

PROCESOS DE METALES FERROSOS EN EL ALTO HORNO

I.- Extracción del mineral de hierro

El método de la extracción del mineral de hierro depende del yacimiento en que se encuentra. Si se encuentra en un yacimiento a cielo abierto la extracción es fácil. Si se encuentra en un yacimiento profundo, la extracción se hace más compleja, pues se necesita construir túneles para llegar donde se encuentra el mineral.

Los principales minerales extraídos del hierro, como se puede observar en la Foto N° 1, son los siguientes:

- Hematita (mena roja) 70% de hierro
- Magnetita (mena negra) 72.4% de hierro
- Siderita (mena café pobre) 48.3% de hierro
- Limonita (mena café) 60-65% de hierro

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.

Foto N° 1.- Principales minerales extraídos del hierro

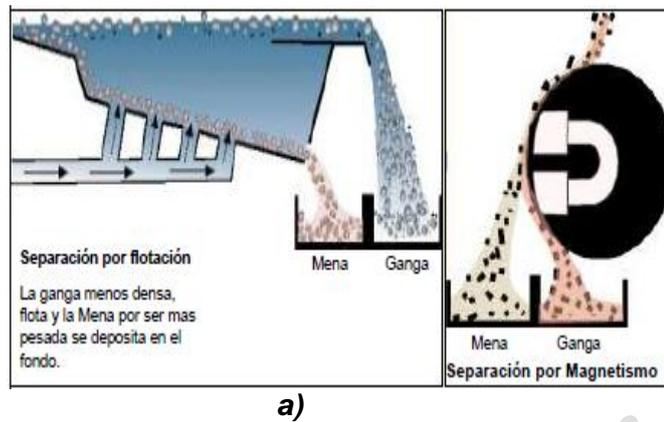
II.- Preparación del mineral de hierro.

El mineral de hierro extraído, trae consigo impurezas (tierra, restos fósiles), denominadas "ganga", además posee tamaños variables; y otros aspectos que hacen que el mineral no sea apto para ser introducido directamente al Alto Horno. Por tal razón se realizan las siguientes operaciones.

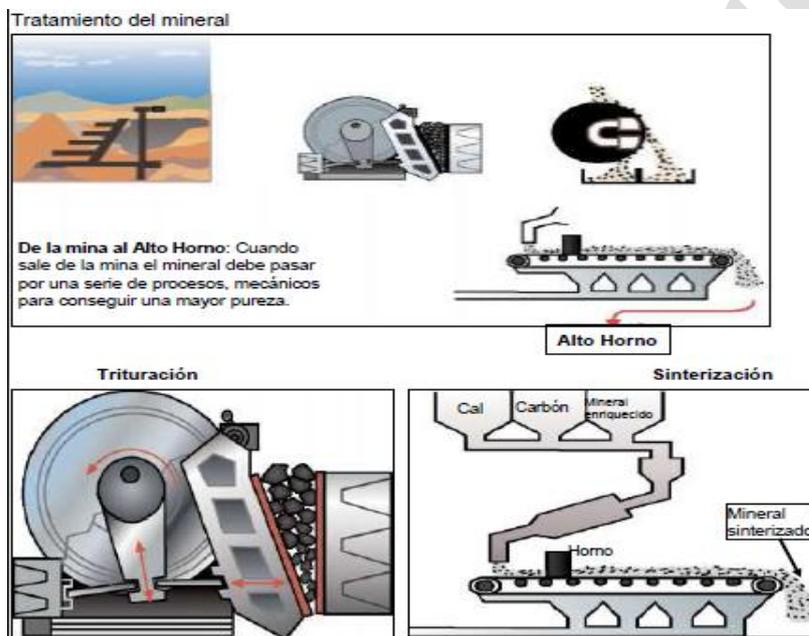
-Concentración: La concentración se puede llevar a cabo mediante los siguientes métodos:

- Por flotación.
- Por separador rotativo magnético.

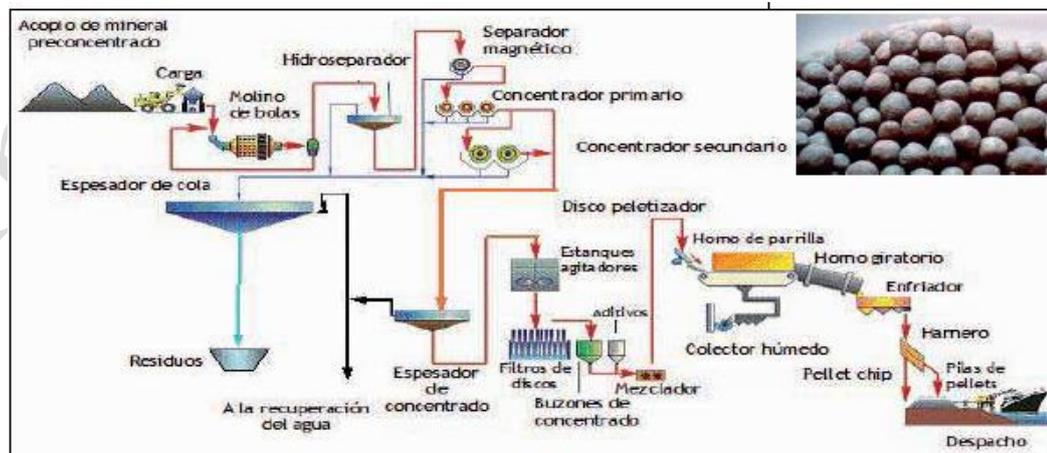
- Reducción de tamaño.
- Aglomeración (peletizado o briquetado).



