



Universidad  
**itaca**   
*Ad excellentiam per conscientiam*

# PROCESOS INDUSTRIALES

Tutorial  
Sesión 1



M en C Rogelio Velasco Salazar

**NOMBRE DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE**

PROCESOS INDUSTRIALES

**CLAVE DE LA ASIGNATURA**

LII 216

**OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA:**

Al término del curso, el alumno analizará los problemas relativos a la producción de bienes, identificando su proceso de fabricación en distintas fases, hasta la obtención de un producto final.

**Sesión 1**

**1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO**

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

1.1.1. Explotación y traslado

1.1.2. Trituración y molienda

1.1.3. Briqueteado

1.1.4. Peletización

**OBJETIVO:**

Al término de la sesión, el alumno conocerá y comprenderá los procesos de explotación y traslado, trituración y molienda, briqueteado y peletizado del hierro.

# 1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

## 1.1. Proceso tecnológico de la extracción del mineral de hierro 1ª función<sup>1</sup>

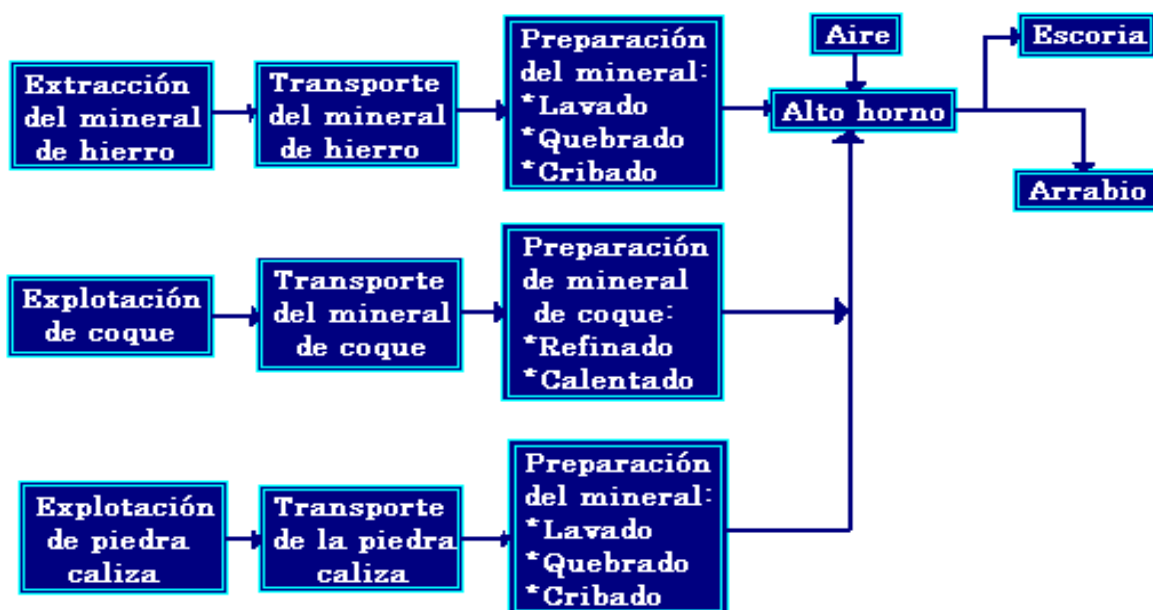


Figura 1

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). Ver fig 1.

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 ( $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ ) 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 aspersion 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:

<sup>1</sup>[http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1\\_III.html](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_III.html)

# 1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

- 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<sub>3</sub>). 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.

