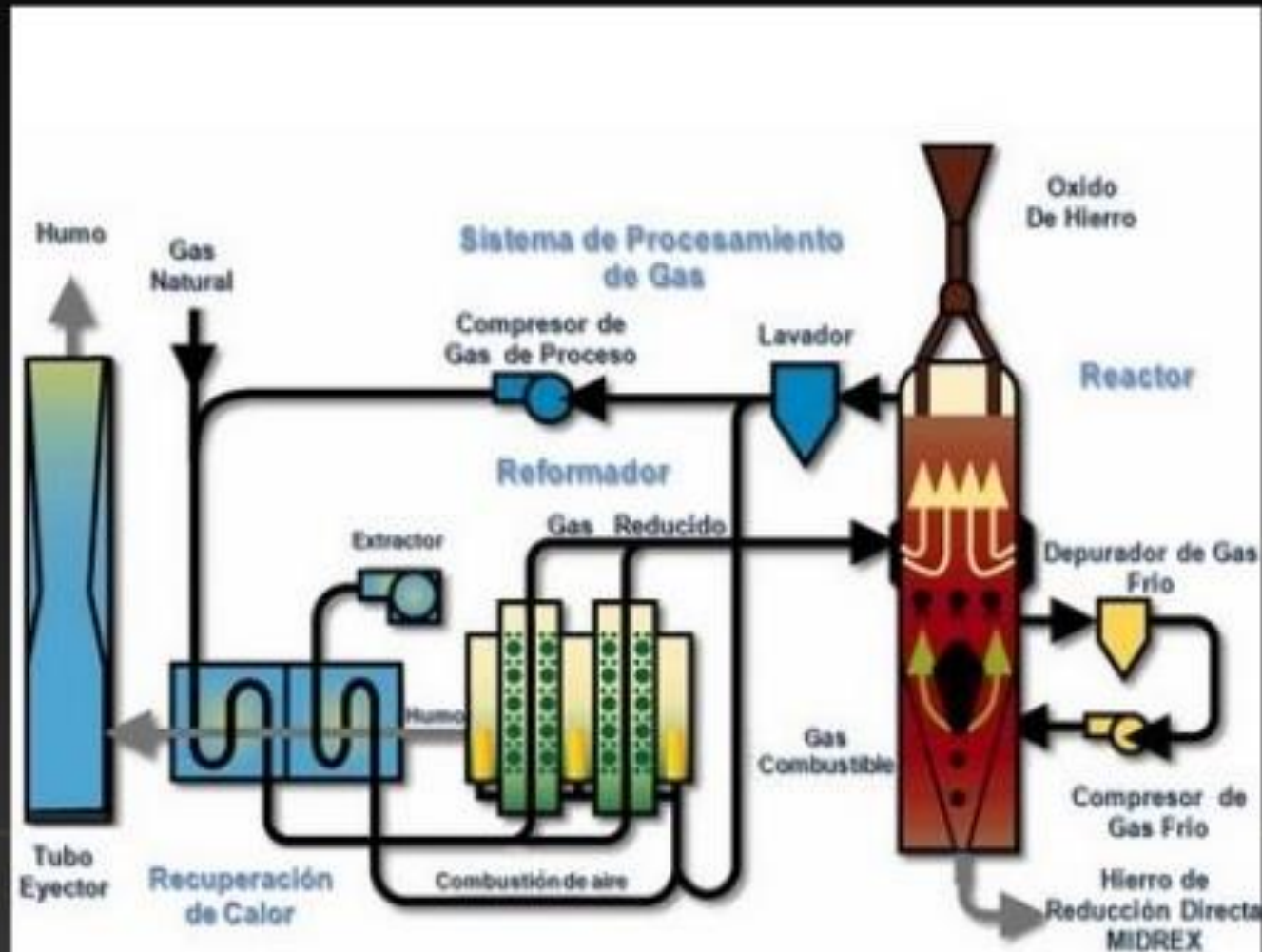


Los tipos de procesos de reducción directa que existen son los siguientes:

- HYL
- FIOL
- MIDREX

Reducción Directa

Solo 2% de la producción mundial de arrabio se obtiene por este método
El costo de producción es menor que en un alto horno.



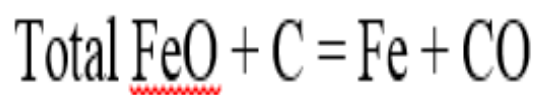
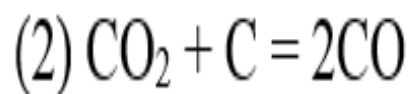
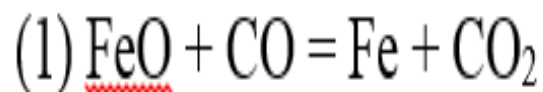
El proceso de reducción directa es intrínsecamente más eficiente que el alto horno de energía, ya que opera a una temperatura más baja, y hay varios otros factores que hacen que resulte económico.



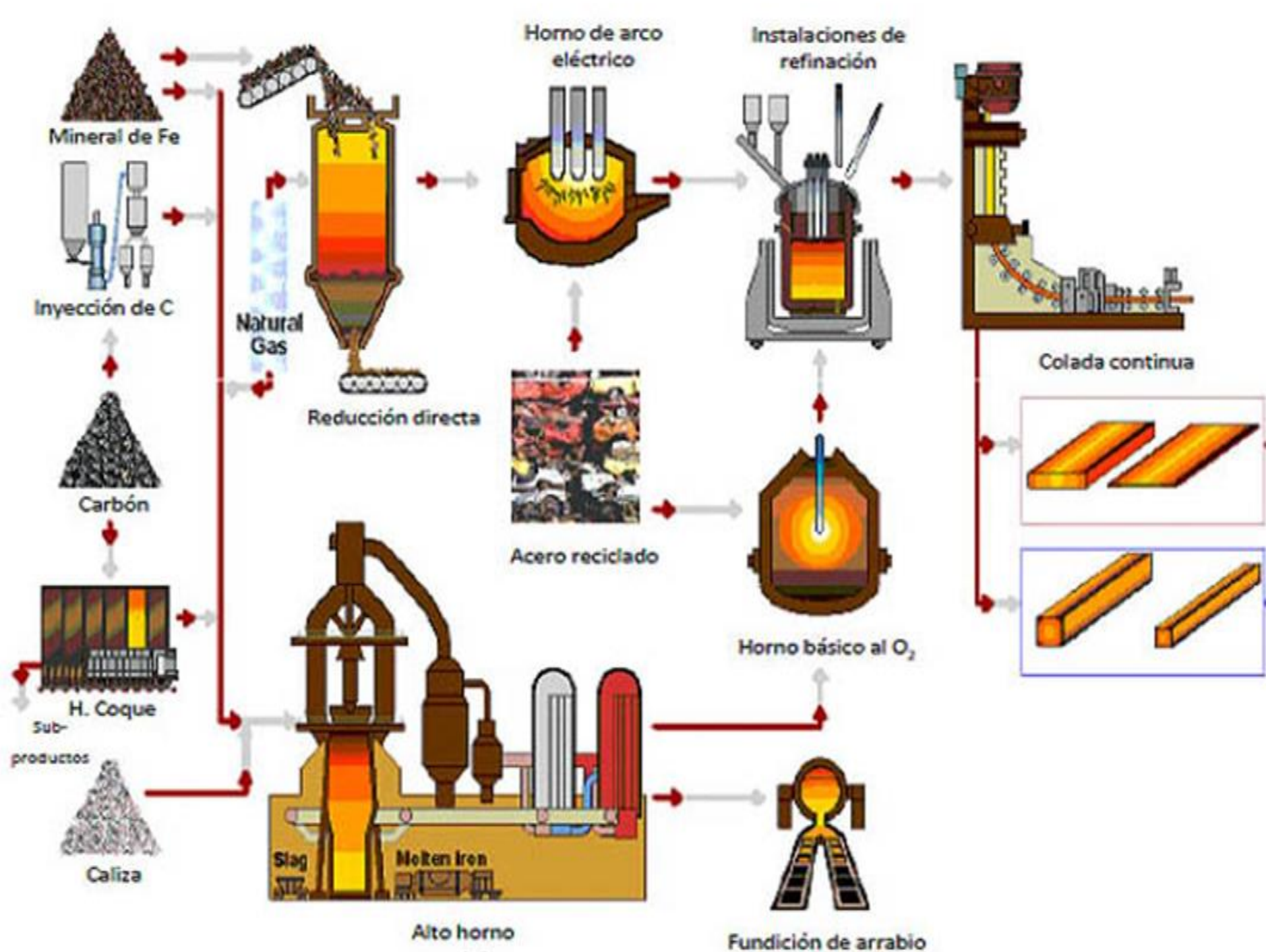


- Este método de reducción directa esta en desarrollo y se espera su continuo crecimiento para que su aprovechamiento sea el máximo y el impacto ambiental pueda ser controlado. Aunque el impacto ya en este momento es bastante bajo para el ambiente, necesitamos encontrar las formas de resarcir los daños causados al planeta.

El óxido de hierro de baja valencia (FeO) reacciona directamente con las partículas de coque en la zona caliente por encima del dardo (raceway), generando hierro metálico y gas de CO. En realidad, ocurre en 2 procesos consecutivos: reducción de CO del FeO y conversión inmediata de CO₂ a CO en contacto con el coque:

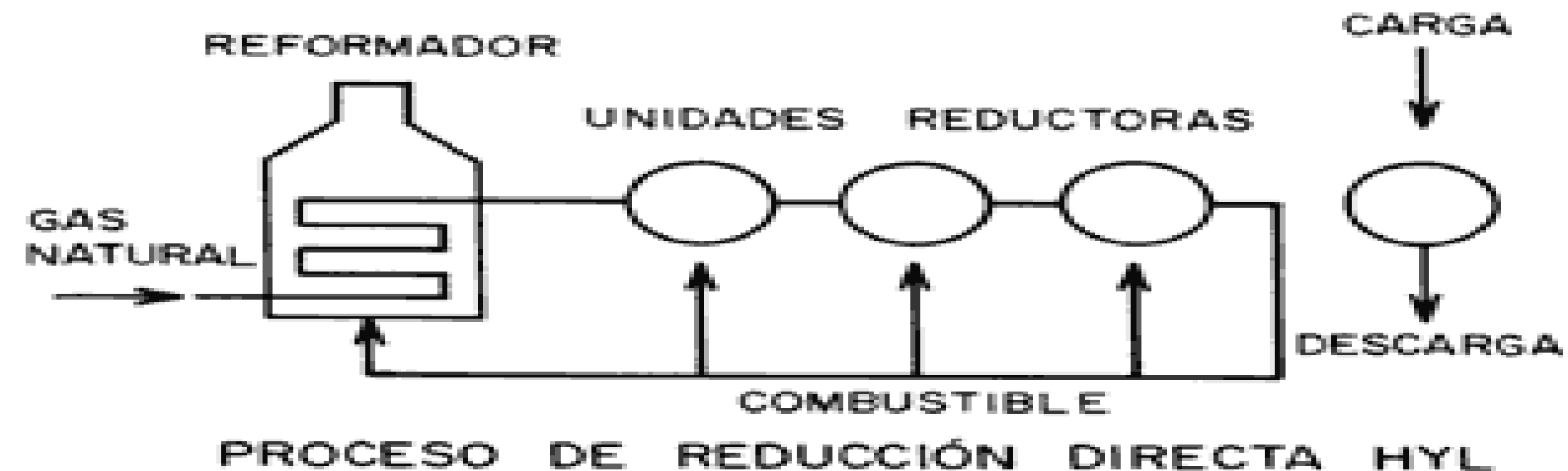


En un alto horno moderno, la reducción directa elimina alrededor de 1/3 del oxígeno de la carga, dejando que el 2/3 restante sea eliminado por la reacción de reducción del gas (reducción indirecta).



La reducción directa usa carbono (coque) como reductor y genera gas de CO extra. La reducción directa cuesta mucha energía. La reducción directa también se llama pérdida de solución (definida como la cantidad de coque que se usa para la reducción) y puede calcularse y monitorearse en línea.

Los estados relevantes de la alimentación de mineral de hierro se indican en el orden de la hematita, la magnetita, la wustita y a través de $\text{FeO}_{0.5}$ a hierro metálico. El proceso de reducción de las partículas de mineral de hierro (pélets o sínter) es un proceso de eliminación del oxígeno de los óxidos de hierro.



Los procesos químicos son los siguientes:

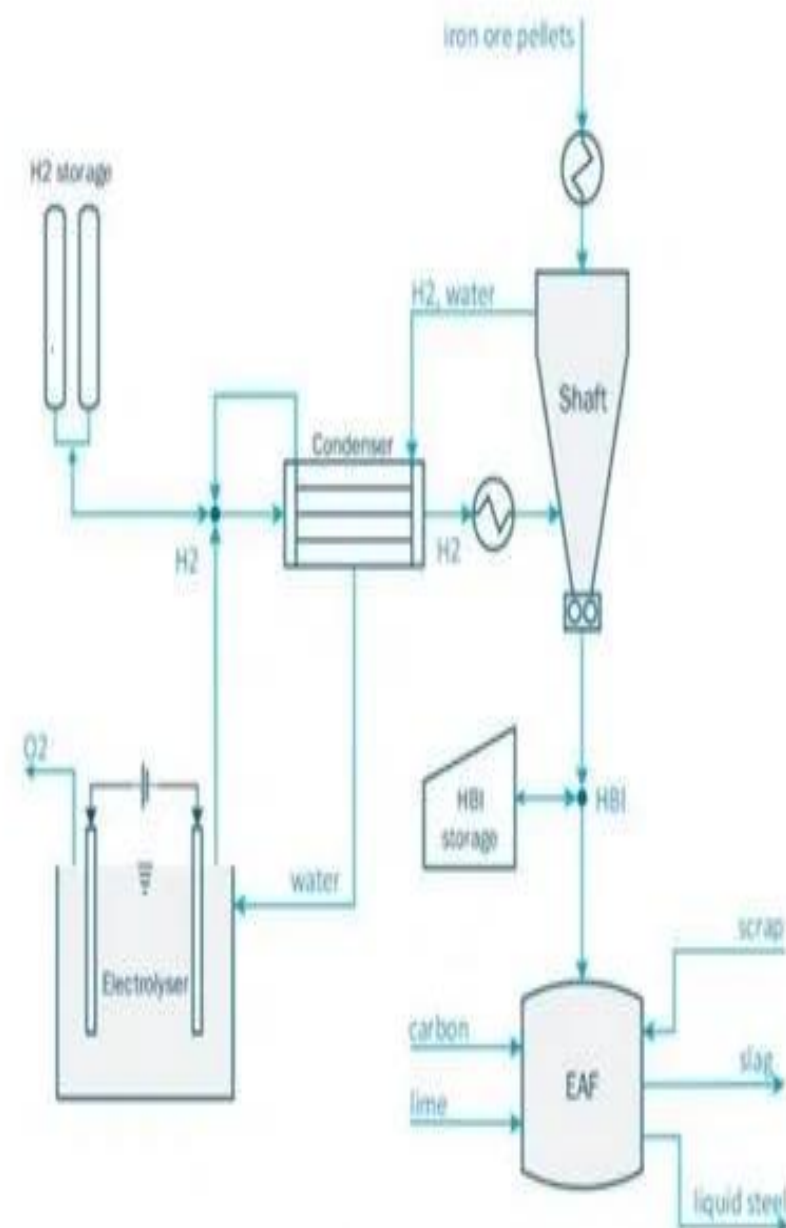
1. La hemetita se convierte en magnetita por reducción con hidrógeno.



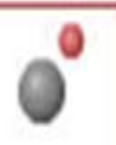
2. La magnetita se convierte en óxido ferroso por reducción con hidrógeno.



