

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



RECURSOS NATURALES, BENEFICIO Y PRODUCCION DEL COBRE Y DEL HIERRO EN LA REPUBLICA MEXICANA (MATERIAL DIDACTICO PARA EL LABORATORIO DE CIENCIA BASICA DE LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES DE CUAUTITLAN.)

184

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Ingeniero Químico Metalúrgico

P R E S E N T A

JOSE DE JESUS GARCIA ZALDIVAR

México, D. F.

1976



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS 1976

ADG M.t. 1

FECHA

PROC. 186



QUIMICA

H. JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	ING. JOSE MA. GARCIA SAINZ.
VOCAL	ING. JORGE LUDLOW LANDERO.
SECRETARIO	ING. CARLOS CASTAÑEDA ESTRADA.
1er SUPLENTE	ING. ALBERTO OBREGON.
2o. SUPLENTE	ING. HUMBERTO LARIOS VELARDE.

SITIO EN DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CUAUTITLAN

SUSTENTANTE


JOSE DE JESUS GARCIA ZALDIVAR.

ASESOR DEL TEMA


ING. CARLOS CASTAÑEDA ESTRADA.

A mi esposa:

JUDITH ROJAS

Por su gran ayuda y apoyo moral.

A mi hermano:

JOSE LUIS GARCIA Z.

Como muestra de mi agradecimiento infinito.

A mi asesor:

CARLOS CASTAÑEDA E.

Por servirme como guía y su ayuda desinteresada.

Al Sr. Cura:

ELISEO VELASCO,

A mi tía:

JOSEFA GARCIA

Y mis hermanos:

RICARDO, JOSE LUIS Y MIGUEL

que con su dirección y esfuerzo hicieron posible
mi carrera.

A mis suegros:

ISABEL JUDITH ARAGON Y JUAN ROJAS

Por su confianza y apoyo.

P R I M E R A P A R T E

" E L H I E R R O "

INTRODUCCION

El Laboratorio de Ciencia Básica del Segundo Semestre, se propone el estudio del tema: Beneficio, Recursos Naturales y Extracción de un Metal. Este estudio también abarca los problemas socioeconómicos de una manera sencilla, así como el conocimiento del comercio del hierro y monografía general del metal.

Con la idea de que los alumnos ubiquen su trabajo experimental dentro de la realidad nacional en torno a un metal, y para que efectúe un estudio integral de él.

Por otra parte, el L.C.B. II, se ha propuesto, que el alumno sin abandonar el laboratorio de trabajo, cuente con la información necesaria para el desarrollo de su guía metodológica y con ella pueda efectuar los trabajos que allí se proponen.

Actualmente el L.C.B. del departamento de Química de ENEP Cuatitlán, cuenta con una escasa biblioteca, en virtud de que es una escuela recién instalada, lo cual hace mas necesaria la elaboración de material didáctico expresamente escrito.

También el L.C.B. se ha propuesto la creación de material audiovisual con la idea de formar una Aula Audiovisual de tipo pedagógica e informativa, para lo cual se ha pensado el material que aquí se presenta y consta de tres aspectos fundamentales a saber:

- 1.- Monografía General del Metal.
- 2.- Colección de Folletos y Revistas para Información Adicional.
- 3.- Serie de Filminas y Guión.

Los temas que se tratan en este trabajo son de interés, en cuanto que atañen a la problemática existente en el país respecto al metal hierro, su importancia y desarrollo en el mundo, y en México, en particular en lo que se refiere a producción y utilización, el comercio del hierro y de su principal aleación: El Acero.

El primer aspecto comprende el estudio monográfico del metal, donde se analizan los temas más comunes en su referencia como son:

Recursos naturales, estado natural, geoquímica, propiedades físicas y químicas, procesos de extracción y beneficio, así como los de producción de acero y datos generales del comercio del hierro y el acero.

El propósito de este primer aspecto es, como se dijo antes, ubicar al alumno en torno a la realidad del metal industrial y socioeconómica, para que a partir de datos de esta obra, elabore su trabajo experimental y conteste su guía metodológica satisfactoriamente adquiriendo un conocimiento general de los temas que abarca.

Además, los alumnos tendrán en este trabajo la ventaja de una información práctica y rápida, ya que su contenido procede de varias fuentes, lo que evitará que los alumnos busquen esta información fuera de la escuela, ahorrándoles tiempo.

El segundo aspecto consiste de una colección de revistas y folletos donde se puede obtener información adicional de los temas que aquí se tratan y algunos otros que también son importantes relacionados con el hierro, para que, si el lector quiere ahondar mas en un tema, solo tenga que solicitarlo al consultar la lista de referencias que aparece al final de esta monografía, ya que esta colección se encuentra en el L.C.B. lista para quienes la soliciten.

El tercer aspecto corresponde a la presentación del proceso de extracción, beneficio y obtención del metal y la producción de acero, además de algunos datos acerca del comercio del hierro y del acero; todo esto de una manera ilustrativa, mediante filminas.

En este aspecto, se pretende que el alumno entienda los procesos en cuestión, mediante sesiones audiovisuales donde se observará la colección de filminas mientras que el asesor da lectura a los párrafos correspondientes a cada filmina, integrados todos estos a manera de guión, en que se explica lo referente a cada una, guardando una secuencia, lo que permite una rápida presentación manteniendo el interés del alumno logrando así un buen aprovechamiento.

INDICE DE MATERIAS

TEMA: I.-	IMPORTANCIA DEL HIERRO Y SU DESARROLLO	Pág.	1 ✓
	Métodos Primarios de Fundición de hierro	Pág.	3
	Nacimiento del alto horno	Pág.	5
	Los Martillos Móviles	Pág.	8
	Hornos de Fusión Directa. La Cúpula	Pág.	9
	Del Carbón al Coque en el Alto Horno	Pág.	11
	Los Primeros Molinos Aplanadores	Pág.	12
	La Edad del Acero	Pág.	14
TEMA: II.-	EL HIERRO Y EL ACERO EN MEXICO	Pág.	23 ✓
	Epoca Prehispánica	Pág.	23 ✓
	Epoca Virreinal	Pág.	23
	Siglo XIX	Pág.	24
	Nuestro Siglo	Pág.	25
TEMA: III.-	GEOQUIMICA DEL HIERRO	Pág.	26
	Abundancia y Carácter Geoquímico	Pág.	26
	Hierro en Rocas Igneas	Pág.	27
	Minerales de Hierro de Origen Magmático	Pág.	29
	Minerales de Origen Sedimentario	Pág.	30
	El Hierro en la Biósfera	Pág.	32
TEMA: IV.-	EXISTENCIA DEL METAL	Pág.	34
	Minerales de hierro de Primera Importancia	Pág.	35
	Minerales de Hierro de Menor Importancia	Pág.	35
TEMA: V.-	PROPIEDADES FISICAS DE HIERRO	Pág.	38
TEMA: VI.-	QUIMICA DEL HIERRO Y SUS PRINCIPALES COMPUESTOS ...	Pág.	40
	Propiedades Químicas	Pág.	40
	Reacciones del Hierro	Pág.	40

VII

	Reacciones con el Oxígeno	Pág.	40
	Reacciones con el Azufre	Pág.	41
	Halógenuros	Pág.	43
	Otras Sales	Pág.	44
	Química de las Soluciones Acuosas	Pág.	45
	Complejos	Pág.	46
TEMA: VII.-	FUNDAMENTOS DE LOS METODOS DE ANALISIS DEL HIERRO - EN SUS MINERALES	Pág.	49
	Determinación Volumétrica de Hierro Total	Pág.	50
	Otros métodos	Pág.	51
TEMA: VIII.-	TECNICAS DE PREPARACION DE LOS MINERALES DE HIERRO. Pág.		52
	Fracturación	Pág.	52
	Molienda	Pág.	55
	Lavado	Pág.	57
	Concentración	Pág.	58
	Calcinación y Calentamiento	Pág.	61
	Sinterización	Pág.	61
TEMA: IX.-	EL BENEFICIO DEL HIERRO	Pág.	64
	El Alto Horno	Pág.	65
	Funcionamiento	Pág.	71
	Reacciones Químicas	Pág.	72
	Fabricación de Acero	Pág.	74
	Afino Electrotérmico	Pág.	82
	Reducción Directa	Pág.	84
TEMA: X.-	EL COMERCIO DEL MINERAL DE HIERRO	Pág.	87
	Nuevos Recursos y Reservas de Mineral de Hierro ...	Pág.	88
	Estimaciones de Recursos de Mineral de Hierro en el Mundo	Pág.	89
	Nuevos Requerimientos de Inversión	Pág.	90
	Nueva Operación del Hierro y el Acero	Pág.	91

TEMA: XI.-	ANALISIS SOCIOECONOMICO DEL HIERRO Y EL ACERO EN - MEXICO	Pág.	92
	Principales centros mineros productores de hierro en la República Mexicana	Pág.	92
	Producción Mundial de Hierro	Pág.	93
	Producción de Acero Crudo en México	Pág.	94
	Importación y Exportación de Productos Siderúrgi- cos	Pág.	95
	Pronóstico de Demanda y Programas de Producción ...	Pág.	96
	Tabla Comparativa del Comercio del Hierro	Pág.	96
	Exportación Nacional de Productos Siderúrgicos	Pág.	97
	Importación Nacional de Productos Siderúrgicos	Pág.	98
	México como Productor de Acero ante el Mundo.....	Pág.	99
	México como Productor de Acero ante Latinoamérica .	Pág.	99
	Producción Mundial de Acero	Pág.	100
	Producción de Acero en América Latina	Pág.	101
TEMA XII.-	EL FUTURO DEL HIERRO	Pág.	102
	INTRODUCCION	Pág.	IV
	INDICE DE MATERIAS	Pág.	VI
	BIBLIOGRAFIA	Pág.	IX
	Lista de Revistas y Folletos en donde se puede obte ner información adicional a esta obra y con los que cuenta el L.C.B.	Pág.	IX
	Libros y Fuentes de Información empleados en la el <u>a</u> boración de esta obra	Pág.	XI
	A P E N D I C E :		
	MATERIAL AUDIOVISUAL DEL L.C.B. II	Pág.	A

IMPORTANCIA DEL HIERRO Y SU DESARROLLO.-

El desarrollo de la civilización está estrechamente relacionado con el uso del hierro; cuanto mas intenso era el uso que un pueblo hacia del hierro en sus múltiples formas, tanto mayor era su importancia. Cuando un pueblo empezaba a salir de su estado salvaje, empezaba a dejar huellas de los metales que usaba. Los restos que han dejado los pueblos prehistóricos muestran que éstos conocían el hierro, la plata, el cobre, el cinc, el estaño y el plomo. Las obras que tratan de la evolución cultural del hombre prehistórico establecen la sucesión de la edad de la piedra, la edad del bronce y la edad del hierro en el orden en que se mencionan.

El hombre conoció el hierro hace casi 6,000 años, pero en ese entonces no lo extraía de la tierra, sino que le caía del cielo. Nunca se encuentra al hierro en estado nativo como sucede con algunos otros metales. El hierro hallado por los primitivos procedía del espacio, que en forma de meteoritos, caían a gran velocidad sobre la tierra. Estos meteoritos están compuestos de materia rocosa mezclada con hierro y níquel. Es muy raro que los meteoritos se compongan unicamente del metal.

Mucho antes de que los hombres llegasen a saber como separarlo de las rocas y la tierra que contienen mineral de hierro, diversas razas ya hacían instrumentos que obtenían de los meteoritos.

El primer uso del hierro, relacionado con la religión, la mitología y el folklore, fué el del hierro meteórico, que no solo sirvió para las herramientas del hombre primitivo, sino que además se le suponían poderes sobrenaturales en virtud de que caían del cielo (puesto que los metales nativos encontrados en el estado metálico y fácilmente trabajados, fueron los primeros que se usaron, el hierro meteórico puede muy bien haber sido la primera fuente de utensilios de hierro).

No es posible saber con exactitud cual fué la primera tribu o región a la que deba atribuirse el haber descubierto el hierro y su utilización, ya que en las reliquias y obras que quedan de los artesanos de las ciudades mas antiguas, sólo son artefactos de piedra, bronce y metales nobles que podían resistir los estragos de la corrosión atmosférica. En algunas regiones de —

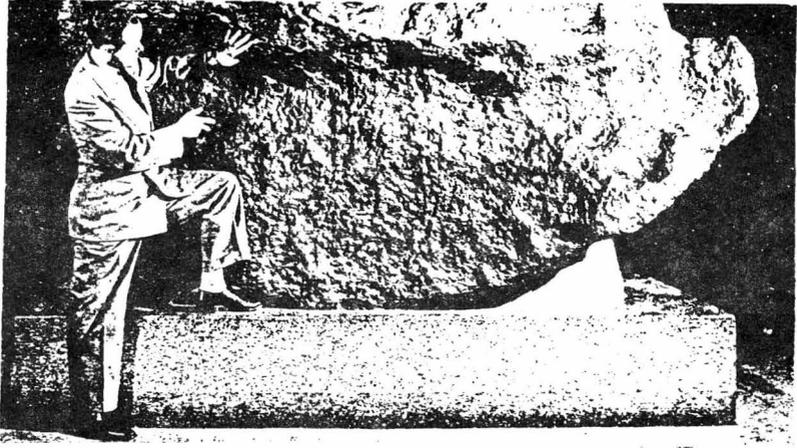


Fig. 1.- Meteorito de Cabo York, llamado Anhigito por los esquimales. Es el meteorito más grande que existe en el mundo en exhibición. Los antiguos obtenían el hierro primario de los meteoritos, al cual le llaman metal del cielo. (Museo Americano de Historia Natural).



Fig. 2.- Un día, el hombre descubre que con el auxilio del fuego puede forjar el metal que le dará el motor y el esqueleto de todo progreso. El hombre crea en el hueco de su mano su primera vasija.

Egipto, El Cercano Oriente y China, se han encontrado pruebas de que el hierro se usaba ya hacia el año 4,000 a.c. Según esto, el origen de la producción de hierro, debía de estar en algún puerto de Asia o Africa, desde donde se extendió el arte siderúrgico poco a poco. Los fenicios y los romanos se llevaron hasta la Europa Occidental e Inglaterra y a las regiones próximas del Mar Negro los conocimientos que poseían sobre el arte de producir hierro.

En el Continente Americano, antes de la llegada del hombre blanco, no había otro hierro que las herramientas y las armas hechas con hierro meteórico por los primitivos, los cuales lo apreciaban más que el oro. La primera instalación para producir hierro en América, fue construida en Jamestown, hacia el año 1619, no llegó a trabajar y fue abandonada a causa de un cúmulo de dificultades.

La primera fábrica que produjo hierro fue empezada a construir por — John Winthrop Jr., en Saugus, cerca de Lynn Massachusset, hacia el año de 1645 y fue pronto seguida por otra, que data de 1648, en Braintree, Mass., y una — tercera en New Haven, Conn, hacia 1658.

MÉTODOS PRIMARIOS DE FUNDICIÓN DE HIERRO.—

Los procesos de fundición de hierro se basan en lo siguiente: El hierro se combina fácilmente con el oxígeno, lo cual explica porque la mayoría de los minerales de hierro son oxigenados y porque el hierro se oxida en la atmósfera. El hierro contiene cantidades variables de otros elementos como — son: silicio, azufre, manganeso, fósforo y otros. La fundición o reducción de mineral de hierro esta basada en la atracción del oxígeno para con el carbón — bajo ciertas condiciones de calor.

Cuando el mineral de hierro es calentado en presencia de una cantidad suficiente de carbón, varias reacciones se llevan a cabo, las cuales dependen de la temperatura, la cantidad de carbón presente, y la protección que se le — de al mineral de hierro para evitar el contacto directo con el aire. A temperaturas comparativamente bajas del orden de 820 a 850 °C, el mineral de hierro empieza a desprender algo de su oxígeno, el cual se combina con el carbón para

formar monóxido de carbón. Cuando se alcanza una temperatura de 915°C , se forma una masa esponjosa de hierro relativamente puro, mezclada con restos de carbón e impurezas liberadas del mineral o materias de deshecho llamadas escoria. Si se alcanza la temperatura de $1,200^{\circ}\text{C}$, el hierro empieza a absorber carbón rápidamente, y en este punto, el hierro empieza a licuarse. En la fusión, el carbón tiene una doble función; genera calor y reacciona con el oxígeno en el mineral.

El método de producir esponja de hierro fué originalmente en un horno simple. Con un par de tenazas era mezclada la carga consistente en mineral de hierro y carbón; previamente molida sobre planchas de piedra. El producto era martillado o forjado sobre yunque para eliminar las cenizas de carbón y la escoria; cuando era enfriado, para ser trabajado mas tarde, se calentaba previamente con fragua y carbón y se martillaba otra vez. Se repetía este proceso hasta que tenía una masa compacta de hierro puro relativamente. Este hierro forjado que contenía de 0.02 a 0.08% de carbón. El carbón tiene un efecto endurecedor sobre el hierro. La mínima cantidad de carbón en el hierro forjado para hacer al metal dúctil y maleable, era justamente la que obtenían.

En algunos casos, al alcanzar la temperatura de $1,200^{\circ}\text{C}$, la esponja de hierro absorbía de 3 a 4.5% de carbón y se fundía. Este es hierro colado. Una proporción tal de carbón hace al hierro duro y algunas veces quebradizo y no puede ser forjado a ninguna temperatura.

La forja era un horno pequeño en el cual el carbón era calentado hasta quemarlo por medio de fuelles operados con las manos o con los pies. La forja fue empleada, como su nombre lo implica, para calentar el hierro hasta las condiciones de forja al rojo vivo con martillo.

El primer horno usado para fundir hierro, consistía en un simple hoyo cavado en la tierra, el cual era delineado con arena. Era alimentado con una corriente constante de aire mediante dos o mas partes de fuelles hechos de piel de animal presionándolos con los pies o las manos. El aire era inyectado al horno en su parte inferior a través de agujeros hechos con arena o bambú.

Este tipo de hornos, persistió durante muchos siglos con solo algunos avances de diseño y aún persiste en algunas partes de Africa hoy día.



Fig. 3.- Horno primitivo para fundir hierro. Este horno ha existido desde — los tiempos mas antiguos y aún se sigue usando en algunas partes de Africa y Asia. El horno produce de 5 a 6 poundals por carga.

Posteriormente, las ramas y la arena fueron reemplazadas por muros de piedra y el horno fué levantado y formado con muros de piedra de 3 ó 4 pies de altura. El mineral de hierro y el carbón eran puestos dentro del horno. Este proceso se llama "cargar el horno". Se proporcionó fuego, y el horno fué pues to en operación hasta que era formada una pasta mezclada con escoria.

El hierro forjado era excelente para muchos propósitos, pero hasta an tes de que se conocieran varias técnicas metalúrgicas, representó algo de utilidad menor que la que se obtenía con cobre y bronce, porque estos no retenían algunos extremos cortados. La razón era que las cantidades de carbón en el — hierro forjado eran pequeñas. Además, el hierro forjado de bajo carbón, no — puede ser endurecido por temple (templar significa enfriar rápidamente por inmersión en agua o aceite).

El temple era conocido desde tiempos muy antiguos. Se endurecía al — hierro con una cantidad moderada de carbón haciendo posible esto al conser— var la masa de hierro en contacto con carbón caliente un tiempo suficiente has ta la absorción de un porcentaje de carbón considerable para su endurecimiento

NACIMIENTO DEL ALTO HORNO.-

Después del derrumbe del imperio romano, hacia el año 476 d.c., la -

industria del hierro fue desarrollada solo pobremente en la mayoría de los países de Europa por varios siglos. La excepción fue Cataluña en el norte de España, donde la fabricación del hierro continuó sin interrupción y se desarrolló un procedimiento de fundición de hierro con una forja llamada "Forja Catalana", lo cual representó el primer avance importante en la fundición del hierro desde los tiempos mas antiguos.

La Forja Catalana generalmente era construida al pie de una colina, donde la colina formaba el muro trasero. El lecho era formado con piedra, dándole una forma cuadrada de aproximadamente 30 pulgadas de lado; se colocaban muros de piedra en el frente y ambos lados. A una corta distancia del lecho en el muro del frente se hacía un hoyo para la entrada de la tubería que proporcionaría la corriente de aire proveniente de los fuelles. El lecho era apilado en una columna en la parte posterior del horno y el carbón era apilado en otra columna al frente del mismo. El proceso de fundición era el mismo que el de los hornos antiguos.

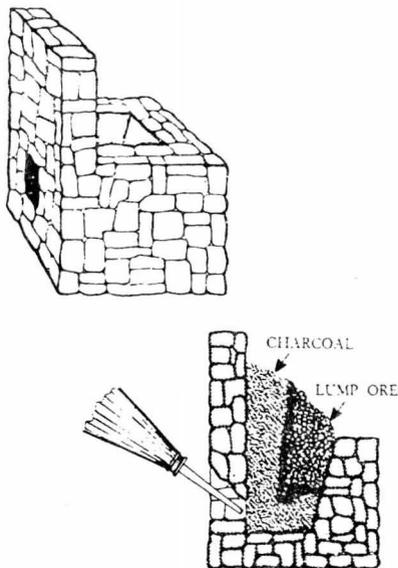


Fig. 4.- La Forja Catalana representó el primer avance importante en la fundición de hierro. La sección cortada muestra la forma de cargar el mineral de hierro y la posición del tubo y fuelle, a través del cual el aire era alimentado.

La principal ventaja del Fuelle Catalan. fué su gran productividad, - ya que anteriormente la máxima producción era de 50 poundals y la Forja Catalana podía fundir 350 poundals.

La Forja Catalana llegó a ser el medio mas comunmente usada para la fundición del hierro en Europa durante la Edad Media. Más tarde, se dispersó a los países civilizados donde se fabricaba hierro. Aún en el siglo pasado, - persistía el uso de la Forja Catalana con su simplicidad original en las montañas de España y Francia así como en Estados Unidos.

"STUCKOFEN Y BLOOMERY" .-

En un esfuerzo por mejorar la producción de hierro en la Forja Catalana, se elevó la altura de las paredes de piedra, dándole forma de chimenea hasta 10 pies y después hasta 16 pies. Este horno llegó a ser conocido como - "stück", lo cual significa "pieza". En Inglaterra, el horno de taller era llamado "bloomery" o sea el término empleado para nombrar la masa esponjosa tomada del horno.

El Stuckofen producía una masa de hierro de peso entre 400 y 800 poundals comparadas con las 350 poundals de la Forja Catalana. El proceso requería de varios hombres fuertes para extraer la masa de hierro del horno y también se corto en dos partes iguales llamadas stuckes para facilitar su tratamiento de forja. Cada mitad era cortada en secciones iguales suficientemente pequeñas para que el hombre pudiese manipularlo; entonces, era recalentado y martillado en yunques dándole forma para su venta.

La producción anual de un Stuckofen era de 100 a 150 toneladas de hierro, pero no trabajaba el año completo, porque las lluvias perjudicaban su funcionamiento y entonces durante el verano dejaba de funcionar.

NACE EL PRIMER ALTO HORNO.-

Ocasionalmente, el operador de un Stuckofen se sorprendió al observar

el desparramiento de hierro del fondo del horno, donde se endurecía. Había sido generado suficiente calor en presencia de un abastecimiento suficiente de carbón para la fusión del hierro. El hierro había absorbido suficiente carbón hasta llegar a ser quebradizo y difícil de trabajar en la forja a cualquier temperatura. Este hierro era poco útil para el fundidor, quien deseaba obtener hierro colado de bajo carbón. La masa de hierro solidificado, era, más tarde una molestia y un gasto de tiempo, ya que debía de ser llevado al horno nuevamente para fundirlo. En la primera parte del siglo XIV empezó a aparecer un nuevo término acerca de hornos de fundición de hierro; "flussofen", palabra alemana que significa horno de flujo, indicaba claramente que era capaz de producir hierro fundido. En Alemania fue también conocido como "hochofen" y en Francia como "haut fourneau", ambos términos significan alto horno.

Alertas a la promisoría fabricación de productos de hierro moldeados, muchos fundidores ajustaron sus hornos para producir hierro fundido, y el verdadero alto horno comenzó a ser posible. Es generalmente reconocido que los países que intervinieron en este gran triunfo metalúrgico fueron: Alemania, Francia y Bélgica. Estos hornos fueron capaces de producir hierro fundido.

LOS MARTILLOS MOVILES.-

El poder del agua fue el responsable de otros avances técnicos en la industria del hierro; la introducción de un martillo mecánico conocido como martillo móvil.

Desde el inicio de la edad de hierro, se empleaban martillos para refinar y darles forma a las partes de hierro al rojo vivo. Ahora el martillo móvil venía en ayuda permitiendo la forja de masas grandes de hierro. El martillo móvil, era un gran brazo de madera con una cabeza de hierro que pesaba varios cientos de poundals; un eje estaba fijo a la rueda de madera, provocando que el brazo se elevara y cayera golpeando el martillo hacia abajo sobre el hierro caliente. El martillo móvil podía llevar a cabo la labor de 20 hombres e incrementaba grandemente la productividad. Fue usado para fabricar la primera masa tosca de hierro.

En los primeros periodos de la fundición de hierro, su alto costo lo limitaba a la artillería y para productos de riqueza, pero como los altos hornos proporcionaban mayor producción y economía, el precio del hierro fundido quedó al alcance de mucha gente.

HORNOS DE FUSION DIRECTA. LA CUPULA.-

Si se deseaba hacer una fundición de hierro en grande, por ejemplo, para cañones ó anclas de barco, el hierro era llevado directamente del alto horno al molde. Para hacer pequeñas fundiciones como balas para cañón o placas gravadas, el hierro fundido era puesto en un foso de reserva. El hierro líquido era sacado de los fosos de reserva en cucharones con mangos de gran tamaño y entonces era puesto dentro de los moldes. Frecuentemente, el hierro de reserva se enfriaba y se endurecía antes de sacarlo de la fosa. Esto fué molesto, ya que limitaba la fundición de hierro a lugares cercanos del horno.

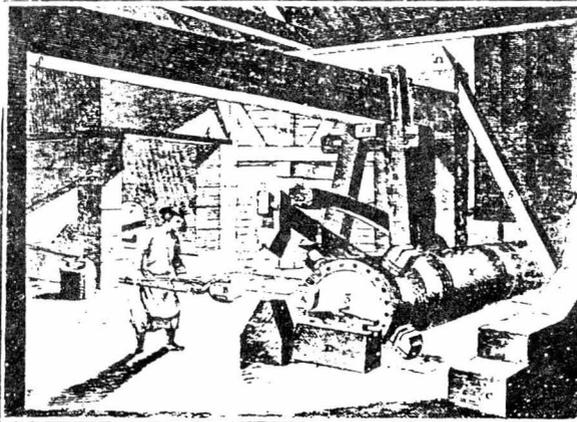


Fig. 5.- Forja de hierro fundido. Una pieza caliente es forjada con martillo móvil sobre una barra con extremos cuadrados. El movimiento de la cabeza de hierro del martillo móvil elevándose y cayendo, es provocado por una rueda movida por la caída y recirculación de agua de un pozo.

Alrededor de 1,700 fundidores de Francia se dedicaron a buscar un método para eliminar esas dificultades. El hierro fundido era llevado del horno a un canal de arena del cual se distribuía a otros canales mas pequeños donde se endurecía. Las grandes fundiciones llegaron a conocerse como "sow" y las pequeñas como "pig" (ambos términos significan sucio). Los "pigs" eran guardados en reserva hasta que se necesitaba usarlos, y se refundían en un horno por separado llamado Cúpula.