### Reducción directa del mineral de hierro

Para la producción del 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, hidrógeno o grafito. El procedimiento consiste en triturar la merma de hierro y pasarla por un reactor con los agentes reductores, con lo que algunos elementos no convenientes para la fusión del hierro son eliminados. El producto del sistema de reducción directa es el hierro esponja que consiste en unos pellets de mineral de hierro los que pueden ser utilizados directamente para la producción de hierro con características controladas. Ver fig. 2

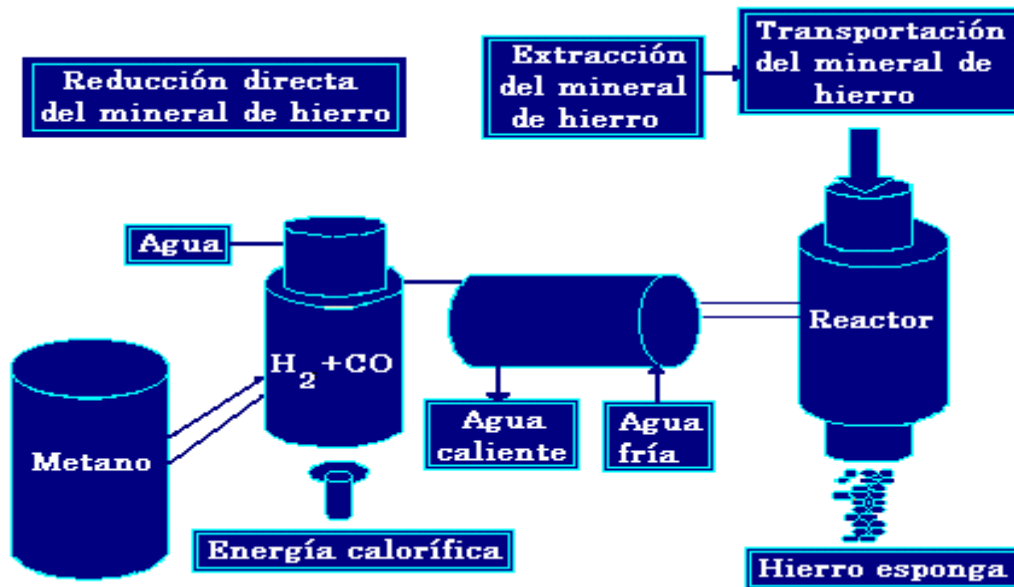
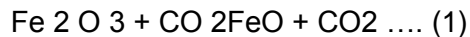


Figura 2

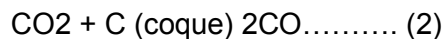
Otra manera para producir hierro, es alimentar por la parte superior de un alto horno una carga con capas alternadas de coque, piedra caliza y mineral de menas de hierro. Un alto horno es virtualmente una planta química que reduce continuamente el hierro del mineral. Químicamente desprende el oxígeno 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).

## 1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

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, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 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):<sup>2</sup> ver fig. 3



El bióxido de carbono CO<sub>2</sub> reacciona con el coque para formar más monóxido de carbono:



el cual realiza la reducción final de FeO a hierro:

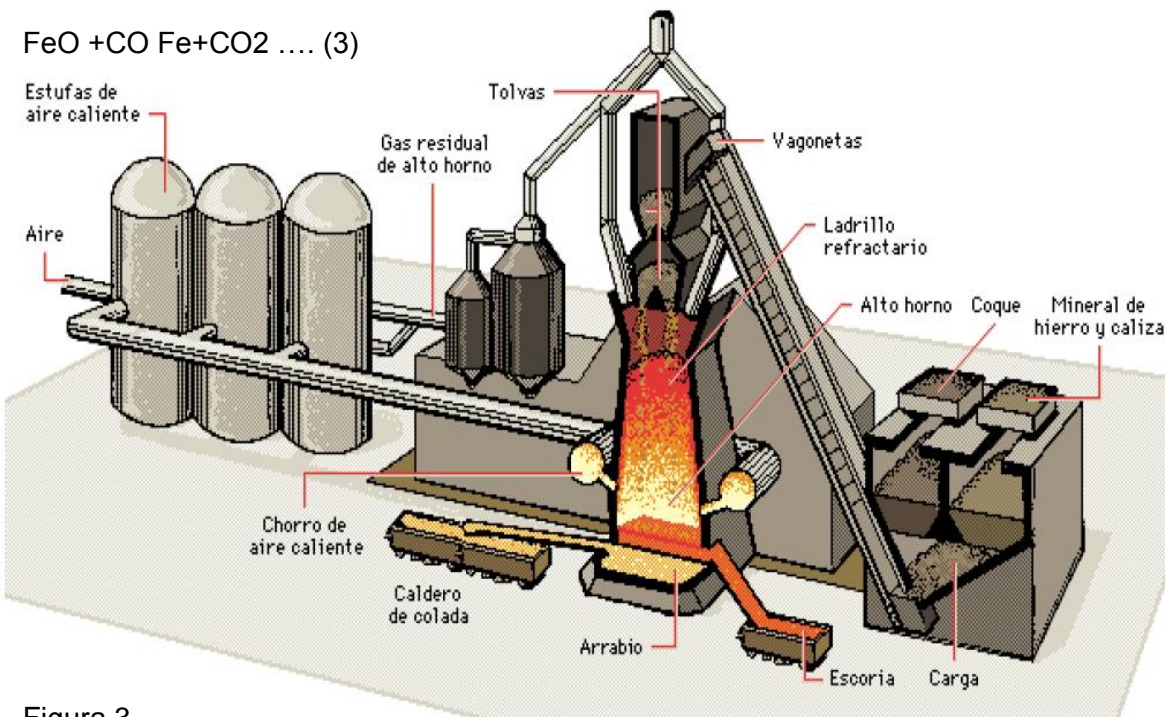
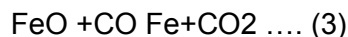


Figura 3

<sup>2</sup><http://pelandintecno.blogspot.mx/2010/09/obtencion-de-acero-y-fundiciones.html>

# 1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

El hierro fundido escurre hacia abajo, acumulándose en la base del alto horno. Ver fig 3. 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 (J):



La piedra caliza se combina con la sílice (Si O 2) presente en el mineral (la sílice no se funde a la temperatura del horno) para formar silicato de calcio (Ca Si O 4?), de menor punto de fusión. Si no se agregara la caliza, entonces se formaría silicato de hierro (Fe 2 Si O 4?), con lo que se perdería el hierro metálico, allí esta la importancia de la piedra caliza. La cal se combina con impurezas tales como sílice (Si O 2), azufre (S) y aluminio (Al 2 O 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. Ver fig.4

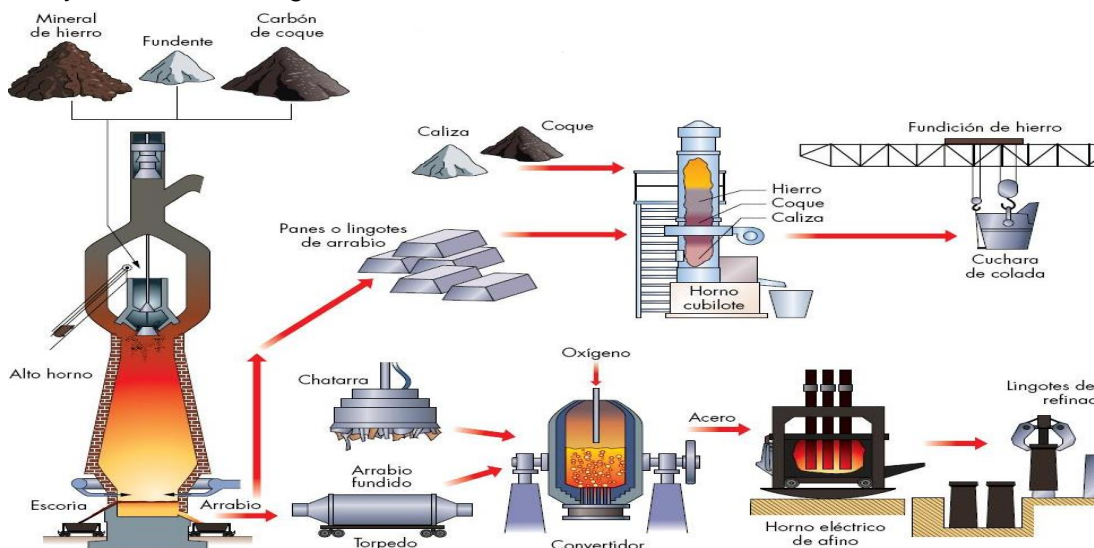


Figura 4

Altos hornos de México (AHMSA) tiene dos hornos uno de 400 y otro de 1000 toneladas.