3. El óxido ferroso se convierte en hierro esponja por reducción con hidrógeno.



Monóxido de carbono



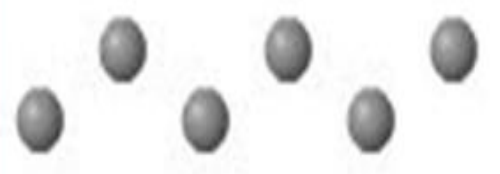
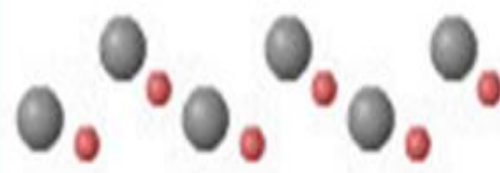
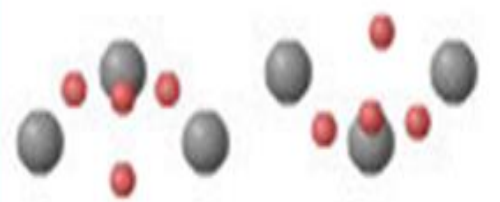
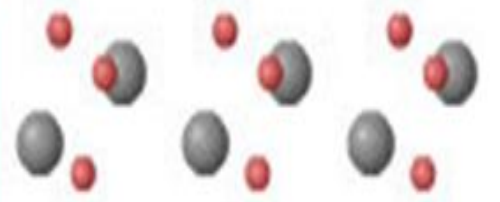
Dióxido de carbono



Carbono



Monóxido de carbono



Reducción de gas



Reducción de gas



Reducción de gas



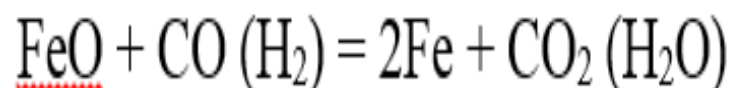
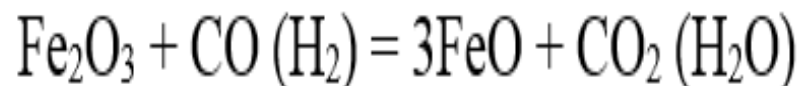
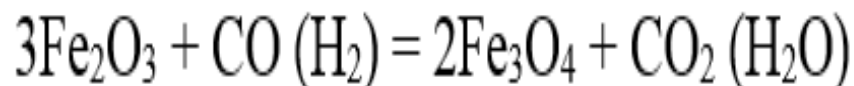
Reducción directa

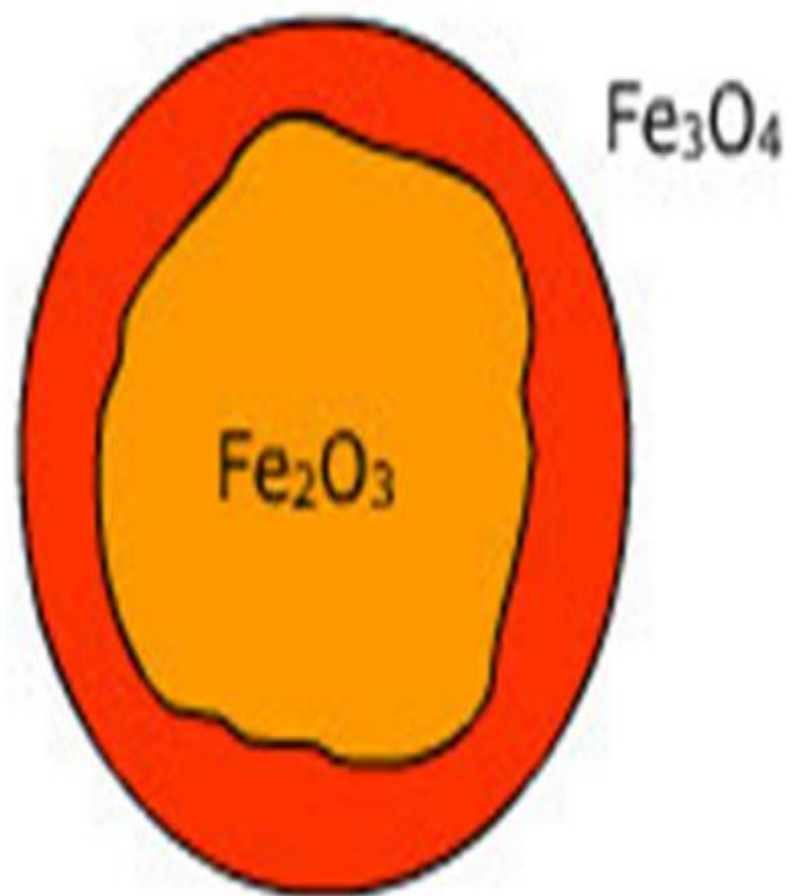
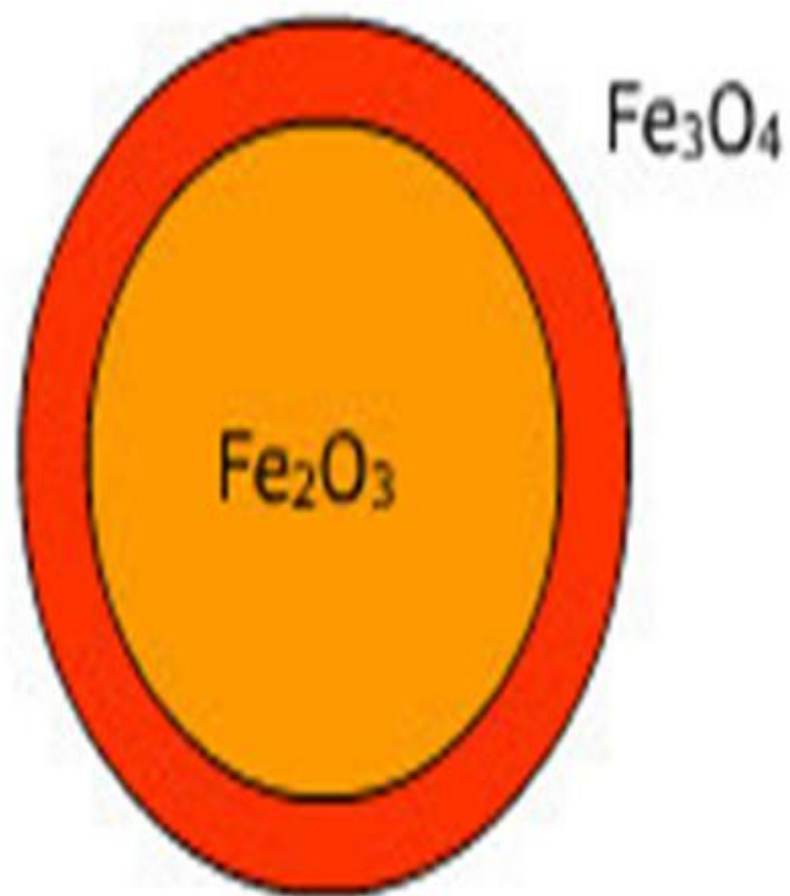


Cinética de la Reducción del Mineral de Hierro

La reducción del mineral de hierro por los gases de carbono y de hidrógeno es un proceso muy complicado. Para una mejor comprensión de los factores que influyen en la reductibilidad de los minerales, sínters y pélets a continuación figura una vista muy simplificada de las reacciones de control de la velocidad.

En la mayoría de los casos, el mineral de hierro se encuentra en la forma de hematita, y la reducción comienza de la hematita y procede en el siguiente orden: hematita (Fe_2O_3) > magnetita (Fe_3O_4) > wustita (FeO) > hierro metálico (Fe).



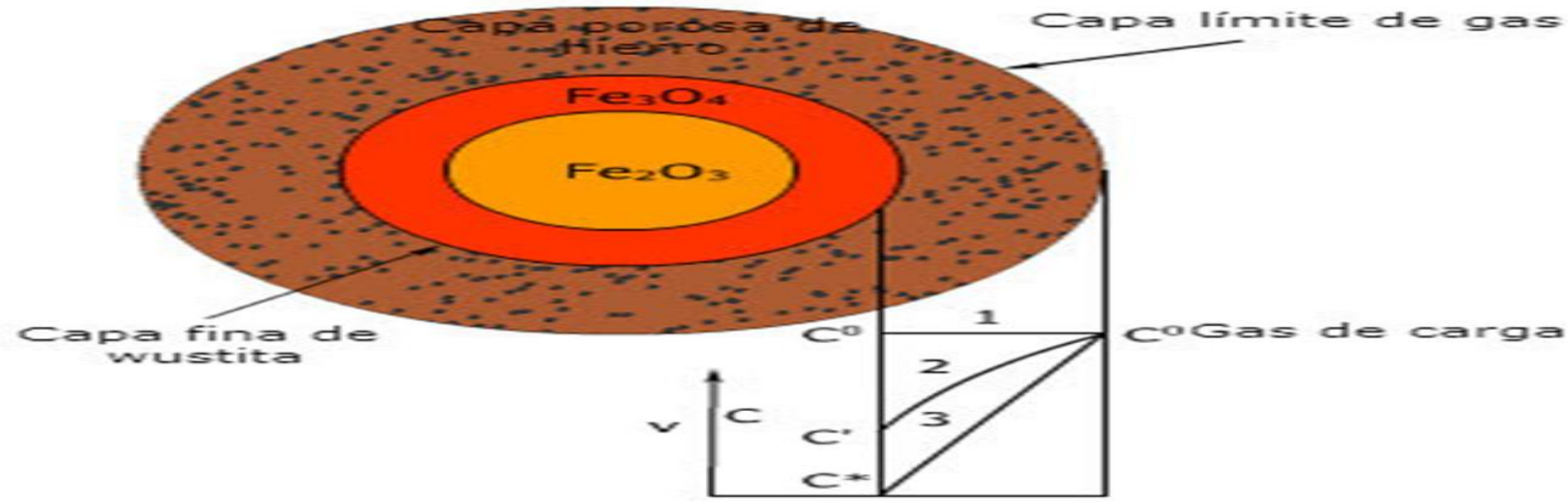


Reducción de partículas
densas de óxido de hierro

Reducción de partículas
porosas de óxido de
hierro

La reducción del óxido de hierro es un proceso de eliminación del oxígeno de los minerales de hierro por etapas. La reducción gas-sólido del mineral de hierro ocurre en los siguientes 3 pasos:

1. Difusión de los reductores gaseosos (CO o H_2) a través de las capas límite de gas-sólido hacia adentro a través de capas porosas de hierro, wustita y magnetita.
2. El reductor gaseoso es absorbido en las superficies sólidas y los iones de oxígeno se difunden a través de las capas para reaccionar en la interfase. Reducción de todos los óxidos simultáneamente en todas las interfases de acuerdo con las tres reacciones arriba explicadas de manera similar.
3. Los productos gaseosos (CO_2 or H_2O) se difunden hacia afuera de las capas de los productos porosos.



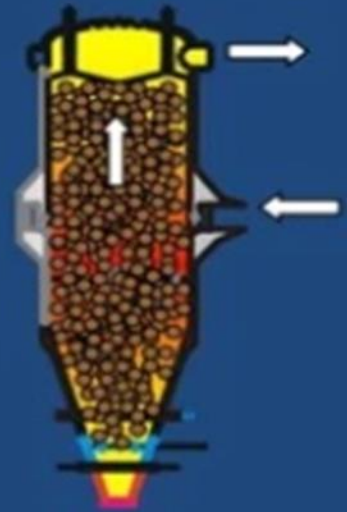
1.4.1. Equipos auxiliares

Available Processes

Gas



Batch



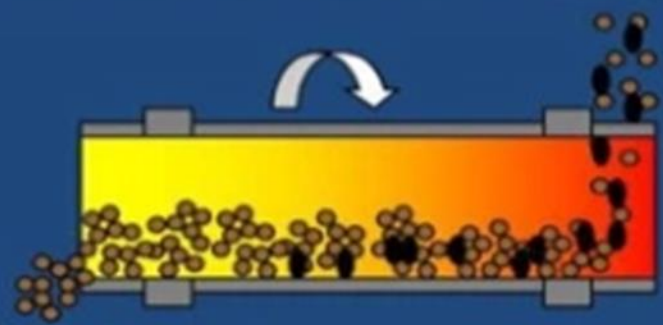
Shaft



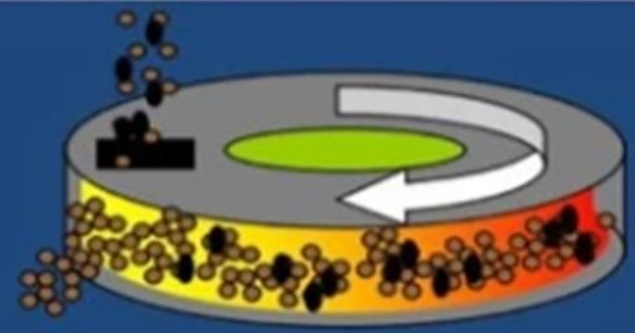
Fluid Bed

www.xiderex.com.mx

Coal



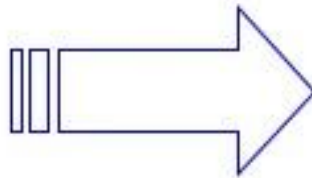
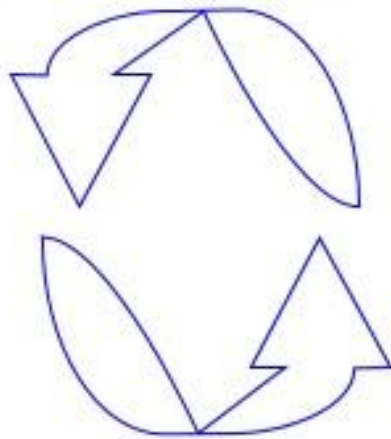
Rotary Kilm



Rotary Hearth

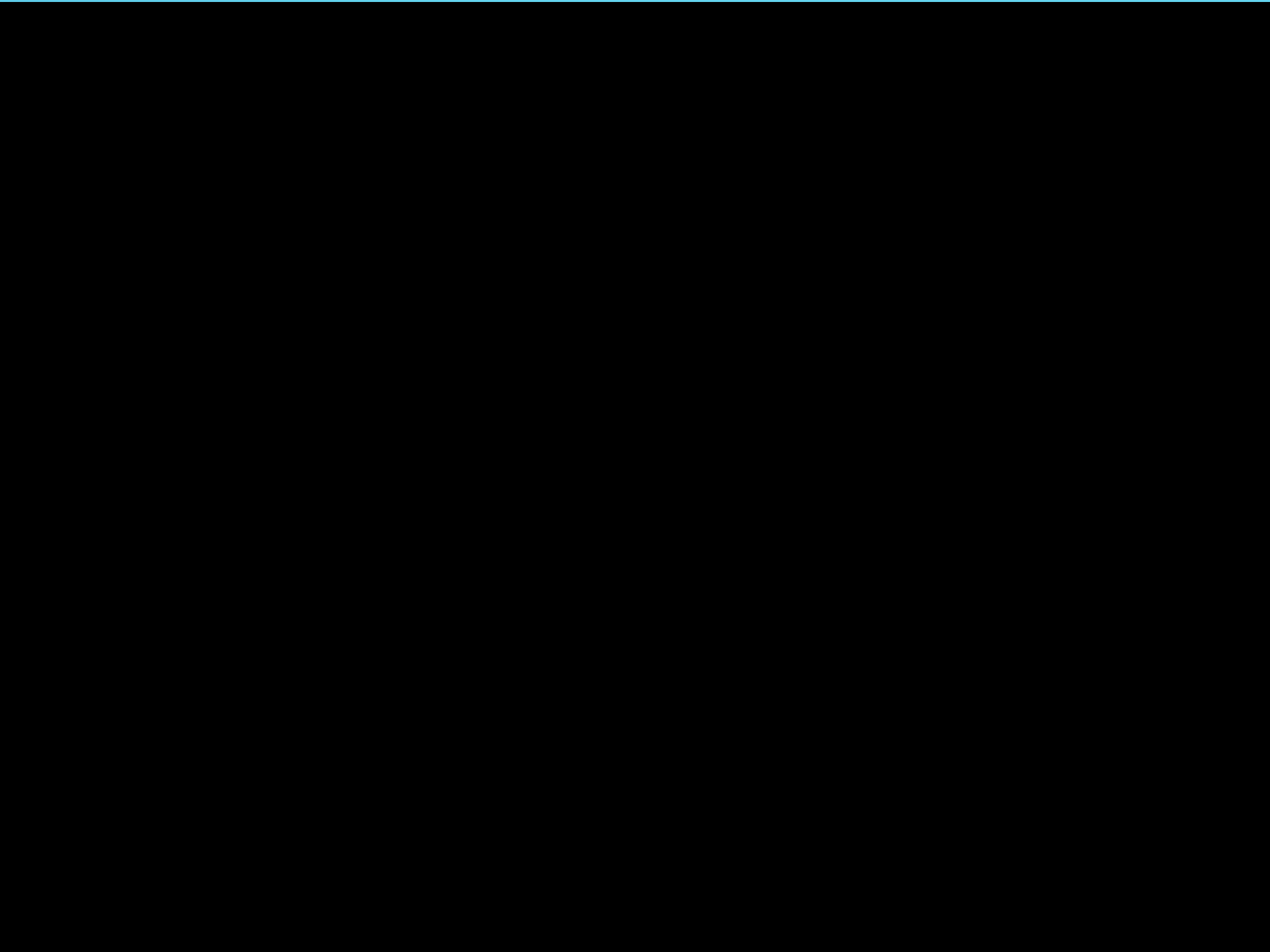
PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA.

