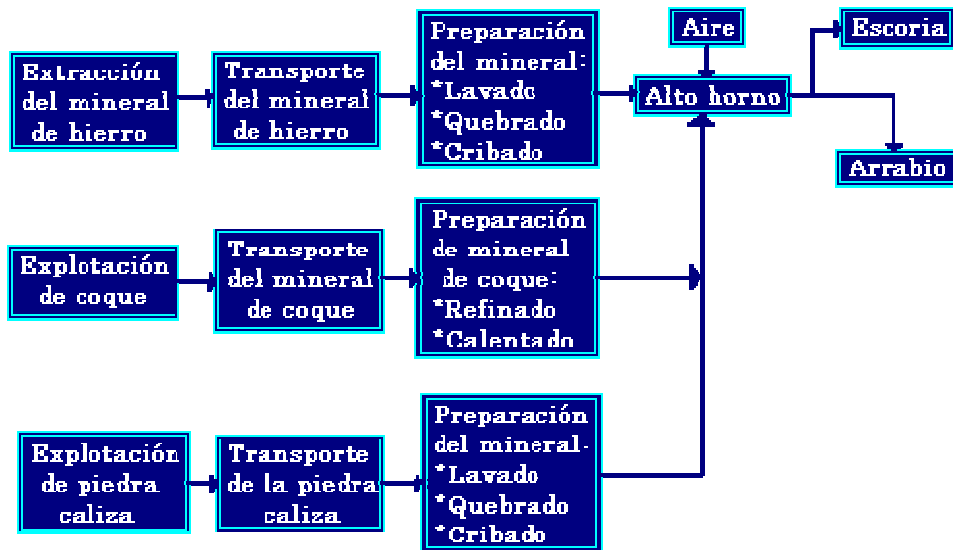


PROCESOS INDUSTRIALES

1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

1.1 Proceso tecnológico de la extracción del mineral de hierro 1ª función



La producción del hierro y del acero empieza con las menas de hierro y otros materiales requeridos (mena = mineral metalífero, principalmente el de hierro, tal como se extrae del yacimiento y antes de limpiarlo).

La mena principal usada en la producción de hierro y acero es la hematita (Fe_2O_3), otras menas incluyen la magnetita (Fe_3O_4), la siderita (FeCO_3) y la limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) donde x vale alrededor de 1.5). Las menas de hierro (vea tabla No. 1) contienen de un 50 a un 70% de hierro, dependiendo de su concentración; la hematita contiene casi 70% de hierro. Además, hoy se usa ampliamente la chatarra como materia prima para la fabricación de hierro y acero. Las otras materias primas que se necesitan para reducir el hierro de sus menas, son el coque y la piedra caliza. El coque es un combustible de alto carbono, producido por el calentamiento de carbón bituminoso en una atmósfera con bajo contenido de oxígeno durante varias horas, seguido de una aspersión de agua en torres especiales de enfriamiento. La coquificación del carbón mineral deja, como subproducto, gas de alto poder calorífico, que es utilizado como combustible en los diversos procesos subsiguientes. El coque desempeña dos funciones en el proceso de reducción:

- 1) Es un combustible que proporciona calor para la reacción química y
- 2) produce monóxido de carbono (CO) para reducir las menas de hierro.

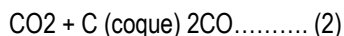
La piedra caliza es una roca que contiene altas proporciones de carbonato de calcio (CaCO_3). Esta piedra caliza se usa en el proceso como un fundente que reacciona con las impurezas presentes y las remueve del hierro fundido como escoria.

La producción del hierro.

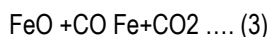
Para producir hierro, se alimenta por la parte superior de un alto horno una carga con capas alternadas de coque, piedra caliza y mineral de menas de hierro. Un alto horno es virtualmente una planta química que reduce continuamente el hierro del mineral. Químicamente desprende el oxígeno del óxido de hierro existente en el mineral para liberar el hierro. Está formado por un recipiente cilíndrico de acero forrado con un material no metálico y resistente al calor, como ladrillos refractarios y placas refrigerantes. El diámetro del recipiente cilíndrico de 9 a 15 m (30 a 50 pies) disminuye hacia arriba y hacia abajo, y es máximo en un punto situado aproximadamente a una cuarta parte de su altura total de 40 m (125 pies). La parte inferior del horno está dotada de varias aberturas tubulares llamadas toberas, por donde se fuerza el paso del aire. Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que fluye el arrabio cuando se sangra (o vacía) el alto horno. Encima de ese orificio, pero debajo de las toberas, hay otro agujero para retirar la escoria. 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 la carga en el horno. Los materiales se llevan hasta las tolvas en pequeñas vagonetas o cucharas que se suben por un elevador inclinado situado en el exterior del horno. Desde la parte baja de la cámara se inyecta por toberas una corriente de gases y aire precalentados a 900 °C a gran velocidad para realizar la combustión y la reducción del hierro efectuándose la combustión completa del coque que adquiere temperaturas máximas entre 1700 a 1800 °C. Los gases calientes (CO, H₂, CO₂, H₂O, N₂, O₂ y los combustibles) realizan la combustión del coque conforme pasan hacia arriba, a través de la carga de materiales. El monóxido de carbono se suministra como un gas caliente, pero también se forma adicionalmente por la combustión del coque. El gas CO tiene un efecto reductor sobre las menas de hierro; la reacción simplificada se describe a continuación (usando la hematita como la mena original):

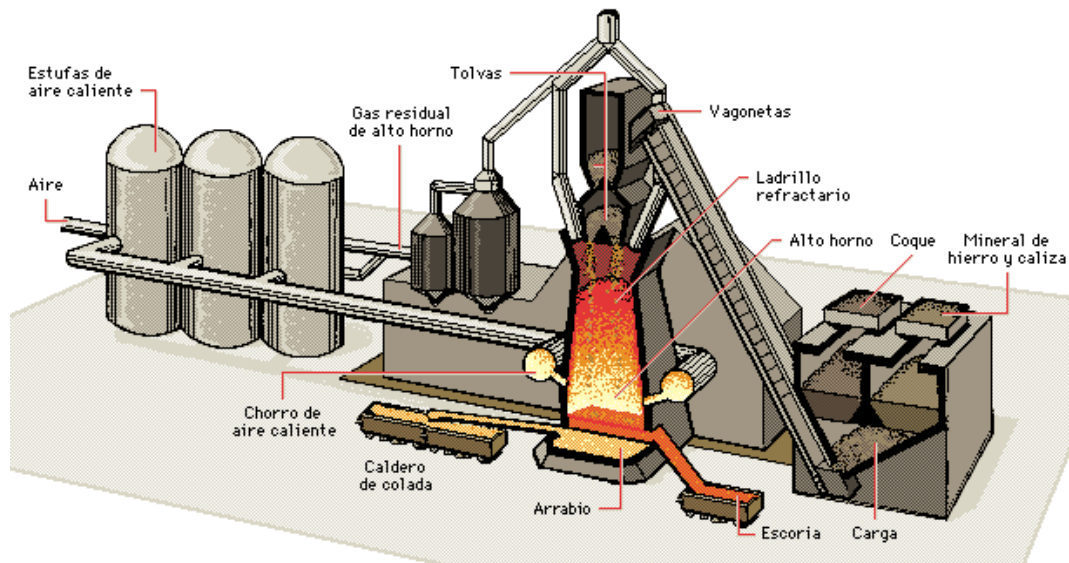
$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{FeO} + \text{CO}_2 \dots (1)$$

El bióxido de carbono CO₂ reacciona con el coque para formar más monóxido de carbono:



el cual realiza la reducción final de FeO a hierro:





El hierro fundido escurre hacia abajo, acumulándose en la base del alto horno.

El hierro fundido de primera fusión, o arrabio se vacía periódicamente en carros cuchara o carros torpedo con los cuales se llenan lingoteras o bien se conducen a mezcladoras calientes donde se almacenan y se mezclan con otras fundiciones para curarse posteriormente en algún proceso de obtención del acero (refinación de arrabio). Los lingotes se someten a una operación de enfriamiento para convertirse mediante procesos metalúrgicos posteriores, en: hierro fundido de segunda fusión, hierro dulce, hierro maleable o bien acero.