## 1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

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<sup>3</sup>

#### 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 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 m<sup>3</sup> y de 10 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> cada uno).

---

<sup>3</sup> <http://profmgodoy.udem.edu.ni/?p=305>



## **1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO**

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 óptimas condiciones.

### **Extracción del Mineral de Hierro**

El mineral extraído de una mina de hierro 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.



## 1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO



Figura 5

Este es el caso de las minas Los Colorados y Algarrobo. Ver figura 5

### PROCESO DE EXTRACCION EN LA MINA EL ROMERAL<sup>4</sup>

#### 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 espaciado 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.

<sup>4</sup><http://web.usach.cl/ima/enviroeduca/minera1.html>

## 1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

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.



**Figura 6**

### **CARGUÍO:**

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 yd<sup>3</sup> (\*) de capacidad, mientras los cargadores frontales utilizan baldes de 11.7 yd<sup>3</sup>. 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. (\*) yd<sup>3</sup> : 1 Yarda = 0,9144 metros. Ver fig. 7



**Figura 7**

# 1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

## 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%. Ver fig. 6

## 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<sup>5</sup>

#### 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. Ver fig. 8

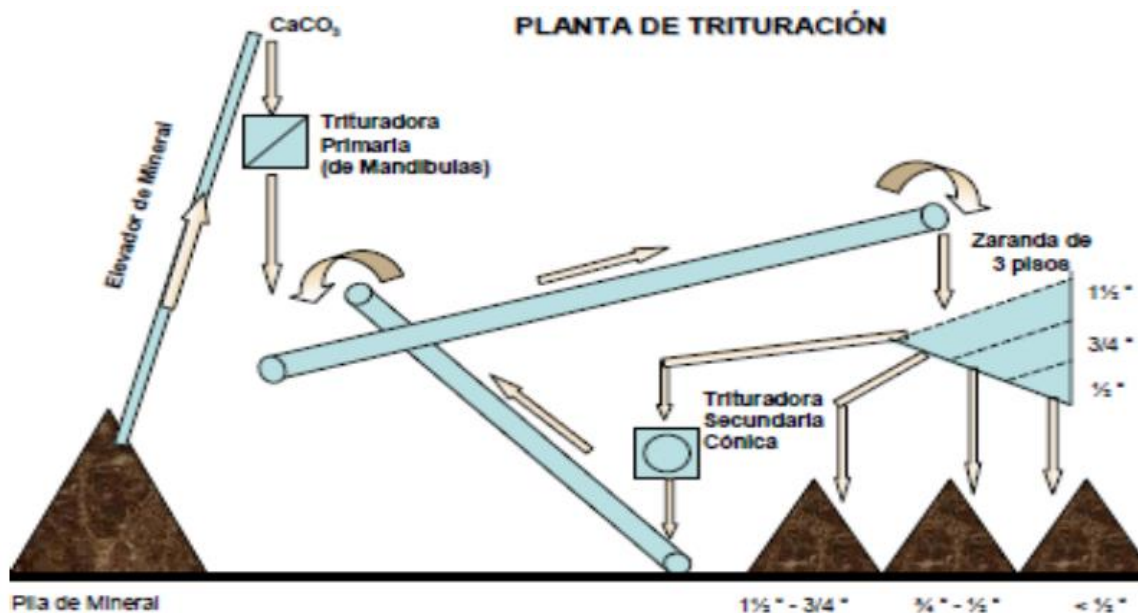


Figura 8

<sup>5</sup><http://procemanufactura.blogspot.mx/2013/06/proceso-de-obtencion-del-hierro-y-del.html>