Es un proceso en el cual el mineral de hierro se hace reaccionar en un reactor a base de gas natural e hidrógeno, para producir hierro metálico.



Los tipos de procesos de reducción directa que existen son los siguientes:

- HYL
- FIOL
- MIDREX



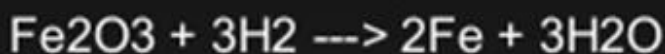
Para un mejor estudio de los distintos procedimientos de reducción directa del mineral de hierro, en primer lugar conviene ordenarlos dentro de una clasificación. Advertimos que para ello vamos a tener en cuenta, en primer lugar, el tipo de reductor que utilizan, así como el tipo de horno o reactor que emplean.

Por otra parte, vamos a incluir en esta descripción general no sólo a los procesos que se están empleando ahora industrialmente para la fabricación de un producto metalizado para ser usado en sustitución de la chatarra, sino asimismo a aquellos otros procedimientos que merecen ser recordados, aunque sea brevemente, por alguno de los siguientes motivos:

- A. Su papel pionero en el desarrollo de la reducción directa, aunque en estos momentos estén abandonados o dedicados a la fabricación de otros productos específicos. Así, tenemos los procesos Wiberg y Re-un Krupp y el proceso Hogannas, respectivamente.
- B. Aquellos que han marcado una característica de originalidad manifiesta, aunque no hayan pasado en su desarrollo de la planta piloto o de la planta semi-industrial,

Reducción Directa

El mineral de hierro es introducido en tolvas que se encuentra en la parte superior del horno, en donde desciende a través del horno por acción de la gravedad, mientras se calienta y se le inyecta los gases en contracorriente con altos contenidos de H₂ y CO₂ para de esa manera obtener el hierro reducido libre de oxígeno. Estos gases reaccionan con el Fe₂O₃ presente en el mineral de hierro y lo transforman en hierro metálico, dejando el H₂O y el CO₂.



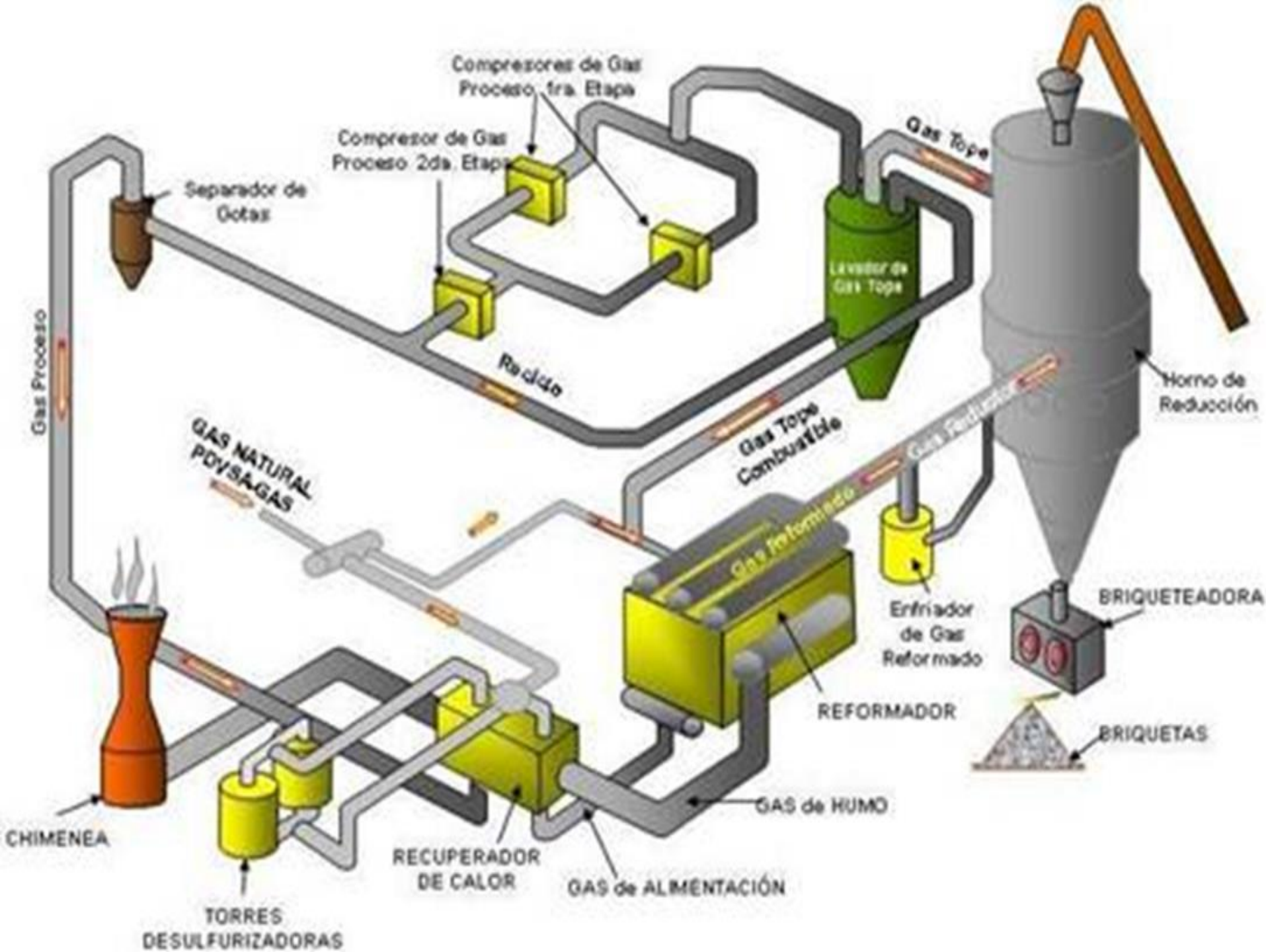
Procesos de Reducción

- La reducción directa, una ruta alternativa de la fabricación de hierro, ha sido desarrollada para superar algunas de estas dificultades de altos hornos convencionales. DRI está fabricado con éxito en varias partes del mundo a través de gas natural o de tecnología basada en el carbón. El mineral de hierro se reduce en estado sólido a 800 a 1050 °C, ya sea por la reducción de gas o de carbón.



1. Procesos que utilizan reductores sólidos para la reducción del mineral de hierro.
 - 1.1. Hornos que trabajan en marcha discontinua con retortas o potes. Está el antiguo sistema Hogannas.
 - 1.2. Hornos de cuba. Incluimos el proceso de P. Echeverría, Legazpia.
 - 1.3. Hornos rotatorios. Además del antiguo proceso Renn Krupp, incluyendo a los procesos SL-RN y Krupp.

2. Procesos que utilizan reductores gaseosos para la reducción directa.
 - 2.1. hornos de cuba. Aquí tenemos el proceso Wiberg-Soderfors, hoy abandonado. pero de destacado papel en la Siderurgia sueca durante cuarenta años. Asimismo, los procesos Midres, Armco y Purofer.
 - 2.2. Procesos con reactores especiales. El de más importancia es, sin duda, el HYL.
 - 2.3. Procesos en lecho fluidizado. Aparte del 11 Iron, que no ha alcanzado el nivel industrial, están los procesos FIOR y HIB (antes Nu-Iron), que son los que parece que tendrán mayor importancia futura, El Novalfer está dedicado a la pulvimetalurgia.



1.4.2. Operación del Proceso.

Tecnologías Alternativas de la Producción de Hierro

Se encuentran disponibles dos tipos principales de los procesos comerciales alternativos de producción de hierro:

Reducción directa (RD): La reducción directa consiste en la producción de hierro sólido a partir de minerales de hierro y de un agente reductor (por ej. el gas natural). El producto sólido se denomina hierro de reducción directa (HRD) y se usa principalmente como material de carga en los hornos de arco eléctrico. El proceso de reducción directa ha sido comercializado desde la década de 1970 y se han desarrollado una variedad de procesos.

Reducción por fusión (RF): Este proceso combina la reducción del mineral de hierro con la fusión en un reactor, sin usar coque. El producto es arrabio líquido, el cual puede tratarse y refinarse de la misma manera que el arrabio de un alto horno. En la actualidad, sólo una variante de RF ha demostrado ser comerciable (COREX), pero una cantidad de variantes se encuentran en un estado avanzado de desarrollo.

Tecnologías Alternativas: Procesos Hierro de Reducción Directa y MIDREX

Procesos de HRD

Varios métodos se han usado durante los últimos 50 años para producir hierro de reducción directa. En la práctica, funcionan tres procesos principales:

MIDREX

HyL (I, II y III)

FIOR

Sólo recientemente se han desarrollado cinco técnicas nuevas:

FINMET

FASTMET

IRON CARBIDE,

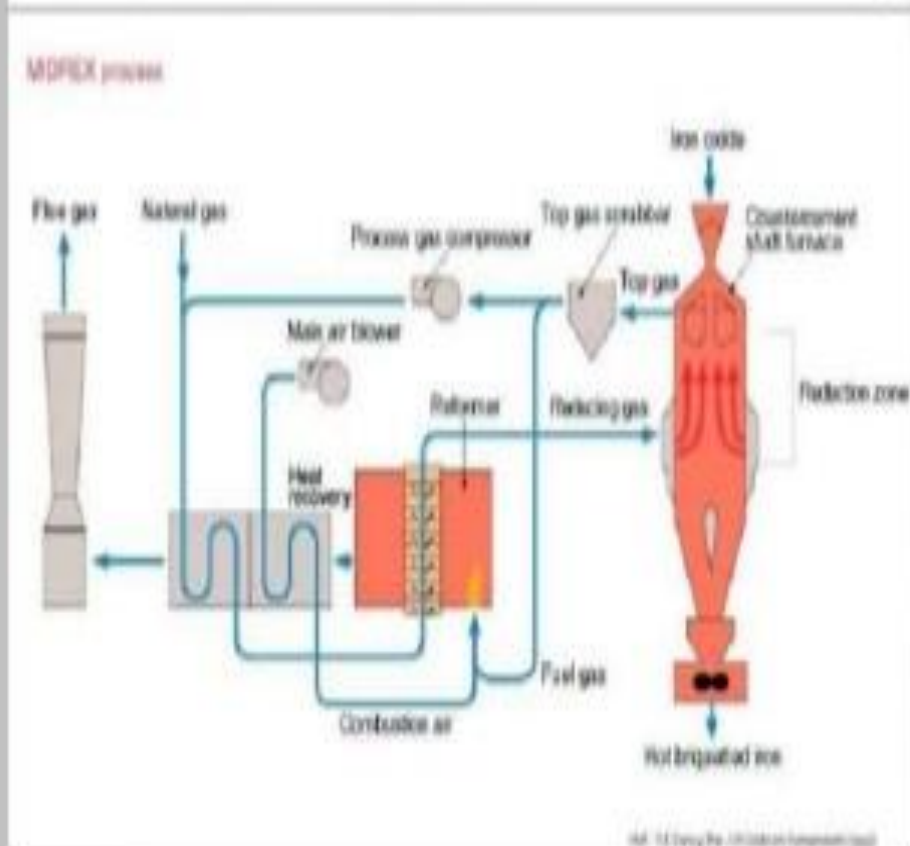
CIRCORED,

INMETCO

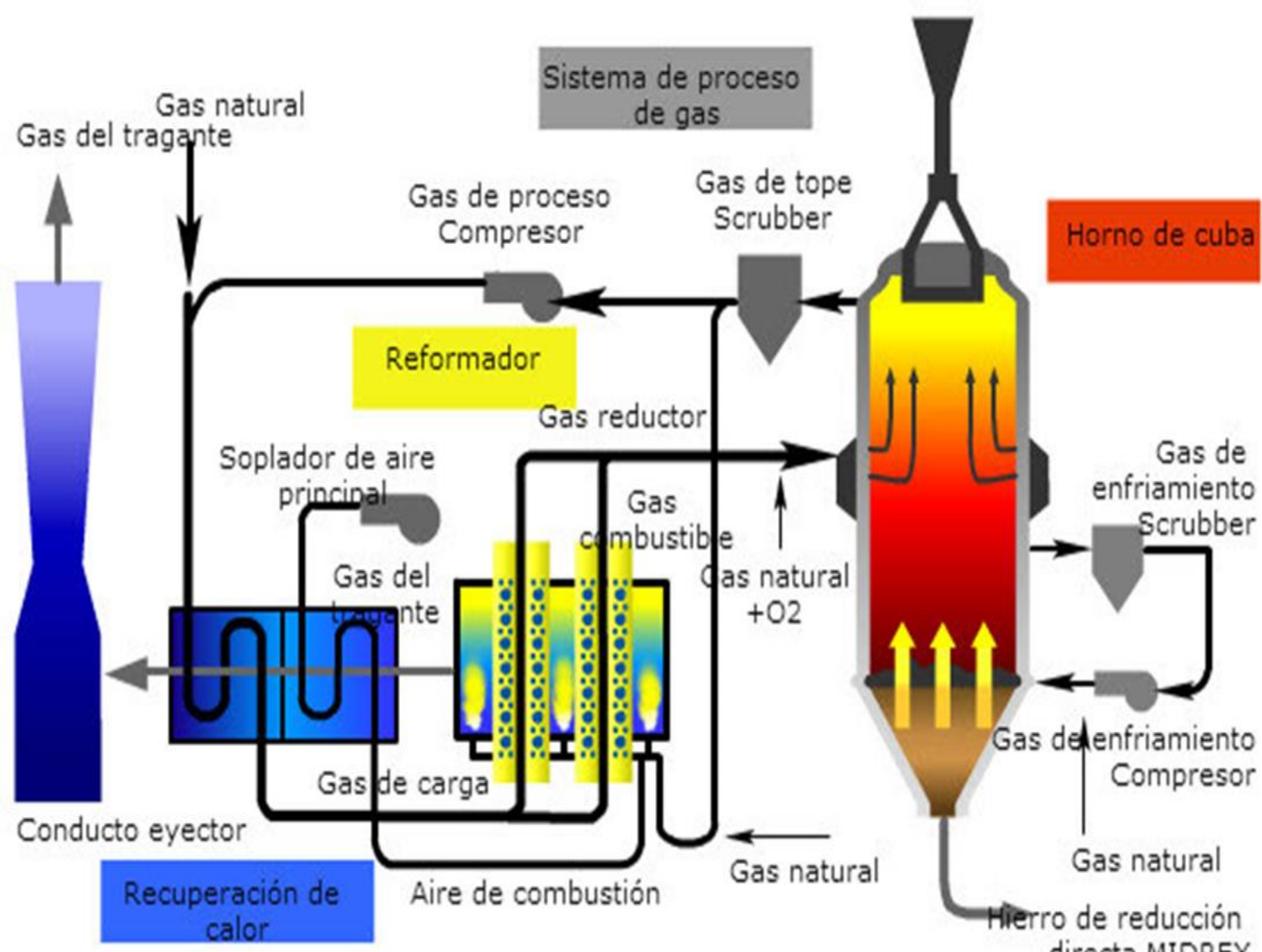
Aproximadamente el 92% del HRD se produce usando gas natural (reformado) como combustible. En una cantidad limitada de plantas, se usa carbón como combustible. Como material de carga, se usa pélets de mineral de hierro y mineral granular en los procesos que utilizan un horno de cuba (MIDREX, HyL), se usa finos y concentrados en los procesos que utilizan un lecho fluidizado (CIRCORED, FINMET, IRON CARBIDE) o un horno de crisol rotativo (FASTMET, INMETCO).