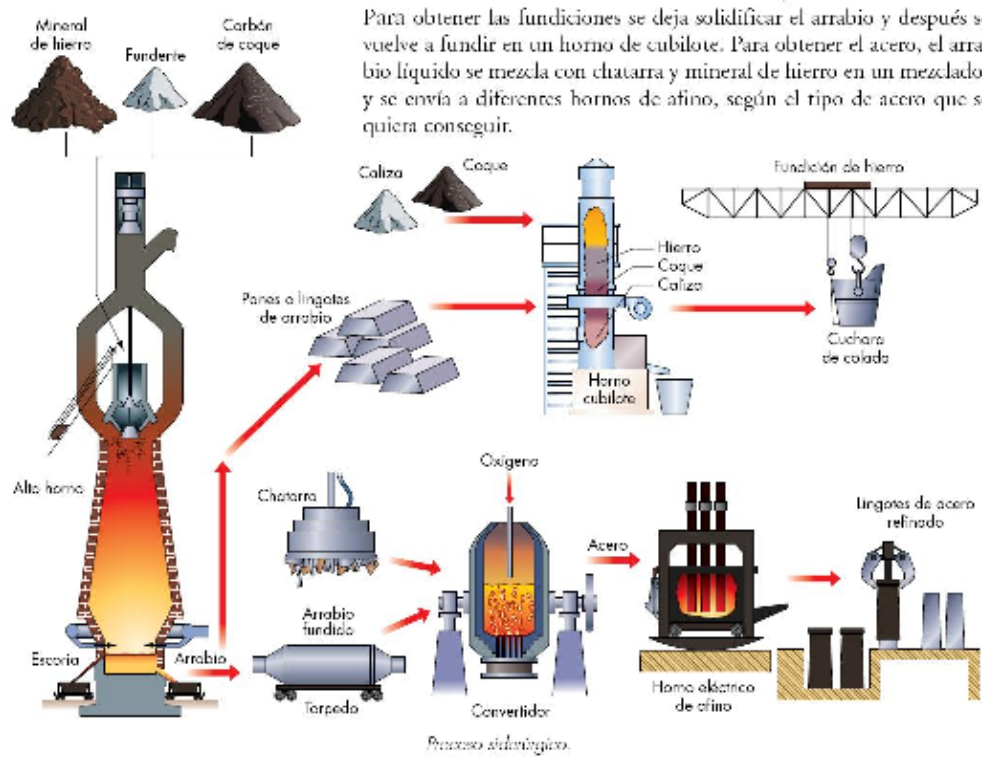
Los altos hornos funcionan de forma continua. La materia prima que se va a introducir en el horno se divide en un determinado número de pequeñas cargas que se introducen a intervalos de entre 10 y 15 minutos. La escoria que flota sobre el metal fundido se retira una vez cada dos horas, y el arrabio se sangra cinco veces al día. El papel que juega la piedra caliza se resume en la siguiente ecuación.

Primero se reduce a cal (CaO) por calentamiento (Δ):



La piedra caliza se combina con la sílice (SiO_2) presente en el mineral (la sílice no se funde a la temperatura del horno) para formar silicato de calcio (CaSiO_3), de menor punto de fusión. Si no se agregara la caliza, entonces se formaría silicato de hierro (Fe_2SiO_4), con lo que se perdería el hierro metálico, allí está la importancia de la piedra caliza. La cal se combina con impurezas tales como sílice (SiO_2), azufre (S) y aluminio (Al_2O_3) para formar silicatos de calcio y de aluminio, en reacciones que producen una escoria fundida que flota encima del hierro.

El arrabio o hierro de primera fusión no se puede utilizar directamente en la industria por ser muy quebradizo debido a sus impurezas y poca resistencia contiene excesivo carbón, de 2.2% a 4.5%, además de cantidades de silicio, magnesio, fósforo cuyos contenidos son muy variables.



Altos hornos de México (AHMSA) tiene dos hornos uno de 400 y otro de 1000 toneladas. Es interesante hacer notar que se requieren aproximadamente siete toneladas de materia prima para producir una tonelada de hierro.

En la década de los sesenta del siglo pasado se introdujo un importante avance en la tecnología de altos hornos: la presurización de los hornos. Estrangulando el flujo de gas de los respiraderos del horno es posible aumentar la presión del interior del horno hasta 1,7 atmósferas o más. La técnica de presurización permite una mejor combustión del coque y una mayor producción de hierro. En muchos altos hornos puede lograrse un aumento de la producción de un 25%. En instalaciones experimentales también se ha demostrado que la producción se incrementa enriqueciendo el aire con oxígeno.



1.1.1 Explotación y traslado

Prospección y Exploración

Esta etapa tiene como propósito conocer las características de los yacimientos, principalmente cuantitativas y cualitativas, así como estudiar los aspectos técnicos y económicos que determinarán la factibilidad de su aprovechamiento. Se utilizan herramientas que van desde la exploración de campo y estudio de los mantos por medio de perforaciones, hasta la información obtenible a través de aerografías y satélites; así se clasifican nuestros yacimientos de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas. Por estas razones el departamento de control de la calidad y de planificaciones, hace necesario mantener un inventario preciso de los volúmenes disponibles de los diferentes tipos de mineral, así como su localización dentro del yacimiento.

Voladura de Mina

Constituye una de las fases más importantes del proceso, esto debe ser cuidadosamente planificado de manera tal que el mineral obtenido se encuentre dentro de los lineamientos dados por la gerencia de calidad a fin de satisfacer los requisitos de producción.

Las operaciones de extracción del mineral de hierro en los yacimientos se inicia con las perforaciones para las voladuras. Para esta operación se cuenta con taladros eléctricos rotativos, que pueden perforar con diámetros de 31 a 38 cm y profundidades de hasta 18 m, lo que permite construir bancos de explotación de 15 m de altura. El número de perforaciones en el área mineralizada depende del tonelaje que se quiera producir, el explosivo utilizado es una mezcla de Nitrato de aluminio con gasoil.

Envío de Mineral de a la planta de procesamiento.

Una vez que el mineral es fracturado, por efecto de la voladura, es removido por palas eléctricas desde los distintos fuentes de producción. Las palas cuentan con baldes de 7,3 m³ y de 10 m³ de capacidad, luego el mineral es vaciado en camiones roqueros marca LECTRA-HALL de 90 toneladas de capacidad. (Se usan adicionalmente cargadores frontales con capacidad de 60 m³ cada uno).

Para el acarreo del mineral de los frentes de producción hasta la plata forma o andenes de carga con capacidad de 35 vagones de 90 toneladas cada uno, se utilizan camiones de 90 y 160 toneladas. El coordinador de aseguramiento asigna durante el proceso de carga el número de la pala y registra el corte de vagones, con el número de cada vagón, el código de la mina, el muelle de carga y la estimación del porcentaje de mineral fino y grueso cargado.

Los grupos de vagones, una vez cargados en los frentes de producción, son llevados al patio de ferrocarril, donde se realizan los acoples hasta formar trenes de aproximadamente 125 vagones. En el proceso de carga, un operario muestreador toma muestra de los vagones para la determinación del grado químico y físico del mineral cargado; las muestras son entregadas al Coordinador de Aseguramiento para llevarlos al laboratorio. Los resultados obtenidos son registrados.

El jefe de turno del Departamento de Aseguramiento estima el corte o grupo de vagones cargados conforma y sectoriza el tren, entregando la liberación al Supervisor de operaciones ferroviarias. En la

conformación de trenes verifica la secuencia de corte de vagones por cada tren. Para el traslado del mineral a la planta de procesamiento, los trenes son remolcados por tres locomotoras diesel eléctricos.

Vaciado del Mineral

Al llegar el mineral todo en uno (TEU) a la planta de procesamiento, los trenes son seleccionados en grupos de 15 vagones según la distribución realizada por el departamento de seguridad, de acuerdo a los requerimientos de las pilas de mineral a homogenizar. La operación de vaciado consiste en desalojar el mineral de los vagones, los cuales son impulsados por el empujador de vagones (FD-800) individualmente hasta posicionarlos dentro del volteador de vagones que se encuentra en la entrada del sector de trituración primaria. El volteo de un corte, generalmente presenta una duración de 35 a 40 min. si se opera en optimas condiciones.

Extracción del Mineral de Hierro

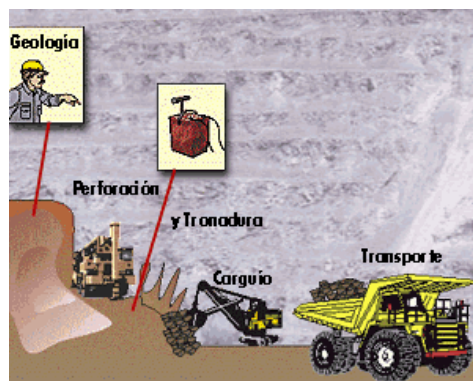
El mineral extraído de una mina de fierro puede ser de carga directa a los altos hornos o puede requerir de un proceso de peletización para ser utilizado en la producción del acero, esto según sea su calidad.