a)



b)



c)

Figura N° 1.- Preparación del mineral de hierro, a) Concentración por Flotación y separación Magnética; b) Proceso de aglomeración de mineral de Fe; c) Proceso de Pelletización de mineral de Fe

III.-Instalaciones del Alto Horno

Las instalaciones del Alto Horno, consiste sintéticamente de acuerdo a la *Figura 2*, en:

A.- Alto Horno

B.- Carro o cuchara de fusión

C.- Instalaciones Auxiliares:

i) Estufas o Torres Cowper

ii) Soplantes o Inyectores de Aire frío

iii) Torres Lavadoras de gases de salida

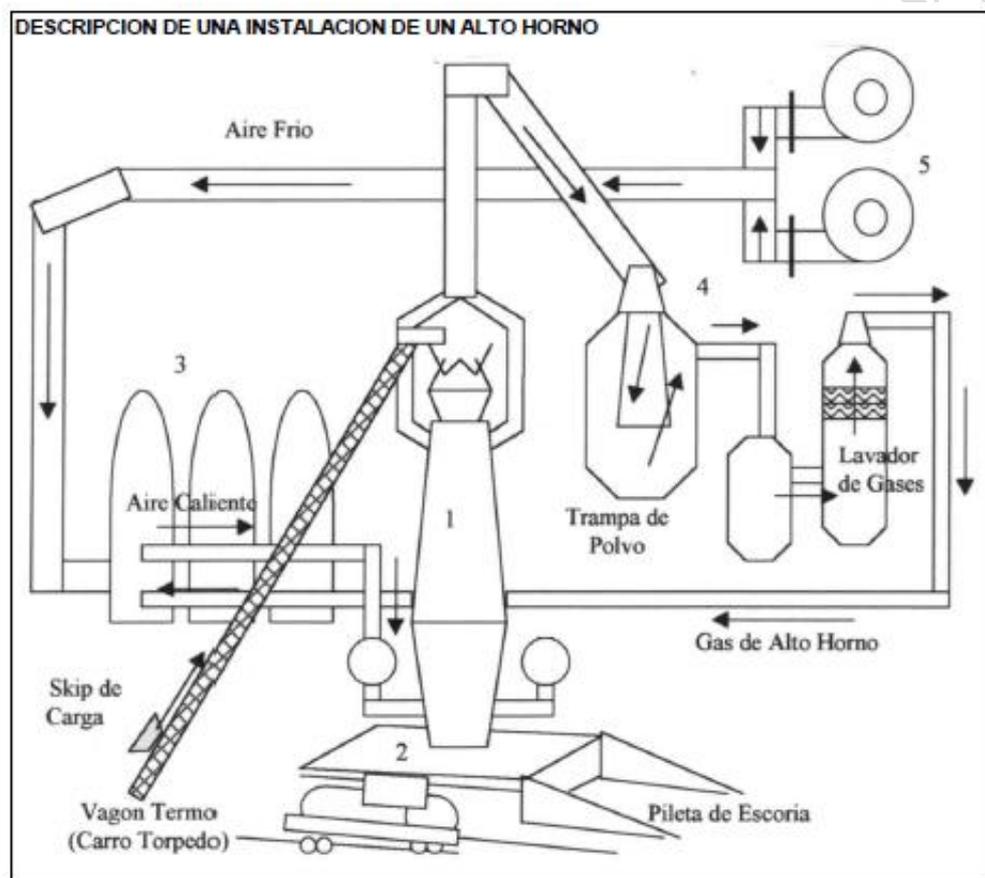


Figura 2.- Descripción de la planta del A. H.

A.- Alto Horno

Las partes principales del Alto Horno son las siguientes:

1.- Boca de carga o tragante: Es de forma cilíndrica y constituye la parte superior del A.H, por esta zona ingresa el mineral, el combustible y el fundente. El tragante se divide en dos tubos de salida por donde salen los gases. Un dispositivo de doble válvula permite efectuar las cargas sin que se dispersen los gases a la atmósfera ni se pierda calor, con el propósito de que el horno no pierda rendimiento. La carga, asciende hasta la boca del horno con la mezcla adecuada de mineral de hierro y combustible y fundente.

2.- Cuba: De forma troncocónica. Esta forma facilita el descenso de la carga y su permanencia en la zona para aprovechar mejor el calor. En la parte superior se enangosta, ya que los gases tienen

un menor volumen específico al disminuir la temperatura en esa zona. La cuba se ensancha hacia su parte inferior.