Proceso Midrex

2G Example of Direct Reduction Process



- El proceso Midrex de reducción directa se basa en un sistema de producción a baja presión. El mineral en trozos o los pellets de mineral se cargan por el tope del reactor, y son reducidos a medida que desciende por el reactor por una corriente gaseosa reductora caliente en contracorriente. La misma consiste aproximadamente en un 95% de H_2 y CO . Generalmente este gas de gran poder reductor se produce por un método propio patentado "Midrex's CO_2 reforming process", con un catalizador también específico.



PROCESO DE REDUCCION DIRECTA MIDREX.

El horno de reducción es alimentado con pellas y gruesos de mineral de hierro.

Este proceso trabaja al igual que el HYL con el gas reductor, rico en monóxido de carbono e hidrógeno.

El gas reacciona con el Óxido de Hierro (Fe_2O_3) y le remueve el oxígeno.

Los minerales de hierro contienen del 60 al 70% de hierro; el resto se compone de oxígeno, arena, arcilla y piedras, que a su vez contienen óxido de silicio.

Oxido de Hierro

Tolva de alimentación

Gas Superior

Tolva de proporción

Tubo de Distribución

Gas Reductor

Toberas

Alimentadores

Salida de Gas Frío

Entrada de Gas Frío

Hierro MIDREX

Zona de
Precalentamiento

Zona de
Reducción

Zona de
Transición

Zona de
Enfriamiento

Zona de
Descarga



PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA HYL.

Utiliza una mezcla de gases rica en hidrógeno y monóxido de carbono para extraer el oxígeno del mineral de hierro.

La mezcla de gases se produce a partir de gas natural y vapor de agua en un dispositivo llamado reformador.

A altas temperaturas, y con ayuda de catalizadores que se ponen en el interior de los tubos, ocurre la reacción química:



Gas Natural + Vapor de Agua = Hidrógeno + Monóxido de Carbono.

Hierro Esponja:

El hierro directamente reducido, también llamada esponja de hierro, se produce a partir de la reducción directa de mineral de hierro por un gas reductor producido a partir de gas natural o carbón.



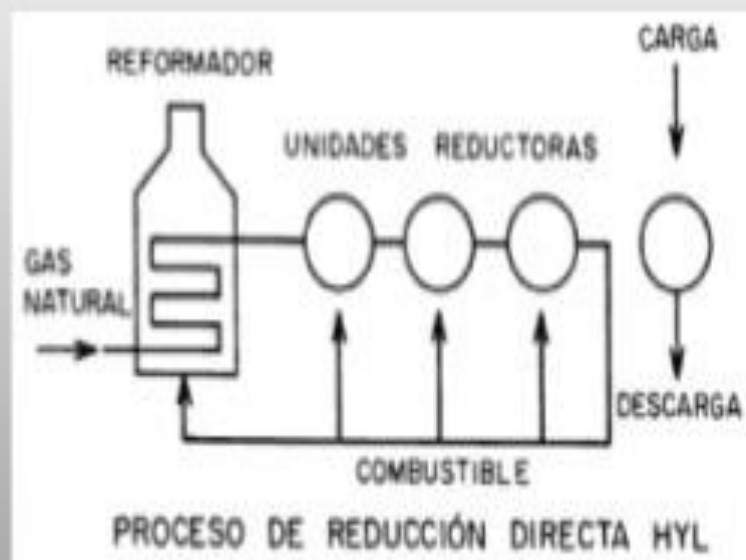
Procesos de Reducción

- La reducción directa, una ruta alternativa de la fabricación de hierro, ha sido desarrollada para superar algunas de estas dificultades de altos hornos convencionales. DRI está fabricado con éxito en varias partes del mundo a través de gas natural o de tecnología basada en el carbón. El mineral de hierro se reduce en estado sólido a 800 a 1050 °C, ya sea por la reducción de gas o de carbón.

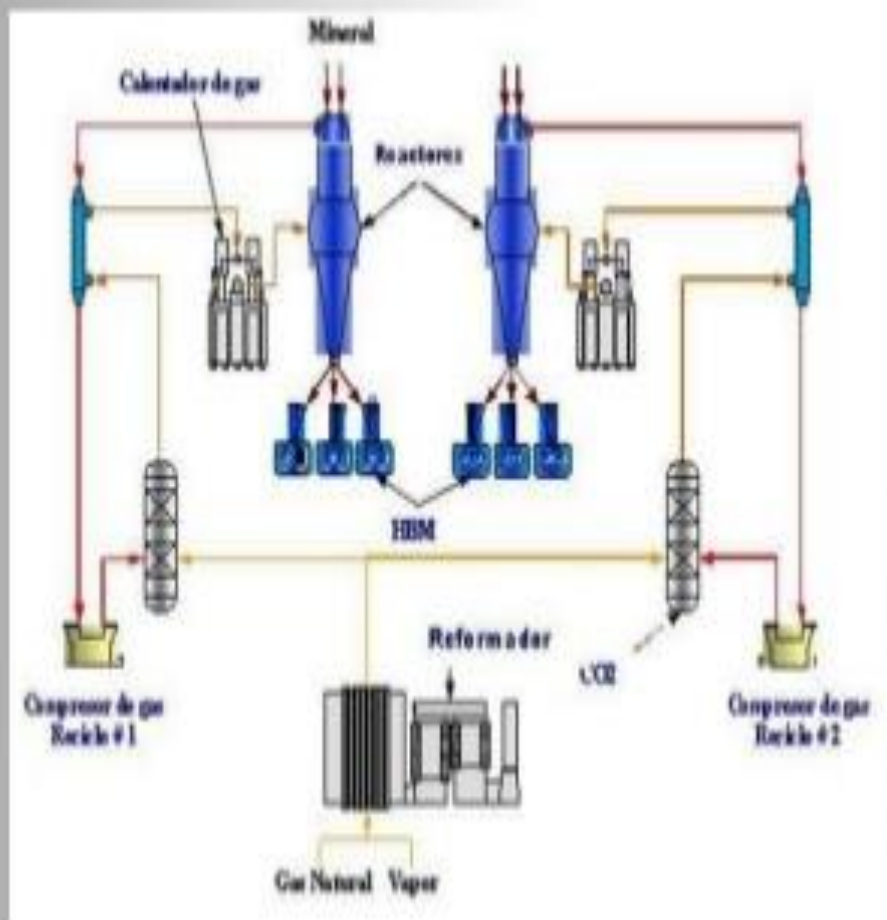


Proceso HyL I

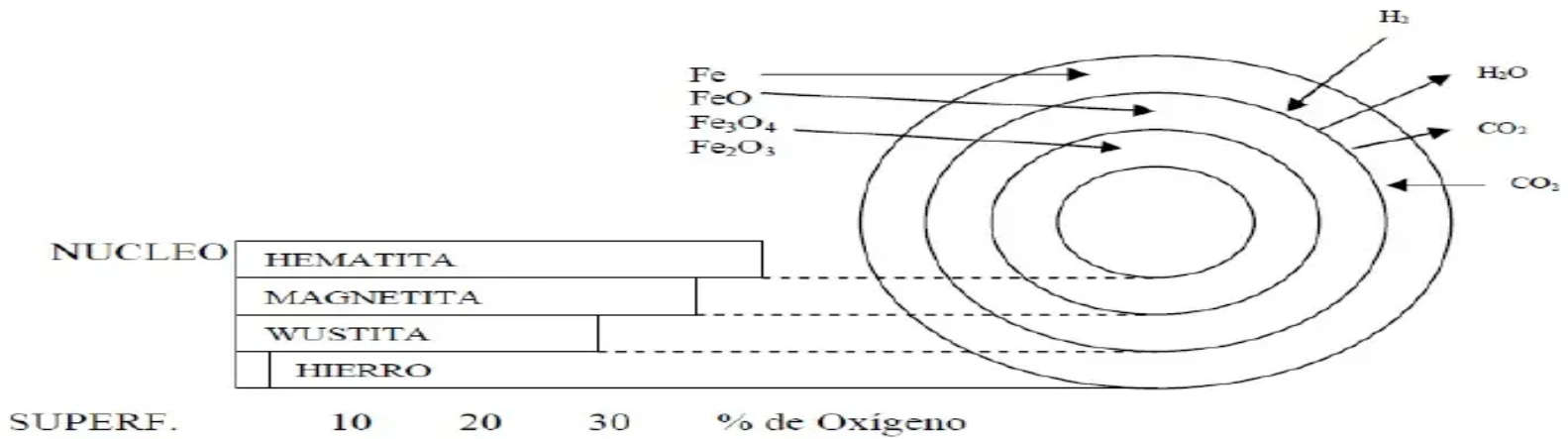
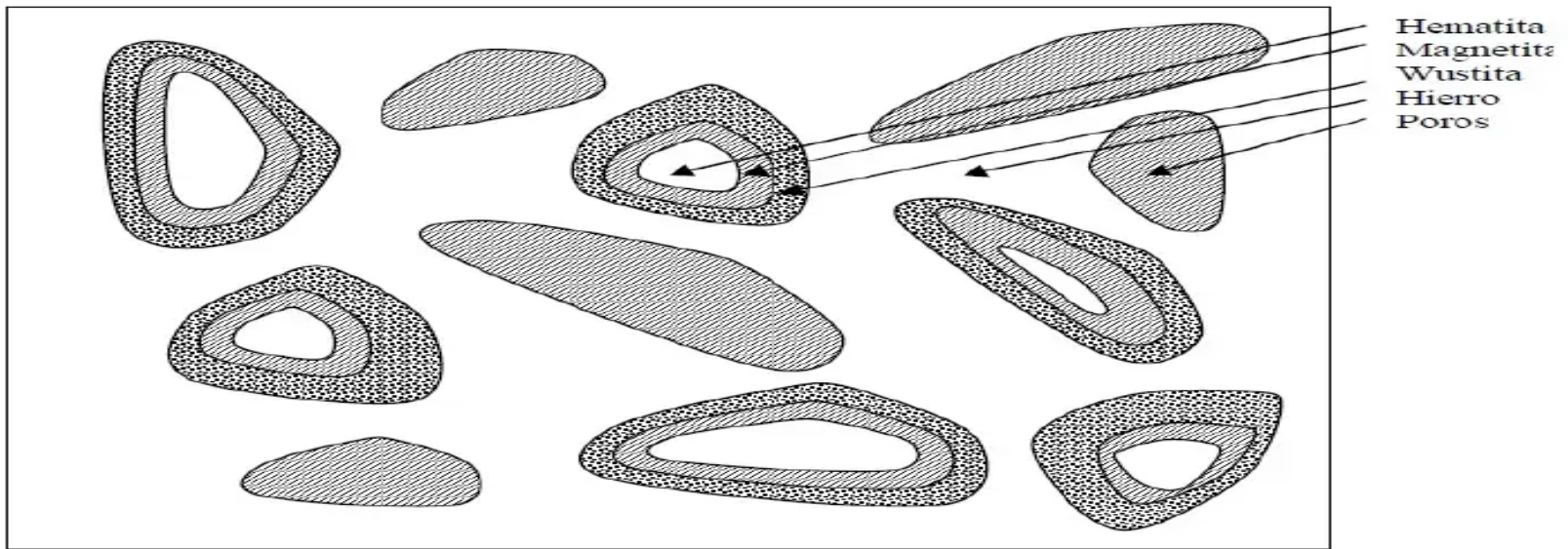
- Este fue el primer de producción de HRD (Hierro Reducido Directamente), creado en México en los años 50 por la empresa Hojalata y Lámina (HyL). Este proceso se trata de 4 hornos de retorta que opera de forma discontinua. El reductor usado es un gas de reforma obtenido a partir del proceso de reforma catalítica con vapor de agua, este consta principalmente de CO y H₂ (gas de agua). Al finalizar el proceso de reducción se debe abrir el reactor, descargar el HRD, limpiarlo y acondicionarlo antes de recibir otra carga de mineral.