La cúpula representó un importante paso adelante en la producción de hierro fundido. La fundición no necesitaba estar cerca del horno para ser moldeada y era llevada a otros lugares para su tratamiento por conveniencia. La cúpula permitió que el pig iron (arrabio) llegase a ser un artículo de comercio. Así, una fundición podía moldearse cerca o lejos del horno, aún en regiones donde el hierro no fuera fundido y tuviese que ser embarcado.

El hierro fundido, a causa de su alto contenido de carbón era frágil y quebradizo y se astillaba o fracturaba al ser golpeado por el uso brusco que se le daba.

Fue un excelente material para productos como ollas, estufas, balas, etc., los cuáles no estaban expuestos a ser golpeados. Pero había numerosos productos de hierro como herraduras para caballo, aros de rueda, picos de arado y herramientas de muchas variedades cuya función era soportar el duro uso y el impacto. Para estos, el hierro fundido no era adecuado. Ellos requerían hierro maleable.

El problema que confrontaban era convertir el frágil arrabio en hierro maleable. El exceso de carbón y varias impurezas, principalmente azufre y fósforo eran oxidados o quemados, para eliminarlos del arrabio. Esto se hacía en una fragua llamada refinador.

El refinador se llenaba con carbón y era calentado a altas temperaturas.

Tres o cuatro piezas eran empujadas a lo largo sobre el fuego incandescente donde se removían con una larga barra de hierro para exponer sus superficies a la corriente de aire.

Los extremos de las piezas de arrabio se fundían como gotas de hierro las cuales cambiaban a hierro de bajo carbón por el efecto de la oxidación de la corriente de aire.

Las gotas eran reunidas para formar una masa esponjosa. Esta masa — era removida de la fragua y se trabajaba expertamente en el martillo móvil.

Después era recalentado en la refinadora y golpeado con el martillo — móvil hasta convertirlo en una barra de 3 pies de largo con tiradores cuadra— dos en los extremos. Esto era llamado un lingote.

En el paso final, el lingote era llevado a una segunda fragua conocida como limpiadora, donde era eliminada cáscara (escoria), donde era recalenta da y golpeada a mano para darle forma de barras de diferentes formas y medidas para su venta.

DEL CARBON AL COQUE EN EL ALTO HORNO.—

Desde antes de la edad de bronce, el carbón había sido el principal combustible usado en la fundición y el trabajo de los metales. La gran abundancia de bosques y la facilidad de obtener carbón, favorecieron el uso de este combustible. Los troncos eran apilados en una pileta cónica, la cual era — cubierta con tierra excepto un pequeño agujero por encima que servía de chimenea, había hoyos alrededor de la base para la admisión de aire. Este montículo funcionaba como horno ya que se creaba fuego en su interior. Se permitía — entrar suficiente aire a través de los hoyos en la base para conservar el fuego, pero no para encender las flamas.

El calor del fuego causaba que los troncos liberaran sus fluidos en — forma de vapor y aceites pesados dejando atrás una sustancia porosa gris que — era casi carbón puro.

Grandes cantidades de carbón era consumido por la industria del hie— rro en altos hornos, refinerías y cientos de herrerías se le daba forma al me— tal para los productos necesitados.

Era tan grande la cantidad de bosques en Inglaterra que los árboles — restituidos eran cada vez menos y en el siglo XIV había cada vez mas escanda— los y quejas contra los voraces molinos de hierro, aún había suficientes bos— ques en Alemania y Suiza, siendo los principales productores de hierro del con— tinente.

Las quejas fueron cada vez mas ruidosas contra las pérdidas de madera

de construcción para barcos, porque los "bosques eran los muros", los cuáles prevenían de los enemigos que pretendían invadir Inglaterra.

El duro roble era el deseado para los barcos ingleses de guerra y barcos mercantes al tiempo que la nación se expandía sobre el mar y se enfrentaba a España.

Cuando Isabel I llegó al trono en 1558, se encontró con un dilema. — ¿Cómo debía balancear las necesidades de madera para la construcción de barcos y para las industrias del hierro? Decretó varias medidas restrictivas en cuanto la tala de los árboles, pero no eran estrictamente forzozas y la industria inglesa del hierro continuó devorando sus propias raíces. Finalmente en 1584 la reina prohibió la construcción de nuevos trabajos de hierro en los principales distritos de fabricación del hierro.

El resultado trágico de esas medidas fue que la industria del hierro casi expiró. Entre 1612 y 1717 los trabajos de hierro de los datos británicos disminuyeron de 800 a 15 hornos y fraguas, o sea cerca del 96 %. Inglaterra dependía en gran cantidad de las importaciones de Suiza con Rusia y las colonias americanas agregadas a sus requerimientos.

El hombre que rescató la industria inglesa fue Abraham Dorby. Dorby es uno de los grandes hombres en la Historia entera de la industria del acero. Combinando las minas del hierro de Inglaterra y los lechos de carbón, revivió la moribunda industria del hierro y la preparó para elevarla a nuevas alturas de menor grandeza después del poder del vapor en la Revolución Industrial.

La mayor productividad de cobre quemado en altos hornos provocó una baja en el precio del hierro, con el resultado de que el uso del hierro se incrementó sustituyendo a la madera, cobre, plomo y latón. En menos de 100 años después de la muerte de Dorby, el mundo elevó la producción de coque para hierro de unos pocos miles de toneladas a más de 100,000 toneladas anuales.

LOS PRIMEROS MOLINOS APLANADORES.—

El hierro y el acero en condiciones al rojo vivo o forjado, consiste de una pequeña masa de cristales. Bajo la acción del golpeo y amasado del

martillo forjador, los cristales son rotos y separados alargándolos en un paquete cargado de fibras relacionados con la imprevista calidad del metal. La forja a mano tuvo 2 objetivos: darle forma al hierro y mejorar su calidad. El hierro rodado o acero es realmente una forma de forja mecánica.

Los remotos ancestros de ruedas masivos de la industria del hierro fueron cilindros recubiertos de estaño empleados por orfebres y joyeros para separar el oro y la plata así como para aplanarlos.

Por el siglo XVII los cilindros habían crecido bastante como para aplanar plomo y estaño hasta dimensiones de hojas y pliegos empleados para la fabricación de tubos para órgano; desde entonces los molinos aplanadores fueron mejorando y creciendo y finalmente fueron manejados por caballos o mediante el poder del agua.

Todos los molinos eran para metales que fueran lo suficientemente dúctiles para ser aplanados en frío. Parece ser que la primera aplanadora de metal caliente fué hecha para preparar hojas de hierro plano para el molino de corte. Puede que haya existido una combinación de molinos aplanadores y cortadores en Inglaterra en 1588. El molino aplanador de Major Handbury era una máquina independiente y no era ninguna combinación de molinos aplanadores y cortadores. En 1720 los molinos aplanadores de hojas de hierro cortado fueron muy comunes en Inglaterra y en todo el continente europeo.

En la figura número 6, se ve un molino aplanador y contador antiguo, el obrero aplanaba la barra de hierro al rojo vivo manteniéndola sujeta con tenazas para pasarla a través de un molino aplanador. Después la barra es cortada a la medida de un clavo por los discos agudos del molino cortador a la izquierda de la ilustración. Ambos molinos son manejados por rueda móvil de agua mostrada a la derecha.

Desde la caída de Roma al siglo XIX, la humanidad, a base de una lucha continua adquirió bastantes conocimientos e inventiva en la producción del hierro.

A principios del siglo XIX, en Europa, que era el continente donde mayor desarrollo había adquirido la industria del hierro; este progreso quedó estancado debido a la etapa de transformación que sufrían las naciones europeas ocasionada por la Revolución Industrial, etapa en la cual el progreso que se —

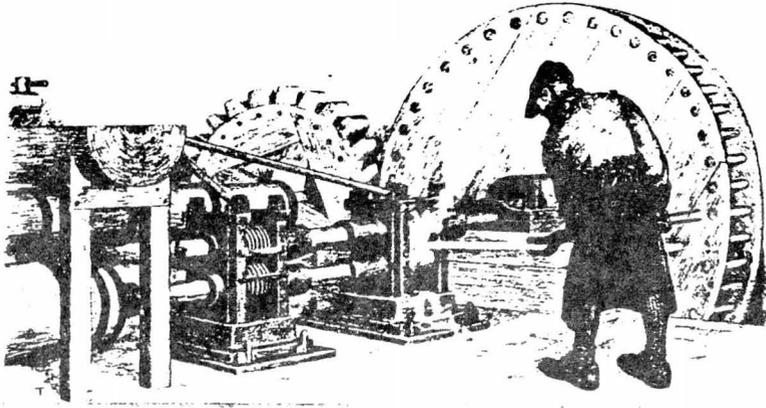


Fig. 6.-

había adquirido en la industria del hierro, había quedado en condiciones casi primitivas a pesar de que ya se contaba con la ventaja del uso del poder del vapor en la naciente era de la máquina.

Tuvieron que pasar muchos años para que pudieran superar esa etapa de subdesarrollo y volver a adquirir la prestancia y disponibilidad para levantar la industria del hierro. Esta prestancia y disponibilidad fué encontrada en hombres como William Kelly, Henry Bessemer, Robert Mushet y otros, quienes fueron los pioneros en la producción de acero que vino a constituir una nueva etapa en la edad del hierro.

LA EDAD DEL ACERO.-

El acero es una aleación de por lo menos dos elementos: hierro y carbono. La cantidad de carbono en el acero va de 0.06 a 2.0 %. Algunas veces el acero suele contener algunas cantidades de otros metales añadidos a propósito en la fusión, además de llevar algunas impurezas. Metales como el manganeso, que se encuentra en forma natural en algunos de los minerales de los que se obtiene el hierro, pueden ejercer un efecto favorable en la aleación del acero, pero una impureza como el azufre es perjudicial por lo que las fundiciones de acero procuran eliminarlo, tanto como es posible de una manera económica.

ca.

Sin el acero, el aspecto de nuestro mundo sería muy parecido al de mediados del siglo XIX, puesto que no existirían ninguno de sus productos de los que se obtienen propiedades mecánicas que otro tipo de metales no pueden proporcionar. Significó una diferencia enorme para el hombre el añadir ese pequeño porcentaje de carbón al hierro para obtener el acero.

Cabe mencionar que el carbón (exceptuando el diamante, que es una forma de carbono pura) es por su naturaleza, un material muy débil y el hierro en su forma comercial es un metal blando (igual que el acero, el hierro contiene algunas impurezas, siendo la mayor que se ha logrado alcanzar de 99.995 %). — Pero con una mezcla tan pequeña como el 0.5 % de carbón en el hierro, se obtiene un acero sorprendentemente fuerte.

También debe aclararse que el verdadero acero es hierro al que se ha agregado, de manera uniforme y en toda su masa un pequeño porcentaje de carbón y que no es hierro con solo una delgada capa exterior que contiene carbono.

Hasta 1856 no se descubrió la manera de producir acero de una forma económica y en cantidades importantes.

Fue Henry Bessemer quien perfeccionó el método de producir acero. Entre 1838 y 1883 le fueron otorgadas más de 100 patentes y cortaba con otros inventos que no llegó a patentar.

Durante la década de 1850 - 60, Bessemer estuvo trabajando en la producción de armas de fuego y proyectiles. Tratando de mejorar la calidad del hierro fundido para sus productos, lanzó un chorro de la superficie del hierro en lingotes, para quemar parte del exceso de carbono que lo hacía tan quebradizo después del colado. Consiguio obtener en pequeñas cantidades hierro casi puro.

Después, construyó un horno al que llamó "convertidor" que tenía la forma de huevo y era bastante grande además de que no poseía fuente de calor. La idea de Bessemer era que si introducía aire a través de los lingotes al estado líquido, al quemarse el carbono del metal derretido y el oxígeno del aire se conseguiría mantener caliente dicho metal hasta que desapareciera todo el carbón que deseara eliminar. Vertió hierro líquido en su convertidor y lanzó aire por medio de toberas de arcilla refractaria, colocadas en el fondo. Sal-

taron chispas y llamas como si fuese aquello un gigantesco fuego artificial. - Tal resultado sorprendió a Bessemer; colgó entonces una pesada lámina de hierro encima del convertidor para disminuir el peligro de que se incendiara el lugar antes de la siguiente prueba. Pero la fuente de calor obtenida era tan grande que al cabo de unos minutos, la pesada lámina de hierro se derritió cayendo al suelo en ardientes gotas.

Al principio los fabricantes de acero no dieron crédito al informe que publicó Bessemer titulado "La fabricación de hierro sin combustible", en la que describía el éxito que había obtenido. Sin embargo, en poco tiempo, cinco empresas estaban empleando su sistema y pagándole regalías. Bessemer les demostró que si suspendían la corriente de aire antes de que todo el carbón se quemara en su convertidor, quedaría suficiente carbón en cada hornada para producir un semiacero.

Pero el proceso de Bessemer tenía un inconveniente, ya que el hierro era quebradizo y contenía grandes bolsas de burbujas de gas conocidas como "sopladuras".

Afortunadamente Bessemer se negó a abandonar su proceso, y enfrentándose se al fracaso se dedicó a hacer análisis sistemáticos.

Descubrió que el metal era quebradizo porque el mineral de hierro tenía un alto contenido de fósforo que ni el alto horno ni el convertidor lograban eliminar. Su proceso había reducido la cantidad de carbón (una de las causas de lo quebradizo) pero no la de fósforo (otra de las causas).

Bessemer importó de Suecia mineral de hierro que contenía ese "venenoso fósforo, y en 1856 comenzó nuevamente a producir. Luego construyó su propia fundición en el centro de la famosa industria del acero en Sheffield, Inglaterra. Al poco tiempo estaba produciendo acero a un precio de 15 libras esterlinas por tonelada mas barato que el de su principal competidor. Bessemer logró hacer esto, ya que en cierta ocasión al leer sobre las actividades de otra fundición, descubrió que al añadir al material de fusión una sustancia que tenía el nombre de "spiegeleisen" (hierro en lingotes que contenía entre 15 y 30 % de manganeso, y de 4 a 7 % de carbón), después de estar el "soplo" completo, se corrigería lo quebradizo aún cuando se empleara mineral de hierro que contuviese fósforo.

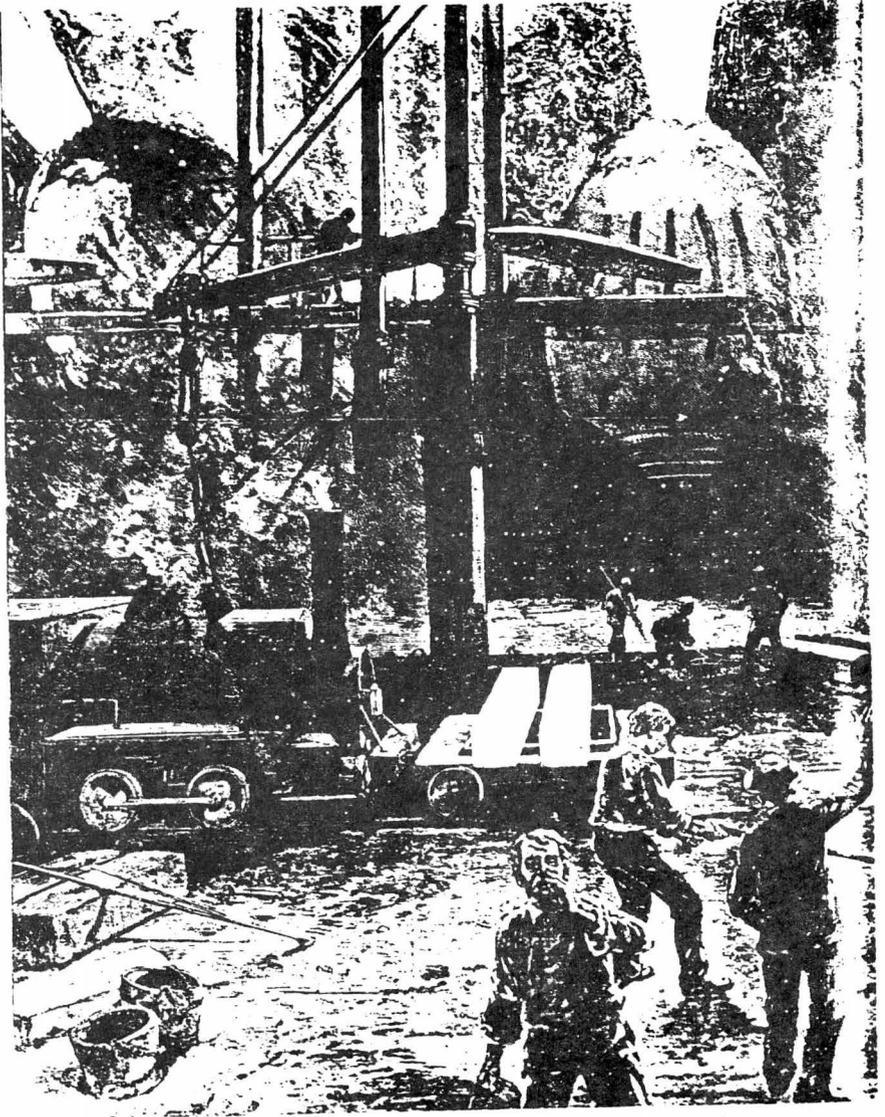


Fig. 7.- Dos convertidores Bessemer antiguos, pintados por un artista en 1866
El proceso Bessemer fué el iniciador de la edad del acero.

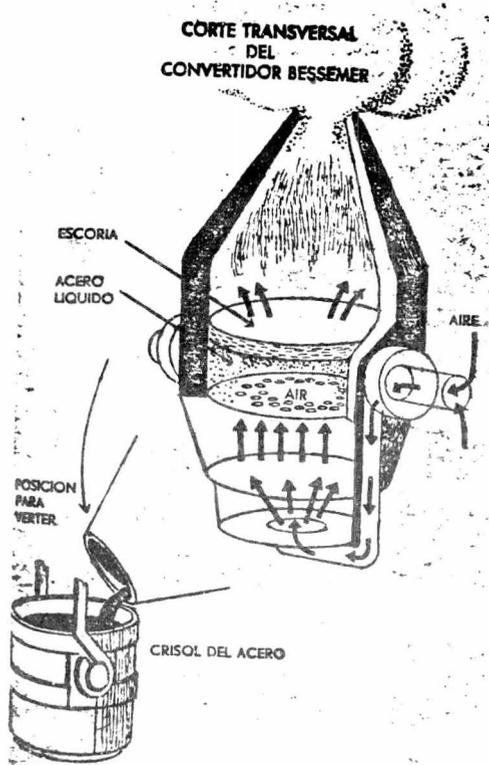


Fig. 8.-



Fig. 9.- Henry Bessemer.

Posteriormente, cambió del spiegeleisen a una aleación especial preparada a base de un contenido mucho mas alto de manganeso. Esto resolvió finalmente el problema de la fragilidad que hacia imposible forjar algunos de los aceros que producía.

Durante muchos años existió la creencia de que los minerales de hierro con un alto contenido de fósforo no podían ser usados económicamente. En 1878 todos los productores de acero estuvieron de acuerdo de que así era en realidad, durante un congreso celebrado en Longres por el Instituto del Hierro y el Acero.

En ese entonces, un joven llamado Sidney Thomas había hecho el descubrimiento de que el forro interior ácido del convertidor Bessemer y los fundentes utilizados hacían imposible la eliminación del fósforo. Un año después, este joven y su primo Percy Gilchrist que era químico, comprobaron que un recubrimiento con caliza magnésica, y un fundente de cal, daban exactamente el resultado que esperaban y que era la eliminación casi total del fósforo.

Estos dos hombres obtuvieron la patente de su sistema, el cual llegó a ser muy usado y es conocido como "Proceso Básico Bessemer".

Los esfuerzos de Bessemer redujeron el precio de la tonelada de acero colado como a una quinta parte de la anterior.

Para 1882, menos de 30 años después de la introducción inicial del procedimiento de Bessemer, y con el mejoramiento del sistema de Thomas y Gilchrist, más de 100 acerías en diversos lugares del mundo, tenían en uso 3,300 convertidores Bessemer, y estaban produciendo la enorme cantidad de 4 millones de toneladas de acero anualmente.

Durante los años en que el proceso Bessemer se estaba perfeccionando, otros metalúrgicos trabajaban en lo mismo. Un norteamericano, William Kelly, inventó un proceso idéntico, al que llamó "Proceso Pneumático" y se diferenciaba únicamente en que la insuflación de aire se hacía mediante una bolsa colocada en la parte inferior de su convertidor, efectuandose la misma mediante movimientos alternativos de arriba hacia abajo, haciendose pasar el aire al interior por compresión alternada, con movimientos acompasados.

En los últimos años de la década 1850 - 60, Charles Williams Siemens, un inventor alemán naturalizado en Inglaterra, se interesó en los hornos de re

ververo que estaban en uso en aquéllos tiempos. La palabra reverbero quiere decir en este caso, "reflexión", debido a que este tipo de horno la llama se dirige por encima del material que se quiere calentar, y el calor es reflejado hacia abajo por medio de un techo bajo y curvo.

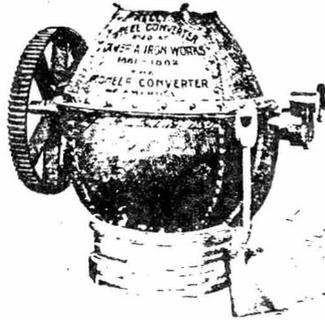


Fig. 10.- Uno de los convertidores usados por William Kelly en experimentos con su "proceso pneumático".

Este inventor se dió cuenta de que el uso del calor en los hornos del reverbero no era todo lo eficiente que se requería, pues con la temperatura — distaba mucho de ser lo suficientemente alta.

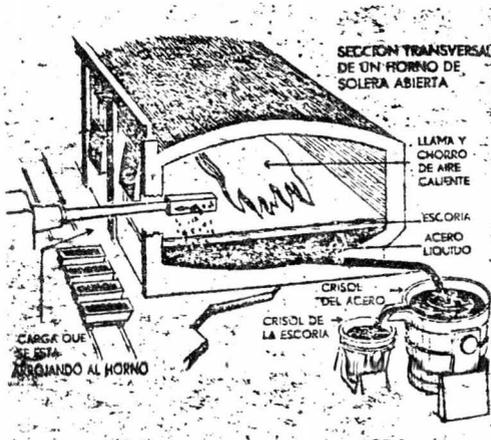


Fig. 11.-

Cuando Siemens comenzó a trabajar en el diseño de su horno, se usaba generalmente el gas como combustible, y los quemadores situados en un extremo del horno lanzaban la llama a través de la carga del material que iba a ser fundido. Después, los gases quemados escapaban por el humero que se hallaba en el extremo opuesto del horno, desperdiciándose así todo el calor que quedaba. Entonces, pensó en aprovechar el calor que desperdiciaba para precalentar el gas y el aire antes de que pasaran a los conductos que van a los quemadores del horno. Para poner en práctica este sistema, construyó cuatro grandes cámaras que encerraban unas pilas de ladrillos refractarios colocados en forma de tablero de ajedrez con gran separación entre los ladrillos. A esas cámaras dirigió los gases calientes de escape, primero por un extremo del horno, durante media hora mas o menos, luego por el otro. La dirección de la corriente del gas, era cambiada, de modo que el gas y el aire entrantes fluyesen separadamente a través de las dos cámaras caloríferas. Con este método, gran parte del calor que anteriormente se perdía, se aprovechaba regresándolo al sistema del horno, con lo que se obtenían temperaturas más altas.

Este nuevo sistema fue usado para la fabricación de vidrio; pero cuando Siemens patentó su horno en 1861, confiado en que llegaría a utilizarse en la fabricación de acero. Durante varios años, distintas fundiciones trataron de producir acero con el horno de Siemens, pero no tuvieron éxito.

Finalmente el mismo Siemens contruyó su propio horno experimental en 1867, y pronto estaba produciendo buen acero utilizando mineral de hierro y chatarra.

Al mismo tiempo, en Francia, Emil Martin (trabajando con esa clase de horno con permiso de Siemens) fundió hierro dulce, chatarra y lingotes de hierro con fundentes, y también tuvo excelente acero.

Martin y su hermano Pedro introdujeron varias mejoras en el horno de Siemens, por lo cual en la actualidad ese tipo de horno es generalmente conocido como Siemens-Martin de solera abierta.

Se le llama de solera abierta porque el metal fundido se junta en una balsa relativamente poco profunda en la solera o fondo del horno. No se trata del fondo de una estructura muy elevada como los modernos altos hornos, ni tampoco de un recipiente completamente cerrado como el convertidor Bessemer o el

horno eléctrico.

El convertidor de Bessemer fué introducido en 1856, y para 1875 casi todo el acero del mundo era producido por ese sistema. Al principios de este siglo, el proceso Siemens-Martin de solera abierta habfa llegado a ser el sistema mas usado, y en la actualidad solo una décima parte de la producción de acero - se obtiene por medio de convertidores.

En ese entonces, el convertidor de Bessemer perdió popularidad y el sistema de solera abierta lo ganó por varias razones. En primer lugar, el soplado de aire al convertidor, era tan rápido, que en aquellos tiempos no podía ser regulado con precisión. Sin embargo, actualmente se dispone de un control de temperatura mucho más perfecto, por lo que la cantidad de carbón en el acero se regula con extraordinaria exactitud. También, la contaminación por Nitrogeno de la corriente de aire ha quedado reducida al mínimo. Una forma de lograr esto, - es por medio de aire enriquecido con oxígeno, y hasta con el uso de oxígeno puro en vez de aire. De cualquier modo, el sistema de solera abierta representa una gran ventaja, ya que grandes cantidades de pedacera de acero pueden ser fundidas en estos hornos y la capacidad de algunos de ellos es hasta de 300 toneladas.

El horno eléctrico ofrece una gran ventaja sobre aquellos que queman - combustibles, como el coque ó el gas, pues siempre que se usa un combustible, - es quemado dentro del horno junto con el mineral ó el metal que se esté fundiendo, por lo que es inevitable que haya alguna contaminación en el metal acabado ocasionada por los productos de la combustión. Cuando se usa el gas como combustible, se producen CO_2 , vapor de agua y pequeñas cantidades de carbón libre. Con el uso del coque (que es casi todo carbón puro) se producen muchas otras sustancias químicas, y cuando estos productos adicionales entran en contacto - con el fundente, el mineral y el metal, a una temperatura muy alta (tales temperaturas aceleran casi todas las reacciones químicas), sobreviven aún más las - reacciones y algunos de los productos de éstas es casi seguro que llegaran a - mezclarse con el metal acabado en forma de impurezas.

Así pues, se comprenderá que cuando se necesita producir acero de la mayor pureza, conviene mucho eliminar los combustibles gaseosos ó sólidos, y sus productos. Por ese motivo, el horno eléctrico representa una ventaja considerable.

EL HIERRO Y EL ACERO EN MEXICO

EPOCA PREHISPANICA.-

Es dudoso que los metales se conocieran en Mesoamérica antes del año - 900 de nuestra era. A la llegada de los españoles en 1519, los aztecas habían ya evolucionado una fina técnica para trabajar el oro, la plata y el cobre nativos, y realizar cuatro aleaciones: cobre duro (bronce), oro y cobre (tumbaga), plata y cobre, y cobre y plomo.

Conocieron por supuesto los meteoritos de contenido de hierro; pero — considerándolo, por su origen sideral, de procedencia divina, se abstuvieron — de utilizarlo. El hierro pues, y su trabajo fué dado a conocer el Nuevo Mundo por los conquistadores españoles.

Sin embargo, los nahuas habían logrado un método primitivo de fundición del oro, en que intuitivamente entraban en acción los elementos que se usan para obtener otros metales: el fuego y el aire que lo aviva y que desata los procesos químicos de la reducción.