Es importante destacar que si el mineral posee bajo contenido de impurezas (principalmente fósforo y azufre), puede ser utilizado para carga directa, requiriendo sólo tratamientos de molienda y concentración. Este es el caso de Minas el Romeral.

Si, por el contrario, el contenido de impurezas es relativamente alto, se realiza también la molienda y concentración, pero requiere además de un proceso químico de peletización, donde se reducen significativamente dichas impurezas.

Este es el caso de las minas Los Colorados y Algarrobo.

PROCESO DE EXTRACCION MINA EL ROMERAL



PERFORACIÓN Y TRONADURA:



La explotación del yacimiento de El Romeral se concentra en el cuerpo mineralizado denominado Cerro Principal, mediante el método de cielo abierto, con un rajo alargado en el sentido norte-sur, de acuerdo a la forma del cuerpo mineralizado.

La longitud del rajo alcanza alrededor de 1.700 m y su ancho a 600 m, en la parte central. El acceso principal al rajo se realiza por el extremo sur, en el nivel 270 m, donde se encuentra ubicada la tolva de recepción de la Planta de Chancado y se inician los caminos hacia los botaderos de lastre y acopios de minerales.

La altura del banco también varía de acuerdo los sectores; los bancos situados sobre el nivel 250 tienen una altura de 12,5 m, en tanto que los bancos bajo dicho nivel tienen una altura de 10 m.

Perforación y Tronadura

La perforación para tronadura se realiza mediante la combinación de 2 perforadoras con martillo en el fondo, Ingersoll Rand modelo T-4, con diámetro de perforación de 9 1/2" y una perforadoras Bucryus Erie 45-R, con diámetro de perforación de 9 7/8". Los tiros se perforan verticalmente, en mallas triangulares o cuadradas y con un espaciamiento variable de acuerdo al tipo de material, explosivos y diámetro de la broca.

Se agrega agua durante la perforación en zonas secas a fin de evitar la polución ambiental. La perforación secundaria se realiza con perforadora neumática montada sobre orugas. El explosivo para tronaduras consiste principalmente en Anfo pesado, una mezcla de diversas proporciones de Anfo (nitrato de amonio y petróleo) y una emulsión de mayor poder explosivo y resistente al agua.

Las proporciones de la mezcla de Anfo y emulsión dependen de la aplicación requerida, especialmente del tipo de roca y la abundancia de agua en el sector. El carguío del explosivo se realiza por medio de camiones fábrica, que se caracterizan por acarrear los componentes hasta el hoyo perforado y producir la mezcla explosiva en el momento del carguío.

Los explosivos son suministrados en el hoyo de perforación por empresas especializadas en el rubro.

Las cargas explosivas de cada hoyo se conectan por líneas a las que se aplica retardadores, lo que permite un tiempo de detonación distinto a cada tiro, con la consiguiente mayor fracturación de la roca y minimización del daño en las paredes del rajo.

CARGÍO:



El carguío del material tronado se realiza con Palas eléctricas y cargadores frontales. Las palas eléctricas operan con baldes de llenado rápido de 12 y 13 yd³ (*) de capacidad, mientras los cargadores frontales utilizan baldes de 11.7 yd³. Los cargadores frontales se destinan habitualmente al carguío de mineral para la alimentación de Planta de Chancado, mientras las palas orientan su accionar a la extracción de estéril.

(*) yd³ : 1 Yarda = 0,9144 metros

TRANSPORTE:



Transporte de materiales mina

El transporte de mina se distribuye entre el despacho de minerales a Planta de Chancado y acopios, y el material estéril hacia botaderos. Para esto se dispone de una flota de camiones de 50 TM, 91 TM y 140 TM de capacidad. Los caminos de interior mina se encuentran diseñados con una pendiente de 10%, mientras el tramo desde la salida sur de la mina hacia botaderos presenta una pendiente promedio de 4%.

Equipos de Apoyo

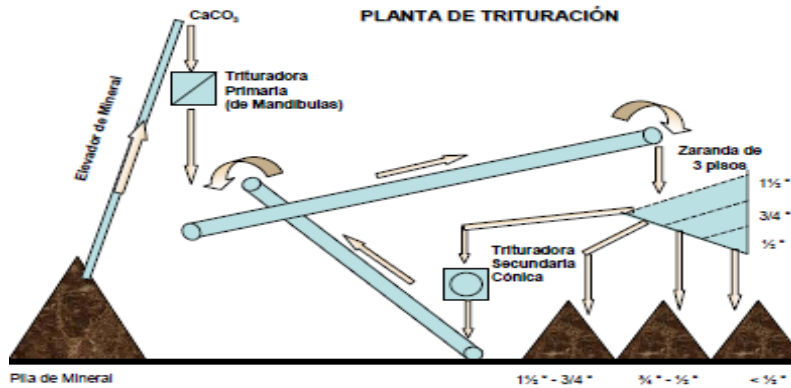
Se dispone de la siguiente flota de equipos para el apoyo de las operaciones mineras cargador frontal, tractores sobre orugas, tractor sobre orugas, tractores sobre neumáticos, motoniveladoras.

Estos equipos deben construir caminos, mantener las carpetas de rodado de caminos y plataformas de trabajo y apoyar a los equipos de carguío en sus frentes de trabajo.

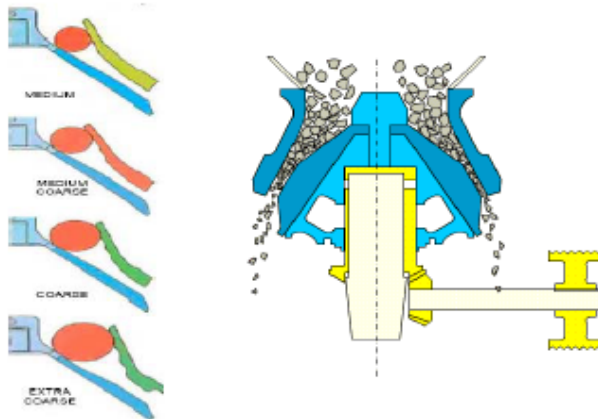
1.1.2 Trituración y molienda

TRITURACIÓN Y MOLIENDA:

La trituración se realiza tiene por objeto reducir el tamaño de los minerales. Se hace en seco en máquinas llamadas trituradoras, que pueden ser de mandíbulas o giratorias.



La molienda puede hacerse con materiales húmedos o secos. Se utilizan los molinos rotatorios. La diferencia entre un proceso y otro está en el tamaño de los materiales obtenidos en cada proceso: en la molienda se obtiene el mineral en partículas más pequeñas que en la trituración.

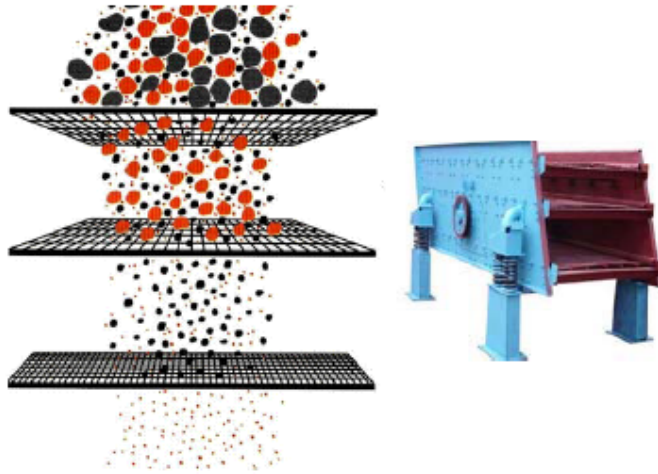


CLASIFICACIÓN:

Es la separación del material obtenido en los procesos anteriores por tamaños similares. Se utilizan diversos instrumentos y procedimientos.

Criba: separan el material por tamaño, por una parte los que pasan por una malla y los que no pasan.

Tamiz: es una criba fina y se usa para obtener partículas muy pequeñas.



Procedimiento de clasificación hidronámica: se basa en el principio de que un líquido donde se introducen las partículas de mineral obtenido en los procesos anteriores, por efecto de las diferentes velocidades de caída. Al cabo del tiempo, tendrá lugar una estratificación de éstas, de forma que las de mayor densidad quedarán en las capas inferiores y las de menor en las superiores.