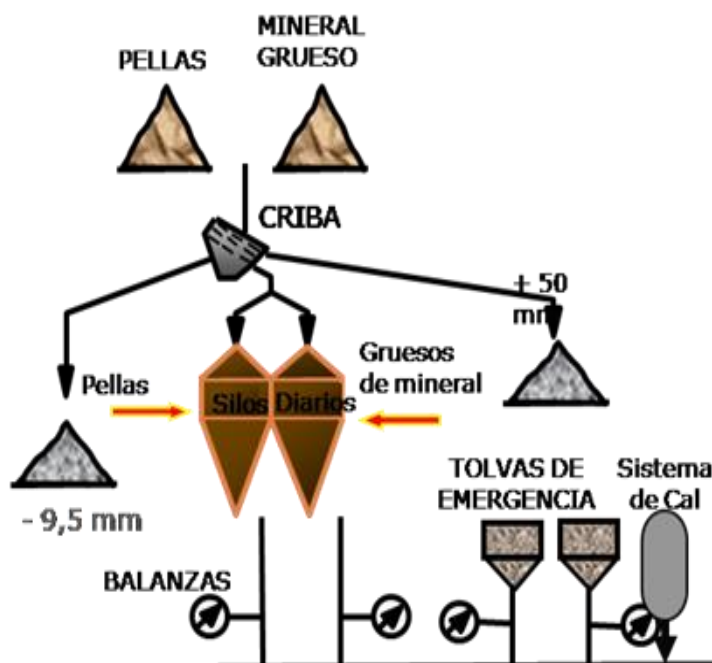
Proceso HyL III



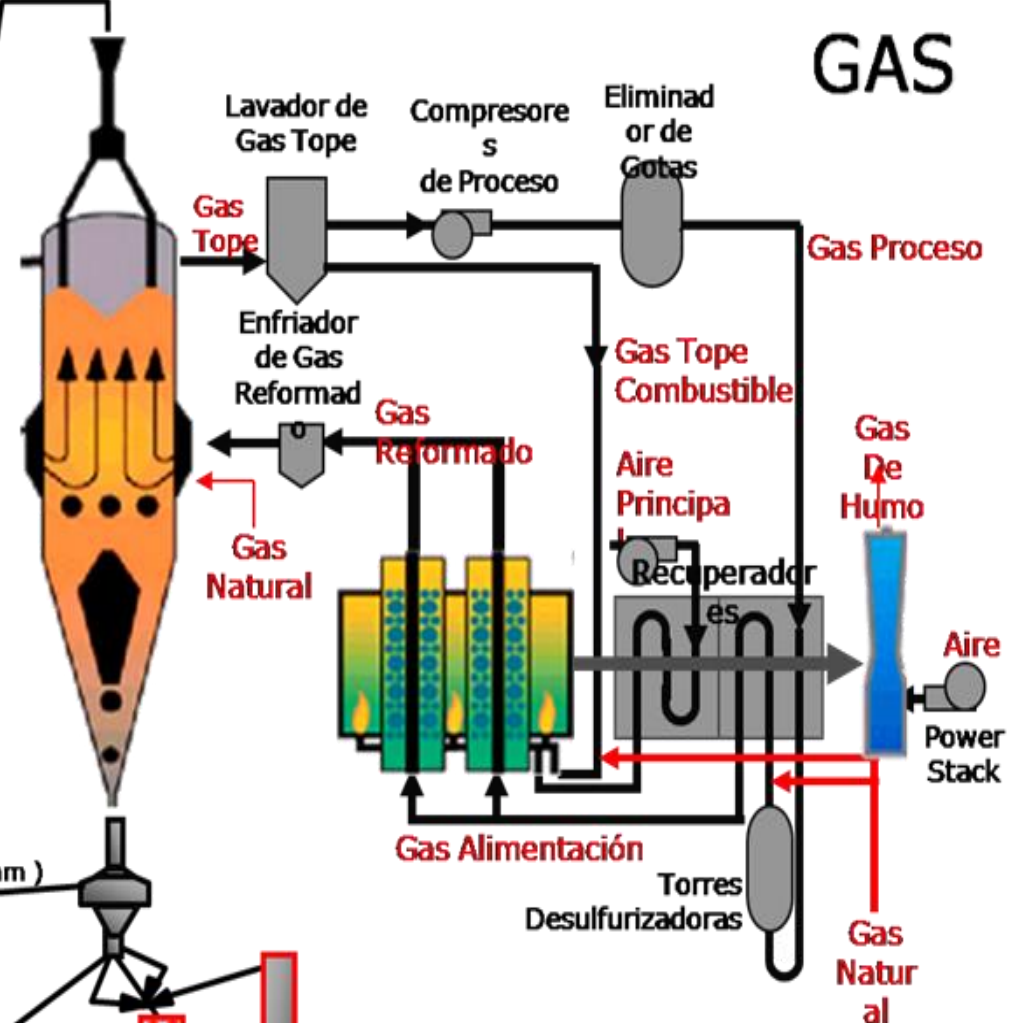
- Surge como mejora al proceso anterior siendo este ya un proceso continuo. Anunciado en 1979 por la empresa HyL SA, este proceso cuenta con un solo horno de cuba a alta presión. El agente de reforma y su generación son los mismos que en el proceso anterior, con diferencias en el modo en que trabaja el horno, ya que este horno cuenta con dos zonas, una de reducción del mineral y la otra de enfriamiento, que trabajan a presiones distintas y cuyos gases no se mezclan y siguen caminos distintos.



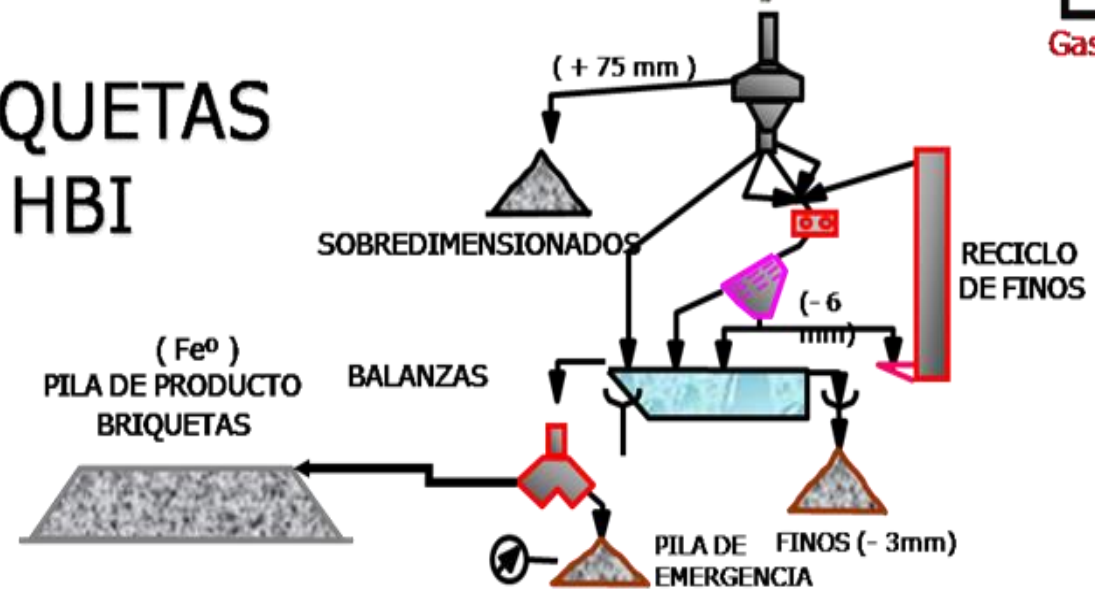
MINERAL



GAS



BRIQUETAS HBI



PROCESO DE BRIQUETEADO

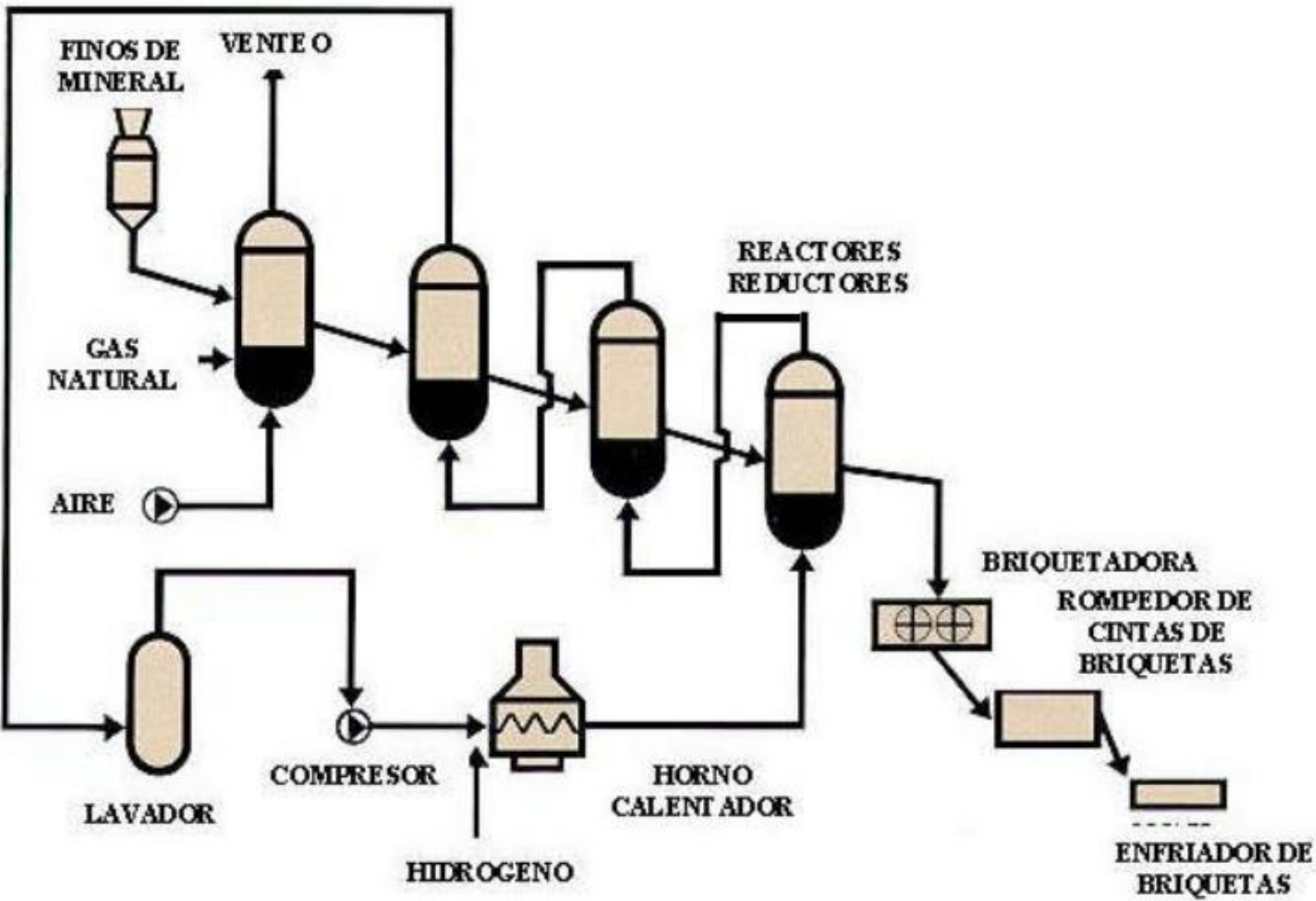
PROCESO DE REDUCCION DIRECTA FIOR.

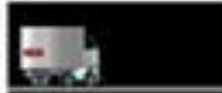
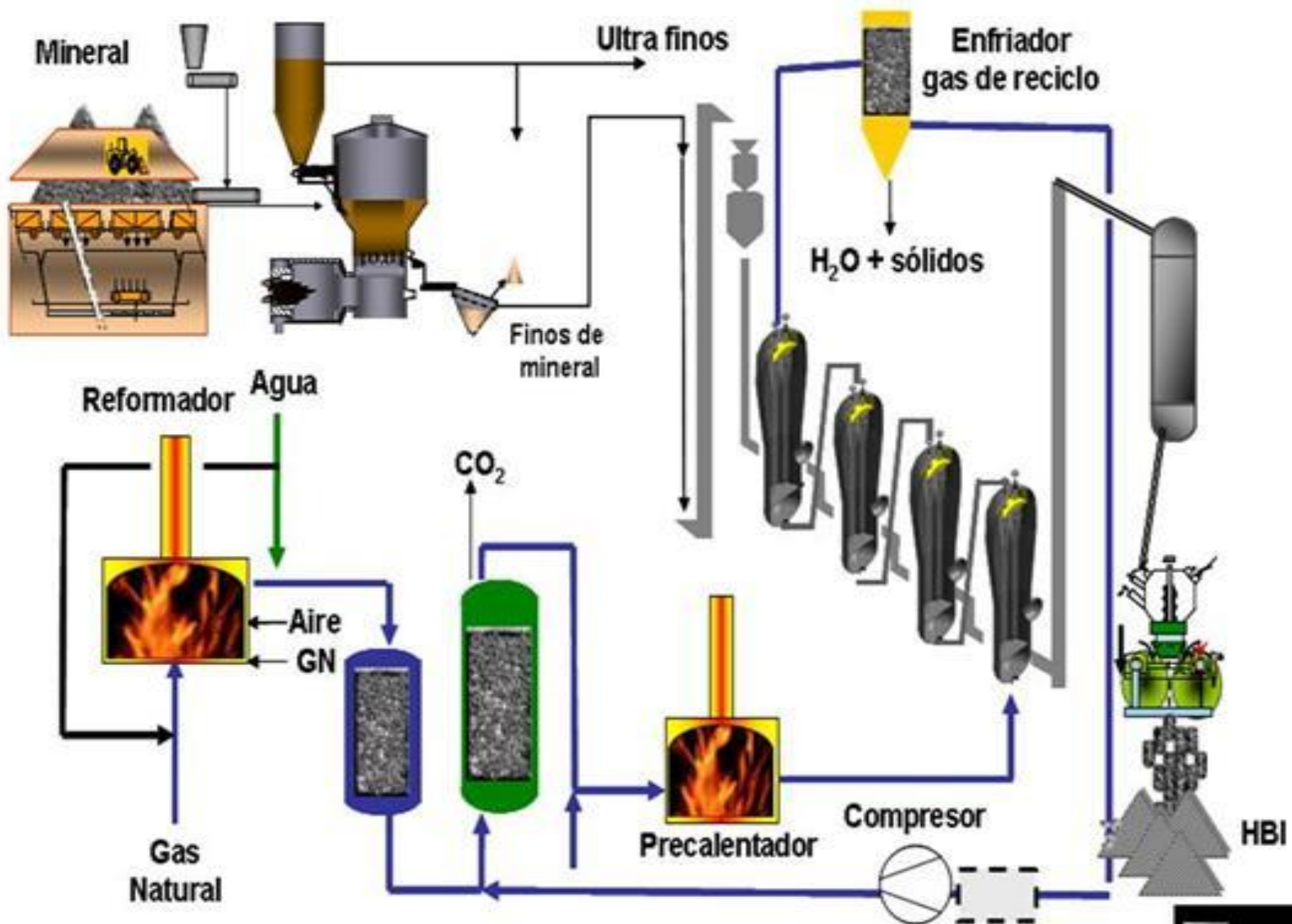
Proceso de reducción de finos de mineral de hierro en lecho fluidizado, para producir briquetas moldeadas en caliente.

El proceso FIOR se basa en la reducción de mineral de hierro a hierro metálico a altas temperatura y presión, utilizando gases reductores.

El gas reductor utilizado, tiene un alto contenido de hidrógeno.

La parte más importante del proceso es el circuito del reactor.



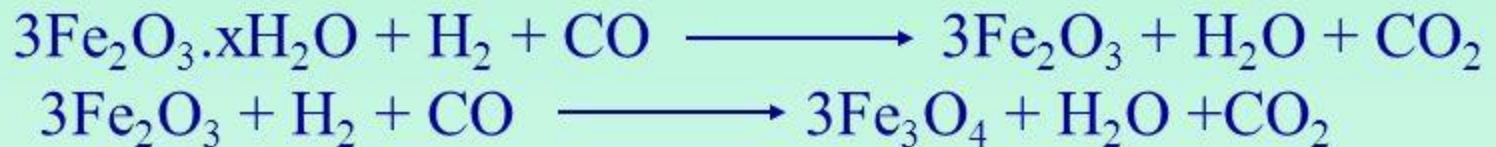


Reactores (Área de reducción):

Etapas de reducción del Proceso FINMET

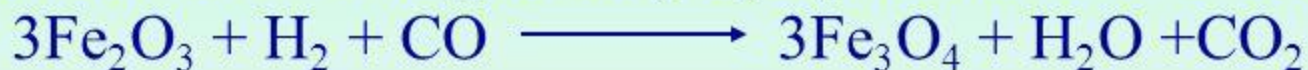
Reactor reductor R40

En el reactor R40 el mineral es calentado hasta una temperatura variable entre 400 y 480 °C en donde se elimina el agua de cristalización que posee el mineral, dentro del reactor R40 comienza la primera etapa de reducción de los finos metálicos convirtiendo el mineral de hematita a magnetita representada por la siguiente reacción química:



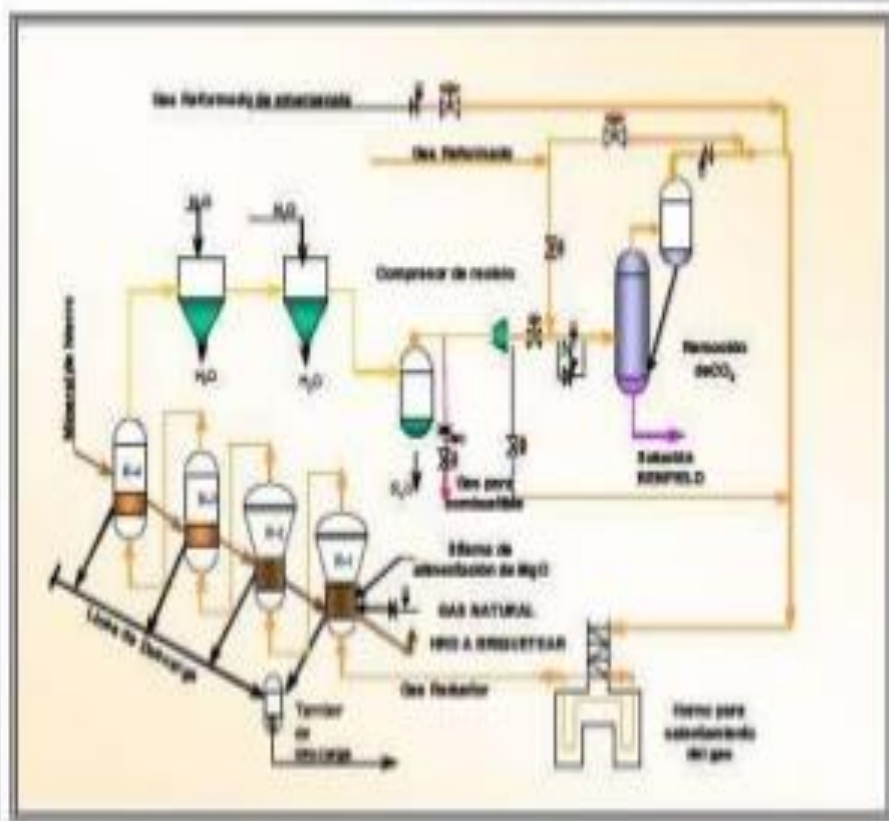
Reactor reductor R30

En este reactor la concentración y temperatura (640 °C) del gas reductor son las más bajas de todos los reactores y aquí, la hematita (Fe_2O_3) se convierte en magnetita (Fe_3O_4) mediante la reacción:



Proceso Finmet

- Surge de las mejoras introducidas al proceso FIOR. El proceso Finmet consta de 4 reactores de lecho fluidizado, usando finos de mineral en la alimentación. Uno de los reactores es de precalentamiento, trabaja a 550 C aprox. los otros 3 son de reducción alcanzando temperaturas de 780-800 °C. El gas de reducción es producido por la reforma de gas natural con vapor de agua. Pasa por un calentador de gas de reducción y comienza su paso en contracorriente por los 4 reactores.