#### CLASIFICACIÓN:

## 1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

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. Ver fig. 9

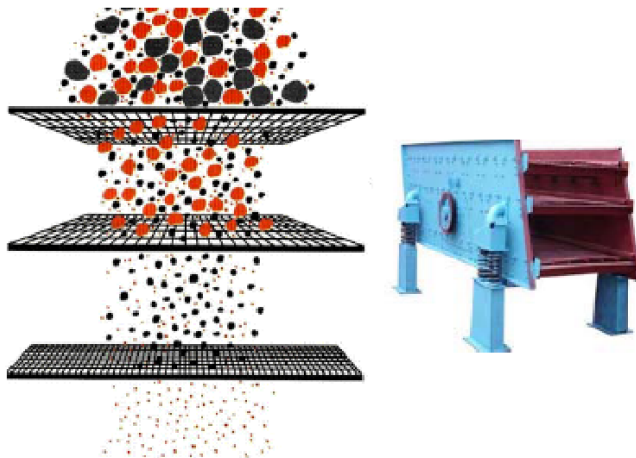


Figura 9

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. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

## 1.1.4. Peletización

### Proceso de Peletización del Hierro<sup>6</sup>

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. Ver fig. 9 y 10

### Molienda y Concentración:

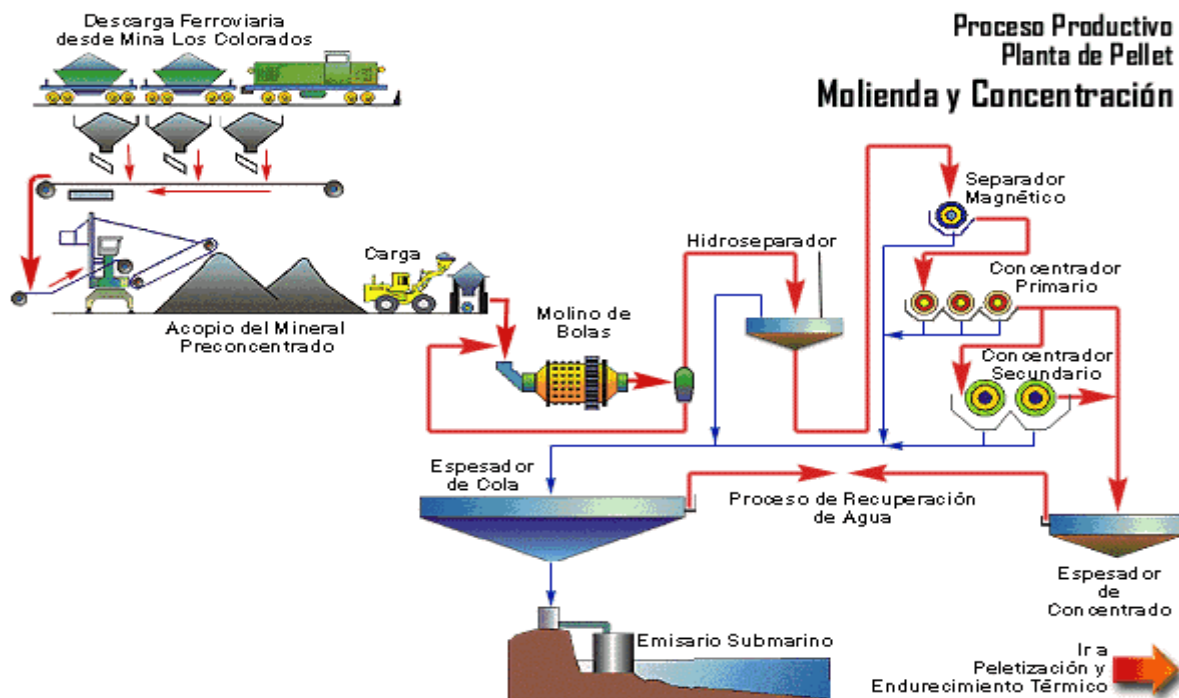


Lámina 1/2

Figura 9

<sup>6</sup><http://www.trituradoras-machacadora.mx/blog/trituradora-de-hierro-proceso-de-obtencion-del-hierro-hierro-mineral-de-la-planta-de-trituracion.html>