La estructura impuesta a la vida social y económica de la Nueva España por la conquista, frenaría durante siglos el desarrollo industrial y el aprovechamiento en México de nuestras materias primas. A España no le convenía transversar algunas de sus industrias (ó aún cultivos) peninsulares, a sus colonias: sino venderles productos elaborados, y llevarse de ellas las materias primas — baratas. Esta situación, que por lo que hacen a la minería sólo se ocupaba de la extracción y el beneficio de oro y plata, iba a condicionar hasta mas allá de la independencia de nuestro atraso industrial.

EPOCA VIRREINAL.-

Así mientras en el primer siglo de la conquista se desarrolla en la — Nueva España el beneficio industrial de los minerales de plata y otros metales, una política proteccionista de la Economía peninsular se ejerció al prohibir — expresamente la explotación del mercurio y el hierro en la Nueva España. Es— tos metales apenas si se beneficiaron en muy pequeñas escalas durante el vi—

reinato. Para su provisión de hierro y forjas, México tuvo que resignarse a depender de los excedentes de las minas y forjas españolas, con la agravante de que las importaciones de esos excedentes eran escasas, por temor de la piratería.

Los primeros hierros traídos de España en 1519 fueron forjados por los soldados de Hernán Cortés en la Villa Rica de la Veracruz, con fragua y fuelle también traídos por los conquistadores. También fueron españoles el hierro, la fragua y los fuelles con que en Tlaxcala se forjaron piezas para los bergantines con que Cortés iba a abatir a Tenochtitlán, herraduras para sus caballos, flechas y otras armas. Según Motolinía, los indígenas aprendieron con gran facilidad a fabricar fuelles.

El mineral de hierro siguió beneficiándose en muy pequeña escala en el siglo XVII. Pequeñas fraguas y fuelles de herrero distribuidos por el país satisfacían en buena parte las exigencias de la minería y de la agricultura. Durante el régimen colonial vinieron siempre de España hierro y acero en bruto, y objetos manufacturados como clavos, planchas, hojalatas, etc. En cambio, la forja del hierro y otros metales conjugó la pericia de indígenas y españoles en las magníficas rejas y hornamentos, balconerías, etc., que aún hoy podemos contemplar en iglesias y palacios virreinales.

Durante el siglo XVIII se incrementó el beneficio del hierro.

El auge alcanzado por la minería y la agricultura a fines del siglo XVIII, hacía necesario importar hierro y acero por encima de las provisiones domésticas. Solo Guanajuato gastaba a principios del siglo XIX 4300 quintales al año.

Humboldt recogió el dato de que en 1802 se importaban de España 4244 quintales de hierro labrado, 4192 quintales de hierro en barras, 14700 quintales de acero y 1080 cajas de hojalata.

En 1803 se importaron 142.5 quintales de clavos.

EL SIGLO XIX.-

La primera fundición formal de hierro y acero de hispanoamérica fue la que por encargo del Tribunal de Minería, empezó a construir en 1803 Don An-

drés Manuel del Río, en Coalcomém, Mich., cerca de la región ferrífera de Colima. En ella se instalaron dos hornos o fraguas a la catalana, avivadas por el soplo de trompa de agua, y además de hierro, se obtenía acero por una especie de pudelado.

Los hornos comenzaron a trabajar en 1807 y produjeron hierro de gran calidad, cuyas primeras remesas se destinaron a la famosa mina de la Valenciana de Guanajuato. Los insurgentes la aprovecharon para fabricar cañones y municiones, y en el mes de octubre de 1811, fué destruida la ferrería por las tropas del virrey, al no poder dejar guarnición en ella.

NUESTRO SIGLO.-

Durante el siglo XIX nuestro país es sobretodo un exportador de sus materias primas, y un importador de los acabados y de las herramientas que precisa su lento desarrollo. La ferrería apenas si resurge en el México independiente, y no es sino a principios de siglo XX cuando la instalación del primer alto horno, en la laboriosa ciudad de Monterrey, equivale al signo que ha de marcar en lo sucesivo la meta sensata de México; el propósito firme de emancipar nuestro país de las cargas de la importación, mediante una industrialización que propicia un desarrollo económico progresivamente acelerado.

La industria siderúrgica es esencial para ese apetecido desarrollo. Todas las demás industrias dependen de la provisión oportuna y suficiente de hierro y acero en cualquiera de sus muchas formas, que aquella pueda garantizar a su establecimiento y proveer a su sostén.

La urgencia de aumentar y diversificar la producción del hierro y el acero se agudiza al interrumpirse su importación, por la Segunda Guerra Mundial. Pero esta privación siguió como saludable acicate para que nuestra industria siderúrgica nacional se esforzara en afrontar la demanda de artículos que ya contaban con un amplio mercado interior.

GEOQUIMICA DEL HIERRO

ABUNDANCIA Y CARACTER GEOQUIMICO.-

El hierro es el principal miembro de una serie de elementos consistentes en Titanio, Vanadio, Cromo, Manganeso, Hierro, Cobalto y Niquel, los cuáles tienen los números atómicos del 22 al 28.

Goldschmidt (1929), llamó a esta serie, la familia del Hierro. El nombre adoptado por Landergren (1943) es "Los Férridos". Como en la serie de los lantanidos y en los elementos transuránicos, la incorporación de nuevos electrones en los férridos toma lugar en celdas profundas y las celdas superficiales permanecen intactas. Esta propiedad causa la marcada similitud química de los elementos iniciadores de tales series.

El hierro y el magnesio, entre todos los metales, tienen la más alta abundancia cósmica. El hierro es dos veces más abundante que el magnesio en la atmósfera solar, y el mismo radio prevalece en los meteoritos. El grueso de todos los meteoritos consiste de piedras llevando considerablemente más magnesio que hierro, pero los hierros puros, son cercanos y totalmente exentos de magnesio. Sin embargo, es decididamente menos abundante que el aluminio.

Es evidente que el hierro, desde un punto de vista geoquímico, es el metal más importante. Junto con azufre y oxígeno, el hierro es la fundación de todas las consideraciones distribuidas con el carácter geoquímico de otros elementos. Los valores de abundancia son presentados en la siguiente tabla:

ABUNDANCIA DEL HIERRO

MATERIAL	Fe (%)
Meteoritos de hierro	90.50
Troilitas	61.10
Meteoritos de Silicatos	13.04
Rocas ígneas	5.00

Esta tabla nos muestra que el contenido de hierro en la fase metal de los meteoritos es más grande que en las otras dos fases. La abundancia de hierro en la fase metal es mayor que la de cualquier otro metal, por lo tanto, - el hierro es el prototipo de los elementos siderofílicos. El hierro tiene - una gran afinidad por el azufre, y consecuentemente es pronunciadamente calcofílico. Considerables cantidades de hierro están presentes en la litósfera, - lo cual demuestra el carácter litifílico de este metal. Con referencia a su - forma terrestre de ocurrencia, el hierro debe ser incluido en el grupo de los elementos biofílicos y en la litósfera superior es oxifílico.

Una comparación general de las propiedades geoquímicas de los elementos incluyendo al grupo de los férridos, muestra que su tendencia litofílica - decrece cuando se incrementa su número atómico de Titanio a Níquel. Los últimos tres miembros del grupo, o sea, Hierro, Cobalto y Níquel, tienen las más - marcadas propiedades siderofílicas y calcofílicas.

HIERRO EN ROCAS IGNEAS.-

Los primeros productos de diferenciación magmática incluyendo óxidos - de minerales de hierro, los cuáles son usualmente titaníferos y segregaciones sulfúricas, los cuáles consisten principalmente de hierro monosulfuroso, FeS . Por lo tanto, puede ser concluido que el hierro es el más común y el más importante constituyente de las segregaciones magmáticas primarias sin silicatos.

En la formación primaria de rocas silicosas como dunitas, el contenido de hierro es un poco menor, y el magnesio es preponderante sobre el hierro. - De acuerdo a la composición química promedio de las rocas ígneas calcalinas, - calculadas por Daly (1936), el contenido de hierro total de las varias clases está dado en la siguiente tabulación:

ROCAS	CONTENIDO DE HIERRO (por ciento)
Tunita	6.30
Hornablendita	11.76
Gabbro	8.84
Diorita	5.63

ROCAS	CONTENIDO DE HIERRO (por ciento)
Granodiorita	3.28
Granito	2.48

Estos porcentajes muestran que el más alto contenido de hierro decrece, pero el decremento no es tan pronunciado como el del magnesio. Aunque ambos, hierro y magnesio son mas abundantes en rocas ácidas que en básicas, el radio Fe:Mg, cambian durante la diferenciación y el hierro finalmente, llega a ser enriquecido con respecto al magnesio durante los últimos pasos del estado estacionario de cristalización.

Wickman (1943), estableció que el contenido de hierro no cambia mucho con el procedimiento de diferenciación. Por otra parte, el contenido de hierro ferroso decrece más rápidamente y es el principal responsable del decremento del radio Fe^{3+} / Fe^{2+} . El ion férrico puede ser considerado inamovible y es llevado a una estructura propia bajo cualquier condición. El ion ferroso llega a ser enriquecido en la fusión con respecto al ion magnesio; pero este fenómeno es probablemente algo obscuro por la oxidación simultánea del ion ferroso. A pesar de la oxidación, el contenido del Mg^{2+} decrece mucho más rápidamente que como lo hace el contenido de Fe^{2+} , que por lo tanto, en un ambiente en el cual la oxidación de Fe^{2+} no puede tomar lugar, el líquido residual se enriquecerá en hierro. El hierro férrico producido durante la diferenciación, es parcialmente incorporado en estructuras silíceas y parcialmente en magnetita. El contenido de hierro ferroso es siempre suficientemente alto para prevenir la formación de hematita.

El hierro nativo, es un constituyente raro de rocas ígneas, y se encuentra solo en unas pocas rocas, particularmente en basaltos ya sea como hierro puro o aleado con níquel como awaruita y josefinita. La presencia de hierro en rocas minerales contienen hierro bi y trivalente. El radio de Fe^{2+} es de 0.78 Å, el radio del Fe^{3+} 0.83 Å.

Junto con la relación de hierro con minerales silicosos, los minerales con sulfuro y óxido están presentes en rocas ígneas. De acuerdo a Noddack (1931), el contenido de hierro de los sulfuros magnéticos primarios es en promedio 53.9 %, los minerales sulfurados y óxidos de hierro son accesorios cons-

tituyentes de rocas ígneas. Las mas importantes especies son las siguientes:

Magnetita	Fe_3O_4	72.4 %
Ilmenita	$FeTiO_3$	36.8 %
Pirrotita	FeS	60.4 %
Pirita	FeS_2	46.6 %

De acuerdo a Newhose (1936), la magnetita es mas importante que la ilmenita ya que es mas abundante en rocas salinas y extrusivas, donde la ilmenita predomina sobre la magnetita en rocas f3rmicas.

MINERALES DE HIERRO DE ORIGEN MAGMATICO.-

El hierro es separado en sus cristales primarios durante la diferencia^{ci3n} en la forma de minerales de 3xido y sulfuro. Los 3xidos de fierro pueden formar cuerpos minerales de alta importancia t3cnica, donde los cuerpos primarios sulfurados separados, los cu3les llegan a ser la parag3nesis de la pirrotita-pentlantita, no son clasificados como minerales de hierro. Por otra parte, los sulfurados son una fuente t3cnica importante de niquel, cobre y algunas veces de metales de platino. La presencia de pirrotita no es siempre prueba de una alta temperatura de cristalizaci3n aunque en el sistema hierro-azufre, el mon3sulfuro FeS, mas estable a temperaturas elevadas y el bisulfuro FeS_2 , mas estable a bajas temperaturas. La pirrotita es as3 formada cuando el sulfuro es un poco deficiente, es decir, en vetas de minerales ricos en ars3nico.

La geoqu3mica mas importante de los minerales de 3xidos magm3ticos, son los minerales de hierro titan3feros, los minerales de cromo y los minerales de magnetita ricos en f3sforo. De acuerdo a Landergren (1943), el contenido promedio de hierro de los minerales titan3feros es 35.7 %, el contenido promedio de minerales de magnetita encontrados en gabros es 55.9 % de hierro.

La ilmenita y la magnetita son los principales constituyentes de los minerales titan3feros de hierro. Los dos minerales son encontrados algunas veces como vetas independientes, pero generalmente se encuentran intimamente mezclados y consisten de ilmenita laminar de espesor variable en vetas de magnetita.

La cromita, $FeCr_2O_4$, es el principal constituyente de los minerales de

Hierro cromíferos. La magnetita generalmente está casi ausente en los minerales de cromita. Generalmente se tiene que ambos minerales, tanto titaníferos de hierro como cromita, son segregaciones magmáticas formadas en su estado primario de diferenciación.

Los minerales de hierro ricos en fósforo, probablemente fueron formados durante un estado secundario comparativo de la diferenciación magmática. Son generalmente raros los minerales de magnetita puros que no contengan cantidades apreciables de titanio y cromo, llevan fósforo y grandes cantidades de apatita (fluorapatita), fluorita y otros minerales, aunque los minerales en formación quedan separados de la fusión con silicato que es un raro estado primario, permanecen mezclados hasta que las rocas en el estado permanente de cristalización solidificada es alcanzado. El mineral subsecuentemente introduce la solidificación de rocas con una masa fluida. Por lo tanto, los minerales de hierro ricos en fósforo llegan a tener deformaciones pneumatolíticas.

Landergren (1943), enfatizó que el hecho de enriquecimiento del hierro sobre la litósfera es anormal porque se lleva a cabo en vecindades geoquímicas irrelevantes. Actualmente el enriquecimiento terrestre de hierro debe trabajarse hacia el centro del níquel-hierro. La formación de minerales de óxido de hierro es una cuestión no sólo del enriquecimiento del hierro, sino también del enriquecimiento del oxígeno para favorecer la formación de minerales posibles. Aunque el oxígeno en general, es de origen atmosférico, una fuente de oxígeno debe de ser de constituyentes volátiles: agua y bioxido de carbón, los cuáles reaccionan con hierro ferroso durante el contacto metamórfico, donde se forma la magnetita, la diferenciación magmática como un mecanismo de producción de minerales de óxido de hierro, es regulada por las propiedades físicas y la composición química del magma primario y por el material de origen exogénico que es incorporado.

MINERALES DE ORIGEN SEDIMENTARIO.-

Los sedimentos oxidados ricos en hierro, que consisten principalmente de hidróxido de hierro y de óxido férrico, son los minerales mas importantes de —

hierro de origen sedimentario. Son generalmente mangániferos. Los óxidos ricos en hierro son depositados posteriormente en agua fresca o en partes poco profundas del mar. La depositación en el mar es mas importante que la depositación en agua fresca, en ambos geoquímicos y técnicos las extinciones de los depósitos formados es considerable.

Los oxidados marinos son depositados sobre soluciones en las condiciones atmosféricas de origen continental y son precipitados grandemente como gels. El hidróxido de hierro puede ser formado sólo por la acción de cloruro férrico y fluoruro férrico (vapores) sobre agua de mar en procesos volcánicos submarinos. La textura y composición química de oxidados marinos varía mucho. Después de que el hidróxido férrico ha sido precipitado en la forma de sus concentrados o nódulos redondos con estructura concéntrica, llamados oolites; la matriz entre los oolites consite del núcleo del óxido de fierro. Tal es la textura de los minerales de hierro oolíticos.

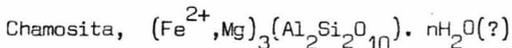
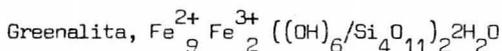
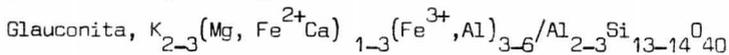
Correns (1941, 1942, 1947), remarcó que el contenido de hierro en el agua de mar depende del contenido de oxígeno y del pH, el contenido de oxígeno no es suficiente para oxidar todo el hierro al estado férrico y, porque el pH es más grande de 6, el hierro es precipitado como hidróxido férrico. Por lo tanto, el contenido de hierro en el mar es calculable y los sedimentos pobres en hierro pueden ser excluidos tal como una solución pobre en hierro. El agua de mar mediante los periodos geológicos primarios fué pobre en hierro como se muestra por el escaso contenido de hierro en las sales oceánicas: un contenido de sólo 0.04 % de Fe_2O_3 en carnalita roja causa un color profundo.

El material que es transportado mecánicamente hasta el mar, es de contenido bajo en hierro. El contenido de hierro del agua de río es menos de 1 mg/ l. Consecuentemente, se debe entender que los minerales marinos de hierro son resultado del tiempo bajo las condiciones muy específicas y temporales que no existen siempre. La cantidad de hierro abastecida al mar durante sus formaciones debe haber sido muy grandes.

Los oxidados conectados con actividad volcánica son atribuidos generalmente a erupciones submarinas de lavas básicas y copiosas cantidades de soluciones hidrotérmicas producidas en cámaras cerradas. Estos oxidados de origen volcánico consisten de limestones calcicas y dolomíticas, sales sideríti-

cas, y jaspilitas. En algunos depósitos extensivos, la silicificación ha sido causada por soluciones hidrotérmicas. Muchas de las formaciones, contienen magnetita de alto grado y minerales de hematita.

Los minerales de hierro de origen marino, pueden consistir de silicatos de hierro, que algunas veces forman depósitos de importancia técnica. Cuando las sustancias presentes en el agua de mar reaccionan con humo u otro o con sedimentos de fondo, una nueva serie de minerales será producido, lo cual ocurre en sedimentos terrestres recientes. Algunos minerales silicosos ricos en hierro son también importantes minerales de hierro. Las reacciones químicas causadas por el mar son llamadas halmyrolisis, y los minerales formados incluyen por lo tanto, entre otros, los siguientes:



Se considera que estos minerales se forman solamente en ambiente marino.

EL HIERRO EN LA BIOSFERA.-

El hierro es un constituyente de todos los tejidos vivos, tanto vegetales como animales. En las plantas verdes, el hierro es un constituyente de los cloroplastos y es necesario para la formación de la clorofila, ya que afecta el crecimiento de las plantas. El hierro sirve frecuentemente para enriquecer las sales de carbón.

En el suelo, el hierro puede oxidar materia orgánica y consecuentemente puede ser reducido al estado ferroso. Entonces, el hierro ferroso puede ser reoxidado, y así, el hierro actúa como un agente oxidante continuo, el cual es parcialmente responsable de la oxidación de compuestos de carbón en bióxido de carbono. Consecuentemente, el hierro sirve como catalizador en el ciclo del carbono.

Un derivado de hierro se encuentra en los tejidos de animales. La san gre de muchos animales contiene un pigmento respiratorio relacionado con el — hierro: el verde, clorocourin, se encuentra en la sangre de algunos cuerpos marinos, el rojo hemoerythrino, en algunos pocos animales, el rojo erythrocuo- rino en algunos invertebrados, y el rojo hemoglobina en animales grandes. Algunas enzimas son proteínas complejas relacionadas con el hierro.

La función biológica principal del hierro es su acción de transportar — oxígeno en el organismo durante la respiración del medio ambiente a los compues- tos de tejidos oxidables. La hemoglobina es una cromoproteína que contiene — un hierro complejo derivado de una porphirina. La hemoglobina es capaz de com- binarse rápidamente con oxígeno para formar la oxihemoglobina sin la oxidación del hierro. La oxihemoglobina se disocia tan rápidamente en oxígeno y hemoglo- bina que es responsable del transporte de oxígeno en la sangre. El hierro — actúa como un catalizador en toda respiración celular.

Algunas bacterias vivientes en presencia de soluciones de hierro, se — caracterizan por una membrana celular impregnada con hidróxido de hierro, la — cual se acumula de agua. De acuerdo a la creencia previa, la energía necesaa- ria para el proceso de vida de esas bacterias fué obtenida de la oxidación de hierro ferroso a hierro férrico. Sin embargo, es ahora sabido que el metabo- lismo de esas bacterias no difiere del metabolismo de otros microorganismos.

EXISTENCIA DEL METAL

El hierro es después del aluminio, el metal más abundante en la corteza terrestre, alcanza la producción del 5% de la misma; la distribución ó existencia de los elementos en la tierra es la siguiente:

ELEMENTO	PORCENTAJE
Oxígeno	44.6 %
Silicio	27.72 %
Aluminio	8.13 %
HIERRO	5.00 %
Calcio	3.69 %
Sodio	2.83 %
Potasio	2.59 %
Magnesio	2.09 %
Otros	3.18 %

Los yacimientos de fierro desde el punto de vista geológico se presentan en asociación con rocas graníticas ó riolíticas, entre los contactos de — esas formaciones con calizas, dando lugar a criaderos de contacto metamorfoico en su mayoría. El fierro es encontrado casi siempre como un constituyente magmático primario o como un producto secundario formado por la reducción de compuestos de fierro por asimilación de materiales carbonaceos. Otra forma de encontrar fierro es en los meteoritos, los cuales contienen en su mayoría fierro alfa; conteniendo cerca de 7% de níquel y níquel-hierro con 30 a 75% de níquel.

Existen cerca de 70 minerales de fierro, pero no todos tienen valor comercial; reduciendose a 5 los más importantes en la explotación de fierro: Magnetita, Hematita, Limonita, Geothita y Siderita.

Otros minerales que menos importancia tienen por su contenido en fierro son: Franklinita, Ilmenita, Cromita, Pirrotita, Calcopirita, y Piritita (marcasita); en ellos el fierro se encuentra combinado con otros elementos beneficiables y es considerado como un subproducto.

MINERALES DE HIERRO DE PRIMERA IMPORTANCIA.-

Mineral; a) Composición; b) Forma cristalográfica; c) Color; d) Dureza; e) % de hierro; f) Clasificación.

MAGNETITA	HEMATITA	LIMONITA
a) Fe_3O_4	a) Fe_2O_3	a) $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$
b) Isométrico	b) Romboédrico	b) No cristalizado (coloidal)
c) Negro	c) Café a negro	c) amarillo a café
d) 6 H.B.	d) 5.5 a 6.5 H.B.	d) 5 a 5.5 H.B.
e) 72.4 %	e) 70.0 %	e) 59.8 %
f) Oxido ferroso férrico.	f) Oxido ferroso anhidro.	f) Oxido férrico Trihidrado.
GOETHITA	SIDERITA	
a) $Fe_2O_3 \cdot H_2O$	a) $FeCO_3$	
b) Ortorrómbico	b) Romboédrico	
c) Amarillo	c) Brillante a café	
d) 5 H.B.	d) 3.5 a 4 H.B.	
e) 62.9 %	e) 48.2 %	
f) Oxido férrico hidratado	f) Carbonato ferroso	

MINERALES DE HIERRO DE MENOR IMPORTANCIA.-

FRANKLINITA	ILMENITA	CROMITA
a) $(Fe, Zn, Mn)O \cdot (Fe, Mn)_2O_3$	a) $FeO \cdot TiO_2$	a) $FeO \cdot Cr_2O_3$
b) Ortorrómbico	b) Hexagonal	b) Isométrico
c) Café Bronce	c) Gris a negro	c) Blanco Plateado
d) 6 a 6.5 H.B.	d) 5.5 a 6 H.B.	d) 5.5 H.B.
e) 21.0 %	e) 36.8 %	e) Variable
f) Oxidos	f) Titanato Ferroso	f) Cromito Ferroso

PIRROTITA

- a) Fe_5S_6 ó $Fe_{16}S_{17}$
- b) Tetragonal
- c) Amarillo Bronce
- d) 3.5 H.B.
- e) Variable
- f) Pirita Magnética

CALCOPIRITA

- a) $CuFeS_2$
- b) Tetragonal
- c) Amarillo Plateado
- d) 3.5 a 4 H.B.
- e) 30.4%
- f) Sulfuro de Cu y Fe

(PIRITA)

- a) FeS_2
- b) Isométrico
- c) Amarillo
- d) 6 a 6.5 H.B.
- e) 46.7 %
- f) Pirita de Hierro

BORNITA

- a) Cu_5FeS_4
- b) Isométrico
- c) Café bronce a purpura
- d) 3 H.B.
- e) 11.2 %
- f) Sulfuro de Cu y Fe

VIVIANITA

- a) $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$
- b) Monoclínico
- c) Rosado
- d) 1.5 a 2.5 H.B.
- e) 35.8 %
- f) Fosfato de hierro octohidratado

ARSENOPIRITA

- a) $FeAsS$
- b) Monoclínico
- c) Blanco plateado
- d) 5.5 a 6 H.B.
- e) 34.3 %
- f) Sulfuro de Fe y As

HIERRO-NIQUEL

- a) FeNi
- b) Isométrico
- c) Gris a negro
- d) 4.5 H.B.
- e) 24.0 %
- f) Aleación Fe-Ni

Es raro encontrar al hierro en su forma nativa; generalmente se encuentra en arcillas y arenas. Se halla en mayor ó menor cantidad en casi todas las rocas, especialmente en las que contienen anfíbolos, piroxenos, micas y olivino. Los minerales que contienen hierro se presentan en forma de óxidos, carbonatos, silicatos y sulfuros. La magnetita y la hematita son óxidos de hierro; la pirita y la marcasita son sulfuros; la siderita es el carbonato y hay también muchos silicatos, fosfatos, arseniatos, etc., que contienen éste ele-

mentos. La magnetita y la hematita son las menas principales de hierro , del -
continente Americano. La Siderita, es poco importante en Americä, pero lo es -
más en la Industria Siderúrgica Inglesa y en el continente Europeo. Los silica
tos de hierro son más útiles por su contenido de azufre.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL HIERRO

Las propiedades físicas del hierro sólo pueden expresarse en cifras aproximadas, pues los valores son profundamente afectados por las variaciones en el grado de pureza, por los cambios en la temperatura y en el tratamiento.

Una propiedad distintiva del hierro es su intenso magnetismo en un campo magnético o por la acción de una corriente eléctrica. En esta propiedad, el hierro es superior a todos los demás elementos, y le siguen el cobalto y el níquel. En el hierro en estado casi puro, la influencia magnética — producida por la inducción del campo magnético de un imán permanente ó por — una corriente eléctrica, desaparece casi por entero cuando se retira el imán o se suprime la corriente eléctrica. El hierro que contiene carbono, cobalto o níquel, retiene el magnetismo. El hierro pierde su magnetismo cuando se calienta (se hace paramagnético) a unos 770°C, y cuando se enfría por debajo de esa temperatura recupera su propiedad magnética (se hace ferromagnético).

En la siguiente tabla se resumen las propiedades físicas más importantes del hierro:

Punto de fusión	1539° C
Punto de ebullición	2740° C
Densidad	7,87 g/cm ³
Conductividad Calorífica	0.19 cal/(seg)(cm ²)(°C/cm)
Conductividad Eléctrica a 20-25° C	100,000 ohmios/cm ³
Módulo de Elasticidad de Young	2,109,000 Kg/cm ²
Resistencia a la Tracción	2,460-2,810 kg/cm ²
Límite de Elasticidad	700-1,400 Kg/cm ²
Alargamiento en 2 pulgadas a 20°C	20.45 %
Dureza Brinell	50 - 70
Resistencia al Choque	0.442 Kg
Resistencia al Deslizamiento Plástico:	
300° C	1,195 Kg/cm ²
400° C	844 Kg/cm ²
600° C	176 kg/cm ²

Dilatación Térmica por Grado Centígrado:

100° C	0.0000126
300° C	0.0000146
600° C	0.000016

Calor Específico:

100° C	0.12 cal/g
500° C	0.16 cal/g
770° C	0.32 cal/g
900° C	18.5 cal/g

Resistividad 9.8 microhomios/cm³

Permeabilidad máxima 280,000

Templabilidad El hierro muy duro sólo puede endurecerse por fuerte enfriamiento extraordinariamente rápido.