Área de mineral y Producto



Área de Servicios y Planta de Gas



Aire
GN

Convertidor de
 CO a CO_2

Absorbedor
de CO_2

H_2S

Gas
Reformado

Horno
Precalentador de
gas Reductor

Gas Reductor

Compresor de Gas Reciclo

Finos de
Mineral

H_2O

R-40

R-30

R-20

R-10

Enfriador de gas
de Reciclo

H_2O + sólidos



Sistema de Reactores



HBI
Área de
Briqueteadoras

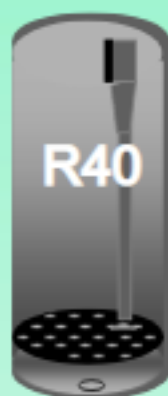
Producción 1.680

Reactores (Área de reducción):

PARÁMETROS EN EL PROCESO DE REDUCCIÓN

La adición de agua al R40 se realiza para disminuir el stiking, la reacción de reducción en R40 (formación de película de mineral reducido que perturba las otras fases de reducción, disminución de temperatura en R40).

T 440 °C
H₂ 39.3%
CO 6.1%
CO₂ 5.6%
H₂O 20.3%



Met. 0 %
T 450°C
H₂ 40.1%
CO 7.9%
CO₂ 4.1%
H₂O 18.7%



Met. 3.0 %
T 645 °C
H₂ 45.3%
CO 8.7%
CO₂ 3.9%
H₂O 14.4%



Met. 55.5%
T 730 °C
H₂ 51%
CO 10%
CO₂ 2.1%
H₂O 8.4%



Met. 92.5%
T 795 °C
H₂ 62%
CO 7.1%
CO₂ 3.3%
H₂O 1.5%

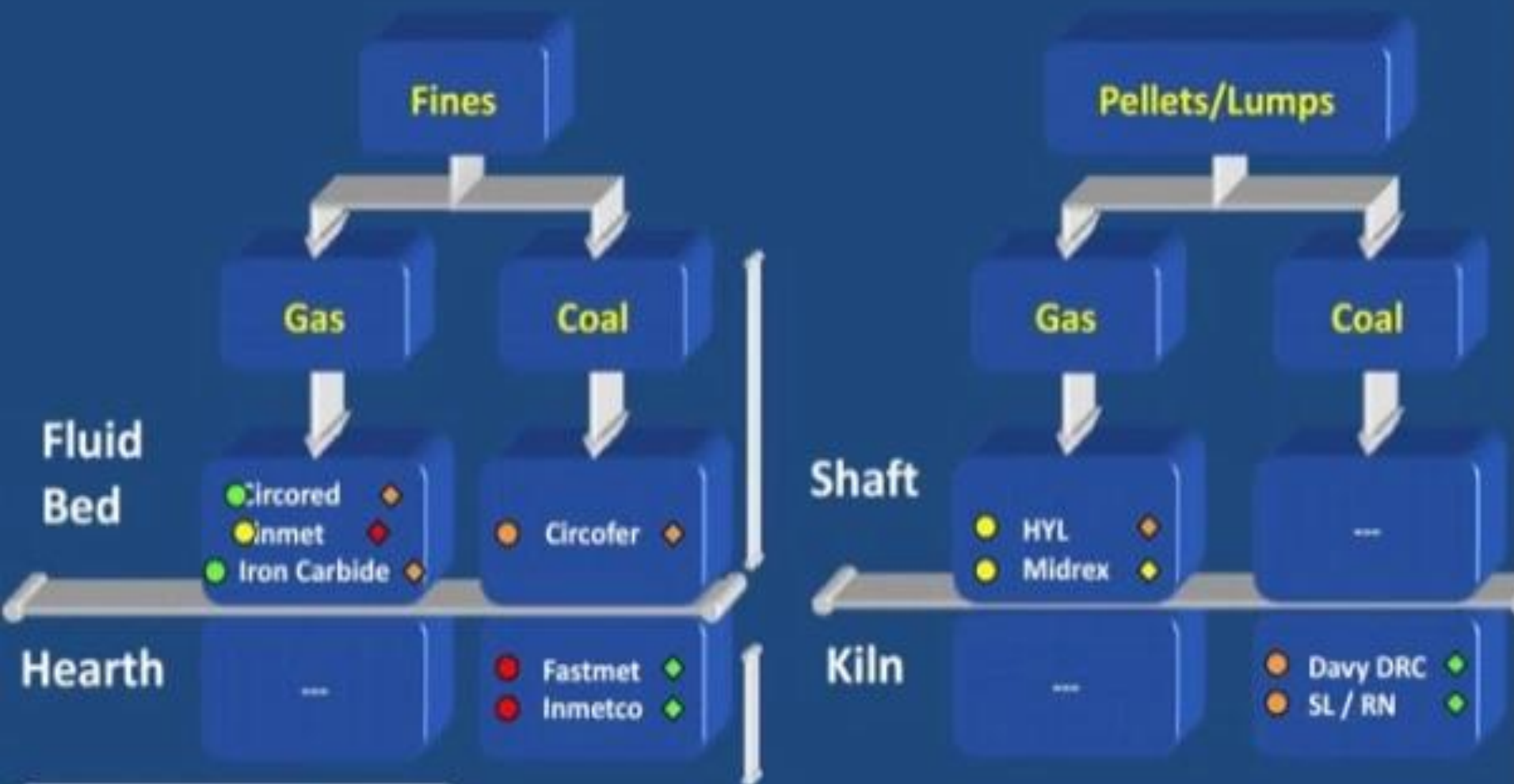
Proceso FASTMET

Proceso de reducción directa de mineral de hierro a pelets metálicos de hierro que puedan alimentar a un horno eléctrico con una cantidad equivalente de chatarra. Se ha diseñado este proceso a fin de evitar la ruta horno de coque – alto horno para producir metal caliente a partir de mineral de hierro. Además, es uno de los varios métodos que las acérias podrían utilizar para reducir su dependencia de alimentación de chatarra de alta calidad.

Se ha demostrado que el proceso FASTMET logra una alta metalización y una alta recuperación de Zinc en polvo que recicla el proceso a través del laboratorio pruebas y pruebas en KAKOGAWA, planta de FASTMET comercial.

El proceso FASTMET convierte los desechos de acero, con o sin la suma de finos férricos, en la metalización del hierro en un horno de hogar rotatorio (RHF) se usa el carbono como el reductor. El producto puede ser DRI frío, DRI caliente o HBI; dependiendo de los requisitos de uso.

Available Processes



Temperature		Pressure	
Very high	● (Red)	High	◆ (Red)
High	● (Orange)	Medium	◆ (Orange)
Medium	● (Yellow)	Low	◆ (Yellow)
Low	● (Green)	Atmospheric	◆ (Green)

www.xiderex.com.mx

El proceso FASTMET convierte los pellets de óxido férrico y/o los desechos de acero de fundición, en hierro metálico, cuando el carbón pulverizado u otro material de carbón se usa como reductor.

En funcionamientos dónde el alimento primario es la mena virgen, los reductores se concentran, son peletizados y secados antes de enviarlos al horno rotatorio RHF. Aquí los materiales se llevan al horno en una sola capa.

En casos en que los desechos de la fundición de acero son los materiales del alimento primarios, los desechos pueden ser los briqueteados, que proporciona más flexibilidad al utilizarlos, reduce la necesidad de moler los materiales del alimento y elimina la necesidad de secar las bolas verdes.

BENEFICIOS FASTMET®

Reducción total del costó de eliminación de desechos y obligación del basural.

1. Las pérdidas cambiaron a una fuente de hierro de calidad (DRI). Para ser reciclado en hierro o proceso de fabricación de acero.
2. El grado de Metalización: Hierro: 85-92% Níquel: 95-100%
3. La recuperación de Zinc al 95% o superior, contenido en las basuras. Para ser vendido a un productor de Zinc.
4. El contenido de carbono en los polvos se usará como el reductor. El carbono suficiente en el DRI puede ajustarse según el requisito de cliente

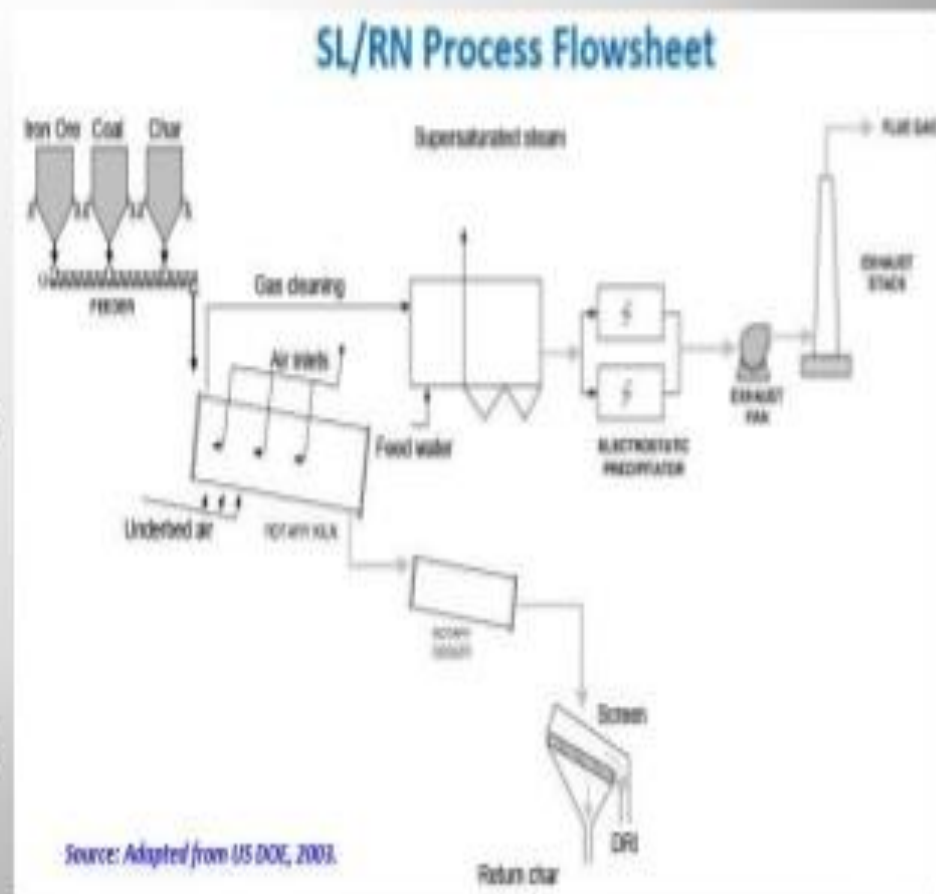
PROBLEMAS ASOCIADOS AL PROCESO

Muchas fundiciones de acero que opera hoy se preocupan por el manejo de basuras. Estas preocupaciones componen anualmente, y la necesidad de la industria siderúrgica es más proactivo hacia encontrar las soluciones. Algunos de estos problemas son:

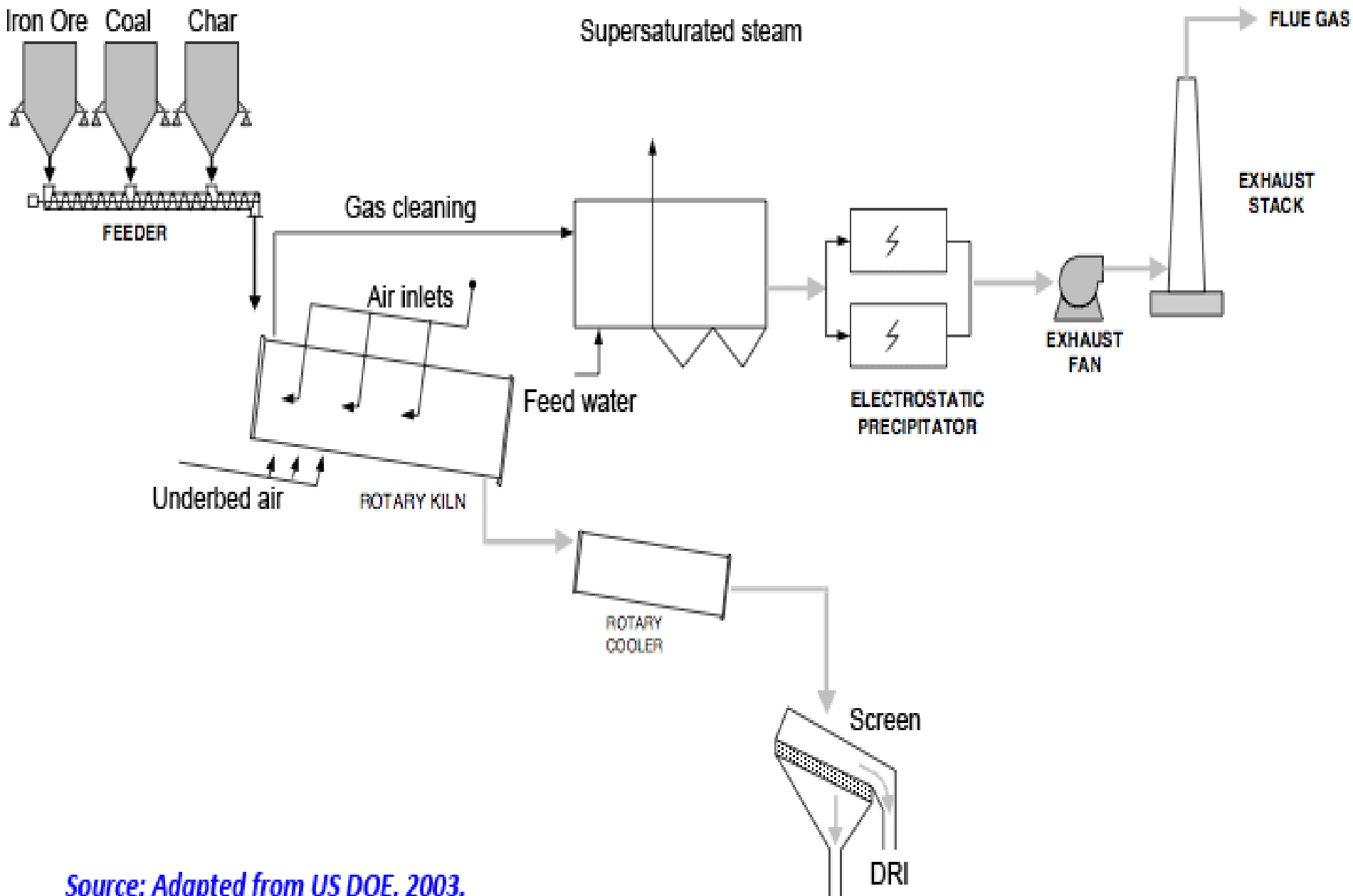
1. Eliminación de basuras
2. Recuperación de valiosas unidades férricas
3. Control de costos de material crudo
4. Conservación de capital
5. Problemas medioambientales