CONCENTRACIÓN:

Es la operación de separar la mena de la ganga. Los procedimientos son:

- Flotación: Se separan las partículas de materiales diferentes haciendo que las de uno de ellos flote sobre un líquido y las demás estén sumergidas en él.
- Separación magnética: Un material con propiedades magnéticas se puede separar de la ganga aplicando al conjunto un campo magnético.

1.1.3 Briqueteado

Se suministra esponja de hierro granular a una prensa de rodillos a temperaturas de 600 a 850°C para moldeado de briquetas calientes. Se produce una estructura de tira de esponja de hierro que contiene las briquetas calientes formadas, las cuales se colocan a una distancia entre sí. Al desintegrar la estructura de tira, las briquetas calientes se separan entre sí, de manera que se obtienen fragmentos de la estructura de tira. Las briquetas calientes y por lo menos parte de los fragmentos se enfrían a temperaturas en el intervalo desde 20 hasta 400°C, y las briquetas enfriadas y fragmentos se hacen pasar a través de un tambor giratorio. En el tambor giratorio, se producen finos de grano fino de las briquetas y fragmentos. Posteriormente, estos finos se separan de las briquetas y fragmentos, pues muestran un comportamiento pirofórico.

1.1.4. Peletización

Proceso de Peletización del Hierro

El proceso productivo se inicia con la extracción del mineral de hierro desde las minas en el norte de nuestro país (III y IV regiones).

Si el mineral posee bajo contenido de impurezas (principalmente fósforo y azufre), puede ser utilizado para carga directa a Altos Hornos, requiriendo sólo tratamientos de molienda y concentración. Este es el caso de Mina El Romeral.

Si, por el contrario, el contenido de impurezas es relativamente alto, se realiza también la molienda y concentración, pero requiere además de un proceso químico de peletización, donde se reducen significativamente dichas impurezas.

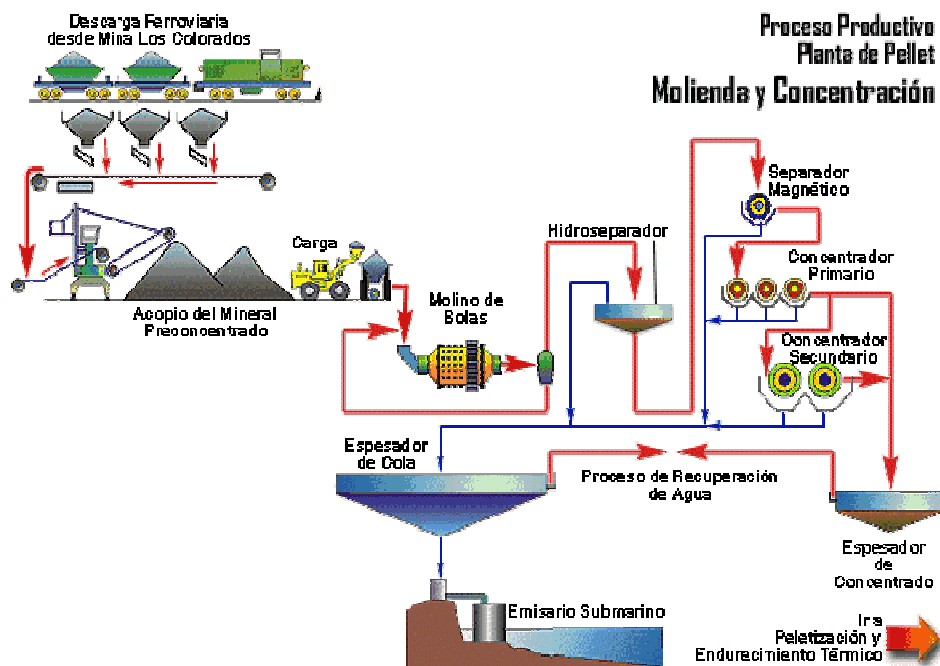
Este es el caso de las minas Los Colorados y El Algarrobo, en que el mineral se transporta por vía férrea hacia la Planta de Pellet de Valle del Huasco.

PROCESO DE PELETIZACION DEL MINERAL DE HIERRO

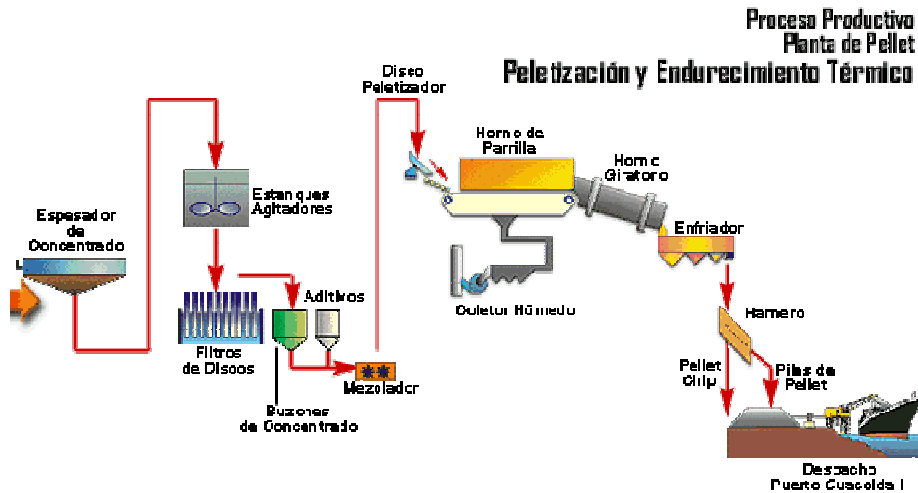
(PLANTA DE PELLET VALLE DEL HUASCO)

Hemos dispuesto gráficamente este proceso en 2 etapas.

Molienda y Concentración:



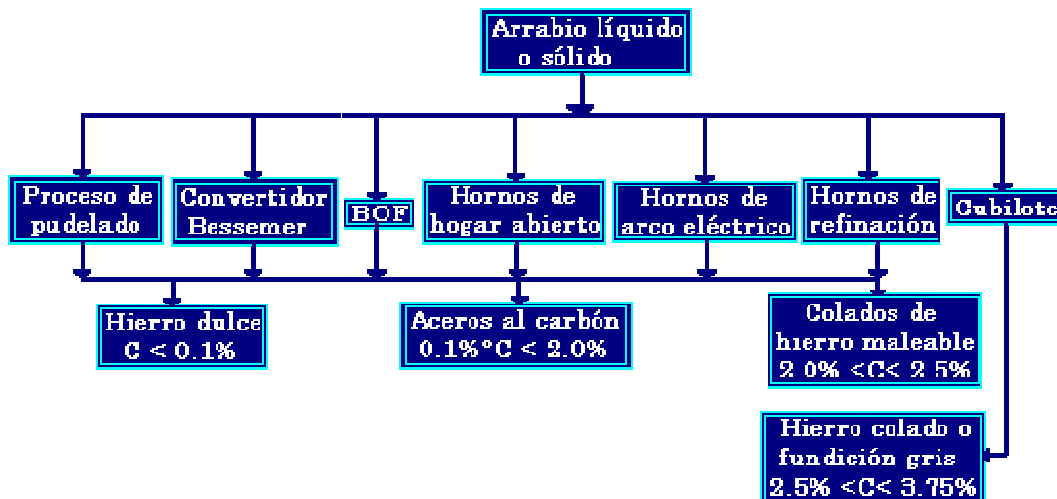
Peletización y Endurecimiento Térmico:



1.2 Afino del acero

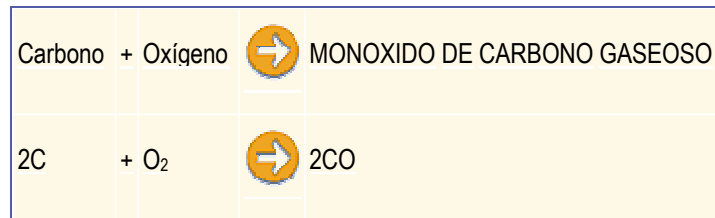
Refinación Del Arrabio

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.

En forma simplificada la reacción es :



Proceso Productivo Siderúrgico



En Chile existe una única Planta Siderúrgica integrada y pertenece a Cía. Siderúrgica Huachipato S.A. (empresa CAP), se ubica en la Bahía de San Vicente, 14 Km. al noroeste de la ciudad de Concepción, capital de la Octava Región, Chile.