# 1. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO Y DEL ACERO

## Peletización y Endurecimiento Térmico:

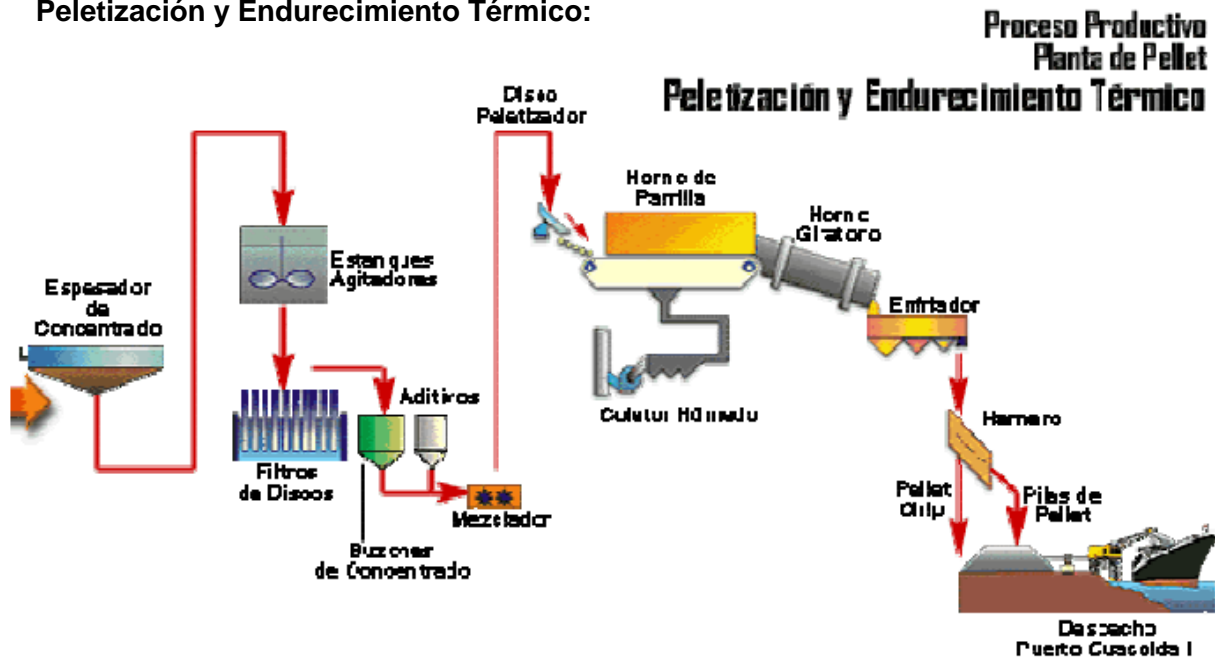


Figura 10

## Fuentes de Información

### a) Páginas web

<sup>1</sup> [http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1\\_III.html](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_III.html)

<sup>2</sup> <http://pelandintecno.blogspot.mx/2010/09/obtencion-de-acero-y-fundiciones.html>

<sup>3</sup> <http://profmgodoy.udem.edu.ni/?p=305>

<sup>4</sup> <http://web.usach.cl/ima/enviroeduca/minera1.html>

<sup>5</sup> <http://procemanufactura.blogspot.mx/2013/06/proceso-de-obtencion-del-hierro-y-del.html>

<sup>6</sup> <http://www.trituradoras-machacadora.mx/blog/trituradora-de-hierro-proceso-de-obtencion-del-hierro-hierro-mineral-de-la-planta-de-trituracion.html>