Proceso SL/RN

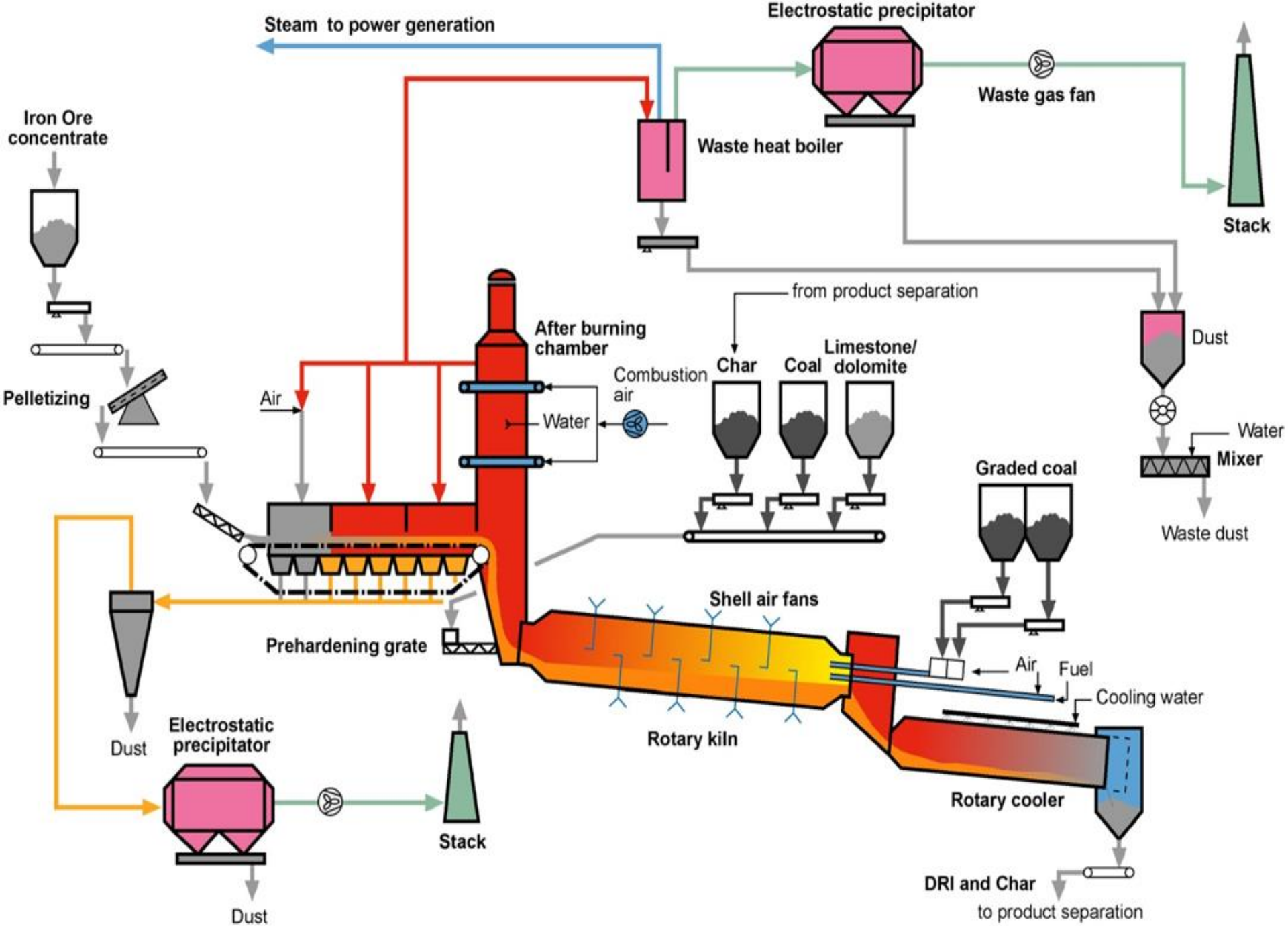
- Se distingue de los demás por presentar un reductor sólido (carbón no coquizable), consta de dos hornos rotatorios, el primero alcanzando temperaturas de 1100 °C. La carga de mineral de hierro es acompañada de carbón (reductor) y piedra caliza para eliminar el azufre contenido en el carbón reductor. Luego pasa a otro horno rotatorio de enfriamiento. Tiempos de residencia de 10 horas son típicos en este proceso.

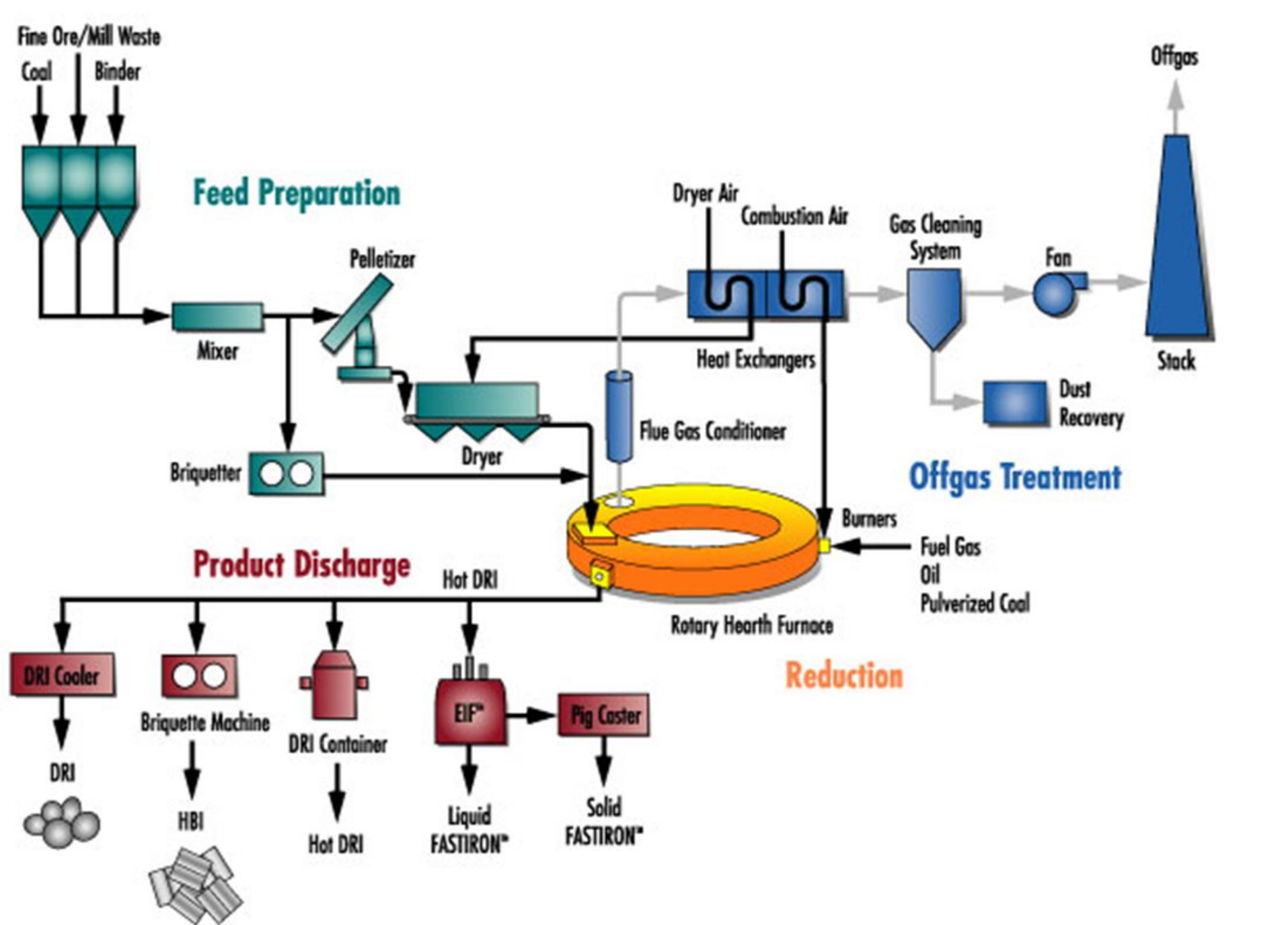


SL/RN Process Flowsheet



Source: Adapted from US DOE, 2003.





Proceso IRON CARBIDE

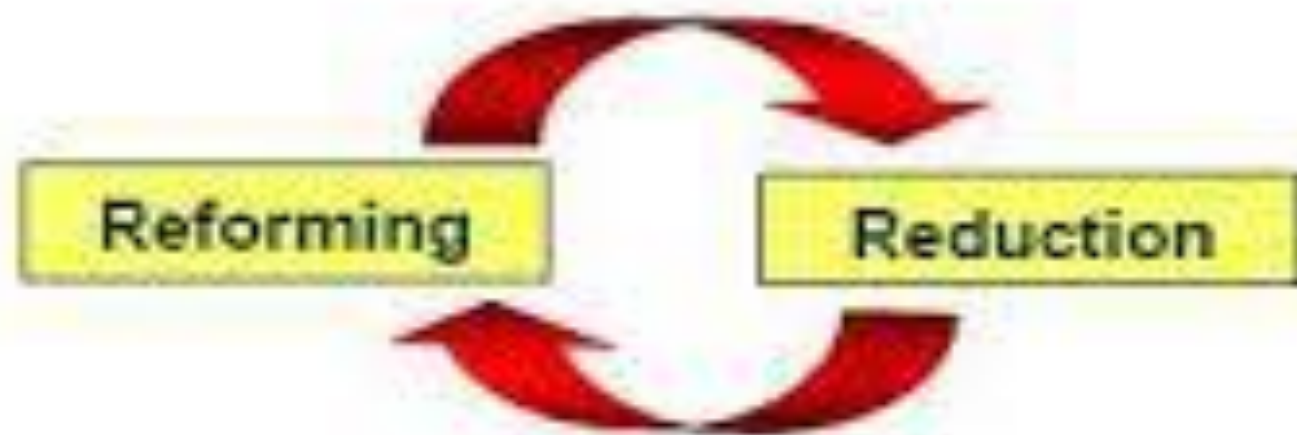
El proceso IC (Iron Carbide) fue desarrollado, inicialmente, por el sueco Stelling en 1957. En su momento, este proceso tuvo problemas de adherencia de los finos de mineral debido a la formación de óxidos de bajo punto de fusión, combinados con FeO.

En 1977, el norteamericano Stephens propuso una estrategia de control para mejorar el proceso, en el cual los finos de mineral de +0,1 mm -1 mm se precalientan a 700 °C y, posteriormente, se introduce a un reactor de lecho fluidizado, el cual opera a una presión de 1,8 atm y una temperatura de operación de 570 °C.

El gas reactante está compuesto por 60 % CH₄, 34 % H₂, 2 % CO, 1 % H₂O. Este gas de proceso se forma mezclando gas hidrogeno con gas reciclado que ha sido limpiado previamente. La planta piloto de Trinidad y Tobago proyectada para 0,3 mtpa nunca rebasó 0,1 mtpa, desde 1992 a 1999, debido en parte a tiempos de proceso muy prolongados. Qualitech construyo una planta en EE. UU., pero su operación actualmente está suspendida.

Existe una gran diferencia entre los productos obtenidos en los procesos anteriores y el producto obtenido en el proceso IC. En un proceso convencional de reducción directa, el producto es hierro metálico (Fe).

Iron Ore



In-situ Reforming



Reduction



Carburization

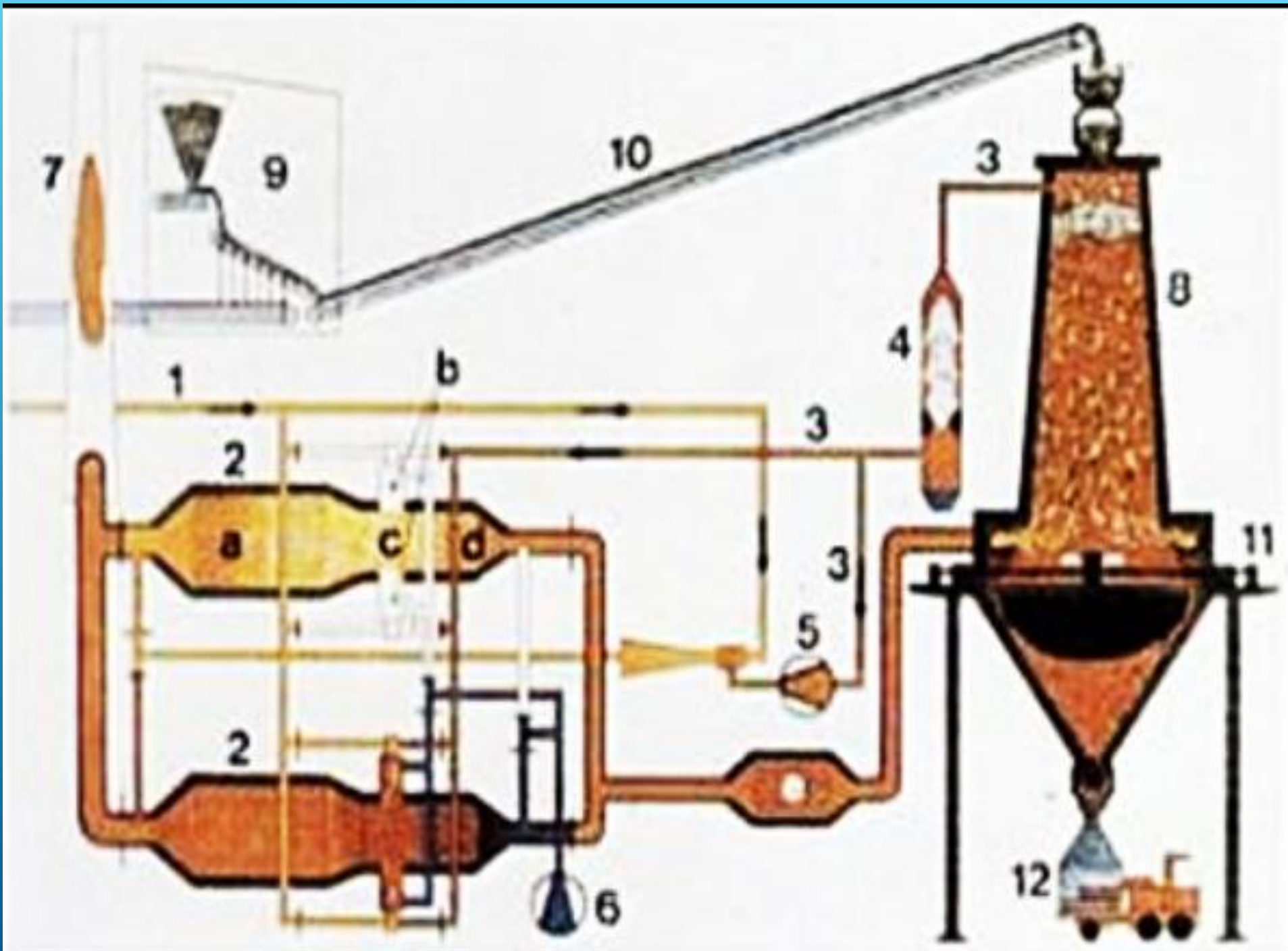
Proceso PUROFER

Este proceso fue desarrollado por el alemán A. Thyssen a finales de los años sesenta. El gas reductor se produce mediante dos reformadores cuyas paredes están impregnadas con catalizador de níquel.