3.- Vientre: Zona donde se produce la unión con el etalaje. De forma cilíndrica, es de poca altura, en esta zona comienza la fusión de la carga.

4.- Etalaje: También de forma troncocónica. En esta parte del horno se produce una notable disminución del volumen de los materiales, como consecuencia de las transformaciones químicas que tienen lugar en él. La zona inferior es de menor diámetro, a causa de esta disminución de volumen y, también, por el hecho de que la fusión de la carga hace que ésta fluya sin dejar espacios libres. En la parte inferior del etalaje, se encuentran las toberas que introducen el aire necesario para la combustión.

5.- Crisol: Es un cilindro, que recoge la fundición líquida, así como la escoria, que queda flotando en estado líquido. En la parte inferior, posee, dos orificios, uno para el colado del arrabio y el otro que está un poco más elevado, para la eliminación de la escoria, formada por sílice, óxido de calcio, alúmina y algo de óxido ferroso.

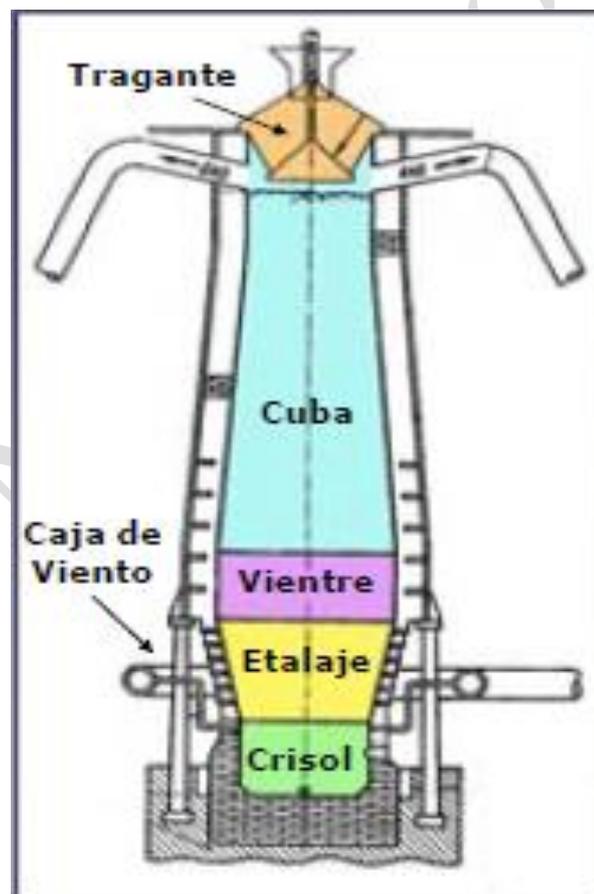


Figura 3.- Partes Principales del Alto Horno

B.- Carro o cuchara de fusión: Son equipos receptores del baño fundido (arabio) del crisol del A.H. Existen varios tipos (cucharas o carros), la Foto N° 2 corresponde al "carro tipo torpedo", característicos en la industria siderúrgica.



Foto N° 2.- Carro torpedo portador del Arrabio

C.- Instalaciones Auxiliares

i) **Estufa o Torre Cowper** (1): Es la principal instalación auxiliar, se la 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 (4).

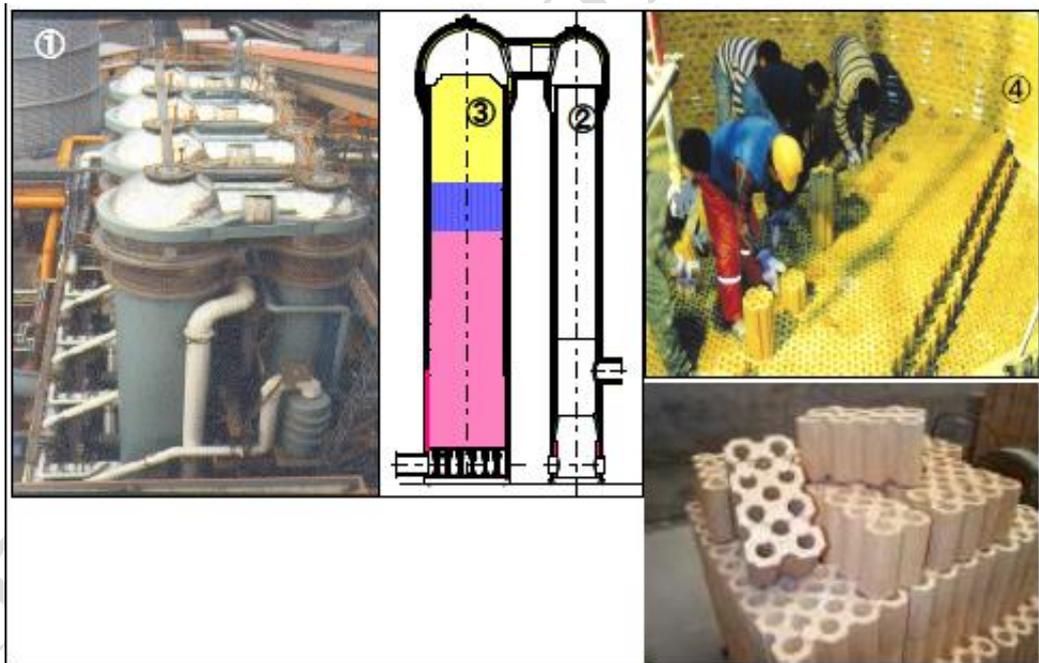


Foto N° 3.- Estufas o Torres Cowper

ii) **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.