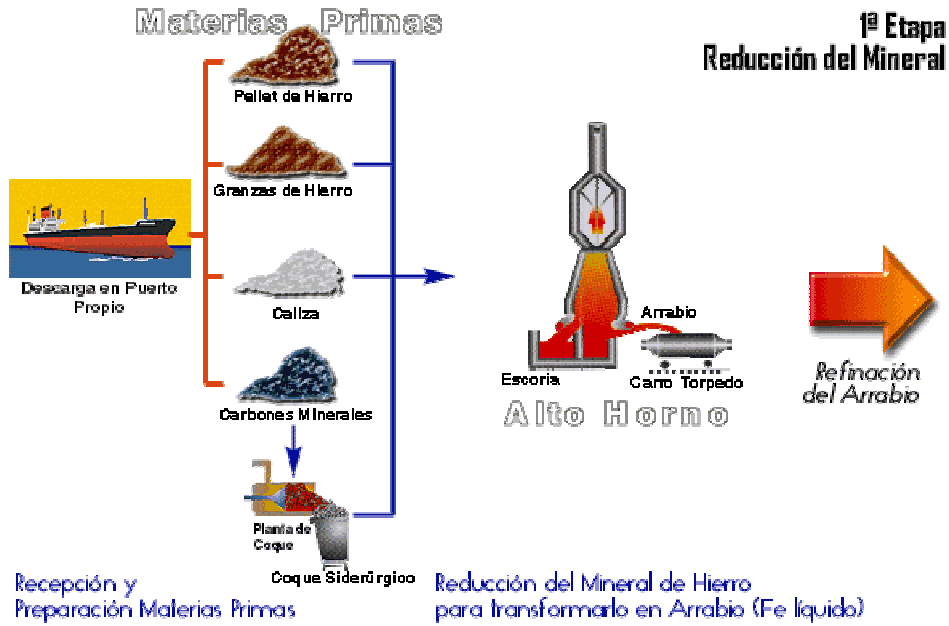
Esta planta comenzó sus actividades en 1950. Desde entonces y hasta hoy, mantiene una constante modernización que le permite ser una de las empresas siderúrgicas con mejor tecnología en Latinoamérica en el proceso de transformación del mineral de hierro en Acero.

Siderúrgica Huachipato es una "planta integrada", esto quiere decir que fabrica acero laminado a partir de minerales de hierro, para su utilización directa o para transformaciones posteriores. La diversidad de productos obtenidos en Huachipato es lograda después de un largo y complejo proceso industrial, con tecnología avanzada que lo hace único en Chile.

El Proceso Productivo Siderúrgico lo hemos dividido gráficamente en 6 pantallas debido a su extensión:

1º Etapa:

REDUCCIÓN DEL MINERAL



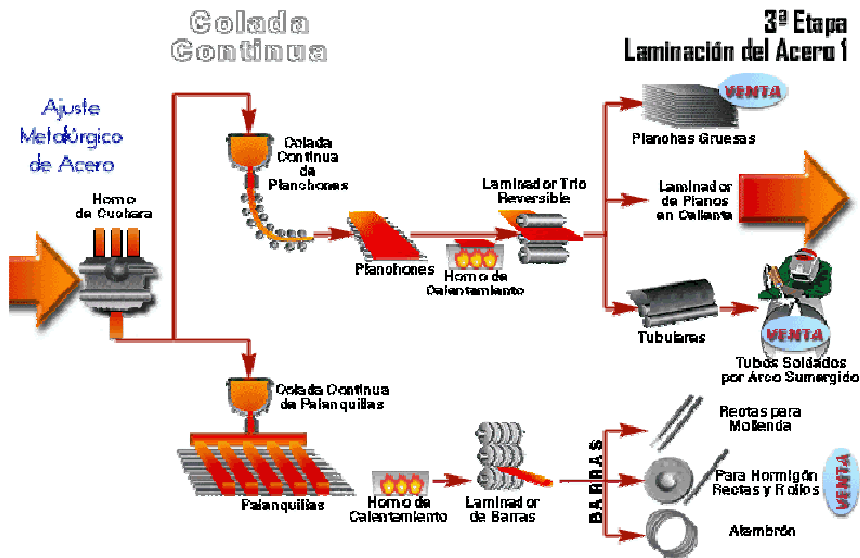
2º Etapa:

FABRICACIÓN DEL ACERO



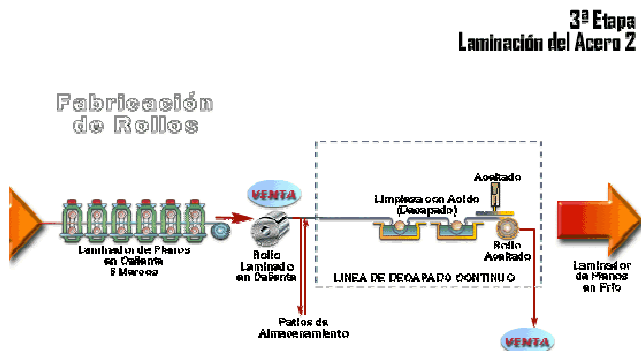
3° Etapa

LAMINACION DEL ACERO



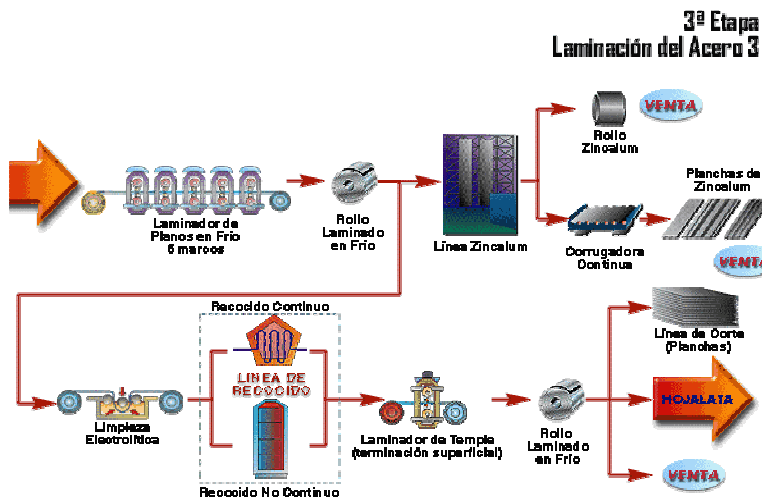
3° Etapa

LAMINACION DEL ACERO 2



3° Etapa

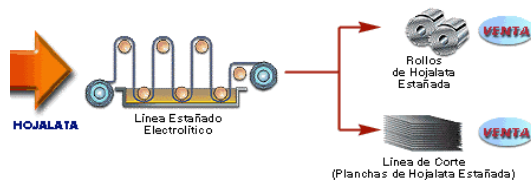
LAMINACION DEL ACERO 3



3° Etapa

LAMINACION DEL ACERO 4

3ª Etapa Laminación del Acero 4



1.3 Procesos tecnológicos para la obtención del acero

Proceso Tecnológico Para La Obtención Del Acero Bof Horno Electrico Convertidores Bessesmer Thomas

Desde el punto de vista químico-metalúrgico, todos los procesos de fabricación de acero se pueden clasificar en ácidos y básicos (según el refractario y composición de la escoria utilizada), y cada proceso tiene funciones específicas según el tipo de afino que puede efectuar. Los procesos ácidos utilizan refractarios de sílice, y por las condiciones de trabajo del proceso hay que poder formar escorias que se saturan de sílice. Los procesos ácidos pueden utilizarse para eliminar carbono, manganeso y silicio; no son aptos para disminuir el contenido en fósforo y azufre, y por esto requieren el consumo de primeras materias seleccionadas, cuyo contenido en fósforo y azufre cumple las especificaciones del acero final que se desea obtener. Los procesos básicos utilizan refractarios de magnesita y dolomía en las partes del horno que están en contacto con la escoria fundida y el metal. La escoria que se forma es de bajo contenido de sílice compensada con la cantidad necesaria de cal. El proceso básico elimina, de manera tan eficaz como el proceso ácido, el carbono, manganeso y silicio, pero además eliminan el fósforo y apreciables contenidos de azufre. De aquí las grandes ventajas del proceso básico, por su gran flexibilidad para consumir diversas materias primas que contengan fósforo y azufre, y por los tipos y calidades de acero que con él se pueden obtener. Desde el punto de vista tecnológico existen tres tipos fundamentales de procesos:

- 1) Por soplado, en el cual todo el calor procede del calor inicial de los materiales de carga, principalmente en estado de fusión.
- 2) Con horno de solera abierta, en el cual la mayor parte del calor proviene de la combustión del gas o aceite pesado utilizado como combustible; el éxito de este proceso se basa en los recuperadores de calor para calentar el aire y así alcanzar las altas temperaturas eficaces para la fusión de la carga del horno.