Los reformadores actúan de manera regenerativa, es decir, uno de ellos se calienta a $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ con los gases de salida, mientras que en el otro se introduce el gas natural a reformar.

Debido al efecto enfriante de la reacción de reformación del gas natural, la temperatura disminuye de 1.400 a $1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$, momento en el que el gas reformado se transfiere al segundo reformador para calentarse.

Durante la reformación, el azufre del gas natural se deposita sobre el catalizador, pero durante la siguiente etapa de precalentamiento este elemento es oxidado y eliminado en el gas de salida. Este proceso ya no se comercializa.



Proceso INMETCO

Proceso comercializado por Mannesmann-Demag. El proceso INMETCO emplea carbón no coquizable, finos de mineral y caliza, en un horno giratorio. En su esquema tradicional, los finos de mineral se aglomeran con finos de caliza y carbón. El pelet se carga al horno sin someterse a secado, debido a que no está sujeto a grandes esfuerzos mecánicos dentro del horno y se carga en forma de capas uniformes. En el producto se reportan concentraciones de carbono hasta de 5 %.

Este proceso se desarrolló, inicialmente, para reciclar desechos de plantas metalúrgicas, siendo en la actualidad uno de los procesos más importantes para el reciclado de desechos. Los principales desechos de plantas metalúrgicas son diversos polvos y la cascarilla de laminación.

Los polvos están constituidos por partículas muy pequeñas, generalmente menores a 1 μ y su transporte, por medios neumáticos, es simple. La cascarilla puede contener aceite, lo que dificulta su recuperación, requiriendo una limpieza previa. El polvo, en acerías que funden chatarra tiene, generalmente, elevados contenidos de zinc, que junto con el plomo se elimina parcialmente a través de los gases de salida durante la reducción del mineral.

Proceso AREX

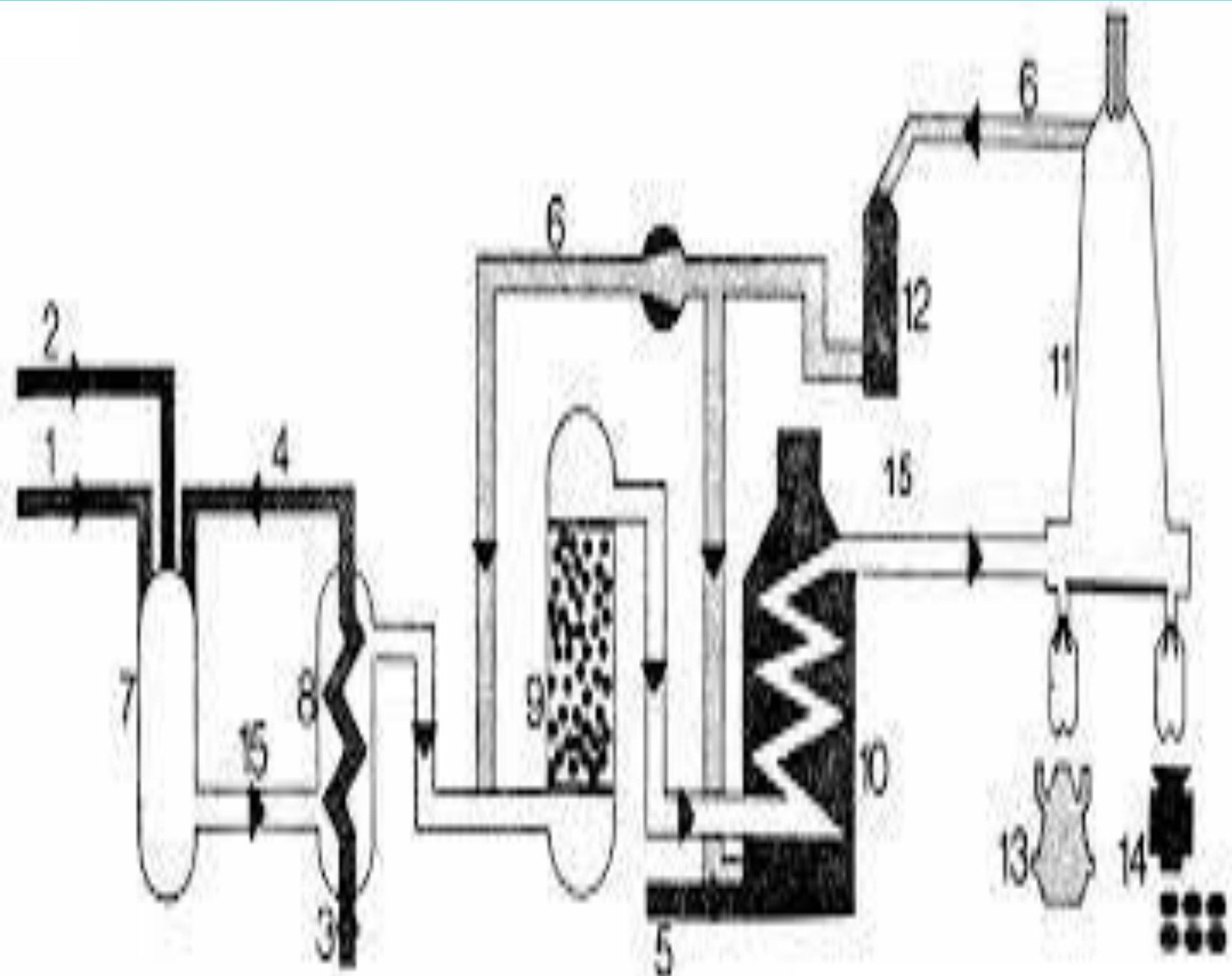
El proceso AREX (Auto, REX), desarrollado en 1987 por Dam y Bueno de la empresa SIDOR en Venezuela, fue el primer proceso a escala industrial en implementar la autoreformación catalítica del gas natural, usando el hierro esponja recién reducido como catalizador y empleando un horno MIDREX. La empresa italiana Danieli comercializa actualmente este proceso, con la denominación DANAREX.

Proceso NSC

Este proceso fue desarrollado por Nippon Steel Corporation, siendo similar a los procesos mencionados que emplean hornos verticales. Su característica principal consiste en que el enfriamiento se realiza en un recipiente separado del reactor de reducción. El proceso opera a altas presiones. El proceso no se comercializó, tras fallidos intentos de operar una planta en Malasia.

Proceso CIRCORED

Proceso desarrollado por la empresa Lurgi de Alemania a fines de los años setenta. Es un proceso de reducción de finos de mineral que emplea lechos fluidizados. El proceso tiene dos etapas: en la primera, los finos de mineral se precalientan y en la segunda, se efectúa la reducción en presencia de hidrógeno y a una presión de operación de 4 bar. El tamaño de partícula es de 4 u.



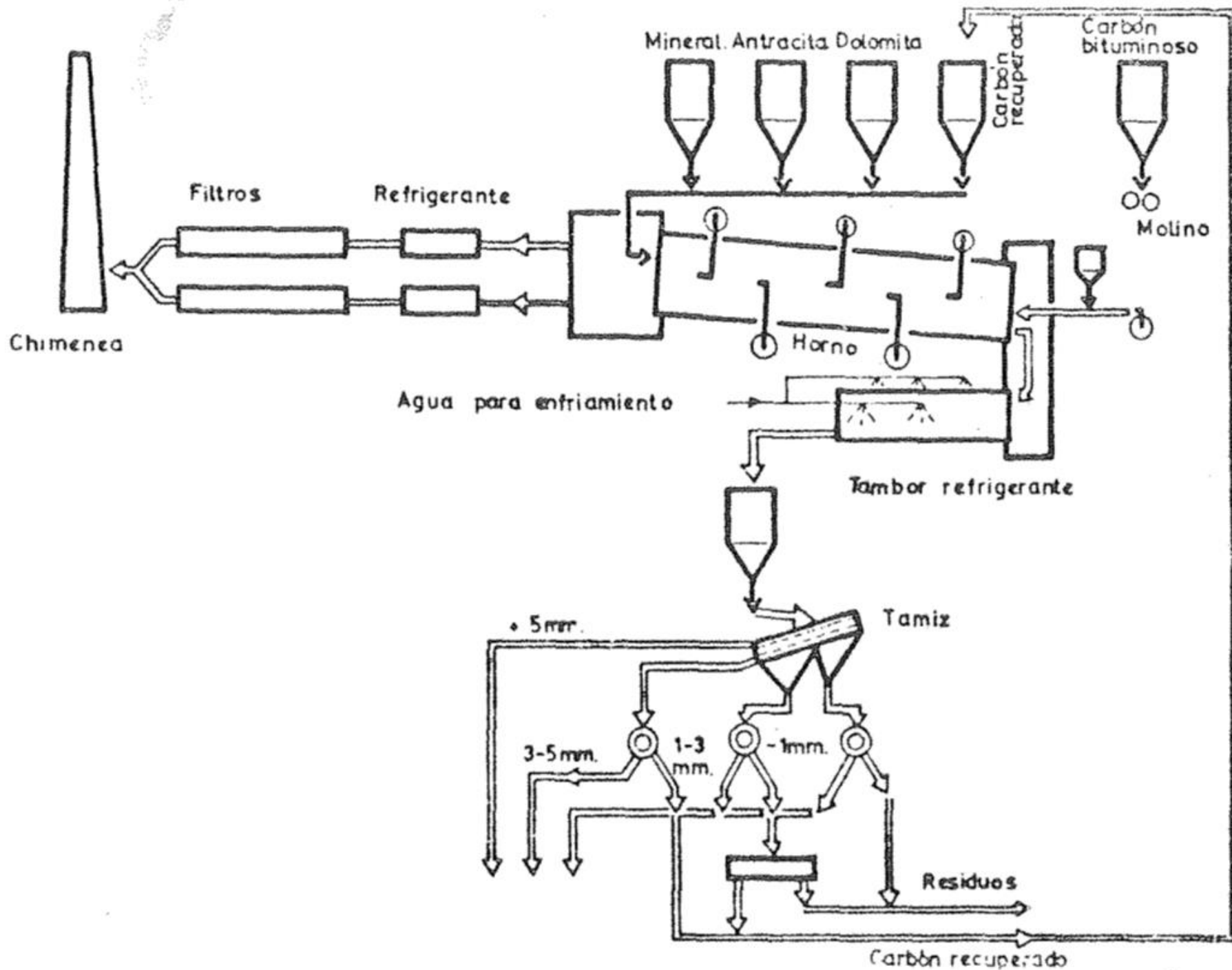
Proceso KRUPP

El nuevo proceso Krupp se ha desarrollado a base de los muchos años de experiencia en la construcción de hornos rotatorios para reducción del mineral de hierro. Esta experiencia ha sido ahora aplicada al tratamiento de minerales de alta ley.

El fundamento del proceso es similar al del proceso que acabamos de considerar. Se emplea un horno rotatorio, en donde se carga mineral junto con un agente reductor sólido y un agente desulfurante.

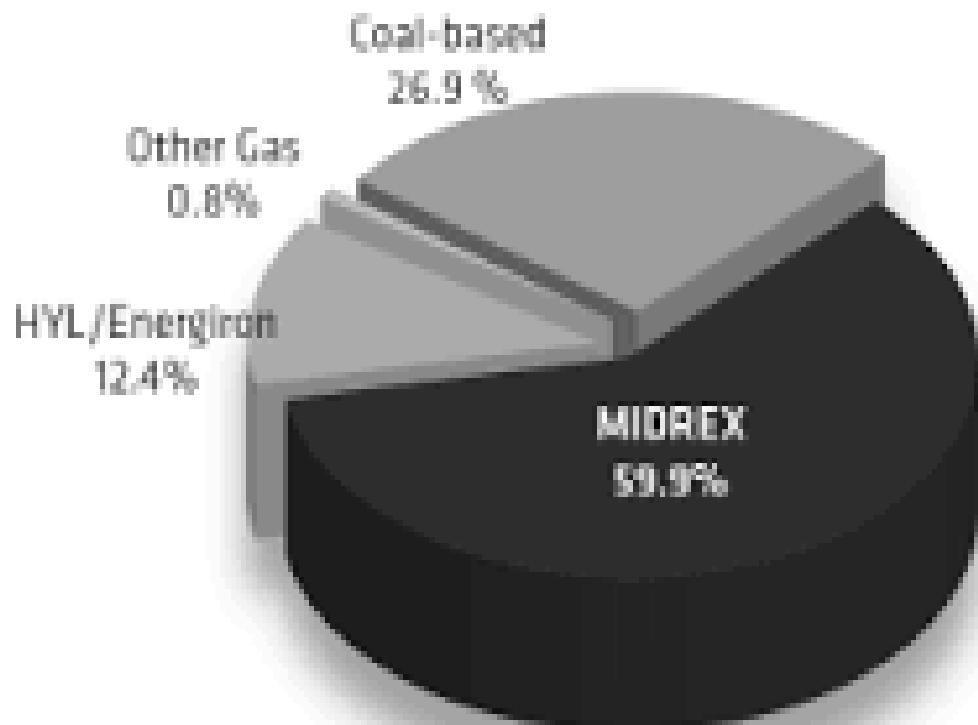
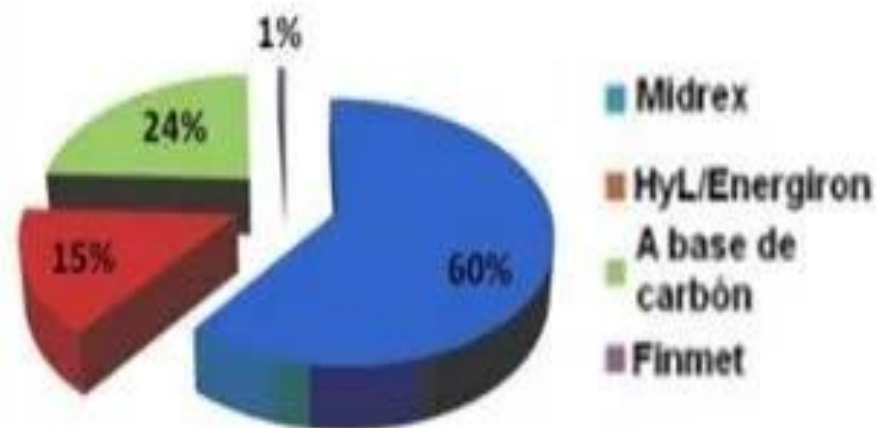
El horno se calienta desde el extremo de descarga con un defecto de aire y se disponen buzas en la longitud total del horno para soplar aire. Al revés del otro proceso estudiado, el suministro de aire se hace en la dirección de los gases residuales. Se intenta mantener la carga a un perfil de temperatura uniforme entre 950 y 1.050° a lo largo de una buena parte del horno.

Se señala que el proceso puede ser utilizado tanto con mineral calibrado de alta riqueza como con finos concentrados en forma de pellets. En la planta africana de Dunswart, que es donde está montada la única instalación Krupp funcionando, se emplea mineral granulado del país con 67% de hierro y se carga en tamaños de 5 a 25 mm.



- Proceso HyL I, III o IV
- Proceso Finmet
- Proceso SL/RN
- Proceso Midrex
- Fastmet

Procesos de Redi: Frecuencia de uso



Total World Production: 64.4 Mt

	2008	2009
MIDREX	58.6%	59.9%
HYL/Energiron	14.6%	12.4%
Other Gas	1.6%	0.8%
Coal-based	25.3%	26.9%

Source: Midrex Technologies, Inc.

Created by Rich Video Converter (unregistered version)
www.richmediaplayer.com