QUIMICA DEL HIERRO Y SUS PRINCIPALES
COMPUESTOS.

PROPIEDADES QUIMICAS.-

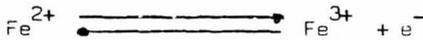
Número Atómico	26
Peso Atómico	55.847
Radio Atómico	1.165 Å
Potencial de Ionización	7.89 Voltios.

REACCIONES DEL HIERRO.-

El hierro es un agente reductor más poderoso que el hidrógeno. El potencial normal para la oxidación $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ es -0.441 Volts y el equilibrio:



Está favorecido por tanto hacia la derecha



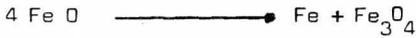
El hierro es un elemento de transición y puede presentarse también en el estado de oxidación + 3. El potencial normal correspondiente al par $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$ es 0.74 V, de modo que debe esperarse que los iones de hierro (III) se reduzcan con facilidad al estado de hierro (II). Esto se cumple en muchos casos, pero hay otros muchos en que ésta conclusión simple debe modificarse para tener en cuenta la facilidad con que el ion hierro (III) da origen a la formación de complejos y por la gran insolubilidad del Fe_2O_3 .

REACCIONES CON EL OXIGENO.-

El hierro reacciona con el oxígeno para formar tres óxidos el FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 ; que es el óxido magnético de hierro.

El óxido de hierro (II) es un sólido negro inestable con estructura cristalina del tipo de cloruro de sodio que funde a 1360°C. Se prepara calentando el hierro con el oxígeno a bajas presiones por encima de los 600°C cuando los ácidos no son oxidantes. se transforma en una mezcla de hierro y Fe_3O_4

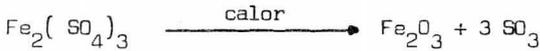
según:



al pretender conservarlo.

El óxido de hierro (III) es un sólido de color rojo pálido que funde a 1,565°C. Puede prepararse calentando hierro en el seno de oxígeno, o bien tostando cualquiera de las oxisales de hierro (III).

Por Ejemplo:



Este óxido precipita en forma hidratada, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, cuando se añade álcalis a las soluciones de hierro (III). El óxido hidratado produce Fe_2O_3 al calentarlo fuertemente. el color del óxido de hierro (III) de las trazas de impureza. Muchos de los pigmentos amarillos, pardos y rojos son modificaciones del Fe_2SO_3 .

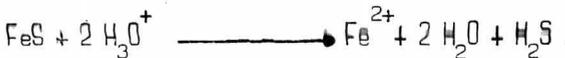
El Tetróxido triférrico es un sólido negro que cuando se calienta en el seno del aire se convierte en Fe_2O_3 . Puede prepararse por la acción del vapor de agua sobre limaduras de hierro calentadas al rojo:



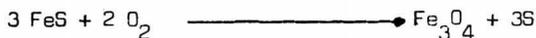
REACCIONES CON EL AZUFRE.-

El hierro forma dos sulfuros, el sulfuro de hierro (II) FeS y el sulfuro de hierro (III) Fe_2S_3 , además del disulfuro de hierro (II) FeS_2 .

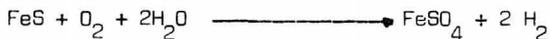
El sulfuro ferroso se prepara facilmente calentandolos juntos ambos elementos. La reacción una vez iniciada continúa con vigor. El FeS es un sólido incoloro que funde a 1,193°C. Sin embargo, cuándo se obtiene ordinariamente (Por calefacción de los elementos, ó por precipitación de una disolución) es generalmente negro, como consecuencia de la presencia de trazas de impurezas.- Es insoluble en agua pero se disuelve en los ácidos diluidos:



y por lo tanto no puede precipitarse a partir de disoluciones ácidas. Cuando se encuentra húmedo se oxida muy facilmente por la acción del aire:

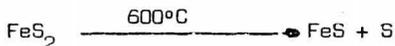


Al hervir prolongadamente con el agua dá origen, lentamente, a la formación del sulfato ferroso e hidrogeno:

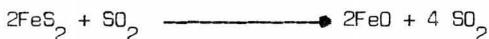


El disulfuro de hierro (II), FeS_2 , se encuentra en estado natural en forma de pirritas de hierro ó marcasita. La pirita que constituye en forma de pirritas de hierro o marcasita. La pirita que constituye la forma estable se presenta cristalizada en el sistema cúbico con red de cloruro de sodio. Los iones Fe^{2+} ocupan uno de los conjuntos de éste retículo cristalino, mientras que el S^{2-} ocupa las otras posiciones. La marcasita es una forma rómbica inestable que se encuentra con frecuencia en el carbón y dá origen a débiles reacciones explosivas cuando se quema éste.

La pirita es un compuesto relativamente inerte que no se disuelve fácilmente en los ácidos comunes. Cuando se calienta a 600°C en el vacío pierde azufre:

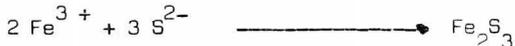


En el aire se oxidan al calentarlo dando dióxido de azufre:

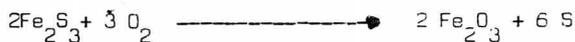


Como contienen mas del 50 % de azufre es un material de partida conveniente para la fabricación de ácido sulfúrico por el proceso de la cámara de plomo.

El sulfuro de hierro (III) se precipita en forma de un compuesto negro insoluble, al añadir sulfuros solubles al fluoruro férrico en disolución:



Lo mismo que el sulfuro de hierro (II), es soluble en ácidos, y es oxidado fácilmente por el aire cuando está húmedo:



En ausencia de aire se convierte fácilmente por calefacción en una mezcla de sulfuro de hierro (II) y pirritas.

HALOGENUROS.-

Se conocen los cuatro halogenuros en sus formas anhidras e hidratadas. El yoduro y el bromuro pueden prepararse por síntesis directa a partir de los elementos, pero en el caso de bromuro debe haber un exceso de metal para impedir la formación de $FeBr_3$. La reacción directa del cloro y el fluor con el hierro, lleva la abstención de los halogenuros de hierro (III), pero la acción del fluoruro de hidrógeno con el cloruro de hidrógeno sobre el hierro se obtiene FeF_2 y $FeCl_2$ respectivamente. El cloruro de hierro (II) también puede prepararse calentando el tricloruro en presencia de hidrógeno, por reducción de una solución de tricloruro en tetrahidrofurano con exceso de limaduras de hierro o calentado a fluoruro una solución de $FeCl_3$ en clorobenceno.

El metal se disuelve en las soluciones acuosas de los ácidos halogenados (y también se disuelve lentamente en agua que contenga yodo). de éstas soluciones pueden obtenerse por cristalización los halogenuros hidratados de hierro (II). El fluoruro y el cloruro anhidros, pueden obtenerse calentando los hidratos respectivos en una corriente de halogenuro de hidrógeno adecuado.- El estudio mediante rayos X ha revelado que el $FeCl_2 \cdot 6H_2O$ contiene unidades octaédricas trans de $(FeCl_2(H_2O)_4)$ y no iones hexaquo.

Del hierro (III) se conoce el fluoruro, cloruro, bromuro pero el yoduro no existe en estado puro, aún cuando es posible que se forma una cierta cantidad, en equilibrio con el yoduro de hierro (II) y yodo. En efecto, el hierro (III) es un oxidante demasiado enérgico para poder coexistir con un reductor tan bueno como el I^- . En soluciones acuosas Fe^{3+} e I^- relacionan cuantitativamente $Fe^{3+} + I^- \longrightarrow Fe^{2+} + \frac{1}{2} I_2$.

Los tres halogenuros estables de hierro (III) pueden obtenerse por halogenación directa del metal. El cloruro y el bromuro son bastante parecidos ambos son de color rojo pardo muy higroscópicas (forman soluciones amarillo-pardo) y volátiles; calentados al vacío, ambos pierden halógeno, transformando se en los halogenuros de hierro (II). Al estado gaseoso el fluoruro de hierro (III) existe como dímero de una estructura que geoméricamente es la misma que los dímeros de halogenuros de aluminio. Hasta aproximadamente $700^\circ C$, — temperatura a la cual comienzan a predominar los monómeros. El cloruro férrico

no mantiene esta estructura al estado sólido, sino que posee una estructura covalente, las capas, similar a la del CrCl_3 . Comúnmente el cloro de hierro (III) se encuentra en forma de hexahidrato, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, de color amarillo, que se obtiene al evaporar las soluciones acuosas con 4 1/2 o 3 moléculas de agua, ambas son rosadas. El compuesto anhidro es verde.

OTRAS SALES.-

El hierro (II) forma sales con prácticamente todos los aniones estables. Estas sales se obtienen casi invariablemente como hidratadas de color verde, al evaporar soluciones acuosas de composición apropiadas. Los siguientes constituyen ejemplos típicos:

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{SCN})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ y $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 3/2 \text{H}_2\text{O}$. Se ha demostrado que el sulfato y el perclorato contienen iones $(\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6)^{2+}$ octaédricos. Una sal doble importante es la sal de Mohr $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, que es bastante estable frente a la oxidación por el aire y a la pérdida por el agua. Se le usa comúnmente en análisis volumétrico para preparar soluciones valoradas de hierro (II) y con sustancias de calibración en mediciones magnéticas; muchos otros compuestos ferrosos son más ó menos susceptibles a oxidarse superficialmente o a perder agua, de modo que no resultan apropiados para ser empleados como sustancias patrón primario. Este comportamiento es particularmente marcado en el caso del $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, que eflorace lentamente y con el tiempo toma un color amarillo pardo.

El carbonato, el hidróxido y el sulfuro de hierro (II) se pueden precipitar de soluciones acuosas, de sales ferrosas. Tanto, el carbonato como el hidróxido son blancos pero en presencia del aire oscurecen rápidamente debido a la oxidación. El $\text{Fe}(\text{OH})_2$, puede convertirse completamente en $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ si se expone al aire un tiempo prolongado. El sulfuro también sufre una lenta oxidación.

El $\text{Fe}(\text{OH})_2$, es algo anfótero. Se redisuelve fácilmente en ácidos, pero también en NaOH concentrado. Sometiendo a ebullición una solución de NaOH al 50 % con hierro finamente dividido, se obtienen al enfriar cristales muy pequeños, de color azul verdozo y composición $\text{Na}_4(\text{Fe}(\text{OH})_6)$. También pue-

den precipitarse las sales de estroncio y de bario.

El hidróxido de hierro (II), puede obtenerse como compuesto definido cristalino, con estructura de la brucita, $Mg(OH)_2$.

El sulfuro de hierro (II) se comporta similarmente al Fe_2S_3 en cuanto a sus estructuras.

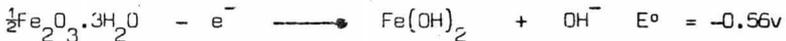
El hierro (III), puede formar sales con la mayoría de los aniones, — con excepción de aquellos que, debido a su carácter reductor, son incompatibles con él. El nitrato perclorado y sulfato, se obtienen como hidratos de color rosado pálido ó casi blanco, con fórmula: $Fe(ClO_4)_3 \cdot 10H_2O$, $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ y $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 10H_2O$.

QUIMICA DE LAS SOLUCIONES ACUOSAS.—

Las soluciones acuosas de hierro (II) que no contienen otros agentes — semejantes complejantes, contienen al ion hexaquo hierro (II) $Fe(H_2O)_6^{+2}$ que posee un color azul pálido verdoso. El potencial del par Fe^{+3}/Fe^{+2} es de 0.771 — volts y por lo tanto, en solución ácida, el oxígeno molecular puede convertir el ion ferroso en ion férrico:



El proceso de oxidación es aún más favorable en solución alcalina:



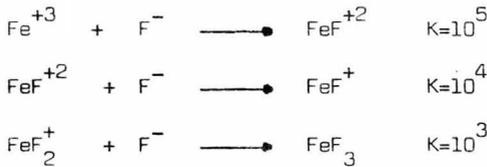
Por tanto, si se precipita $Fe(OH)_2$ en presencia de aire, se oscurece casi instantaneamente. Las soluciones ácidas y neutras del ion ferroso se oxidan más lentamente a medida que aumenta la acidéz, a pesar de que el potencial — de la reacción se hace más positivo. Esto se debe a que el hierro (III) se encuentra formando hidrocomplejos, pero también puede haber razones cinéticas.

La oxidación del hierro (II) a hierro (III) por el oxígeno molecular, parece comenzar con la formación de un ion FeO_2^{-2} , en el cual el oxígeno puede estar ligado como lo está en el $O_2Ir(PH_3)_2(CO)Cl$. La cinética de la reacción sugiere también la formación de una especie vinuclear como intermediario transitorio en el ataque del Fe^{+2} al FeO_2^{-2} .

La reacción total es: $\text{FeO}_2^{-2} + \text{Fe}(\text{H}_2\text{O})^{+2} \longrightarrow \text{Fe}(\text{OOH})^{-2} + \text{Fe}(\text{OH})^{+2}$
 donde se forma el ion hidroperoxo que se descompone rápidamente dando Fe^{+3} y HO_2^- . Este último, oxida al Fe^{+2} ó se descompone dando O_2 .

El hierro (III) tiene la característica de que en solución acuosa —
 tiende a la hidrólisis y/o formación de complejos. La naturaleza de las solu-
 ciones más concentradas de FeCl_3 es compleja. Las soluciones que son diluídas
 en Fe^{+3} y concentradas en HCl , contienen fundamentalmente FeCl_3 , pero a concen-
 traciones mayores de Fe^{+3} y/o H^+ menores, se forman octahédricas, como $(\text{FeCl}_4$
 $(\text{H}_2\text{O})_2)^-$ y polímeros de naturaleza incierta.

Una de las reacciones más conocidas del hierro (III) en solución —
 acuosa, es probablemente la reacción con el ion tiocianato para dar uno ó más—
 tiocianatos de color rojo intenso, que los hace apropiados para la detección ó
 estimación cuantitativa de pequeñísimas cantidades de Fe^{+3} . El color rojo es
 destruído por el ion fluoruro. Por vía seca es posible preparar soluciones —
 del ion FeF_6^{-3} , pero en solución acuosa los equilibrios más estables parecen —
 ser:



Por tanto, en solución acuosa, el ion férrico es fácilmente reducido
 por agentes reductores como el I_2 . También oxida al ion sulfuro de modo que
 no es posible precipitar sulfuro férrico. Al añadir H_2S ó un sulfuro a una —
 solución de hierro (III), se obtiene un precipitado que contiene sulfuro de —
 hierro (II) y azufre coloidal.

También debemos hacer notar que tampoco es posible precipitar carbo-
 nato férrico; al agregar carbonato ó bicarbonato a una solución de hierro —
 (III) precipita el óxido hidratado.

COMPLEJOS.-

El hierro (II) forma numerosos complejos, la mayor parte de los cua-
 les son octahédricos. Normalmente, los complejos pueden ser oxidados a férrico

cos y el sistema acuoso Fe^{+2}/Fe^{+3} provee un buen ejemplo de los ligantes complejantes sobre la estabilidad relativa de estados de oxidación.

Los halojenuros ferrosos, se combinan con amoniaco gaseoso, formando varios amoniatos, de los cuales los hexamoniatos son los más altos. Estudios con rayos X, han demostrado que estos contienen el ion hexamina $(Fe(NH_3)_6)^{+2}$. Otros compuestos ferrosos anhidros absorben igualmente amoniaco. Los aminocomplejos no son estables en el agua, sino solamente en soluciones acuosas saturadas de amoniaco. Se conocen muchos complejos estables en solución acuosa con aminas quelantes como ligantes.

El ion hexacianoferrato, llamado comunmente ferrocianuro, constituye un complejo de hierro (II) extremadamente estable y bien conocido. Forma un gran número de sales con diversos cationes. El ácido libre, $H_4(Fe(CN)_6)$ puede precipitarse como compuesto de adición con éter, agregando éter a una solución fuertemente ácida del ion. Es posible eliminar el éter, quedando el ácido como un polvo blanco. Cuando se le disuelve en agua, resulta un ácido fuerte, tetrabásico.

El hierro (III) forma gran número de complejos, la mayoría de los mismos son octaédricos; el octaédro puede considerarse como un poliedro de coordinación característica. Forma también unos pocos compuestos tetraédricos, entre los cuales se destaca por su importancia el $FeCl_4$.

El ion hexaquo existe en soluciones fuertemente ácidas de soluciones férricas y probablemente también en las sales cristalizadas muy hidratadas. Se sabe que existe en varios alumbres férricos también.

El hierro (III) manifiesta su mayor afinidad frente a ligantes que coordinan mediante el oxígeno, especialmente con los iones monofosfato $H_nPO_4^{(3-n)}$, polifosfatos y polioles como glicerina, azúcares, etc. Con el oxalato forma el complejo trioxalato, $(Fe(C_2O_4)_3)^{-3}$. La formación de complejos de β -dicetonas es responsable de los intensos colores que se forman al agregar β -dicetonas a soluciones del ion férrico y sirven para reconocerlas.

Con iones halojenuro y pseudohalójenuro, se forman importantes complejos. Se sabe desde hace mucho tiempo que tratando una solución de Fe^{+3} con hexacianoferrato (II) se obtiene un precipitado azul llamado "azul de Prusia"; y

que al tratar una solución de hierro (II) con hexacianoferrato (III) se obtiene un precipitado azul llamado "azul de Turnbull". Parece probable que en realidad se trate de sustancias idénticas, de fórmula $M'Fe_2(CN)_6$, donde M' puede ser sodio, potasio, rubidio, pero no Litio ni cesio. Su estructura está estrechamente relacionada con la del ferrocianuro férrico, de color pardo, $Fe_2(CN)_6$; al ferrocianuro de hierro (II) y de Potasio, $K_2Fe_2(CN)_6$, de color blanco, insoluble, y a algunos otros compuestos similares como $KCu^{+2}Fe(CN)_6$ y $Cu_2Fe(CN)_6$. La característica básica de la estructura parece ser un retículo cubico de iones - hierro con los iones cianuro ubicados entre ellos, a lo largo de las aristas. En el caso del $Fe(III)_2(CN)_6$ esta descripción es completa, salvo con respecto a moléculas de H_2O que puede haber en el interior de alguno de los cubos. En el $M'Fe^{+2}Fe^{+3}(CN)_6$, cada segundo cubo contiene en su centro un ion M', y en $M'_2Fe_2^{+2}(N)_6$, todos los cubos poseen aparentemente el mismo tipo de estructura. Se ha propuesto que en el azul de prusia mismo, los iones Fe^{+2} están rodeados por átomos de nitrógeno y que el espectro de absorción es debido fundamentalmente a — bandas de transferencia de carga.

FUNDAMENTOS DE LOS METODOS DE ANALISIS DE HIERRO EN SUS MINERALES.

Aún cuando las grandes plantas siderurgicas usan actualmente métodos automáticos de análisis, la determinación de hierro por vía química es de las más usadas para control de materiales que a su vez sirven para calibrar los aparatos automáticos. La industria siderurgica es de las mayores y el control químico de sus materias primas es indispensable.

Teniendo al hierro en muchos de sus compuestos con productos de solubilidad muy bajos, es posible cuantearlo gravimétricamente.

Teniendo valencias variables y un potencial normal entre ellos de un valor medio, es posible planear métodos de reducción-oxidación muy exactos. El potencial normal de Fe^{+2}/Fe^{+3} es 0.771.

Ya que tiene orbitales "d" vacíos, puede aceptar pares electrónicos y por lo tanto formar complejos de alta estabilidad, lo cual permite su titulación con EDTA o un reactivo similar.

Por último, actuando como un agente crómogeno muy sensible, es posible determinarlo colorimétricamente.

La selección de cualquiera de los métodos mencionados anteriormente, dependerá de la concentración probable de hierro en la muestra.

En el caso de las menas de hierro; obviamente es tan alta esta concentración que hace impracticable el empleo de métodos colorimétricos por las diluciones que sería necesario efectuar.

Si tenemos en cuenta que las menas de hierro están contaminadas con rocas, arcillas y demás materiales de la corteza terrestre, veremos que existen numerosas interferencias para los métodos gravimétricos, aparte de la lentitud usual de ellos; quedan pues, titulaciones red-ox ó por complejometría.

Normalmente, para esta titulación de hierro, se emplean procedimientos red-ox, ya que por lo general el hierro de la muestra está constituido por minerales del tipo de la hematita, Fe_2O_3 ; limonita, $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ y magnetita, Fe_3O_4 , (FeO y Fe_2O_3).

En todos los casos podemos esperar la presencia de óxidos en mez—

clas de ferroso y férrico. Si el ataque se lleva a cabo con HCl, en ausencia de aire, se tendrán mezclas de Fe^{+2} y Fe^{+3} . En este punto es posible titular la cantidad de Fe^{+2} si se desea, pero generalmente el único dato que se busca es hierro total.

A continuación se presentan dos de los métodos más comunes por vía química para la determinación de hierro total de sus minerales: en ambos casos, el mineral debe de estar perfectamente molido a unas dimensiones de 100 - mallas (0.15 mm).

DETERMINACION VOLUMETRICA DE HIERRO TOTAL.

Se toma un gramo de muestra y se mezcla con 200 ml de agua. Agitar vigorosamente y tomar una alícuota de 50 ml que equivalen a 250 mg de muestra. Se pasa a un matraz Erlenmeyer de 250 ml. se le añaden 10 ml de HCl conc. y se calienta a ebullición. Mientras hierve, se le va agregando gota a gota solución de $SnCl_2$ agitando, hasta que la desaparición del color amarillo nos indique que todo el hierro está reducido. Debe cuidarse especialmente esta operación y no tener más de una ó dos gotas en exceso de $SnCl_2$.

Se enfría inmediatamente en el chorro del agua y cuando está fría se le añaden 10 ml de H_2SO_4 (1:1) 50 ml de agua y 5 ml de solución de $HgCl_2$. Se deja reposar por tres minutos y se le agregan dos gotas de la solución del indicador, titulando inmediatamente con solución cérica valorada, hasta la desaparición del color rojo de la ferroína. Debe tomarse la primera desaparición total del color rojo ya que el $HgCl$ formado puede hacer transitorio este punto de vire.

Como la solución cérica usada es muy diluída, siempre es necesario determinar el error del punto de vire corriendo un testigo con los reactivos solos. Este error puede ser hasta de 0.3 ml.

El porcentaje de hierro estara dado por la fórmula:

$$\frac{\%Fe = (V - v) \times N \times meq. \times 100}{PESO MUESTRA} = \frac{(V - v) \times N \times 0.05585 \times 100}{0.250 \text{ g}}$$

Donde: V = volumen de la solución titulante.

V = Volumen por la corrección del error del punto de vire.

N = Normalidad de la solución titulante.

meq. = miliequivalente del ion ó compuesto por titular.

Reactivos requeridos:

Cloruro estannoso: solución al 10% de $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en HCl (1:4), agregar un trozo de estaño metálico para conservarla reductora.

Cloruro mercúrico: solución saturada (aproximadamente 4%)

Indicador: Solución de ortofenantrolina ferrosa 0.01M (ferroína)

Solución de $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ 0.01 N en H_2SO_4 1 M. Titular esta solución contra sulfato ferroso amoniacal.

Otro método es el siguiente:

Pésense 0.50 gramos de mineral pasándolo a un erlenmeyer de 500 ml. - Agreguense 10 ml de HCl concentrado y póngase a hervir suavemente cubriéndolo - con un vidrio de reloj.

A los 10 minutos de ebullición, agréguesele solución de SnCl_2 gota a gota, hasta decolorar la solución. Póngase nuevamente a hervir y repitase la - adición de solución estannosa si hay necesidad hasta que en el residuo no se - vean partículas de mineral de hierro sin atacar. Retírese de la parrilla y com - pruebe que no tiene el color amarillo del cloruro férrico. Si lo tuviera, vuel - vase a añadir SnCl_2 gota a gota, hasta decoloración. Este punto, al igual que en el método anterior hay que cuidarlo especialmente, pues si hay un exceso - grande de solución reductora, el análisis está perdido.

Déjese enfriar perfectamente y agreguense 200 ml de agua destilada, - 5 ml de HgCl_2 y 25 ml de solución de Reinhart. Esperar 10 minutos y titular - con solución de KMnO_4 0.1 N hasta coloración rosa de toda la solución, persis - tente por 2 segundos.

Los reactivos empleados son los mismos que en el método anterior, - excepto la solución titulante que en este caso es KMnO_4 0.1 N.

TECNICAS DE PREPARACION DE LOS MINERALES DE HIERRO

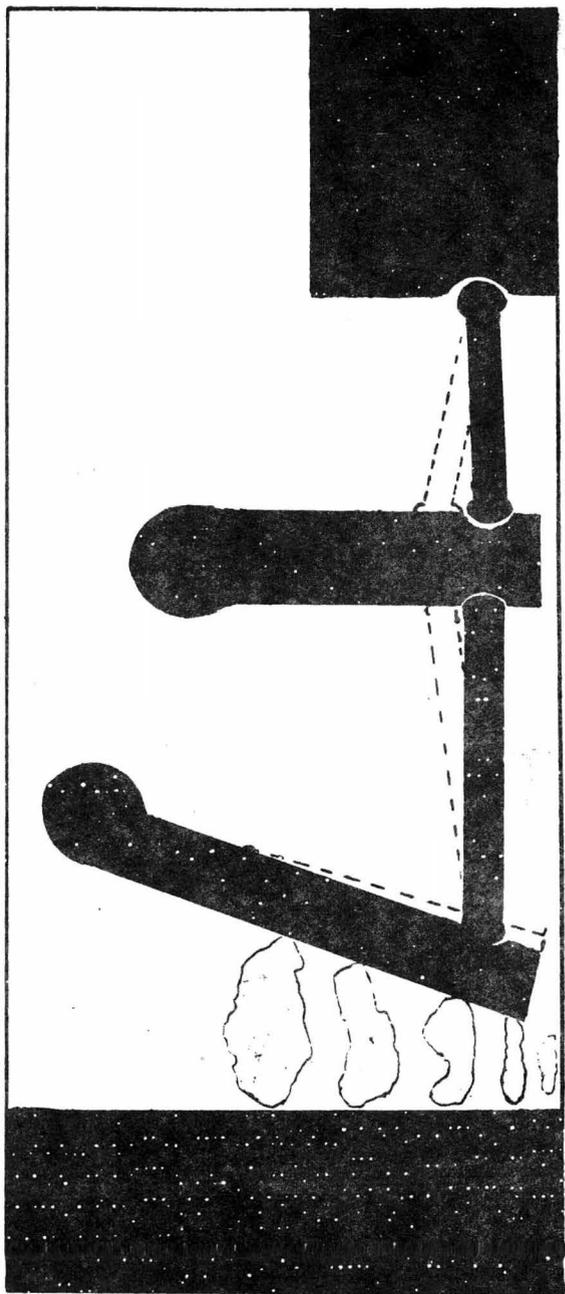
Para aumentar la eficiencia de la extracción del hierro, de sus minerales, se han ideado métodos muy importantes de concentración de mineral ó beneficio. Estos sirven para separar el verdadero mineral de la roca de desperdicio o ganga. Cuando la densidad del mineral es marcadamente diferente a la de la ganga, se usa la separación por gravedad. En el caso de algunos de los minerales de hierro que tienen la propiedad de ser magnéticos, se emplea la separación magnética, siendo previamente sometidos a un proceso de concentración por gravedad. (cribas hidráulicas).