3) Eléctrico, en el cual la fuente de calor más importante procede de la energía eléctrica (arco, resistencia o ambos); este calor puede obtenerse en presencia o ausencia de oxígeno; por ello los hornos eléctricos pueden trabajar en atmósferas no oxidantes o neutras y también en vacío, condición preferida cuando se utilizan aleaciones que contienen proporciones importantes de elementos oxidables. En la fabricación de acero existen las fases hierro, escoria y gases. Este sistema heterogéneo tiende a un estado de equilibrio si se adicionan unos elementos reaccionantes o varía la temperatura o la presión. Al fabricar un acero se pretende eliminar de la fase hierro los elementos perjudiciales en exceso y añadir los que faltan para conseguir el análisis final previsto. Por las reacciones reversibles entre las tres fases (hierro, escoria y gases) se consigue, al producirse un desequilibrio, la segregación o paso de elementos, eliminar del hierro la escoria, o viceversa. Es necesario un profundo conocimiento de estas reacciones para fabricar un acero con buen resultado. Todo el proceso de obtención de acero consta de un primer período oxidante o de afinado, en el que se elimina el Carbono en fase gaseosa; el silicio y el manganeso se oxidan formando compuestos complejos con la escoria, que puede eliminarse; si la escoria es además básica, se elimina el fósforo. El segundo período es reductor y debe eliminar el exceso de óxido de hierro disuelto en el baño del hierro durante el período oxidante, a fin de poder eliminar después el azufre; o puede también recuperar el manganeso oxidado que pasó a la escoria. Finalmente, hay un período de desoxidación o refinado por acción de las ferro-aleaciones de manganeso y silicio, que se adicionan en el baño a la cuchara, y de aluminio metálico, en la lingotera. Estos períodos pueden tener mayor o menor duración e importancia y realizarse netamente separados o entrelazados, y a mayor o menor velocidad en unos procesos que en otros. El desescoriado puede ser total o parcial en cada período, o transformar las primeras escorias oxidantes en reductoras. Todo ello dependerá del horno o proceso utilizado, de las condiciones de las materias primas, de los elementos que interesa que pasen a la escoria y no retornen de ésta al baño de hierro, etc.

1.4 Línea de producción y tipos de hornos

DIFERENTES PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO

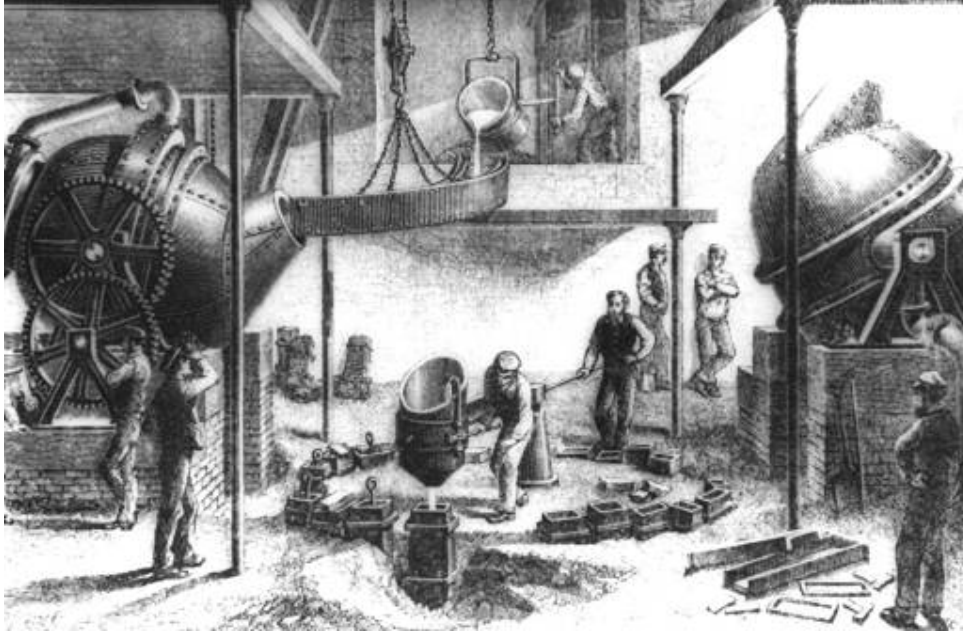
Una vez obtenido el arrabio o el hierro esponja es necesario refinar al hierro para que se transforme en material útil para diferentes objetos o artefactos, o sea en hierro o acero comercial. A continuación se presentan los principales procesos de fabricación de los hierros y aceros comerciales.

Para nuestro curso solo analizaremos el Convertidos Bessemer, Hornos BOF y Hornos eléctricos
HORNOS O CONVERTIDORES BESSEMER

Es un horno en forma de pera que está forrado con material refractario de línea ácida o básica. El convertidor Bessemer se carga con chatarra fría y se le vacía arrabio derretido, posteriormente se le inyecta aire a alta presión con lo que se eleva la temperatura por arriba del punto de fusión del hierro,

haciendo que este hierva. Con lo anterior las impurezas son eliminadas y se obtiene acero de alta calidad. Este horno ha sido substituido por el BOF, el que a continuación se describe.

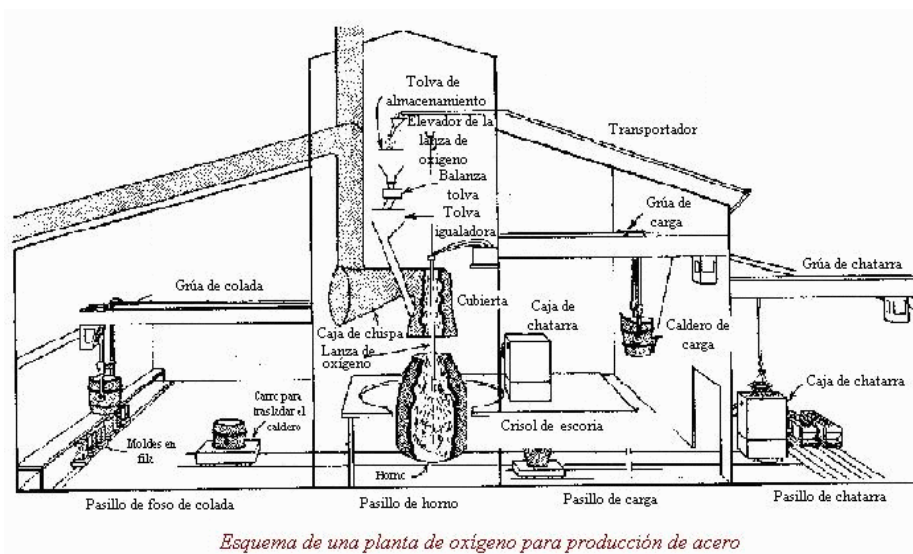
Producción de acero bessemer



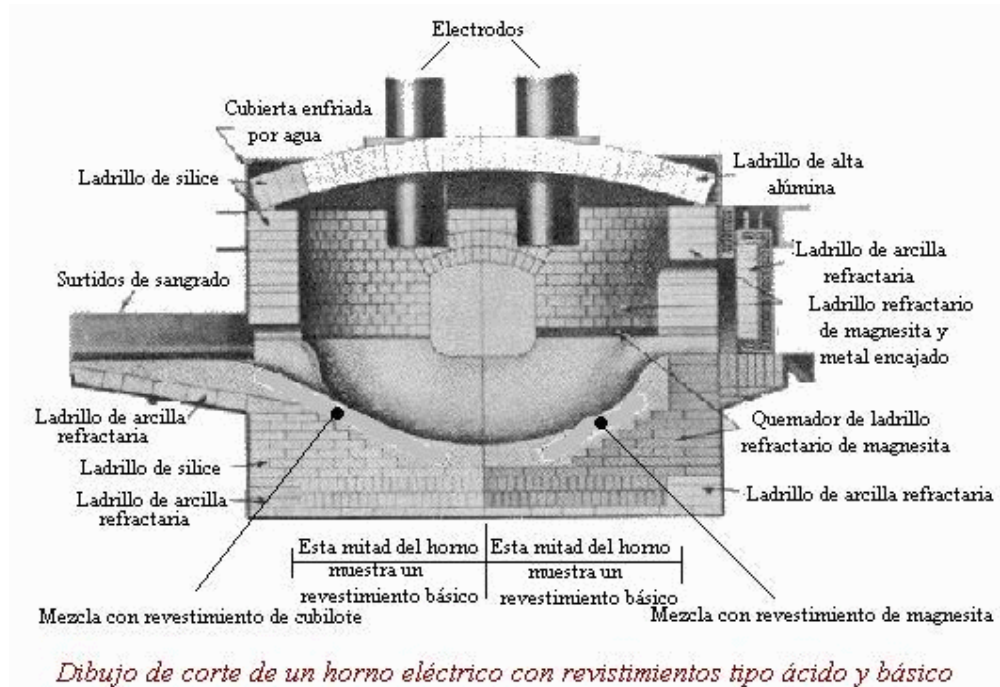
HORNO BÁSICO DE OXÍGENO (BOF)