iii) **Torres Lavadores de Gas**: Se emplean en procesos donde puedan encontrarse gases tales como SO_2 , H_2S , entre otros (HCl ; Cl_2 ; NO_2 ; HNO_3 ; NH_3 , HF); Olores, Nieblas Ácidas y Metales Pesados como Hg° .

Las eficiencias de remoción varían en función del químico a capturar y la solución reactiva a emplear para capturar el químico. Generalmente, son superiores al 95%.

IV.-Componentes de la carga de un Alto Horno

Para la carga de un Alto Horno son necesarios cuatro componentes fundamentales:

1. Mineral de hierro (y / o aglomerados)
2. Combustible y agente reductor (Coque)
3. Fundente (Piedra caliza, entre otros)
4. Aire

Los tres primeros se extraen de minas y son transportados y preparados antes de que se introduzcan al sistema en el que se producirá el arrabio, como se observa en la Figura 1.

A la caliza, el coque y el mineral de hierro se les prepara antes de introducirse al alto horno para que tengan la calidad, el tamaño y la temperatura adecuada, esto se logra por medio del lavado, triturado y cribado de los tres materiales.

1.- *Mineral de Fe en estado sólido:* $Fe_2 O_3$, puede ingresar en forma de Granza (1) o Pellets (2), el primero es un producto tradicional en las minas al que se lo somete a un separado de ganga, Ley = 63 % Fe, Dimensiones, entre 10 y 30 mm, como se puede observar en la ver Foto N° 4.



Foto N° 4.- Mineral de Fe; 1) Granza y 2) Pellets

El pellets que es material enriquecido, tiene una Ley = 64% Fe, Dimensiones, entre 10 y 16 mm. Ambos materiales, se cargan directamente en el A. H.

2.- Combustible: La hulla (3) se trata en los hornos (4) para obtener el Coque metalúrgico (5), tiene la función de elevar la temperatura durante su combustión y también de actuar como agente reductor. Al arder, libera monóxido de carbono, que se combina con los óxidos de Fe y los reduce a hierro metálico.



Foto N° 5.-Proceso de obtención del Coque metalúrgico

3.-Fundente: La caliza (Carbonato de Calcio CO_3Ca) de la carga del horno se emplea como fuente adicional de monóxido de carbono y como sustancia fundente; (6) en la Foto N° 6. 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. El silicato de calcio y otras impurezas forman una escoria que flota sobre el metal fundido en la parte inferior del horno.

Es decir que el fundente (caliza), tiene por finalidad disminuir el punto de fusión de las cenizas y la ganga, este sistema fluido tiene menor peso específico y sobrenada al material líquido. De esta manera se elimina en la escoria.



Foto N° 6.- Piedra caliza o carbonato de calcio (CO_3Ca)

V.- Proceso de carga en el Alto Horno

Los altos hornos funcionan de forma continua. La materia prima que se va a introducir en el horno se divide en un determinado número de pequeñas cargas que se introducen a intervalos de entre 10 y 15 minutos.

El mineral de hierro, el coque y fundente (piedra caliza) se miden con todo cuidado y se transportan hasta la parte superior del horno en una vagoneta de concha. Cada componente se descarga por separado en el horno a través del sistema de campana, formando capas de coque, piedra caliza y mineral de hierro, en la parte superior del horno. Una corriente continua de aire caliente, que proviene de las estufas cuyas temperaturas son de 650°C pasa por el tubo atizador y las *toberas* para hacer que el coque arda vigorosamente.