Los minerales cuando son extraídos de las minas, tienen diversas dimensiones y están mezclados con ganga (la ganga está generalmente constituida por arena y arcilla), necesitando por consiguiente fracturación y lavado.

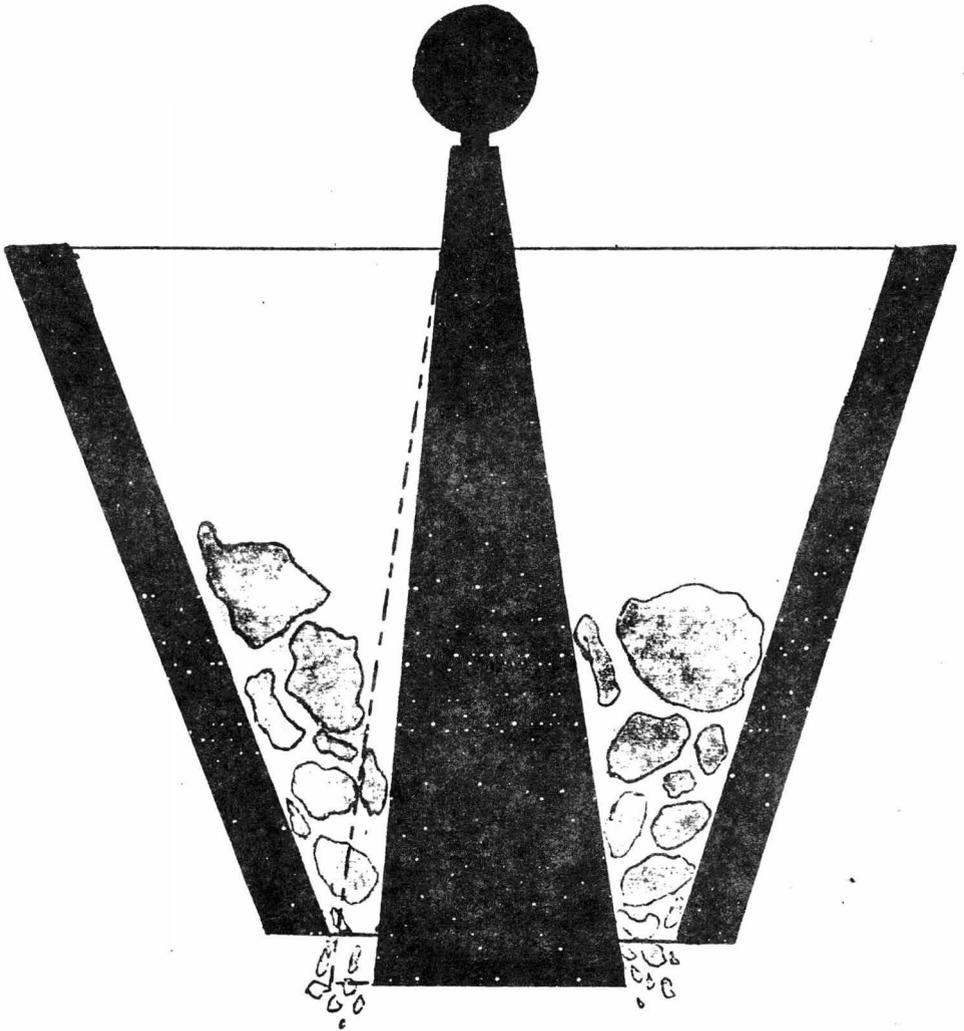
FRACTURACION.-

La fracturación se realiza en dos etapas: primaria y secundaria. La primaria se realiza en trituradoras de mandíbula, las cuáles constan normalmente de dos planchas de acero ó mandíbulas, colocadas una frente a la otra; una de ellas es fija y la otra móvil y puede girar sobre un eje situado en su parte superior. Mediante un dispositivo, se comunica a la mandíbula móvil, un movimiento de oscilación alternativo hacia adelante y hacia atrás de corto recorrido. El mineral se carga en el espacio comprendido entre las mandíbulas, y de ellas, la móvil, en su recorrido hacia adelante, aplasta los trozos contra la fija. Al retroceder la mandíbula móvil, el mineral triturado cae por la abertura que en la parte inferior forman las mandíbulas. La trituración primaria, reduce el tamaño de los trozos de mineral a un valor comprendido entre 5 y 7.5 cm. A continuación, los productos obtenidos se criban en un tamiz vibrante con objeto de separar aquellas partículas cuyo tamaño es ya lo suficientemente fino, con el consiguiente aumento en la capacidad de los fracturadores secundarios. En la trituración secundaria el tamaño de las partículas es a --

TRITURADORA DE MANDIBULAS



TRITURADORA DE PALANCA GIRATORIA.



un valor comprendido entre 3 y 6 cm, dejándolo en condiciones de poder pasar a las operaciones de molienda y concentración preliminar (lavado). Las trituradoras utilizadas en esta fase son por lo general de tipo giratorio. Estas trituradoras son similares a las descritas al hablar de la trituración primaria, diferenciándose únicamente en que trabajan a velocidades relativamente altas (aproximadamente 500 r.p.m.) y en que la abertura de salida de los productos triturados es mucho menor. Cuando el mineral es relativamente blando y no es abrasivo, se pueden utilizar para fraccionarlos trituradoras de martillos, donde la velocidad de giro de los martillos es mucho menor que la velocidad de trabajo de los otros tipos de trituradoras, lo que origina un mayor desgaste de las partes móviles. Cuando los minerales son duros y abrasivos, el desgaste de los martillos alcanza valores excesivos, lo que hace antieconómica la utilización de este tipo de trituradoras.

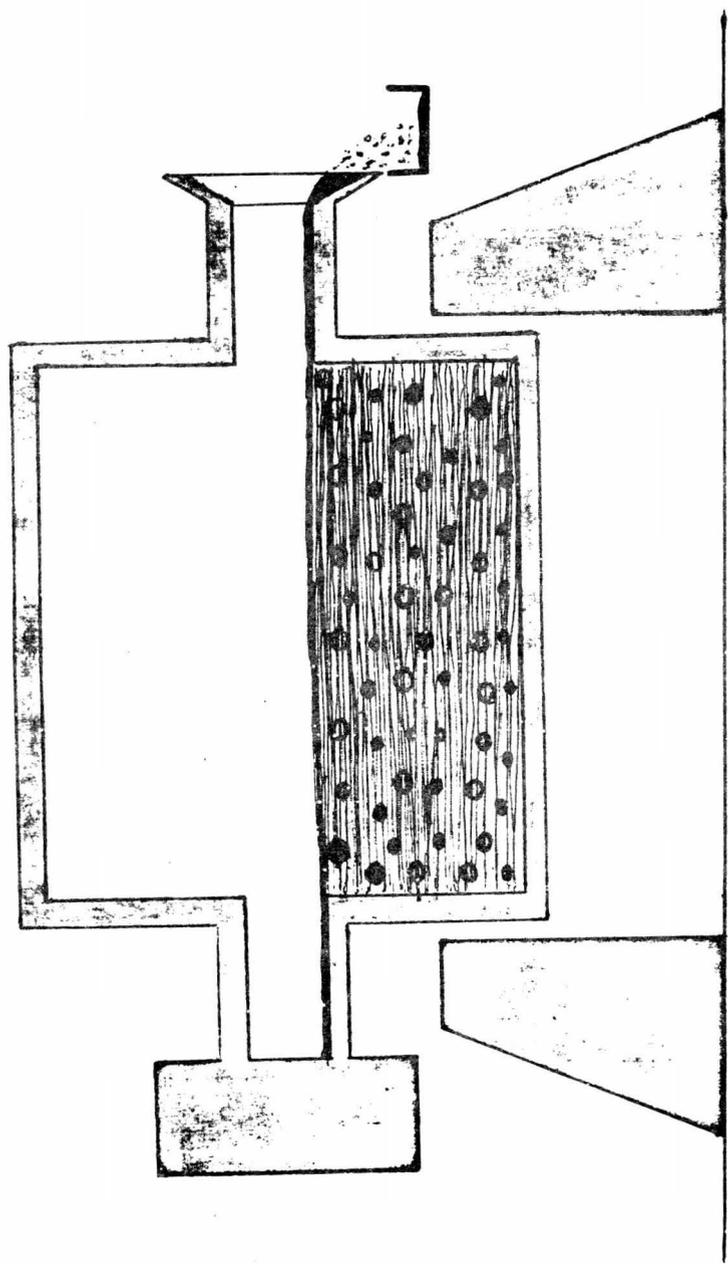
MOLIENDA.-

De los productos obtenidos en la trituración secundaria, se pasa a la sección de molienda, donde se les reduce a un tamaño aproximadamente de 100 micras (0.15 mm). La molienda consta de una serie de fases intermedias en las que se utilizan tamices y dispositivos para determinar las dimensiones. Esta operación se puede realizar por vía seca o húmeda, siendo ésta última la más común.

El molino mas utilizado de muchos tipos existentes, es el de tambor rotatorio. Este molino consta de un tambor horizontal que gira lentamente y se encuentra lleno parcialmente con cuerpos trituradores, tales como bolas ó varillas metálicas que pueden moverse libremente. En la figura que se representa en la siguiente página, se representa un típico molino de bolas de descarga axial. Esencialmente consta de un tambor que gira sobre su eje horizontal y cuyos muñones son huecos. El material a triturar se carga por el muñon de la izquierda mediante un cucharón unido al tambor y con el cual gira.

El molino se llena hasta la mitad con bolas de acero y la molienda se efectúa por rozamiento y choque con las bolas al caer éstas, debido al movimiento

MOLINO DE BOLAS



to de rotación del tambor. Conforme va siendo molido el material se mueve hacia el extremo de descarga saliendo totalmente molido a través del muñon hueco de la derecha. El tamaño del producto final y la capacidad de trabajo del molino, dependen de la velocidad y tamaño de las bolas y la cantidad de material cargado, así como del tamaño y dureza de éste.

El tamaño del producto final del molino, no es uniforme, por lo que se lleva a un clasificador que separa las partículas finas de las gruesas, las cuáles o bien vuelven al tambor para seguir sufriendo la acción de las bolas o pasan a un segundo molino.

LAVADO.-

El lavado se efectúa en tambores rodantes de gran capacidad, en los cuá les se somete al mineral molido a una corriente de agua a velocidad moderada y controlada para transportar la ganga de pequeñas dimensiones separándola del concentrado por decantación.

En otros casos en donde la operación de molienda es por vía húmeda, el material molido pasa inmediatamente después a cribas hidráulicas, donde mediante agita ción continua se logra separar gran cantidad de partículas finas de ganga y material soluble, quedando el concentrado depositado en el fondo.

La operación de lavado, en donde el material a tratar tiene un conteni do pobre en metal, se efectúa en grandes tanques decantadores para eliminar la gran cantidad de ganga asociada al mineral mediante una corriente forzada de agua por la parte inferior del tanque haciendo flotar las partículas finas, las que son eliminadas al aumentar el nivel del agua dentro del tanque por la parte superior.

Después del lavado, el material queda listo a las unidades de concen tración.

CONCENTRACION.-

Para la concentración de los minerales de hierro se emplea el proceso de separación magnética. En este proceso se aprovecha la propiedad magnética que presentan algunos de los minerales de hierro. Para la preparación de los minerales a este tipo de concentración, se someten a una etapa preliminar de concentración mediante cribas hidráulicas. El cribado hidráulico, es un sistema de separación por gravedad, consistente en someter un lecho de partículas sólidas inmersas en agua y que forman un depósito suelto, a una serie de pequeños impulsos verticales.

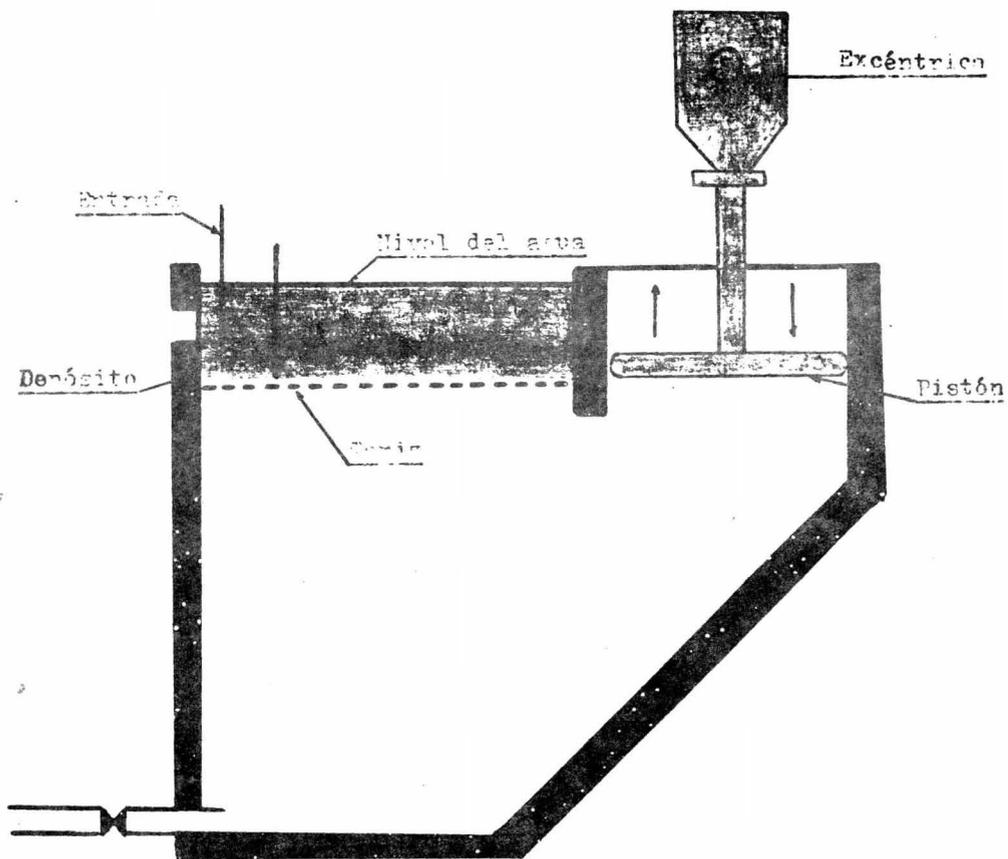
La criba está formada por un depósito en forma de tolva, dividido en dos compartimientos, uno de los cuales contiene un tamiz y el otro un pistón movido por una excéntrica. Sobre el tamiz, se carga constantemente mineral y agua. Al moverse el pistón, el agua sube a través del tamiz y pone en suspensión las partículas del mineral. Como las partículas de ganga son más ligeras, suben a la superficie del líquido, de donde son barridas por un chorro de agua de alimentación que atraviesa el compartimento, mientras que las partículas del mineral, al ser más pesadas, se depositan sobre el tamiz.

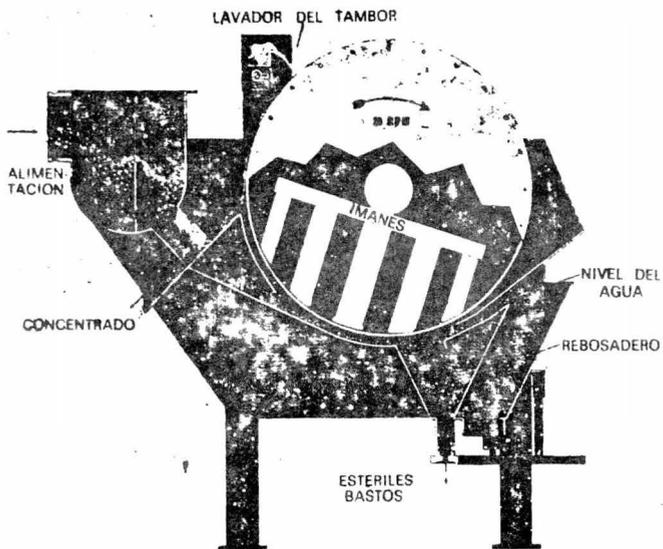
Esta operación de concentración preliminar tiene por objeto el proporcionar al separador magnético una superficie más exenta de impurezas por parte del mineral lo que permite la atracción magnética más fácilmente.

La separación magnética se base en el principio de que todos los minerales sometidos a un potencial elevado adquieren una carga eléctrica en su superficie. Los minerales se cargan sobre un tambor conectado electricamente a la tierra y se someten al campo creado por un electrodo de alta tensión montado inmediatamente por encima del rotor. Las partículas de mineral de mala conductividad eléctrica adquieren una carga superficial y son atraídas, quedando adheridas al rotor, mientras que las que poseen una gran conductividad no se cargan electricamente y se desprenden separándose del rotor.

En muchos casos el mineral concentrado ó triturado, se deseca para eliminar el agua absorbida.

OTRO TIPO DE BOMBA





Sección recta de un separador magnético de un solo tambor en contracorriente. (The Jeffrey Manufacturing Company.)

CALCINACION Y CALENTAMIENTO.-

En el caso de que los minerales en tratamiento no sean oxidados, como la siderita (FeCO_3) y la limonita ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), es necesario descomponerlos para llevarlos a la composición química requerida, ya que así se facilita la etapa de fusión en que son reducidos hasta obtener el metal puro.

Estas operaciones se realizan en hornos rotatorios, obteniendo temperaturas del orden de 800 a 1,000° C, suficiente para efectuar la calcinación de la siderita, mediante la siguiente reacción:



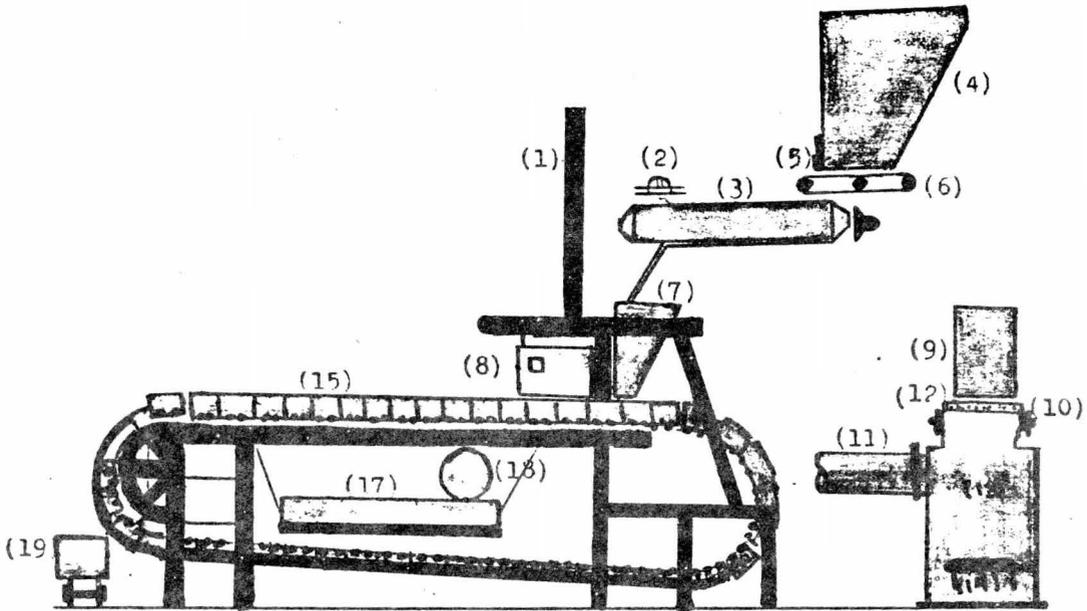
Para descomponer la molécula de la limonita, basta calentar el mineral a una temperatura algo superior a la de la evaporación del agua.

SINTERIZACION.-

Para conservar las fuentes de mineral de alta calidad se efectúa la operación denominada sinterización. Este proceso consiste en calentar las partículas hasta fusión incipiente provocando que las partículas se suelden formando un aglutinado, aumentando así el tamaño de las partículas antes de la fusión. Esta operación tiene como finalidad el evitar que parte de la carga (compuesta de partículas finas) sea arrastrada a la atmósfera por el flujo de gases.

En la siguiente página se muestra un esquema de una máquina de sinterización. La carga cae automáticamente mediante una tolva de alimentación sobre una parrilla móvil. La carga pasa a continuación por un encendedor, el cual prende la superficie de la carga al penetrar ésta en la zona de aspiración. El dispositivo de encendido está formado por un quemador que dirige los productos calientes de la combustión a través de la superficie de la carga. Debajo del emparrillado móvil que transporta la carga, existe en la zona de aspiración una caja de viento o de aspiración. La caja de viento está conectada a un ventilador centrífugo de fuerte depresión, el cual aspira el aire a través de la carga a su paso por encima de la caja. Esto hace que el calor penetre a

MAQUINA DE SINTERIZACION



- | | |
|---|---------------------------------------|
| (1) Chimenea | (11) Tubo de aspiración al ventilador |
| (2) Pulverizador de Agua | (12) Paletas con mineral |
| (3) Mezclador | (13) Caja de viento |
| (4) Tolvas de mineral alimentadas por un transportador de mineral | (14) Paleta vacía |
| (5) Compuerta reguladora de alimentación | (15) Carros transportando mineral |
| (6) Correa alimentadora | (16) Puerta de limpieza |
| (7) Tolva de alimentación | (17) Caja de viento |
| (8) Quemador | (18) Tubo de aspiración |
| (9) Tolva de alimentación | (19) Vagoneta |
| (10) Parrilla | |

través del lecho que forma la carga que se quiere sinterizar. La profundidad del lecho es de 20 a 25 cm con minerales de hierro. La velocidad con que se mueve la cinta es tal que la sinterización se completa al llegar el material al extremo de la caja de vientos. El material sinterizado, al alcanzar el — otro extremo del emparrillado cae a una vagoneta dispuesta para recibirlo. — En esta máquina todas las fases del proceso se realizan mecánica y automáticamente. Todos los factores que intervienen en la marcha del proceso, tales como uniformidad de la mezcla, espesor de la capa, porosidad, intensidad del encendido, suministro de aire y duración del sinterizado, pueden controlarse mediante dispositivos mecánicos, los cuáles pueden manejarse por un solo operario.

Una vez efectuados los procesos necesarios para la preparación y concentración, el mineral queda listo para su fusión, donde se someterá a procesos de reducción hasta la obtención del metal puro ó productos varios. De estos procesos nos ocuparemos en el siguiente capítulo.

EL BENEFICIO DEL HIERRO

En el beneficio siderúrgico, lo fundamental es la reducción de los óxidos de hierro, para lo cual se mezcla el mineral con la materia reductora y se somete todo a la acción del calor hasta lograr su fusión. La fusión es una operación que se realiza a elevadas temperaturas, en la que se obtiene metal fundido. En esta operación generalmente se adicionan fundentes, los cuáles tienen la propiedad de abatir la temperatura de fusión del hierro disminuyéndola y por consiguiente disminuye el consumo excesivo de combustible ó energía calorífica necesarios para el proceso.

El fundente más comunmente usado en la industria siderúrgica es la piedra caliza, ya que sus características químicas son ideales para este tipo de procesos debido a su facilidad para formar compuestos químicos con la ganga e impurezas del hierro formando una gruesa capa que flota sobre el metal fundido debido a su menor densidad y se conoce con el nombre de escoria la cual se elimina periodicamente durante el proceso aunque no totalmente, puesto que después de la fusión desempeña otras funciones tales como evitar un enfriamiento rápido y actuar como aislante al no permitir que agentes extraños se combinen con el metal modificando su composición. Esto es posible ya que la escoria se encuentra adherida al metal después del vaciado y no se hace necesaria su eliminación sino hasta que se pasa a procesos de acabado, lo cual se hace mecánicamente.

Los tipos de hornos usados en la fusión reductora del mineral de hierro son: alto horno, horno de reberbero, horno de cubilote y horno eléctrico pero solo veremos el alto horno por ser el más comunmente usado en México.

Las materias primas que alimentan el alto horno son: mineral de hierro, coque (carbón vegetal o mineral libre de materias volátiles e impurezas), fundente (caliza) y aire.

Los minerales de hierro usados principalmente son óxidos como: Hematita, Siderita, Magnetita y Limonita, estando formada la ganga en su mayor parte por sílice (SiO_2), junto con cantidades menores de manganeso y fósforo; los que han sido sometidos previamente a las operaciones de concentración, tostación ó calcinación dependiendo de tipo de mineral de que se trate siguiendo con la sinterización ó aglutinamiento de las partículas fines del mineral.

En los altos hornos modernos, no cabe recurrir a otro agente térmico.

y reductor que el coque; los otros carbones son o demasiado escasos y por lo tanto muy caros, u ofrecen inconvenientes de carácter térmico. En principio, es posible el proceso siderúrgico con cualquier clase de carbón, pero no en un alto horno. Este requiere un combustible de excelentes condiciones mecánicas, que le permitan resistir el aplastamiento bajo el enorme peso de la gran altura del horno.

El coque no solo actua como agente reductor y proporciona el calor para el desarrollo de las reacciones, sino que también es responsable de la aparición en el arrabio (hierro sucio ó de primera fusión) de carbón y de otras impurezas. El coque debe de ser de bajo contenido en fósforo y azúfre, debe ser también poroso para ofrecer poca resistencia al flujo ascendente de los gases.

El coque se produce mediante una operación denominada coquización que consiste en calentar carbón bituminoso en hornos especiales hasta una temperatura aproximada a 1,110°C, con lo cual se eliminan la humedad y materias volátiles y queda un residuo formado por cenizas y carbón fijo ó coque. En la destilación del carbón, se producen gases, los cuales se recuperan y extraen de ellos productos químicos de gran valor.

El papel del fundente, aparte de disminuir la temperatura de fusión es combinarse con la ganga y formar una escoria fusible. Como la mayor parte de las gangas son de carácter ácido debido a la sílice, se recurre al empleo de un fundente básico como es la piedra caliza. El fundente también se combina con el azúfre, el cual puede estar contenido en el mineral ó en el combustible y formar un sulfuro que pasa a la escoria.

EL ALTO HORNO.-

Una vez analizados cada uno de los constituyentes de la carga y sus funciones, procedamos al estudio de su principal medio de fusión; es decir, el alto horno.