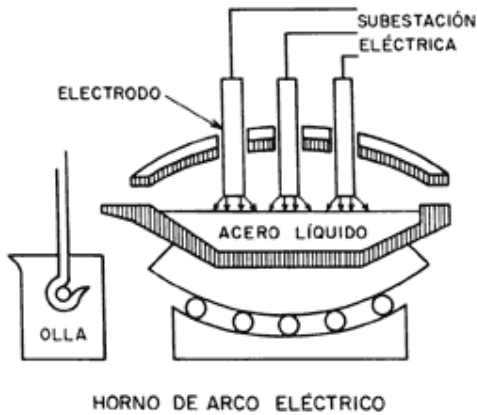
Horno muy parecido al Bessemer con la gran diferencia que a este horno en lugar de inyectar aire a presión se le inyecta oxígeno a presión, con lo que se eleva mucho más la temperatura que en el Bessemer y en un tiempo muy reducido. El nombre del horno se debe a que tiene un recubrimiento de refractario de la línea básica y a la inyección del oxígeno. La carga del horno está constituida por 75% de arrabio procedente del alto horno y el resto es chatarra y cal. La temperatura de operación del horno es superior a los 1650°C y es considerado como el sistema más eficiente para la producción de acero de alta calidad. Este horno fue inventado por Sir Henry Bessemer a mediados de 1800, sólo que como en esa época la producción del oxígeno era cara se inició con la inyección de aire., el que ya fue descrito.

Horno básico de oxígeno



HORNO DE ARCO ELÉCTRICO





Se cargan con chatarra de acero de alta calidad. Son utilizados para la fusión de aceros para herramientas, de alta calidad, de resistencia a la temperatura o inoxidable. Considerando que estos hornos son para la producción de aceros de alta calidad siempre están recubiertos con ladrillos refractarios de la línea básica. Existen hornos de arco eléctrico que pueden contener hasta 270 toneladas de material fundido. Para fundir 115 toneladas se requieren aproximadamente tres horas y 50,000 kwh de potencia. También en estos hornos se inyecta oxígeno puro por medio de una lanza.

Los hornos de arco eléctrico funcionan con tres electrodos de grafito los que pueden llegar a tener 760mm de diámetro y longitud de hasta 12m. La mayoría de los hornos operan a 40v y la corriente eléctrica es de 12,000 A. Estos equipos tienen un crisol o cuerpo de placa de acero forrado con refractario y su bóveda es de refractario también sostenida por un cincho de acero, por lo regular enfriado con agua.

Para la carga del horno los electrodos y la bóveda se mueven dejando descubierto al crisol, en el que se deposita la carga por medio de una grúa viajera.

Estos equipos son los más utilizados en industrias de tamaño mediano y pequeño, en donde la producción del acero es para un fin determinado, como varilla corrugada, aleaciones especiales, etc.

Horno de arco eléctrico

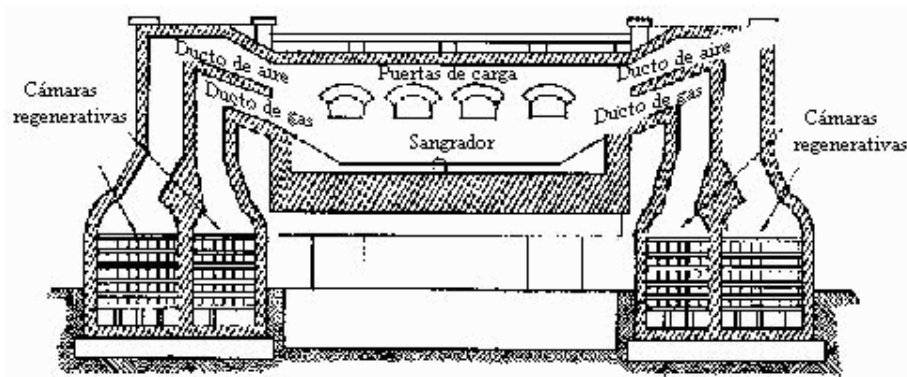


Horno de inducción



Utilizan una corriente inducida que circula por una bobina que rodea a un crisol o recipiente en el cual se funde la carga. La corriente es de alta frecuencia y la bobina es enfriada por agua. La corriente es de aproximadamente 1000Hz, la cual es suministrada por un sistema de motogenerador. Estos hornos se cargan con piezas sólidas de metal, chatarra de alta calidad o virutas metálicas. El tiempo de fusión toma entre 50 y 90 min, fundiendo cargas de hasta 3.6 toneladas. Los productos son aceros de alta calidad o con aleaciones especiales.

Horno de aire o crisol



Vista seccional de un horno de hogar abierto

El proceso más antiguo que existe en la fundición, también se le conoce como horno de aire. Este equipo se integra por un crisol de arcilla y grafito, los que son extremadamente frágiles, los crisoles se colocan dentro de un confinamiento que puede contener algún combustible sólido como carbón o los productos de la combustión. Los crisoles son muy poco utilizados en la actualidad excepto para la fusión de metales no ferrosos, su capacidad fluctúa entre los 50 y 100 kg.

Hornos de crisol para metales no ferrosos

Proceso del horno eléctrico.

El progreso de la electricidad permitió, hacia el año 1900, que el horno eléctrico se introdujera a escala industrial para fabricar acero (50 años después de los procesos de afino por soplado y por solera). El horno de arco calienta directamente el baño de acero por debajo de la escoria y consigue la alta temperatura necesaria de trabajo. Sin requerir la presencia de oxígeno en su atmósfera, el horno eléctrico ocupa una posición privilegiada para la fabricación de una amplia gama de calidades de aceros finos aleados, con elevados contenidos de elementos de aleación oxidables, tales como el carbono, vanadio y wolframio. El horno de tres electrodos ha alcanzado gran auge y perfeccionamiento, no sólo por la alta calidad del acero que se obtiene, sino también en muchos casos por ser competitivo con el proceso de afino por solera para cualquier calidad de acero; parece que continúa aumentando su importancia, incluso para la producción de grandes tonelajes, merced a la menor inversión necesaria o también cuando se dispone de energía eléctrica a coste inferior o similar a la caloría gas. Existen asimismo las dos variedades, básico y ácido, con los mismos fundamentos que en los procesos anteriores, pero con notable predominio del horno básico dadas las dificultades y fluctuaciones que experimenta el mercado para poder adquirir primeras materias suficientes para el trabajo ácido. El tamaño del horno es muy variable, desde 500 kg hasta 200 tm. Los más pequeños tienden a desaparecer; los de 5 tm y más se utilizan para el moldeo y aceros aleados, y las grandes unidades para la producción en serie de lingotes. Normalmente trabajan con carga sólida; en algunas acerías lo hacen con carga de acero líquido en proceso duplex, conjunto de convertidor u horno de solera y horno eléctrico para el acabado. La carga de los grandes hornos es un factor determinante de su rendimiento; en general se ha adoptado la bóveda desplazable para carga por encima del horno abierto, con recipiente metálico de fondo de fácil abertura, o por otros rápidos procesos mecanizados. La marcha de la colada se inicia con la carga sólida de mineral, caliza o cal, según se disponga, chatarra y lingote de afino. La proporción de estos materiales dependerá del acero que se quiera fabricar y del análisis que convenga que tenga la carga fundida a la temperatura necesaria; para el afino oxidante, el mineral y las batiduras de laminación proporcionan el oxígeno que necesitan el silicio, manganeso, fósforo y carbono que contiene la carga; se introduce suficiente cal para que la escoria tenga la basicidad que requiere el fósforo para pasar a ella. En el horno eléctrico el aire de su atmósfera interior está en contacto con los electrodos de grafito, y su oxígeno es rápidamente consumido para mantener el equilibrio y conseguir la temperatura de régimen del horno. La escoria básica y oxidante contendrá el fósforo que fue oxidado durante el afino; se bascula el horno para facilitar el desescoriado.