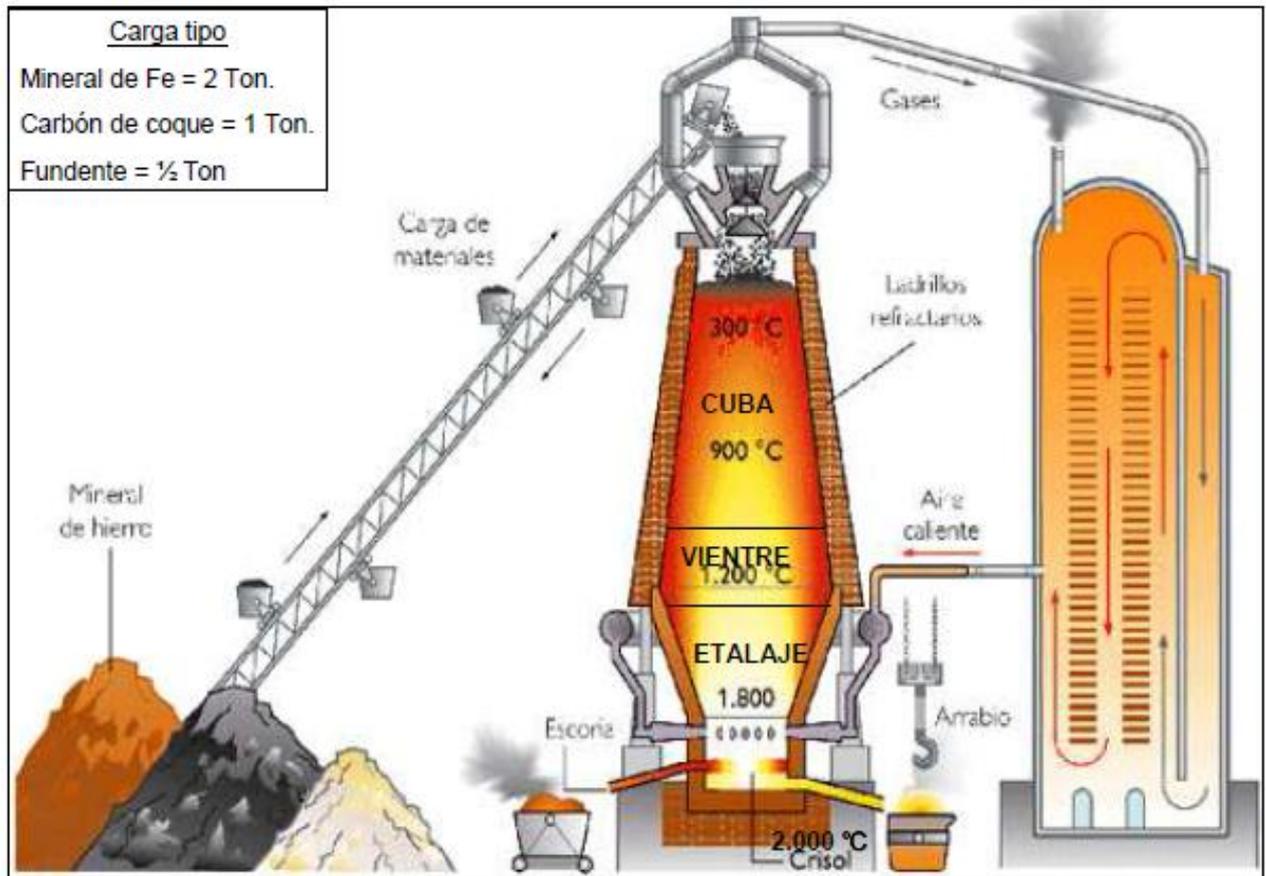


Figura 4.- Vista esquemática del Proceso de carga en el Alto Horno

Carga típica en Alto Horno

| Componentes | Kg/t | kg/carga |
|----------------------------|------|--------------|
| Mineral de Hierro | 490 | 9.600 |
| Pellets | 995 | 19.600 |
| Chatarra | 15 | 300 |
| Mineral de Mn | 22 | 450 |
| Caliza | 112 | 2.300 |
| Cuarzo | 12 | 250 |
| Coque | 451 | 9.200 |
| Petróleo + Alquitrán | 44 | 899 |
| Aire Insuflado | | 1.530m3/min. |
| Temperatura Aire Insuflado | | 1.030 °C |

Tabla N° 1: Componentes de Carga en el A.H

VI.- Zonas de Temperaturas y Reacciones de Reducción en el AH

Con la carga de mineral, coque y fundentes junto a la inyección de aire caliente, se van produciendo las reacciones químicas, siendo las principales en importancia las reacciones de reducción de acuerdo a las diferentes temperaturas a lo largo del AH. A continuación en la Figura N° 5 a) y b); se pueden observar las zonas de Temperaturas y las reacciones de reducción:

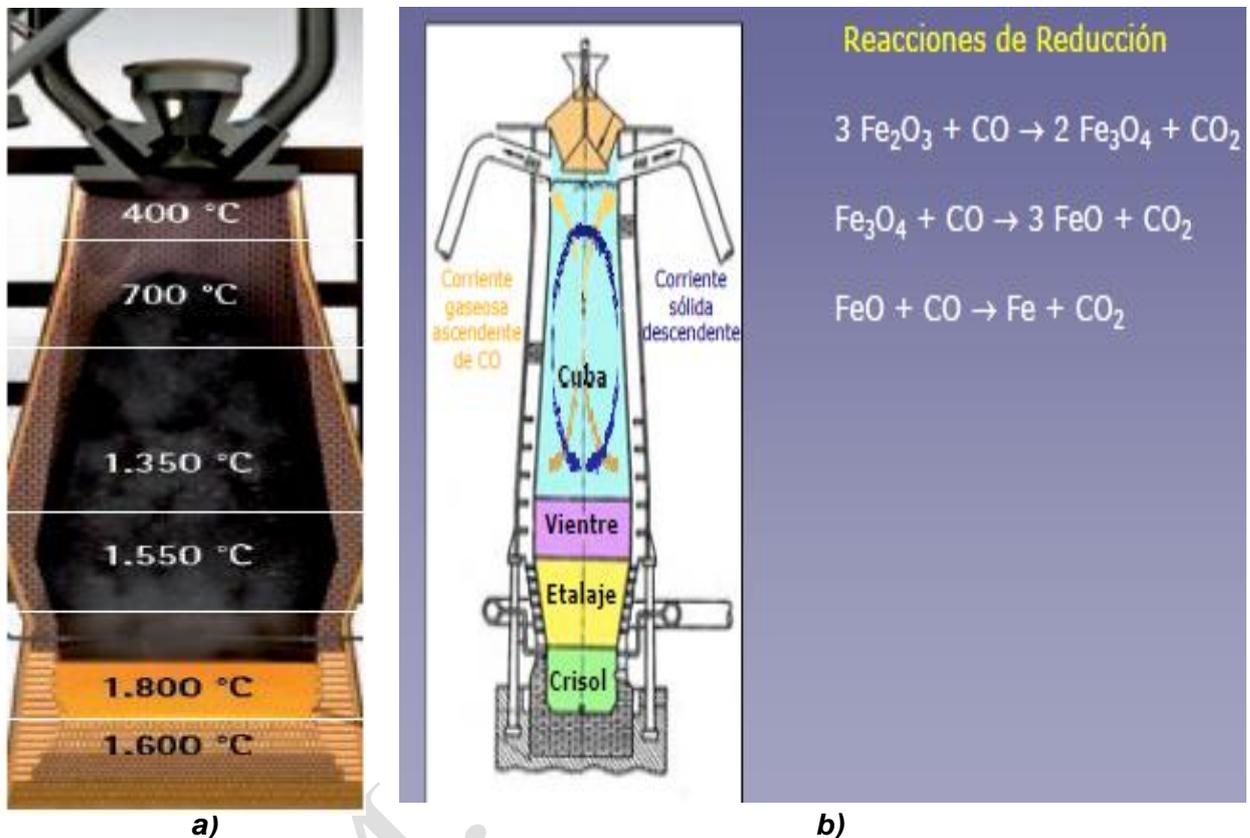


Figura N° 5.- a) Zonas de Temperaturas en el AH; b) Reacciones de Reducción en el AH

VII.- Proceso de descarga en el Alto Horno

La temperatura en el crisol del horno alcanza los 1800°C o más. El carbono del coque se combina con el oxígeno del aire para formar monóxido de carbono, con lo que se elimina el oxígeno que contiene el mineral de hierro y se libera el hierro metálico. Éste fundido, escurre por la carga y se recoge en el fondo del horno, por un orificio que se llama “*piquera*”; (observar en la Figura N° 4).

El intenso calor funde también la piedra caliza, la cual se combina con las impurezas del mineral y del coque para formar la llamada escoria. Ésta también se cuela hasta el fondo de la carga y flota sobre al arrabio fundido y se drena separadamente por un orificio llamado “*bigotera* o *escoriero*”, (observar en la Figura N° 4).

Cualquier escoria o sobrante que salga del horno junto con el metal se elimina antes de llegar al recipiente.

A continuación, el contenedor lleno de arrabio se transporta a la Acería. A veces el arrabio se moldea directamente en lingotes cortos que se utilizan en las fundiciones para hacer piezas de hierro fundido.

La escoria se extrae a intervalos más frecuentes, una vez cada dos horas y se vierte en una vagoneta para escoria y finalmente se utiliza para fabricar aislamiento de lana mineral, bloques para construcción y otros productos.