Los altos hornos, son grandes hornos de cuba cuyas dimensiones van de 30 a 40 metros de altura, revestidos interiormente por ladrillos refractarios. La parte cilíndrica inferior, denominada crisol, de unos 3 metros de altura y unos 8 de diámetro, contiene las toberas, la piquera de escoriar ó bigotera -

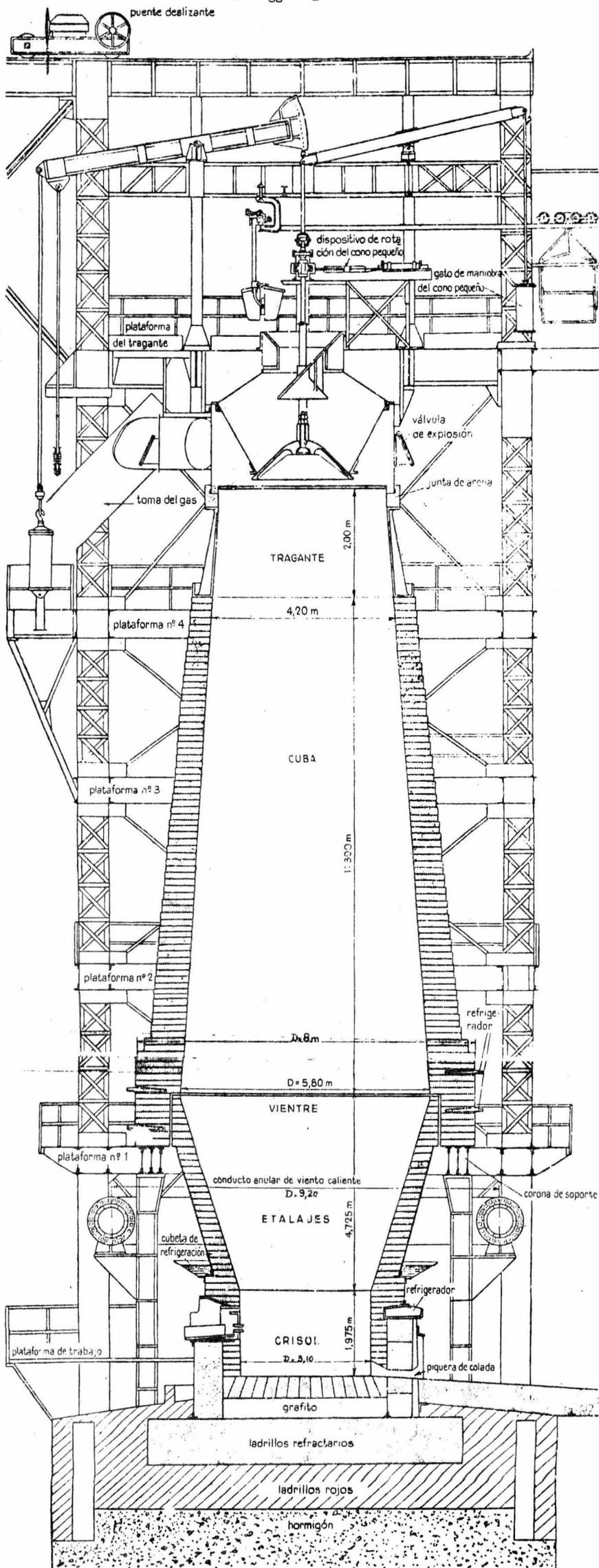
a través de la cual se efectúa el sangrado de la escoria líquida, está situada aproximadamente 1 metro por debajo de las toberas. La piquera del hierro, a través de la cual se efectúa el sangrado del arrabio líquido, se encuentra situada unos 60 cm. por la parte superior del crisol. sobre el crisol se encuentra el etalaje, el cual tiene forma de trombo de cono invertido, de unos 3 metros de altura, y cuya base mayor tiene un diámetro de unos 9 metros aproximadamente. El etalaje está rodeado por el colector del viento de soplado, a través del cual llega el aire caliente a las toberas. Sobre el etalaje se encuentra la cuba, la cual es un tronco de cono de altura comprendida entre 15 y 18 metros, y cuya base superior tiene un diámetro de unos 6 metros. La carga del horno se efectúa por su parte superior, transportándose las primeras materias hasta dicha zona en unos carros de carga basculantes que se mueven sobre una carrilera inclinada. La parte superior del horno está provista de 2 campanas con cierre de cono a través de las cuales puede efectuarse la carga sin que se produzca una pérdida de gases calientes. Los materiales se descargan en la campana superior, bajando a continuación el cono y cayendo la carga en la campana inferior. Ya que están los materiales en éste recinto, se cierra la campana superior levantando el cono y se baja el cono de cierre de la inferior, cayendo la carga al interior de la cuba.

Cada horno está equipado con 3 ó 4 recuperadores de calor, cuyo objeto es el precalentamiento del aire antes de su entrada en el horno a través de las toberas. Los recuperadores son cilindros verticales de acero de unos 36 m. de alto, y de diámetro comprendido entre 7 y 9 metros, los cuales contienen dos cámaras revestidas con ladrillos refractarios. Una de ellas, grande y despejada, constituye la cámara de combustión, en la que los gases procedentes del horno alto se mezclan con la proporción correspondiente de aire, quemándose. Los gases quemados ascienden a la cúpula del recuperador y de allí descendían a los numerosos conductos de ladrillos refractarios que forman la segunda cámara, cediéndoles gran parte de su calor. Después de estar pasando el gas durante unas tres horas, por el mismo recuperador se cierra el paso y se envía a otro de los recuperadores, introduciéndose por el primero en su parte inferior aire procedente de las máquinas soplantes el cual durante su recorrido hasta el horno, absorbe el calor almacenado en el refractario. Si el horno

cuenta con tres recuperadores, mientras uno está "en aire", los otros dos están "en gas", por lo que el tiempo que cada recuperador está "en gas", es doble del que está "en aire".

A continuación se incluyen tres diagramas del alto horno donde podemos observar en el primero; una vista de conjunto de un alto horno con capacidad de 200 toneladas diarias con dimensiones generales y distancia entre ellas. En el segundo diagrama las partes del alto horno y en el tercero las partes complementarias y demás accesorios y materias primas para su funcionamiento.

El alto horno es el método mas moderno en todo el mundo para beneficiar las menas de hierro; su capacidad diaria varía entre 180 toneladas en los hornos pequeños y 1,350 toneladas en las instalaciones más modernas. ✱



—Vista de conjunto de un horno alto; 200 ton de producción diaria.

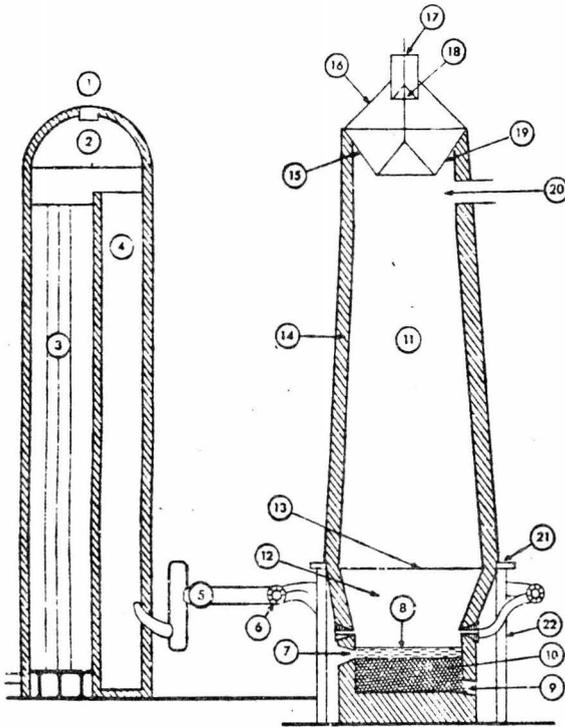
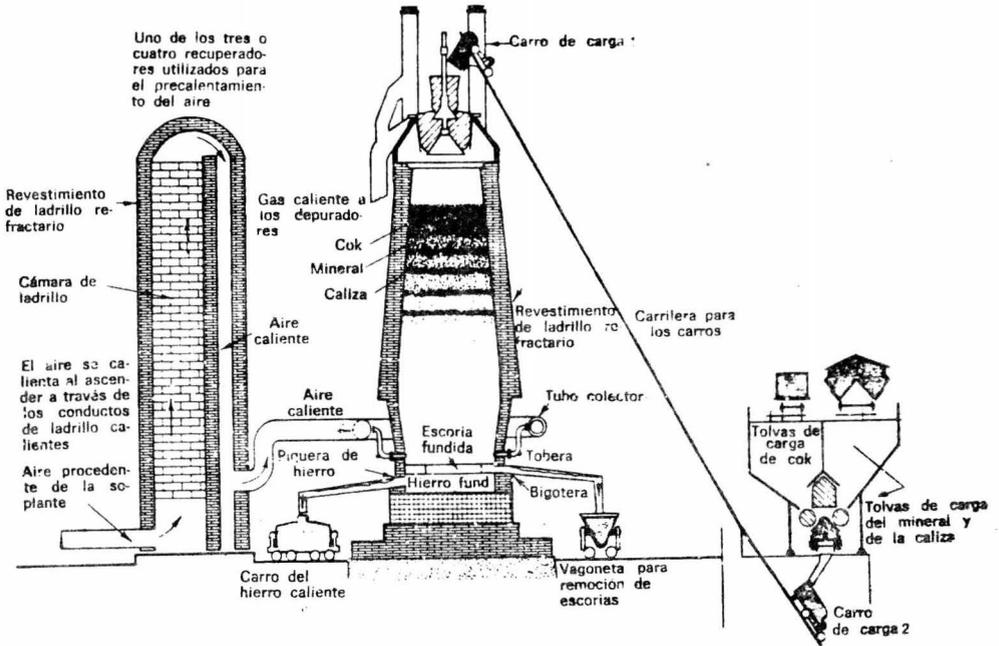


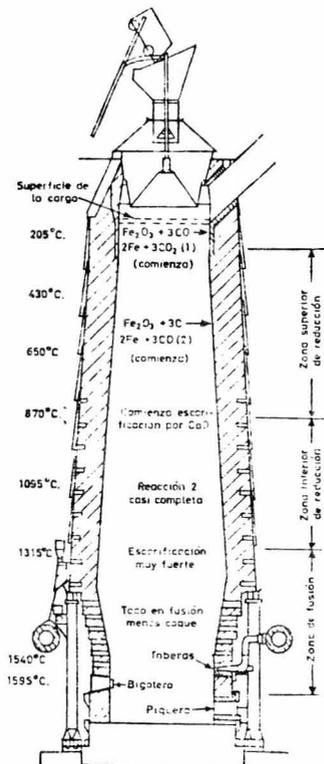
DIAGRAMA DE UN ALTIC HORNO

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Recuperador (Estufa). | 12. Etaje. |
| 2. Cúpula. | 13. Vientro. |
| 3. Empicado de ladrillo. | 14. Revestimiento refractario. |
| 4. Cámara de combustión. | 15. Tragante. |
| 5. Tubo de viento. | 16. Tolva de carga. |
| 6. Toberas. | 17. Carga. |
| 7. Escoriadero. | 18. Campana pequeña. |
| 8. Boquilla de tobera. | 19. Campana grande. |
| 9. Orificio de colada (piquera). | 20. Toma de gases. |
| 10. Cristal. | 21. Anillo soporte de la cuba. |
| 11. Cubo. | 22. Columnas de apoyo de la cuba. |



FUNCIONAMIENTO.-

El esquema que se muestra a continuación, es un resumen aproximado del proceso en alto horno, donde se observan los niveles de temperatura y de reacciones químicas.



Las materias primas se depositan en grandes vagones por góndolas de —
vaciado automático por el fondo. Debajo de esas hileras de depósitos corren —
vagonetas en las que caén las cantidades de mineral, combustible y caliza nece-
sarias para la mezcla de carga. Estas cantidades predeterminadas de material
se vacían en la vagoneta de carga, que es elevada hasta la parte superior del-
horno por un plano inclinado provisto de doble vía. En la tolva superior del
horno cuyo fondo está cerrado por una campana en forma de cono, se arrojan —
las cargas de mineral, caliza y coque. En la parte superior del horno no es
necesario que trabajen otros hombres que los que eventualmente tienen que ha-
cer alguna preparación. Cuando una vagoneta se encuentra arriba descargando

su contenido, la otra está abajo y es cargada de mineral, coque o caliza. Debajo de la tolva superior hay otra tolva más grande con una gran campana que cierra el fondo. A medida que las cargas se reciben en la tolva superior, se baja la campana superior para que la carga de la vagoneta caiga a la tolva inferior. De esta manera, la tolva principal se llena progresivamente de mineral, coque y caliza. A intervalos, con la campana superior cerrada, se abre la campana inferior para que el contenido de la tolva inferior caiga sobre el material que está en el fondo en forma de una corriente circular.

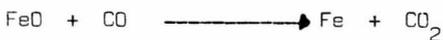
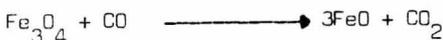
Los ciclos de las operaciones que comprende la carga de los hornos son realizadas por el operador basandose en su experiencia o por ensayos de tanteo. De los muchos ciclos posibles, el típico es el siguiente:

Mineral-Mineral-Caliza-Coque/Mineral-Caliza-Coque Coque/Mineral-Mineral-Caliza-Coque-Coque. La diagonal quiere decir que se vacía la tolva inferior en el horno.

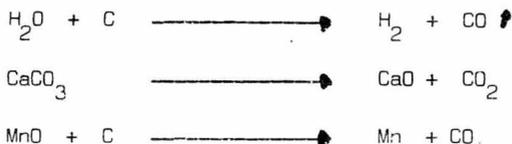
REACCIONES QUIMICAS.-

Las reacciones químicas que tienen lugar en el alto horno son muy numerosas, y nos limitaremos a tratar solamente las más importantes.

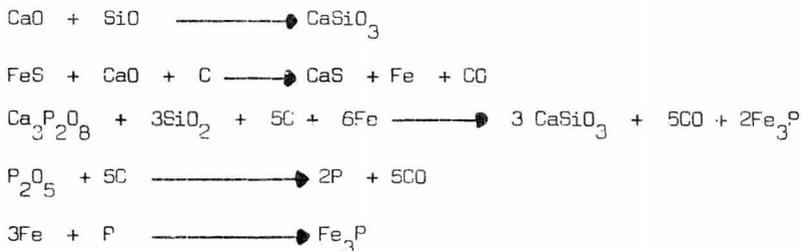
El mineral, la caliza y el coque al ser cargados por la boca del horno, entran en contacto con la corriente ascendente de gases calientes, cuya temperatura es aproximadamente de 150°C, secandose y eliminándose el agua que pudiera contener. Los materiales descienden lentamente por la cuba hasta alcanzar la zona de reducción, en la cual las temperaturas varían entre 370 y 870°C. Aquí se ponen en contacto con el gas reductor óxido de carbono, verificándose las siguientes reacciones que van acompañadas de un aumento de temperatura:



Al continuar descendiendo los materiales llegan a la zona de absorción de calor, en la cual las temperaturas varían de 870 a 1,315°C, correspondiendo éste último valor a la parte superior del etalaje. En esta zona se descomponen el agua y la caliza, el hierro esponjoso absorbe algo de carbón y parte de óxido de manganeso se reduce verificándose las siguientes reacciones:



En la región del etalaje, conocida como zona de fusión, se alcanzan temperaturas de unos 1,650°C, teniendo lugar a muchas de las reacciones que dan lugar a la formación de la escoria. Algunas de las reacciones que se verifican, son las siguientes:



De la última serie de reacciones, la tercera y la última conducen a la formación de fósforo de hierro, el cual es soluble en el hierro y pasa a formar parte del baño metálico; por consiguiente, la única manera de controlar el contenido en fósforo del arrabio es mediante una adecuada selección de los materiales de partida.

Inmediatamente por encima de las toberas se encuentra la zona de combustión, en la cual se llegan a alcanzar temperaturas de alrededor de 2000°C. En ésta zona, el oxígeno y el agua contenidos en el aire caliente insuflado, se combinan con el coque, formándose hidrógeno y óxido de carbono. La escoria y el hierro, ambos en estado líquido ahora, se filtran a través de los intersticios del coque, pasando al crisol, donde se separan en dos capas por orden de densidades. La capa inferior de metal fundido, contiene todas las sustan-

cias reducidas, mientras la superior, de escoria, esta compuesta por todas las sustancias que han quedado sin reducir. Es probable que la superficie de contacto entre ambas haya una pequeña reducción de sílice con formación de silicio de hierro o silicio de acuerdo con las siguientes reacciones:



Lo que explica la presencia en el hierro de pequeñas cantidades de silicio al estado de disolución.

En marcha normal la escoria se sangra cada dos horas aproximadamente, mientras que el sangrado del hierro tiene lugar cuatro ó cinco veces al día. El arrabio se cuela en cucharas en las cuales se transporta a los hornos de acero, los cuales necesariamente tienen que encontrarse cerca, o bien puede moldearse en lingote de afino.

Las impurezas que contiene el arrabio varían notablemente según el mineral utilizado, pero normalmente se encuentra dentro de los siguientes intervalos: carbón 3 a 4.5%; silicio, 1 a 4%; azufre, 0.04% a 0.2%; fósforo, 0.1 a 2% y manganeso, 0.2 a 2.5%.

Este arrabio es llevado a convertidores, donde mediante la insuflación continua de aire serán oxidadas gran cantidad de impureza y transformarlo así en acero.

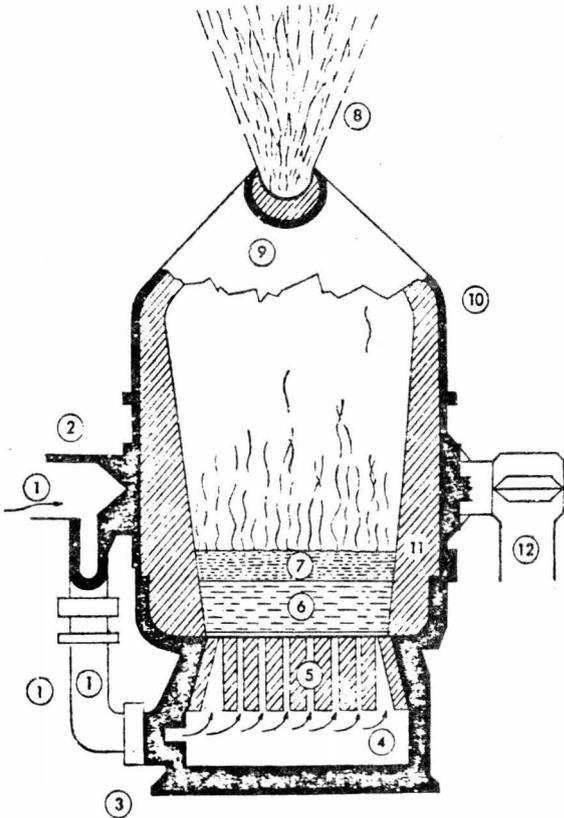
FABRICACION DE ACERO.-

Para la obtención de acero se requiere la eliminación de diversas impurezas que contiene el arrabio obtenido en el alto horno y que son principalmente Carbono, Manganeso, Silicio y Fósforo. Para la eliminación de éstas impurezas pueden utilizarse diversos procedimientos:

Convertidor Bessemer, horno básico al oxígeno, horno Martín-Siemens y Horno Eléctrico de arco. En cada uno de éstos sistemas, el horno puede tener el revestimiento ácido (Sílice) ó básico (De Magnesita ó Dolomita).

El convertidor Bessemer, está contituido por una cuba de acero de forma de pera revestido interiormente por material refractario.

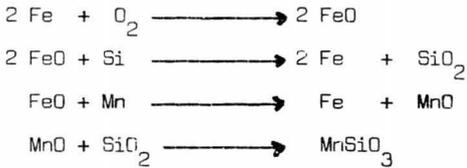
A continuación se observa un esquema de la sección recta del convertidor Bessemer.



ESQUEMA DE UN CONVERTIDOR BESSEMER

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Tubería de viento. | 7. Escoria. |
| 2. Muñón. | 8. Llama. |
| 3. Toma de viento. | 9. Baco. |
| 4. Caja de viento. | 10. Casco de lamina o palastro. |
| 5. Fondo con Toberas. | 11. Revestimiento refractario ácido o básico. |
| 6. Baño líquido (acero). | 12. Muñón de volteo |

El arrabio procedente del alto horno al estado líquido se carga al convertidor, el cual se ha hecho bascular previamente hasta alcanzar la posición horizontal. El aire utilizado para la oxidación, a una presión de aproximadamente 2 Kg/cm^2 , se introduce por uno de los muñones huecos de la caja de viento, de donde pasa a través de las toberas a la carga. El oxígeno del aire oxida en primer lugar al hierro, el cual a su vez oxida al silicio y al manganeso que se combinan entre sí para formar la escoria de acuerdo con las siguientes reacciones:



Una vez oxidados, el silicio y el manganeso, el oxígeno se combina con el carbono, para formar CO, el cual se quema en la boca del convertidor.

El tipo de escoria producida depende del carácter del revestimiento refractario. Así, un revestimiento ácido (sílice) no ejerce ninguna acción sobre el fósforo y el azufre, los cuales pueden eliminarse sólo mediante una escoria básica por tanto, en el proceso Bessemer ácido, el cual se emplea exclusivamente en los Estados Unidos, el arrabio debe ser bajo en fósforo y en azufre. En los convertidores ácidos, el calor que se desprende proviene principalmente de la oxidación del silicio, y en el arrabio utilizado debe contener de 1.0 a 2.0 % de silicio, no sólo para que actúe como combustible, sino para que se forme una escoria adecuada.

El progreso de la oxidación, se juzga por el aspecto que tiene la llama que sale por la boca del convertidor. A los pocos minutos de iniciado el soplado se han eliminado el silicio y el manganeso y comienza a oxidarse el carbono, lo que se pone de manifiesto por el color rojo amarillento de la llama que sale por la boca del convertidor. Esta se transforma rápidamente en una llama blanca de 7.5 m. de altura. Al poco rato la llama empieza a acortarse y a ser menos luminosa, lo que es señal de que prácticamente todo el carbono se ha quemado. En este momento se corta el soplado de aire e inclinando el convertidor, se cuela el hierro afinado en un caldero de colado.

Como todo el carbón que originalmente contenía el arrabio se ha elimi

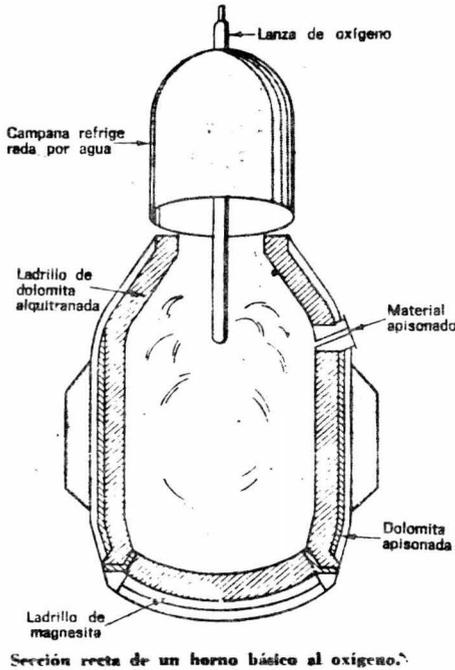
nado, se hace al caldero las adiciones necesarias para desoxidar y recarburar el hierro afinado de modo que se obtenga un acero determinado. Con este fin se adiciona normalmente ferromanganeso el cual contiene aproximadamente 80 % del manganeso, de 5 a 7 % de carbón y de 0.5 a 1.0 % de silicio. El manganeso y el silicio constituyen unos buenos desoxidantes y reducen al óxido de hierro que hubiera presente. Para la obtención de aceros altos en carbón, en vez de ferromanganeso, se utiliza spiegeleisen (18 a 22 % Mn, 5 a 6 % C, 1 % Si), pudiéndose utilizar también como desoxidante adicional pequeñas cantidades de ferrosilicio (47 a 52 % Si). El acero fundido se cuela del caldero a las lingóteras, sometiéndose posteriormente a diversos procesos para alcanzar la forma deseada.

Este procedimiento es rápido y barato, tardándose de 10 a 15 min. en la producción de 18 ton. de acero, aunque presentan el inconveniente con respecto al acero producido por los otros procedimientos, de contener mas impurezas no metálicas.

La introducción del proceso Bessemer en 1864, marcó el comienzo de la producción comercial en gran escala de acero. La mayor parte del acero producido en la segunda mitad del siglo XIX se obtuvo por este procedimiento. En los últimos 50 años el proceso Siemen-Martin ha reemplazado el proceso Bessemer como mayor productor de acero, quedando limitado este último a la fabricación de acero para tubería, hojalata y algo de alambre principalmente. El reciente descubrimiento del procedimiento básico al oxígeno ha supuesto el abandono total del proceso Bessemer ácido.

El horno utilizado para la fabricación de acero por el proceso básico al oxígeno, es análogo al convertidor Bessemer básico, diferenciándose de éste último en que no tiene toberas, caja de viento ni fondo rebatible. En la siguiente página se presenta un esquema de la sección recta de un horno básico al oxígeno.

El revestimiento refractario básico tiene un espesor de aproximadamente 1 m. y está formado por una capa interior de ladrillos de magnesita, otra intermedia de dolomita apisonada y una tercera de trabajo formada por ladrillos de dolomita alquitranada. El horno está proyectado para producir unas 180 ton de acero por hora.



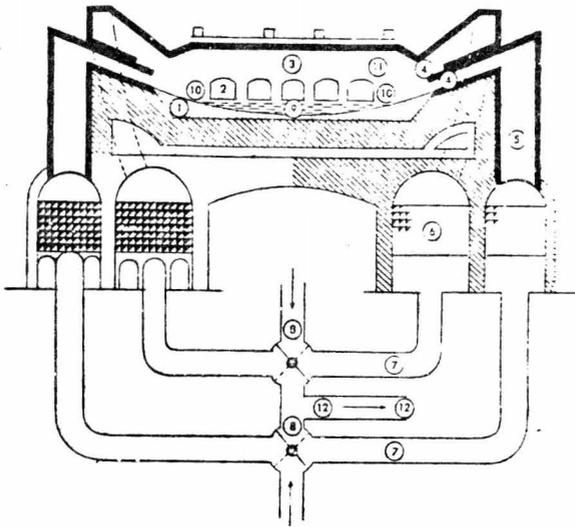
QUÍMICO.

La carga se compone de mineral de hierro, chatarra de acero y arrabio líquido, junto con una pequeña cantidad de caliza como fundente. Durante el -soplado se suelen adicionar otros materiales fundentes como cal. y espato fluor

Una vez cargado el horno, y en posición de trabajo, se introduce hasta una distancia de la superficie del baño, inferior a 1.5 m. una lanza vertical refrigerada con agua, a través de la cual se envía a la superficie del baño un chorro de oxígeno de gran pureza a una presión de 7 a 10.5 Kg/cm². La temperatura en la superficie del baño alcanza un valor de unos 2,200° C. Las reacciones que verifican son las mismas que en el proceso Bessemer, con la diferencia de que debido a las temperaturas tan elevadas que se alcanza, la oxidación es más rápida. A consecuencia del óxido de carbono que se forma, se produce en todo el baño una violenta ebullición. Como el revestimiento es básico, la mayor parte del fósforo y del azufre pasará a la escoria. Un acortamiento de la longitud de la llama que sale por la boca del horno, indica el final del proceso. La lanza se retira; el horno se bascula para descoriar el ba

no se endereza nuevamente y a continuación, se cuela el hierro afinado en un caldero. Al caldero se le hacen las adiciones normales para obtener el acero de la composición deseada. La calidad del acero producido por este proceso es igual o superior a la del acero obtenido por el horno Siemen-Martin.

El procedimiento Siemen-Martin, tuvo un desarrollo más lento que el Bessemer, y hasta después de 1908 no consiguió convertirse en el principal procedimiento de producción de acero. Según sea el tipo del revestimiento refractario, el proceso Siemen-Martin puede ser ácido ó básico, pero de los dos el más utilizado con gran diferencia es el segundo.



ESQUEMA DE UN HORNO SIEMENS-MARTIN

- | | |
|--|---|
| 1. Salera o piso. | 7. Conductos de humos. |
| 2. Puertas de carga. | 8. Válvulas de inversión. |
| 3. Bóveda. | 9. Crisol con baño líquido (acero y escoria). |
| 4. Entradas de gas y aire (queueder). | 10. Umbral. |
| 5. Canales de gas y aire. | 11. Laboratorio. |
| 6. Cámaras o regeneradores con empujado. | 12. A Chimenea o escape de humos. |

La figura anterior muestra una sección recta de un horno Siemens-Martin el cual se basa para su funcionamiento en el principio de la recuperación del valor del combustible. El aire de combustión se precalienta antes de mezclarse con el gas en unas cámaras recuperadoras que contienen una serie de conductos hechos con ladrillos refractarios. Mientras que el aire de combustión se precalienta una de las cámaras cuando atraviesa éste, los gases calientes de la com-

bustión atraviesan otra cámara, exactamente igual a la primera, cediendo su calor a los ladrillos. Cada veinte minutos aproximadamente se invierte la dirección del flujo. Este sistema permite obtener un rendimiento técnico mayor y mantener en el horno una temperatura más constante.