Eliminada la escoria, si la especificación de calidad del acero requiere adiciones de elementos aleables, la siguiente etapa es preparar una escoria reductora, añadiendo cal apagada y electrodos o coque triturados. En todo momento se pueden sacar muestras del baño para su análisis y ajustar los elementos aleados hasta que se cumpla la especificación pedida, y también regular la temperatura hasta que el baño esté a punto para colar.

Aunque con menor intensidad que en otros procesos de obtención de aceros, es necesaria la adición de desoxidantes en la cuchara.

Proceso por soplado, Bessemer ácido y Thomas básico.

El proceso Bessemer ácido ha sido el primero utilizado y el más sencillo. Desde su inicio permite obtener en una sola operación, partiendo de hierro líquido, coladas de 10–25 tm al ritmo de 1 tm/ min. Por ser ácido, no defosfora ni desulfura y debe utilizar hierro líquido de análisis adecuado. La gran abundancia de mineral de hierro rico en fósforo, que al ser tratado en horno alto pasan gran parte al hierro líquido, provoca el desarrollo de procesos que pueden defosforar, y ha sido causa de que los procesos básicos se empleen en Europa mucho más que el Bessemer ácido, limitado éste a utilizar hierro bajo en fósforo, mucho más escaso. La operación se realiza en el convertidor, cuba de acero revestida de refractario, con toberas en su fondo y abierta en su parte superior, montada sobre apoyo con mecanismo basculante. La carga de hierro líquido se realiza con el convertidor en posición horizontal, lo que deja abiertas las toberas. Se insufla el aire necesario a través de uno de los soportes huecos a la caja de viento, que lo distribuye a través de las toberas a una presión de 2 kg / cm².

Se inicia el soplado al mismo tiempo que se pone el convertidor vertical; el aire a presión pasa a través del hierro líquido, introduciéndose así el oxígeno necesario para el afino.

El silicio contenido en el hierro líquido es el factor termoquímico más importante para regular y obtener la temperatura necesaria. La llama expulsada por la boca del convertidor cambia de color y luminosidad, lo que permite juzgar el desarrollo del afino e interrumpir el soplado en el momento final adecuado; entonces se hace bascular el convertidor y se cuela el acero líquido en una cuchara de transporte. El revestimiento ácido de este tipo de convertidores proporciona el exceso de sílice indispensable para formar escoria, además del silicio que contiene el hierro líquido.

En el caso del convertidor básico, llamado proceso Thomas, el revestimiento es de magnesita o dolomía calcinada y alquitrán. Por la acción fuertemente oxidante del soplado se elimina primero el carbono y después se oxida el fósforo, que actúa de importante elemento termógeno. La cal necesaria se añade con la carga; se funde durante el soplado y se combina con el fósforo oxidado, formando la escoria Thomas, utilizada como fertilizante. Este proceso ha sido un factor muy importante del desarrollo industrial alcanzado en Europa a fines del siglo pasado. Se controla como el Bessemer por el aspecto de la llama. El tiempo necesario del soplado es sólo de 15 min, por lo que el éxito del proceso depende de la pericia del operario. Tan corto tiempo no permite efectuar control por análisis de muestras.

BOF (BASIC OXIGEN FURNACE)

Convertidores (BOF) - Soplado con Oxígeno

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

Convertidores (BOF) - Precalentamiento de la Chatarra

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

Convertidores (BOF) - Salpicadura de Escoria

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

Convertidores (BOF) - Agitación Inferior

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

1.5 Clasificación y aplicación del acero

CLASIFICACIÓN DEL ACERO. Los aceros se clasifican en cinco grupos principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultra resistentes, aceros inoxidable y aceros de herramientas.

Aceros al carbono: El 90% de los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen una cantidad diversa de carbono, menos de un 1,65% de manganeso, un 0,6% de silicio y un 0,6% de cobre.

Aceros de baja aleación ultra resistentes. Es la familia de aceros más reciente de las cinco. Estos aceros son más baratos que los aceros convencionales debido a que contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación. Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono. Este material se emplea para la fabricación de vagones porque al ser más resistente, sus paredes son más delgadas, con lo que la capacidad de carga es mayor.

Además, al pesar menos, también se pueden cargar con un mayor peso. También se emplea para la fabricación de estructuras de edificios.

Aceros inoxidable. Estos aceros contienen cromo, níquel, y otros elementos de aleación que los mantiene brillantes y resistentes a la oxidación. Algunos aceros inoxidable son muy duros y otros muy resistentes, manteniendo esa resistencia durante mucho tiempo a temperaturas extremas. Debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos. También se emplean mucho para tuberías, depósitos de petróleo y productos químicos por su resistencia a la oxidación y para la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos porque resiste a la acción de los fluidos corporales. Además se usa para la fabricación de útiles de cocina, como pucheros, gracias a que no oscurece alimentos y es fácil de limpiar.

Aceros de herramientas. Estos aceros se emplean para fabricar herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas. Contiene wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que le proporcionan una alta resistencia, dureza y durabilidad.

PRODUCCION Y REFINACION DE ARRABIO

Clasificación simplificada de los aceros para herramientas.

División Aceros Inoxidables

Tabla I Designación AISI/SAE Aceros al carbono Baja Aleación

Sistema de designación AISI/SAE: La tabla I presenta un extracto del sistema de designación de aceros AISI/SAE para aceros al carbono y de baja aleación. Se puede apreciar que el sistema está basado en cuatro dígitos, de los cuales el primero designa la combinación principal de elementos aleantes, el segundo define los rangos de composición específicos y los dos últimos reflejan el contenido de carbono del acero. La tabla II entrega cifras de propiedades mecánicas típicas encontradas en aceros de la designación AISI/SAE, para las condiciones de reconocido y normalizado. Cabe hacer notar que estos valores no son sólo referenciales, dado que el sistema AISI/SAE es sólo de designación. Finalmente se entrega en la Tabla III un extracto de temperaturas de precalentamiento recomendadas para la soldadura de aceros AISI/SAE. Cabe observar de las tablas precedentes, las siguientes relaciones que podrán ser analizadas más adelante:

- La resistencia mecánica aumenta y la ductibilidad disminuye, con el aumento del contenido de carbono del acero.
- La diferencia de dureza entre el estado reconocido y estado normalizado aumenta en la medida que aumenta el grado de la aleación.
- Las propiedades en el estado reconocido varían solo ligeramente en función del grado de aleación.
- La temperatura del precalentamiento recomendada aumenta con el espesor de las planchas a unir.
- La temperatura de precalentamiento aumenta con el contenido de carbono y de elementos aleantes del acero.
- La composición química se ajusta a los espesores de plancha cubiertos. Mayores espesores en general requieren mayores contenidos de carbono y aleantes para cumplir con las cifras mecánicas.
- El logro de mayores cifras mecánicas en general está asociado al uso de mayores niveles de elementos aleantes y no necesariamente a mayores contenidos de carbono
- Los aceros estructurales de tipo templado y revenido (ASTM-514) presentan resistencia mecánica considerablemente más alta que los normalizados, sin un deterioro importante de su ductilidad.

Acero Inoxidable AISI 304.

NOMENCLATURA DE LOS ACEROS SISTEMA S.A.E - A.I.S.I

Como la microestructura del acero determina la mayoría de sus propiedades y aquella está determinada por el tratamiento y la composición química; uno de los sistemas más generalizados en la nomenclatura de los aceros es el que está basado en su composición química.

En el sistema S.A.E. - A.I.S.I, los aceros se clasifican con cuatro dígitos XXXX. Los primeros dos números se refieren a los dos elementos de aleación más importantes y los dos o tres últimos dígitos dan la cantidad de carbono presente en la aleación. Un acero 1040 AISI es un acero con 0.4%C; un acero 4340 AISI, es un acero aleado que contiene 0.4%C, el 43 indica la presencia de otros elementos aleantes.

Las convenciones para el primer dígito son:

1 - MANGANESO 2 - NIQUEL 3 - NIQUEL-CROMO, principal aleante el cromo 4 - MOLIBDENO 5 -
CROMO 6 - CROMO-VANADIO, principal aleante el cromo 8 - NIQUEL-CROMO-MOLIBDENO, principal
aleante el molibdeno