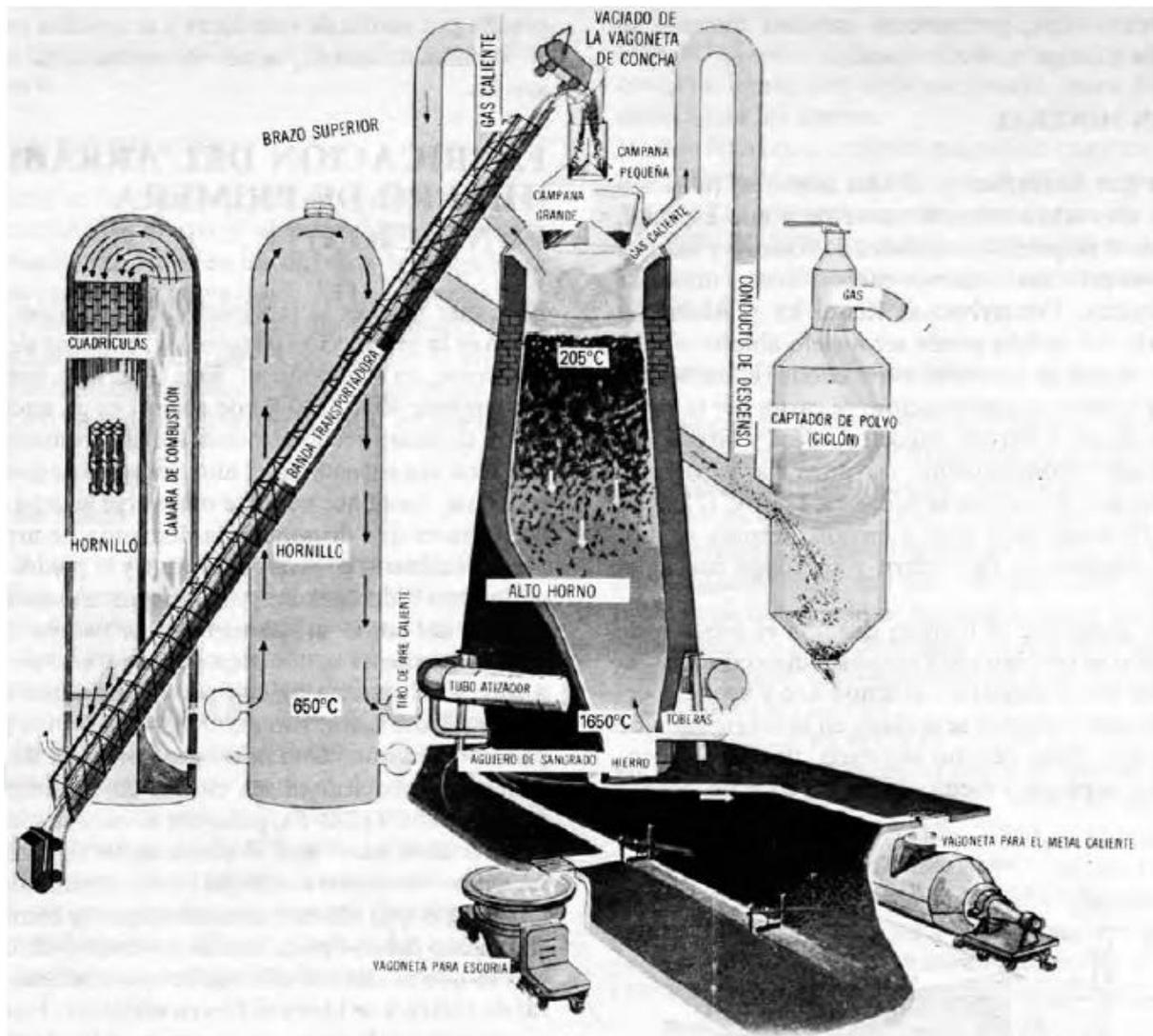


Figura N° 6.- Vista esquemática de la descarga en el Alto horno

Los altos hornos modernos funcionan en combinación con hornos básicos de oxígeno o convertidores al oxígeno, como parte de una única planta siderúrgica. En esas plantas, los hornos siderúrgicos se cargan con arrabio. El metal fundido procedente de diversos altos hornos puede mezclarse en una gran cuchara antes de convertirlo en acero con el fin de minimizar el efecto de posibles irregularidades de alguno de los hornos.

VIII.- Concepto de Arrabio

El hierro recién colado se denomina "arrabio", es una aleación hierro – Carbono, de poca calidad, su contenido de carbón no está controlado y la cantidad de azufre supera los mínimos permitidos en los aceros comerciales.

El oxígeno ha sido removido, pero aún contiene demasiado carbono (aproximadamente un 4%) y demasiadas impurezas (silicio, azufre, manganeso y fósforo) como para ser útil, para eso debe ser refinado.

Es decir el arrabio recién producido contiene demasiado 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.

| Composición química del Arrabio | |
|--|----------|
| Elementos | % |
| Hierro (Fe) | 93,70 |
| Carbono (C) | 4,50 |
| Manganeso (Mn) | 0,40 |
| Silicio (Si) | 0,45 |
| Fósforo (P) | 0,110 |
| Azufre (S) | 0,025 |
| Vanadio (V) | 0,35 |
| Titanio (Ti) | 0,06 |
| Temperatura en crisol Alto Horno : 1460 °C | |

Tabla N° 2: Composición química del Arrabio

El arrabio se sangra cinco veces al día. La producción de arrabio de un horno es de unas 1.500 a 3.000 Tn/día. Su trabajo es ininterrumpido ya que de pararse, el refractario sufre graves daños y se tendría que cambiar (normalmente funciona durante 10 años). Luego se transportan a un horno de fabricación de acero.



Foto N° 7.- Sangrado del Arrabio en el AH

IX.-Síntesis

El proceso pirometalúrgico del mineral de hierro en el A. H, se puede sintetizar en un diagrama de flujo como el de la Figura N° 7 y su transformación en “arrabio y escoria” se representa gráficamente en la Figura N° 8.