Al efectuar la carga del horno Martin básico, lo primero es una capa de chatarra fina, la cual funde rápidamente y forma una capa líquida que protege a la solera de la acción de la caliza. A continuación se carga la caliza en trozos gruesos ó terrones, seguida por el mineral de hierro y finalmente la chatarra de acero. El mineral de hierro y la chatarra proporcionan el óxido de hierro necesario para la oxidación de impurezas. Las reacciones de afinamiento esencialmente son las mismas que las que tienen lugar en el convertidor Bessemer, aunque se realizan con mucha más lentitud. Así, mientras el proceso Martin requiere de diez a quince horas para obtener acero, el proceso bessemer requiere solamente de diez a quince minutos.

La carga sólida funde al cabo de 2 a 4 horas de calentamiento, y a continuación se adiciona arrabio líquido a través de un canal que se inserta en una de las puertas de carga. Una vez fundida la carga, comienza el período de afinamiento del metal, que comprende tres fases: el hervido debido a la cal, y la fase de ajuste del carbono.

Durante el hervido debido al mineral, la reacción entre el mineral y los óxidos de hierro contenidos en la escoria, y el carbono del metal, provoca el desprendimiento de óxido de carbono, el cual burbujea a través de la carga líquida. Durante esta fase se oxidan el silicio, manganeso y fósforo, pasando a la escoria.

Durante el hervido debido a la cal, el anhídrido carbónico que se desprende al descomponerse la caliza situada sobre la solera del horno, burbujea a través de la carga fundida, y ayuda a la oxidación. Durante esta fase la mayor parte de la cal sube a la superficie y contribuye a aumentar la basicidad de la escoria.

Terminado el hervido, la mayor parte de las impurezas con excepción del carbono se han oxidado pasando a la escoria. Durante la fase siguiente, se ajusta el contenido de carbono dentro de los límites que se deseen. Si el contenido

de carbono del metal es demasiado bajo, se adiciona la cantidad necesaria de arrabio o de lingote de afino; si, por el contrario, el contenido de carbono es demasiado alto, se cargan nuevas cantidades de mineral. Cuando las muestras sacadas indican que la composición del metal y de la escoria es la correcta, y la temperatura la justa, se cuela la carga. La piqueta se abre mediante una barra que atraviesa la puerta de la carga central y el baño, y tan pronto como se ha perforado, se precipita el caldo por el canal de colada al caldero, la escoria, que más ligera, asciende a la superficie y fluye a un caldero de escorias colocado al lado del caldero de colada. Durante la colada se efectúan normalmente adiciones de desoxidantes al caldero.

En relación con el proceso Bessemer ácido, este procedimiento presenta las siguientes ventajas:

- 1.- Posibilidad de utilizar una carga sólida.
- 2.- Permite la eliminación del fósforo y del azufre.
- 3.- Como el proceso es más lento, se puede producir un acero mejor.
- 4.- Posibilidad de controlar más estrechamente la composición del acero, lo que permite la fabricación de aceros aleados.

Se denomina proceso duplex a aquel en el cual las primeras materias para la fabricación del acero se trata en un tipo de horno, y el producto líquido que se obtiene se carga en otro horno de tipo distinto para su afino. El proceso duplex más corriente es el formado por los procedimientos Bessemer ácido, Martin-Siemens básico. Este proceso presenta las ventajas de una rápida eliminación del silicio y la mayor parte del carbono del arrabio, típico del proceso Bessemer, junto con la obtención de un producto relativamente alto en fósforo, que puede afinarse rápidamente en un horno Martin-Siemens básico.

AFINO ELECTROTERMICO.-

Este procedimiento es el que sigue en la producción del acero en el horno eléctrico de arco. Hay dos tipos de hornos eléctricos de arco; el de arco directo, el arco se forma entre los electrodos de carbón y el baño metálico. En el horno del tipo de arco indirecto, el arco se establece por encima del

baño entre los electrodos, y el calentamiento del metal se efectúa por radiación. Como ocurre en los convertidores Bessemer y en los hornos Martin, estos hornos pueden tener también un revestimiento ácido ó básico.

Como el horno eléctrico de arco no requiere para su funcionamiento ningún combustible, puede utilizarse el tipo de atmósfera que se desee, neutra ó reductora, ya que no existe ninguna contaminación. Debido al control que se ejerce sobre la atmósfera del horno, y a la posibilidad de producir primero una escoria fuertemente oxidante, y a continuación una escoria reductora, se pueden obtener productos de gran utilidad.

La carga, normalmente, está compuesta por chatarra de acero de composición conocida en estado sólido. La primera fase de la marcha operatoria requiere la formación de una escoria básica oxidante, cuyo objeto es eliminar el fósforo y otros constituyentes oxidables. Para ello, se cargan sobre el acero fundido cal y mineral de hierro. Cuando el contenido de fósforo del metal se ha reducido al valor deseado, se efectúa el desescoriado del baño ó eliminación de la escoria formada. La segunda fase consiste en la desulfuración y desoxidación del metal. Esta fase requiere una escoria básica reductora, la cual se forma mediante la adición de cal, cok en polvo y esparto fluor. La gran cantidad de cal de la escoria y sus condiciones reductoras favorecen la eliminación del azufre del baño bajo la forma de sulfuro de calcio que pasa a formar parte de la escoria. Para obtener el acero de la composición requerida se efectúan las oportunas adiciones de elementos de aleación.

Cuando el análisis indica que la composición del acero es la correcta se bascula el horno y se cuele el acero en un caldero.

En la carga del horno eléctrico el mineral es sometido a un proceso de reducción directa a escala industrial y ha sido líder en ese campo desde 1957, año que puso en operación la planta de 250 toneladas métricas por día, en su complejo siderúrgico de Monterrey, Méx.

REDUCCION DIRECTA (PROCESO HyL).-

Utilizando el proceso HyL de reducción directa, es posible reducir óxidos de fierro, como mineral a granel o pelet, sin necesidad de carbón coqueable o caliza. Con esto se evita el tener que depender de combustibles sólidos para reducir el mineral de fierro.

El producto de las plantas HyL es un fierro esponja esencialmente no pirofórico con 88-92% de metalización y con contenido de carbón de 1.8 a 2.1%. Este fierro esponja se utiliza con éxito para la producción de acero en plantas de capacidades y productos muy diversos, y proporciona un medio económicamente atractivo de liberarse las fluctuaciones de precio, disponibilidad y calidad de la chatarra.

La planta se divide en dos secciones principales: Reformación del gas y reducción de mineral, las cuales se explican a continuación:

El gas natural (GLP, o nafta si la situación lo requiere), se mezcla con vapor sobre calentado, entrando en el horno reformador donde es calentado hasta la temperatura de reacción. La mezcla vapor hidrocarburo se pasa a través de catalizador de níquel cerámica, donde se convierte en hidrógeno y monóxido de carbono. El azufre se elimina del gas natural, antes de entrar al horno, para evitar el envenenamiento del catalizador.

El gas caliente que sale del horno, pasa a través de un cambiador de calor, en donde el exceso de calor se recupera convirtiendo agua en vapor, para satisfacer los requisitos totales del proceso de reformación y para mover todas las bombas y compresores de la planta.

El vapor de salida de las tuburbias, se condensa en enfriadores de aire, y el condensado se regresa al sistema que alimenta de agua la caldera.

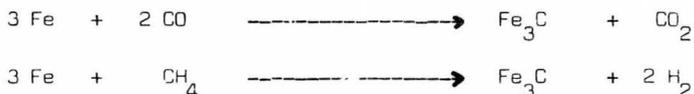
El gas reformado (con una composición aproximada de 74% de H_2 , 13% de CO , 8% de CO_2 y 3% de CH_4), sale del cambiador de calor, se enfría y se seca en una torre enfriadora, enviándose al sistema de reducción de la planta.

REDUCCION DEL MINERAL.-

La conversión de óxido de fierro a fierro, tiene lugar en cuatro reactores idénticos de lecho fijo. Cada reactor tiene su propio precalentador de

de gas y torre enfriadora, y opera en un ciclo de proceso de cuatro etapas: - Enfriamiento, Reducción Primaria, Reducción Secundaria y carga y descarga. - Las tuberías tienen cabezales para permitir que cualquier reactor pueda quedar fuera de servicio, cuando su mantenimiento así lo requiera.

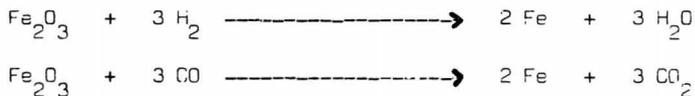
ENFRIAMIENTO.- En el proceso Hyl, el gas fresco y el frío, se pasa -- primero por el reactor que ha acompletado la mayor parte de la alimentación de oxígeno, estableciendo en esta forma, un flujo a contracorriente a través del sistema. A medida que el gas pasa por el reactor, el fierro esponja se enfría hasta alcanzar casi la temperatura ambiente. Durante esta etapa, en la cual -- se completa la reducción de la carga, el fierro esponja incorpora aproximada-- mente un 2 % de carbón combinado como sigue:



Esta adición de carbón ha demostrado ser especialmente deseable para - el proceso en aceración; el enfriamiento completo evita la reoxidación cuando el producto es expuesto al aire.

REDUCCION PRIMARIA.- El gas que sale del reactor anterior, para eli-- minar el vapor de agua formado durante la reducción final. De la torre enfria-- dora, el gas se envía de horno calentador, donde su temperatura se eleva 700 - 825° C. A continuación se le inyecta una cantidad controlada de aire que tie-- ne aproximadamente la misma temperatura. La combustión resultante eleva al -- temperatura de la mezcla aire-gas a 1,000-1,100 °C.

Esta mezcla de gases calientes, se alimenta al reactor que contiene mi-- neral parcialmente reducido y caliente. Es aquí donde tiene lugar la mayor -- parte de la reducción, de acuerdo a la siguientes reacciones:



REDUCCION SECUNDARIA.- Al igual que en la etapa anterior, el gas que - sale del reactor se enfría en una torre enfriadora para condensar el agua for-- mada durante la reducción.

A continuación, el gas se pasa por el siguiente calentador y se envía al reactor que acaba de ser cargado con mineral fresco.

Durante esta etapa de reducción secundaria, el mineral se calienta a temperatura de reacción y se inicia el proceso de reducción.

El gas que sale de este reactor, todavía contiene cantidades apreciables de hidrógeno y monóxido de carbono; se utiliza como combustible en los diferentes hornos y calentadores. Sin embargo, es necesario añadir algo de gas natural al sistema de combustible, ya que el contenido calorífico de los gases secundarios no es suficiente para cubrir los requerimientos del proceso.

CARGA Y DESCARGA.- Mientras que el gas reductor pasa por tres de los reactores el hierro esponja frío se descarga por el fondo del cuarto reactor y se transporta a tolvas de almacenamiento. Aquí se mezcla con hierro esponja de otros reactores, para asegurar la uniformidad del producto de la planta. En seguida, el reactor se recarga con mineral fresco, mediante el distribuidor de una tolva localizada inmediatamente encima del reactor, entrando en ciclo de reducción secundaria.

Características de diseño de proceso.- Para tomar en cuenta las variaciones de proceso en la composición y características del material cargado, se ha incorporado a todo el sistema un algo grado de flexibilidad de operación.

El uso de cuatro reactores como concepto básico, contribuye grandemente a la confiabilidad del proceso HYL, debido a que en cualquier momento, uno ó más de los reactores puede estar fuera de servicio, cuando se realicen operaciones de mantenimiento. Si ocurre una emergencia de operación, tal como una falla en el suministro de gas que requiera un paro completo de la planta, ésta puede regresar a operación normal en un periodo de 12 horas.

EL COMERCIO DEL MINERAL DE HIERRO.

En una reunión de las Naciones Unidas sobre minerales de hierro, que tuvo lugar en enero de 1970, se pronosticó que los requerimientos mundiales de mineral de hierro crudo para 1975 y 1980 serían de 830 y 950 millones de toneladas respectivamente (450 y 550 toneladas de hierro contenido respectivamente). Las estimaciones de estos años, para la producción de acero en bruto fueron de 710 y 830 millones de toneladas, comparadas con la producción de 1970 que fué aproximadamente 600 millones de toneladas. A partir de mediados de 1970, se han tenido indicios claros de que estas cantidades se han estimado por abajo de los valores reales en un 7% para 1975 y hasta un 15% para 1980; esto significa que el consumo mundial de hierro excederá de un millón de toneladas anuales para la década de los setentas. También quiere decir que los requerimientos totales de mineral de hierro durante los setentas, será de más de 9.1 billones de toneladas (diez veces más que el promedio de 720 y 1,090 millones de toneladas para el primero y último año de la década, lo que resulta aproximadamente: igual al consumo de hierro (9.25 billones de toneladas) de todo el siglo anterior - antes de 1950).

El comercio mundial de mineral de hierro a partir de 1950, se ha caracterizado por la variación de proporciones ascendentes del volumen producido anualmente. De ahí que los tonelajes de exportación que en 1950 totalizaron el 16.8% de la producción mundial de dicho mineral para ese año, aumentaron a 30.1% para 1960 y a 33.6% para 1965.

A nivel de un billón de toneladas, el porcentaje de minerales comercializados aumentan gradualmente, al respecto, el informe de las Naciones Unidas - estima el informe de mineral de hierro comercializado para 1975 y 1986 en un 45 % aproximadamente. Suponiendo un promedio conservador del 40 % para 1970-1980, el tonelaje global de este mineral comercializado durante dicho periodo, excederá de 3.5 billones de toneladas, ó sea mas que el consumo total de minerales de hierro, (3.51 billones de toneladas) durante la década de los cincuentas.

El advenimiento de estas proporciones, ha introducido nuevas condiciones dentro de la industria internacional de mineral de hierro de las que una de las mas obvias, es la capacidad de transportadores oceánicos. A mediados de 1970 existían más de diez proyectos entre los transportadores de mineral de hierro y los compradores en América Latina, Africa, Europa y Estados Unidos de Norteamérica para proporcionar mayor movilidad en los puertos para carga y descarga. Las capacidades proyectadas para los puertos se estiman en 50 millones de toneladas anuales siendo para la carga 30,000 toneladas aproximadamente por hora y 12,000 toneladas por hora fuera de la playa, finalmente, para barcos se estiman casi en todos los casos, de 200,000 a 400,000 toneladas de carga bruta, los gastos estimados se encuentran generalmente entre los 20 y 50 millones de dólares. Estos proyectos, se encuentran, en la mayoría de los casos, como programas actuales en desarrollo y no como planes de estudio, lo que confirma que para 1980, el comercio del mineral de hierro involucrará el movimiento de aproximadamente 400 millones de toneladas al año.

NUEVOS RECURSOS Y RESERVAS DE MINERAL DE HIERRO.-

A la pregunta acerca de la existencia de reservas adecuadas y de recursos de mineral de hierro en forma global, regional y nacional, nuevos datos proporcionan una respuesta positiva a la cuestión anterior. Las últimas estimaciones de recursos de mineral de hierro en el mundo se incluyen en la siguiente tabla:

ESTIMACIONES DE RECURSOS DE MINERAL DE HIERRO EN EL MUNDO (EN MILLONES DE TONELADAS METRICAS)

REGION	RESERVAS	HIERRO POTENCIAL	RESERVAS TOTALES
AFRICA	6,800	24,500	31,300
ASIA Y LEJANO ESTE	17,300	54,200	71,500
AUSTRALIA	16,800	-----	16,800
EUROPA	21,300	12,800	34,100
U.R.S.S.	110,500	193,800	304,300
NORTEAMERICA	43,900	187,500	231,400
SUDAMERICA	34,700	58,400	93,100
TOTAL GENERAL:	251,300	531,200	782,500

Las estimaciones de la tabla anterior, representan el cuádruplo - de la expansión con base en cantidades establecidas sólo hace 15 años participando en el incremento todas las áreas del mundo, de acuerdo con esta información

ha llegado a juzgar que en términos cuantitativos, las reservas globales de mineral de hierro son adecuadas para satisfacer cualquier demanda mundial en el futuro a la vista, lo cual, sin embargo, no proporciona la seguridad de que se disponga de suficiente cantidad de mineral de hierro en los volúmenes y cali-dades deseadas, en tiempo y lugares específicos.

Partiendo de la suposición optimista de que la capacidad actual de la minería y de beneficio se encuentran equilibradas con las presentes demandas - de mineral, difícilmente se descarta la conclusión de que para 1980, deben establecerse explotaciones de mineral y plantas beneficiadoras a fin de trabajar una cantidad menor de 350 millones de toneladas. Una suposición razonable es que la nueva capacidad se obtendrá aproximadamente sustituyendo y modernizando las viejas instalaciones, ampliando las unidades existentes que laboran con - efectividad razonable, y por último mediante nuevas y completas instalaciones en yacimientos de mineral de hierro recién abiertos.

NUEVOS REQUERIMIENTOS DE INVERSION.-

Las especificaciones para el mineral serán mucho mas rigurosas respec-to a sus características físicas y químicas. Todos los minerales deberán cer-nirse y las cantidades incrementadas (aproximadamente 75 % en 1980 en compara-ción con 67 % en 1970) serán beneficiadas y aglomeradas en ó cerca de la mina. Para hacer frente a tales requerimientos, en el procesamiento, las nuevas ins-talaciones mineras y de beneficio, serán sofisticadas, grandes y costosas.

Los requerimientos de capital para una capacidad de mineral y de procesamiento de 350 millones de toneladas de hierro en la década de los setentas - se encuentra entre los siete y los ocho billones de dólares, en el cuál se in-cluye el costo de la infraestructura requerida de manera adicional para nuevas plantas.

NUEVA OPERACION DEL HIERRO Y EL ACERO.-

El incremento en la producción del mineral de hierro durante el periodo de 1970 a 1980, involucrará un aumento en la producción de acero en bruto, de un nivel de 600 millones de toneladas en 1970, hasta posiblemente 9,000 millones de toneladas diez años después. Para esa década, el incremento total será de aproximadamente 1.5 billones de toneladas de acero en bruto.

La industria mundial de acero agregará una nueva capacidad de producción de hierro y acero en bruto durante la década de 1970. La mitad de las nuevas plantas se usarán para combinaciones de hornos en fundición con convertidores por oxígeno soplado, y la otra para la producción de acero mediante el método de reducción directa-hornos eléctricos.

Entonces, el establecimiento anticipado de una nueva instalación con capacidad de 250 millones de toneladas de acero en bruto la década involucrará inversiones que ascienden a los 25 billones de dólares, fondo que sería proporcionados por las industrias productoras de acero. Estas cifras no incluyen un requerimiento posterior de aproximadamente 30 billones de dólares para facilidades de laminado y acabado final.

Al considerar las ganancias mencionadas y las predicciones sobre el costo del mineral de hierro para la próxima década, se debe observar que las ganancias obtenidas de las ventas del mineral de hierro, de hecho se generan debido a la diferencia entre los valores establecidos y a los costos de producción, conjuntamente con los cargos fijos. Es probable que cada uno de estos tres factores siga una tendencia ascendente en la década de los setentas. El interés y objetivo principal de los productores y consumidores de mineral de hierro, será el de mantener una diferencia razonable y equitativa. Los incrementos en los tonelajes tenderán a disminuir los costos y cargos específicos. Sin embargo, el grado hasta el cual estos últimos pueden reducirse mediante economías de escala será neutralizado considerablemente mediante los gastos sustanciales que se efectuarán en industrias en inversiones que conduzcan a disponer de 3.6 billones de toneladas adicionales de mineral en el mercado internacional de hierro

ANALISIS SOCIOECONOMICO DEL HIERRO Y EL ACERO EN MEXICO

PRINCIPALES CENTROS MINEROS Y PRODUCTORES DE HIERRO EN LA REPUBLICA MEXICANA (AÑOS 1972-1973)

ESTADO	MUNICIPIO	PRODUCCION (TONS.)		% (DEL TOTAL)
		1972	1973	
CHIHUAHUA	Camargo	1 241 692	1 066 767	34.3
JALISCO	Pihuamo	848 616	762 278	24.5
DURANGO	Durango	523 238	557 202	17.9
COAHUILA	Sierra Mojada	394 913	662 779	21.3
	Castaños	1 286		
COLIMA	Minatitlán	36 890	31 830	1.0
OAXACA	Textitlán		24 665	0.8
SINALOA	Culiacan	3 955	7 321	0.2
TOTAL GENERAL		3 053 360	3 113 425	100.00

PRODUCCION MUNDIAL DE HIERRO

P A I S	1968	1969	1970	1971
T O T A L	370,697	388,050	417,043	424,792
U.R.S.S.	95,491	100,985	106,058	110,341
ESTADOS UNIDOS	50,172	52,502	53,302	48,799
AUSTRALIA	17,192	20,831	28,786	36,360
CANADA	26,469	22,347	29,187	27,045
SUECIA	20,298	20,691	19,804	21,602
INDIA	17,454	18,459	19,654	21,246
FRANCIA	17,514	17,403	17,759	17,133
GUINEA	13,292	14,786	15,388	16,728
VENEZUELA	9,222	12,410	14,080	12,522
CHILE	7,428	7,161	6,940	6,854
ESPAÑA	3,062	3,267	3,602	3,819
MEXICO	1,921	2,097	2,612	2,819

NOTA: MEXICO OCUPA EL LUGAR 18° EN LA PRODUCCION MUNDIAL. LOS DATOS ESTAN TOMADOS EN TONELADA METRICA (TON X 10³).

PRODUCCION DE ACERO CRUDO EN MEXICO.-

En 1974 se produjeron en México 5.1 millones de toneladas de acero, - dicha producción establece un nuevo record y supera por 7.9 % a la producción - de 1973, que a su vez era la cifra más alta jamás lograda. En 1974 es necesario establecer que en materia de aceración no entró en operación ninguna instala- ción cuya capacidad pudiera calificarse de importante, y por lo tanto, el incre- mento del 7.9 % corresponde casi en su totalidad a una más eficiente operación de las instalaciones mexicanas

Los tres primeros lugares en la producción fueron:

ALTOS HORNOS DE MEXICO, S. A.	2 045 000 toneladas
GRUPO ACERO HYLSA	1 127 000 toneladas
FUNDIDORA MONTERREY, S. A.	921 000 toneladas

PRODUCCION DE ACERO CRUDO:

AÑO	MILLONES DE TONELADAS
1950	0.4
1960	1.5
1970	3.9
1971	3.8
1972	4.4
1973	4.8
1974	5.1

CONSUMO NACIONAL APARENTE.-

AÑO	CONSUMO NACIONAL APARENTE MILES DE TONELADAS	% INCREMENTO SOBRE EL AÑO ANTERIOR.
1970	3 965	9.3
1971	3 735	-5.8
1972	4 276	14.5
1973	5 351	25.1
1974	6 127	14.5

CONSUMO ANUAL APARENTE PER CAPITA EN MEXICO EN TERMINOS DE LINGOTE DE ACERO :

AÑO	KILOGRAMOS/PERSONA
1950	31
1960	53
1970	82
1973	100
1974	109

IMPORTACIONES DE PRODUCTOS SIDERURGICOS.-

AÑO	MILES DE TONELADAS	VALOR EN MILLONES DE PESOS
1970	329	1 252
1971	251	1 111
1972	259	1 046
1973	536	2 097
1974	714	4 267

EXPORTACION DE PRODUCTOS SIDERURGICOS.-

AÑO	MILES DE TONELADAS	VALOR EN MILLONES DE PESOS
1970	208	443
1971	361	746
1972	418	889
1973	166	501
1974	144	934

IMPORTACION DE MATERIAS PRIMAS SIDERURGICAS.-

AÑO	MILES DE TONELADAS	VALOR EN MILLONES DE PESOS
1973	CHATARRA 968	727
1974	793	964
1973	MINERAL DE HIERRO 75	17
1974	47	23
1973	CARBON MINERAL 239	93

AÑO	MILES DE TONELADAS	VALOR EN MILLONES DE PESOS
1974	CARBON MINE RAL 379	171
1973	COQUE 140	79
1974	161	114
TOTAL: 1973	1 422	916
1974	1 380	1 272

PRONOSTICO DE DEMANDA Y PROGRAMAS DE PRODUCCION (MILES DE TONELADAS):

EMPRESA	PRODUCCION 1974	PRODUCCION PROGRAMADA				
		1975	1976	1977	1978	1979
AHMSA	2,045	2,230	2,500	2,900	3,300	3,750
HYLSA	1,127	1,300	1,500	1,700	1,900	2,100
FUND. MONTERREY	921	830	1,000	1,400	1,500	1,600
TAMSA	318	360	400	420	500	560
NO INTEGRADAS	727	928	1,030	1,331	1,558	1,655
SICARTSA	---	---	100	600	1,000	1,500
PRODUCCION TOTAL:	5,138	5,648	6,530	8,351	9,758	11,165
PRONOSTICO DE DEMANDA:		6,200	6,800	7,400	8,000	8,800

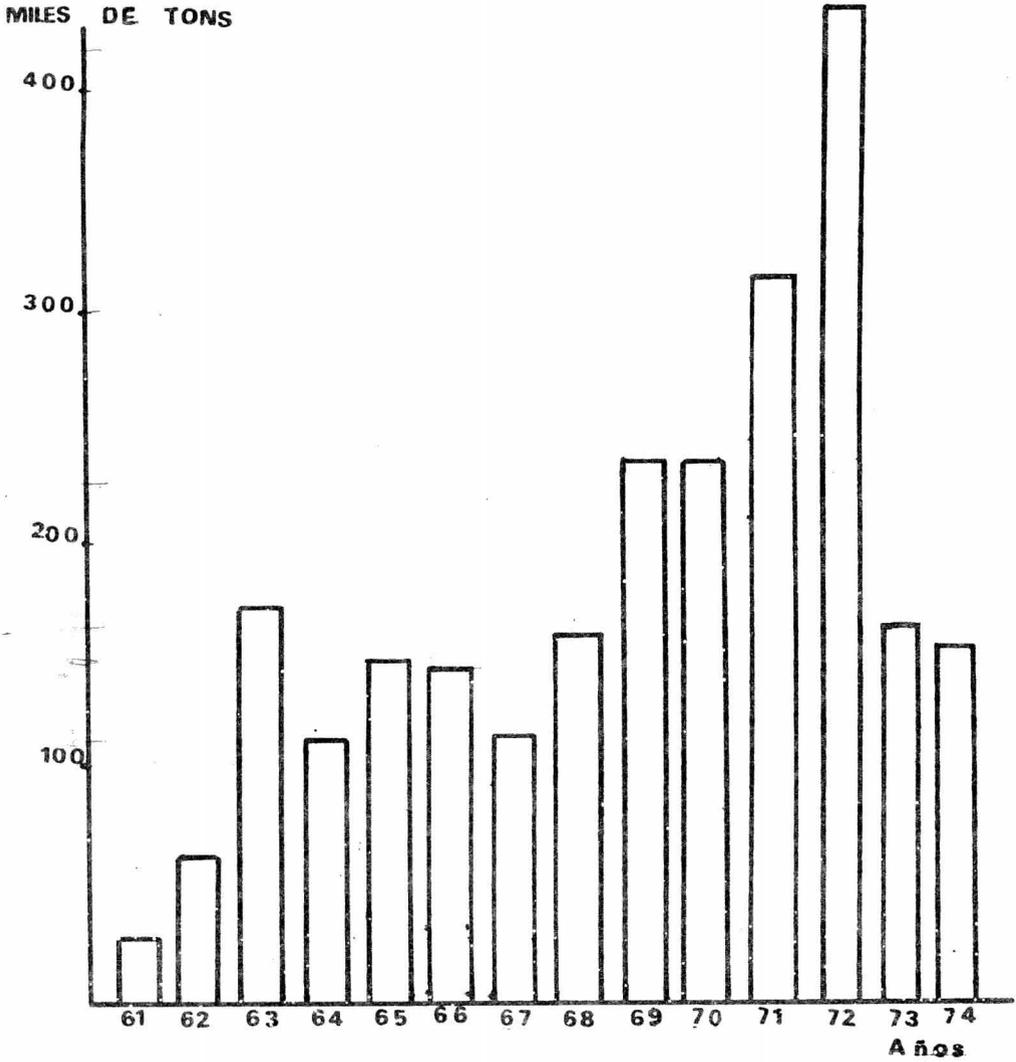
TABLA COMPARATIVA DEL COMERCIO DE HIERRO.