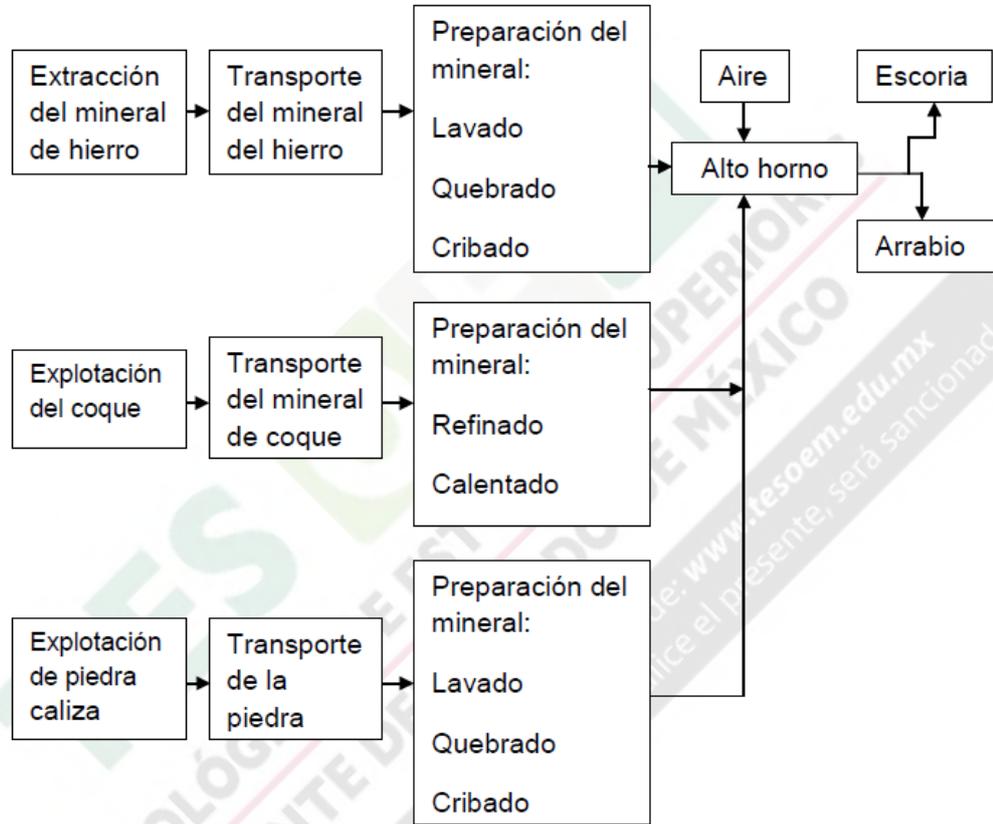


Figura N° 7.- Diagrama de flujo Proceso Pirometalúrgico del Mineral de hierro en A H.

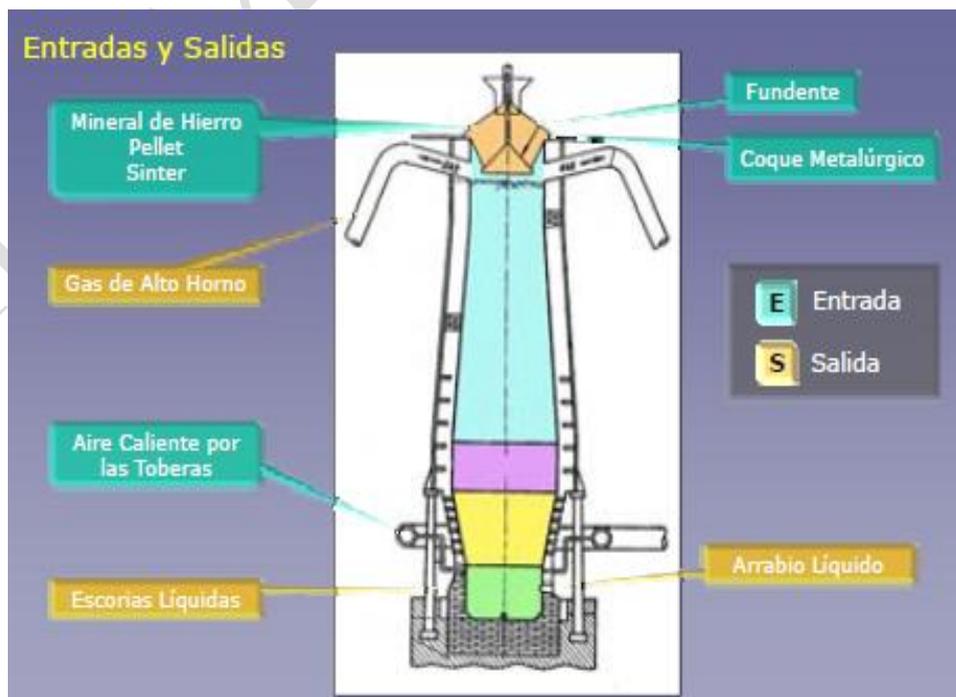


Figura N° 8.- Obtención de Arrabio y Escoria en A H.