AÑO	PRODUCCION	EXPORTACION	IMPORTACION
1960	1,500,000	-----	-----
1970	3,881,000	208,000	329,000
1971	3,821,000	361,000	251,000
1972	4,431,000	418,000	259,000
1973	4,760,000	166,000	536,000
1974	5,137,000	144,000	714,000

TODOS LOS DATOS ESTAN DADOS EN TONELADAS.

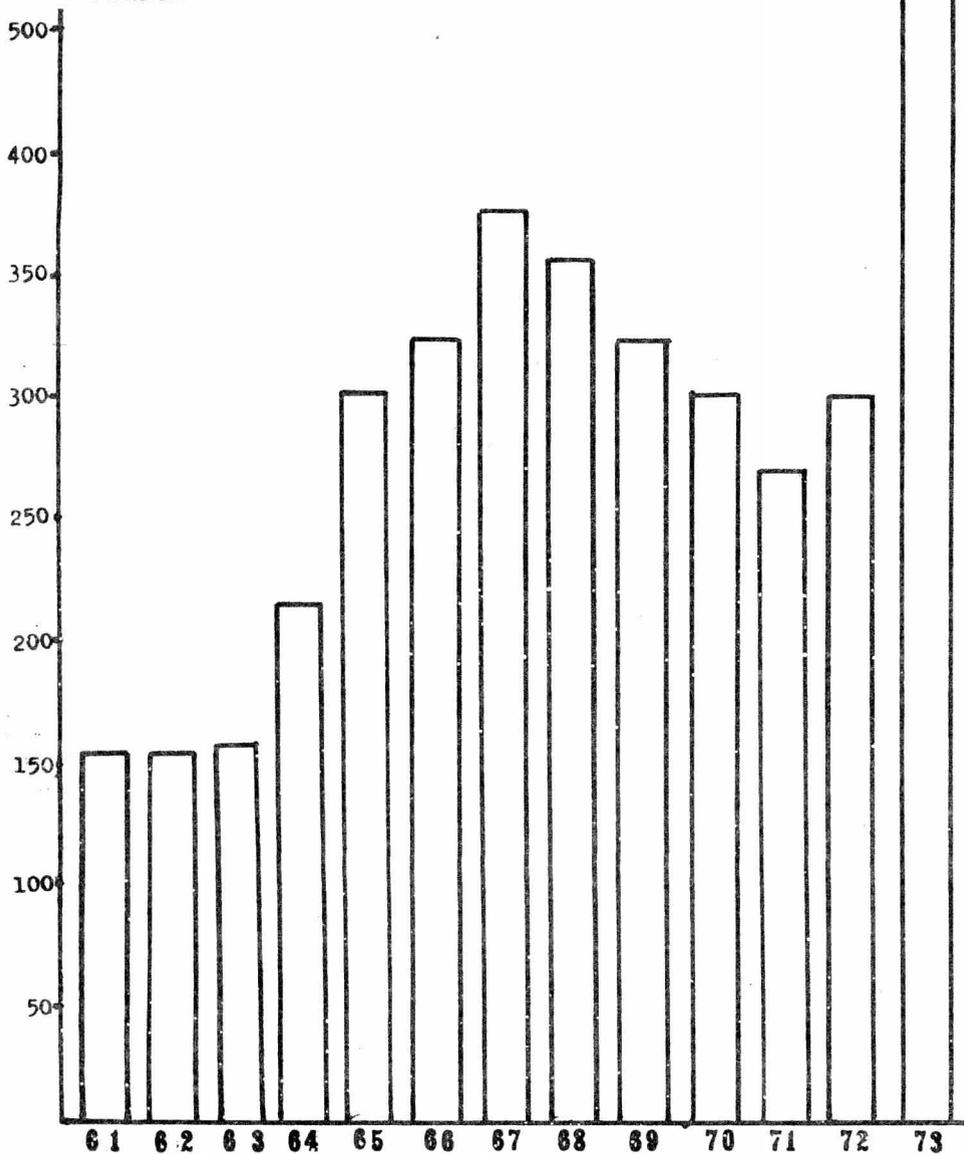
FUENTE: I.L.A.F.A.

EXPORTACION NACIONAL DE PRODUCTOS SIDERURGICOS



IMPORTACION NACIONAL DE PRODUCTOS SIDERURGICOS

MILES DE TONELADAS



Años

MEXICO COMO PRODUCTOR DE ACERO ANTE EL MUNDO.

Al iniciarse la presente década, es decir en el año de 1970, nuestro país ocupaba el lugar número 24 como productor de acero en el mundo. En el año de 1973 se logró escalar un peldaño y colocarse en el lugar número 23 en el contexto mundial. En 1974 se logró mantener esa posición y un rápido ascenso al consolidar toda una serie de expansiones en nuestra industria.

El hecho anterior es de particular importancia en un año en que todos los países industrializados del mundo produjeron acero a niveles record y haciendo la máxima utilización de sus instalaciones y tecnología.

La producción mundial de acero en 1973 fué de 697 millones de toneladas. En 1974, la producción mundial fué de 710 millones de toneladas; dichas cifras arrojan un crecimiento a nivel mundial de solamente 1.9 %.

México produjo 5.1 millones de toneladas que, comparadas con los 4.7 millones de toneladas producidas en 1973 arrojan una tasa de crecimiento de 7.9% que es muy elocuente y nos demuestra con claridad absoluta el firme paso que nuestro país ha adoptado en materia siderúrgica.

MEXICO COMO PRODUCTOR DE ACERO ANTE LATINOAMERICA.-

En América Latina, México mantuvo en su 2º lugar como productor de acero. En 1974, sólo Brasil produjo más acero que México dentro del área latinoamericana, además, es importante observar que aparte de Brasil, México produce más acero que el resto de los países latinoamericanos juntos.

Dentro del contexto de América Latina, posee el mayor complejo siderúrgico del área en cuestión en "ALTOS HORNOS DE MEXICO, S. A.", cuya producción y ventas superan por amplio margen a cualquier otra acería latinoamericana.

PRODUCCION MUNDIAL DE ACERO

(Millones de Toneladas)

LUGAR	AÑO	
	1970	1974
1 E.U.A.	119.3	U.R.S.S. 137.8
2 U.R.S.S.	115.19	E.U.A. 132.0
3 JAPON	93.3	JAPON 117.0
4 ALEMANIA FEDERAL	45.0	ALEMANIA FEDERAL 53.0
5 FRANCIA	23.8	FRANCIA 27.0
6 CHINA	18.5	CHINA 27.0
7 REINO UNIDO	17.9	ITALIA 23.5
8 ITALIA	17.2	REINO UNIDO 22.5
9 BELGICA	12.6	BELGICA 16.2
10 POLONIA	11.8	POLONIA 14.8
11 CHECOSLOVAQUIA	11.4	CHECOSLOVAQUIA 13.6
12 CANADA	11.2	CANADA 13.5
13 ESPAÑA	7.4	ESPAÑA 11.4
14 AUSTRALIA	6.8	RUMANIA 8.9
15 RUMANIA	6.5	AUSTRALIA 7.8
16 INDIA	6.3	BRASIL 7.6
17 SUECIA	5.5	INDIA 6.8
18 LUXEMBURGO	5.5	LUXEMBURGO 6.3
19 BRASIL	5.4	ALEMANIA DEMOCRATICA 6.2
20 ALEMANIA DEMOCRATICA	5.1	SUECIA 6.0
21 PAISES BAJOS	5.0	PAISES BAJOS 5.8
22 SUDAFRICA	4.8	SUDAFRICA 5.8
23 AUSTRIA	4.1	MEXICO 5.1
24 MEXICO	3.9	AUSTRIA 4.7
25 HUNGRIA	3.1	HUNGRIA 3.5
26 YUGOESLAVIA	2.2	COREA DEL NORTE 3.0
27 DINAMARCA	2.2	YUGOESLAVIA 2.8

LUGAR	AÑO	
	1970	1974
28 NORUEGA	1.9	ARGENTINA 2.4
29 TURQUIA	1.9	BULGARIA 2.3

FUENTE: REVISTA IRON AGE, E INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE

PRODUCCION DE ACERO EN AMERICA LATINA
1970-1974 (Miles de toneladas)

PAIS	1970	1971	1972	1973	1974
BRASIL	5,390	5,997	6,568	7,156	7,515
MEXICO	3,881	3,821	4,431	4,760	5,137
ARGENTINA	1,823	1,912	2,106	2,150	2,400
VENEZUELA	926	924	1,128	1,062	1,039
CHILE	592	653	631	559	632
OTROS	426	528	567	715	805
TOTAL:	13,038	13,835	15,431	16,402	17,528

EL FUTURO DEL HIERRO

El hierro se ha entretelado intimamente en nuestra vida diaria. Ningún otro metal se acerca al hierro en utilidad para el bienestar y la comodidad del hombre, civilizado ó salvaje. Si bien la falta de otros metales podría causar serias perturbaciones, la detención real de nuestra vida presente sólo podrían ser causada por el paro de las industrias que dependen del hierro esto es, las industrias basadas en el suministro constante del hierro en una ó varias de sus múltiples formas.

Los avances técnicos modernos en el transporte, en la exploración del espacio, en la energía nuclear y en todos los órdenes de la vida diaria, aumenta la demanda de aleaciones mas fuertes, mas flexibles, mas ligeras, resistentes al calor y a la corrosión. La industria del acero, mediante la investigación química y metalúrgica, responde a estas exigencias. El proceso básico al oxígeno recientemente introducido, para preparar acero con mayor rapidez y a menor costo, y el vaciado al vacío de lingotes de acero que da lugar a la producción de aleaciones de acero libres de impurezas, no son más que dos productos de la investigación que está cambiando la industria del acero, la vida de esta nación y la del mundo entero.

La extracción del hierro y sus minerales es el resultado de un progreso paciente y constante durante los siglos del desarrollo de los pueblos primitivos y actualmente se puede decir que el hierro es el caballo de la batalla de los metales; anualmente se producen sólo en Estados Unidos 150 toneladas de su principal aleación (el acero), tonelaje mayor que el de cualquier otra sustancia metálica. Para contraste, la producción anual de acero en 1860 apenas llenaría las necesidades de un día en la actualidad.

B I B L I O G R A F I A

LISTA DE REVISTAS Y FOLLETOS DONDE SE PUEDE OBTENER INFORMACION ADICIONAL A ESTA OBRA Y CON LOS QUE CUENTA EL L.C.B.:

REVISTA O FOLLETO	ARTICULO O TITULO.
HIERRO Y ACERO. (publicación mensual de la cámara nacional de la Industria del Hierro y el acero). Vol. V Num. 1 abril de 1972.	El comercio del mineral de hierro. pag. 14 El mercado de hojalata en México pag. 22 Cuarto horno eléctrico para una -- acería en Veracruz..... pag. 28
Vol. V, Num. 2 mayo de 1972.	Seguridad industrial. Estadísticas de seguridad..... pag. 5 Control de calidad industrial pag. 20 El mercado de hojalata en México pag. 24
Vol. V Num. 3 junio de 1972.	Los computadores en la industria - siderurgica..... pag. 5 Una miniplanta económica. pag. 16
Vol. V Num. 4-5 Julio-agosto. de 1972.	Técnicas industriales útiles a la economía Mexicana..... pag. 4 El mineral de hierro y la indus--- tria latinoamericana..... pág. 24 Los metales y el arte en los pue--- blos..... pág. 34
Vol. V Núm. 6-7 septiembre-oct <u>u</u> bre	Posible impacto de la prerreduc--- ción en América Latina... pág. 10 El mineral de hierro y la indus--- tria latinoamericana pág. 24
Vol. V Núm. 8-9 noviembre-diciem <u>u</u> bre de 1972	La producción de acero en una mini acería pág. 4 Los aceros especiales.... pág. 16
Vol. V Núm. 11 febrero de 1972	La competencia internacional es un reto a la industria siderúrgica... pág. 4 En una década México incrementó su producción de acero en un 160 por ciento..... pág. 6

		Fuerte proyección de la industria - siderúrgica nacional.....	pág.22
Vol. V Núm. 12	marzo de 1972	Capacitación técnica.....	pag.19
		Control de calidad y comerci- cio.....	pag.24
AHMSA AVANTE	Mayo-Junio de 1974	Operación de plantas lamina- doras de barras y perfiles - en caliente.....	pag. 4
		Contaminación del ruido.....	pag.11
		Industria siderúrgica en gra- ficas.....	pag.17
AHMSA AVANTE	Marzo-Abril de 1974	La industria siderúrgica en la India.....	pag. 5
		Estadísticas de seguridad...	pag. 8
		Industria siderúrgica en gra- ficas (producción mexicana - de acero).....	pag.17
AHMSA AVANTE	Julio-Agosto - de 1974.	La industria siderúrgica en- Italia.....	pag. 8
		Producción nacional de pro- ductos siderúrgicos básicos.	pag.17
AHMSA AVANTE	Noviembre-Dici- embre 1973	AHMSA y su evolucion.....	pag. 3
		AHMSA y su grupo.....	pag.12
		Industria siderúrgica en ci- fras.....	pag.15
HYLSA (Revistas de propaganda)		Productos.	
HYLSA (Revistas de propaganda)		Proceso H y L (reducción di- recta)	
ROCAS Y MINERALES (Editorial Novaro)		Libro de estampas en color - de rocas y minerales.	
REVISTA LATINOAMERICANA DE SIDERURGICA		La reducción directa al asala- to de los altos hornos.....	pag.17
		Economía siderúrgica latinoam- ericana.....	pag.23
		Sistemas de información en - empresas siderúrgicas.....	pag.35
		El medio ambiente y el abas- tecimiento de minerales....	pag.47
		Algunas posibilidades del- desarrollo siderúrgico mun- dial.....	pag.53

Perspectivas mundiales en chatarra siderúrgica hasta 1980..... pag. 54
 Relación entre el nivel de oxidación del acero semicalmado, estructura interna del lingote e incidencias de defectos en planchones.

TEORIA Y PRACTICA DE TRITURACION Y MOLIENDA (COMISION DE FOMENTO MINERO FLOSA RIO DE TERMINOLOGIA TECNICO-SIDERURGICA (CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y EL ACERO).

LA INDUSTRIA SIDERURGICA MEXICANA (CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y EL ACERO).

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS ECONOMICOS (CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y EL ACERO).

LIBROS Y FUENTES DE INFORMACION EMPLEADOS EN LA ELABORACION DE ESTA OBRA:

Metales maravillosos: Newcomb Ellsworth Ed. Librenos mexicanos unidos.
 Enciclopedia de Tecnología Química, tomo 9 Raymond E. Kirk. Ed. Mc. -
 Graw Hill.

Principles of Geology. James Gilluly. Ed. W.H. Freeman and Co.

Geology Principles and Process. William H. Emmons. Ed. Mc. Graw Hill
 Company.

Manual de Mineralogía. Edward S. Dana Ed. Mc Graw Hill Co.

Mineralogy. Henry Kraus. Ed. Mc. Graw Hill Co.

Clay Mineralogy. Ralph E. Grim. Ed. Mc Graw Hill Co.

Química, Los elementos y sus reacciones. Hutchinson, Eric. Ed. Reverté.

Inorganic Chemistry. Hubeey James E. Ed. New York Haper and Row.

Química Inorgánica Avanzada. Cotton, Frank Albert. Ed. Limusa.

Principles of Metal Casting. Richard W. Heine. Ed. Mc Graw Hill Co.

Ferrous Production Metallurgy. John L. Bray. Ed. John Wiley and sons -

Inc.

El hierro. Maluquer Juan J. Colección estudio de conocimientos generales.

Beneficio de los minerales de hierro. Durrer Roberto.

Tratado moderno de fundición de hierro y acero. Biederman Andrés.

Metalurgia General. Jimeno Emilio. Publicaciones de U. de M.

Curso Básico de Metalurgia y Siderurgia. Hilly G. Ed. José Montes.

Análisis de Rocas y Minerales. Alberto Obregón Pérez. Ed. Universitaria.

Introducción a la Metalurgia Física. Sidnay H. Avner. Ed. Mc. Graw Hill.

Curso Básico de Metalurgia Física. G. Hilly y C. Chaussin. Ed. José Montesó.

Métodos Químicos para el Análisis de Minerales. Comisión de Fomento Minero.

Steel. From the iron age to the space age. Douglas Alan Fisher. Ed. Harper and Row Publishes.

Anuario estadístico de la Minería Mexicana 1968 a 1973.

Comisión de Recursos Naturales no Renovables. Depto. de Estudios Económicos. México D. F. 1969-1974.

Anuario Estadístico de Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos 1968-1973.

Sría de Industria y Comercio. Dirección General de Estadística Mexico D. F. 1960-1973.

Anuario Estadístico Mundial. FEUU. 1973 Biblioteca de Estadística.

Camara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero. Depto. de Estudios Económicos. 1964-1973.

MATERIAL AUDIOVISUAL

MATERIAL AUDIOVISUAL DEL LABORATORIO
DE CIENCIA BASICA II

T R A N S P A R E N C I A

G U I O N

1.- EL LABORATORIO DE CIENCIA BASICA PRESEN
TA: "E L H I E R R O".

2.- Importancia de la producción de acero -
en el mundo.

La importancia del hierro se hace patente debido a la gran cantidad de aplicaciones que infiere el uso de este metal, tanto en la industria pesada como en la mediana y pequeña industria; esto hace que en México y en el mundo exista el deseo de avanzar en producción y desarrollo de tecnología para satisfacer las necesidades actuales de este metal y de su principal aleación: el acero. Teniendo en mente esto y tomando conciencia del problema, México avanza a pasos acelerados en el desarrollo de la industria siderúrgica y ocupa actualmente el lugar 23º en la producción mundial de acero y se le supone un futuro muy ventajoso respecto a los demás países, ya que los planes de producción superan cualquier cantidad tenida anteriormente.

3.- Producción nacional de acero.

Como dato alagüeño, se tiene el incremento en producción de acero del 100 % en un lapso de 10 años, además de un continuo crecimiento en la producción del mismo; lo que nos motiva a suponer una producción todavía mayor en años venideros, ya que el descubrimiento de nuevos yacimientos y el desarrollo de tecnología aunados a lo anterior y a los yacimientos existentes en la República Mexicana lo demuestran así.

- 4.- Distribución de los principales criaderos de hierro en la República Mexicana. Actualmente se beneficia hierro principalmente en diez estados de la República, de los cuales Chihuahua es el mayor productor.
- 5.- Metalurgia Extractiva del Hierro. En el diagrama de los bloques se observan los pasos fundamentales para el beneficio del mineral de hierro.
- 6.- Mineral de hierro. Estado Natural.
- a) Mina de hierro a cielo abierto.
 - b) Hematita
 - c) Magnetita
- El mineral de hierro casi siempre se encuentra a flor de tierra, por lo que no es necesario efectuar grandes escavaciones para su extracción. Este tipo de minas son denominadas "cielo abierto" y las del hierro son en su mayoría de este tipo. (a)
- El hierro se encuentra en la naturaleza en forma de compuesto, rara vez se le localiza en estado puro y la mayoría de las veces se le encuentra como óxido, siendo sus principales minerales la hematita (Fe_2O_3). (b) cristaliza en el sistema romboédrico, de color café a negro y se clasifica como óxido ferroso anhidro y la magnetita (Fe_3O_4). (c) cristaliza en el sistema isométrico, de color café a rojo púrpura, se le clasifica como óxido ferroso férrico.
- 7.- Preparación de Minerales:
- a) Diagrama de Bloques
 - b) Tolvas de almacenaje
 - c) Almacenaje a cielo abierto
 - d) Bandas transportadoras
 - e) Trituradora de mandíbula
 - f) Trituradora de palanca giratoria
 - g) Molino de bolas
- El diagrama de bloques muestra los pasos a seguir en la preparación de los minerales (a). El mineral procedente de la mina es almacenado en tolvas (b) ó superficies a cielo abierto (c); después es llevado mediante bandas transportadoras (d) a la sección de trituración, donde se les reduce de tamaño a un promedio de 5 a 7 cm de diámetro con el objeto de facilitar su manejo. Para esto, se emplean trituradoras de mandíbula (e) ó de palanca giratoria (f). A continuación pasa a la sección de molienda para darle una reducción de tamaño mas fino (menos de 0.2 mm), lo cual se efectúa en molinos de bolas (g) que constan de tambores horizontales que giran lentamente y se en

cuentran llenos parcialmente con cuerpos trituradores tales como bolas de acero, que pueden moverse libremente. La carga se efectúa por la izquierda del molino hasta llenarlo a la mitad aproximadamente y la molienda del material se realiza por choque y por rozamiento con las bolas de acero al caer éstas, debido al movimiento de rotación del tambor. El material, conforme va siendo molido, se mueve hacia el extremo de descarga saliendo totalmente molido a través del muñón hueco de la derecha. Después de esto, el mineral queda listo para la etapa de concentración, la cual se efectúa mediante separación magnética aprovechando las propiedades magnéticas que representan la mayoría de los minerales del hierro.

8.- Concentración.

- a) Diagrama de Bloques
- b) Criba Hidráulica
- c) Separador Magnético
- d) Horno Calcinador
- e) Máquina de Sinterizado

El objeto de la concentración es separar las impurezas (ganga) del mineral puro (mena). Esta separación por lo general no es completa, aunque la cantidad de material aprovechable que acompaña a los residuos es muy pequeña. En el diagrama de Bloques se observa la secuencia de pasos en la concentración (a), cada uno de los cuáles explicaremos a continuación:

El mineral de dimensiones pequeñas es llevado a cribas hidráulicas (b), que es un sistema de concentración por gravedad consistente en someter un lecho de partículas sólidas inmersas en agua y que forman un depósito suelto, a una serie de pequeños impulsos verticales. Sobre el tamiz se carga constantemente mineral y agua. Al moverse el pistón, el agua sube a través del tamiz y pone en suspensión las partículas de mineral. Como las partículas de ganga son más ligeras, suben a la superficie del líquido de donde son barridas por un chorro de agua de alimentación, mientras que las partículas del mineral, al ser más pesadas, se depositan sobre el tamiz.

Las partículas, separadas en esta etapa preliminar, son llevadas posteriormente a separadores magnéticos (c). La separación electrostática se basa en el principio de -

que todos los minerales sometidos a un potencial elevado ad quieren una carga eléctrica en su superficie. Los minera-- les se cargan sobre un tambor conectado directamente a tie-- rra y se someten al campo creado por un electrodo de alta - tensión montado inmediatamente por encima del rotor. Las - partículas de mineral de mala conductividad eléctrica, ad quieren una carga eléctrica superficial y son atraídas que-- dando temporalmente adheridas al rotor, mientras que las de gran conductividad no se cargan electricamente y se despren-- den separándose del rotor.

En algunos casos en que los minerales no se encuentran como óxidos, después de la etapa preliminar de concentración en cribas hidráulicas, se llevan a hornos calcinadores (d) pa-- ra modificar su composición química, por ejemplo: mediante calcinación en el caso de la siderita ($FeCO_3$) y mediante ca-- lentamiento en el caso de la limonita ($2Fe_2O_3 \cdot H_2O$). Debido a que la finura de las partículas provoca - que haya arrastres a la atmósfera por el flujo de gases en los hornos, ocasionando pérdidas, es necesario aumentar el tamaño de las partículas antes de su función. Para esto, - se emplean máquinas sinterizadoras (e) cuyo proceso consis-- te en calentar las partículas hasta temperaturas próximas a la de su función, provocando que las partículas se suelden formando un aglutinado de dimensiones mayores que las de -- partículas solas dejando listo el mineral para su carga al alto horno.

En otros casos, el mineral, después de ser concentrado me-- diante separación magnética, es llevado a reducción directa proceso del que hablaremos posteriormente.

9.- Fabricación de Acero

- a) Diagrama de la fabricación del -- acero
- b) Fabricación de acero a partir del arrabio.
- c) Proceso HYLSA de fabricación de - acero

Existen dos procesos para la fabricación de acero en México a partir de arrabio y el proceso HYLSA; en el diagrama se - muestra la secuencia de cada uno de ellos.

En la fabricación de acero a partir de arrabio (b), la car-- ga de alto horno la constituye el mineral concentrado, cali-- za y coque; el producto del alto horno es el arrabio que --

junto con la chatarra constituyen la carga de los hornos - convertidores (Bessemer, Martin Siemen y Electrico) para producir acero. Estos procesos son selectivos, de acuerdo al tipo de composición química que presenta el arrabio y a las características y especificaciones en producción de cada proceso.

El proceso HYLSA de fabricación de acero, (c) parte de la reducción directa del mineral, proceso el cual consiste en reducir el mineral sin necesidad de fundirlo; y el producto que se obtiene es fierro esponja, que junto con chatarra son cargados a hornos eléctricos para producir acero. Para entrar en detalle, analizaremos a continuación cada una de las partes que intervienen en la fabricación del acero.

10.- El alto horno.

- a) Vista parcial del alto horno.
- b) Altos hornos en serie.

La función química del alto horno (a), es reducir al mineral de hierro hasta obtener un 90 a 93% de Fe. Esto se logra por las condiciones de temperatura del alto horno, además de las materias primas como coque, caliza y otros que promueven su reducción. El alto horno mide de 40 a 50 metros de altura, con diámetro máximo de 15 a 20 metros - su capacidad es hasta de 150 toneladas y de 200 toneladas para los más modernos. Su estructura es de hierro fundido, así como su base y se tiene un peso de varios cientos de toneladas. Su estructura interna se encuentra recubierta de materiales refractarios en capas. Por lo general, los altos hornos trabajan en serie (b) y cada uno está equipado por 3 ó 4 recuperadores de calor; cuyo objeto es el precalentamiento del aire antes de su entrada al horno. - El alto horno trabaja continuamente y es vaciado aproximadamente después de cada 4 ó 5 horas en que fué cargado. - El producto que se obtiene es arrabio (hierro sucio) - con alto contenido de carbón y silicio. El cual, junto con chatarra pasa a cualquiera de los procesos selectivos de producción de acero.

11.- Horno de hogar abierto
"Martin Siemen"

Primero veremos el horno de hogar abierto Martin Siemen. El empleo de este tipo de horno, se hace cuando el arrabio con tiene mucho fósforo, ya que sus paredes son de material refractario básico, lo que promueve su eliminación. Utiliza gas natural como combustible y la transmisión de calor es por radiación. Por medio de cámara de aire se establece una recirculación de aire, la cual provee al oxígeno necesario para la eliminación de impurezas al reaccionar y reducir así el porcentaje de carbón en el metal fundido. Cuando por muestras sacadas se conoce que la composición del metal y de la escoria es correcta, se cuela la carga. A medida que va cayendo el acero líquido al caldero, la escoria que es más ligera, asciende a la superficie y fluye a un caldero de escorias (b) colocado al lado del caldero de colada.

12.- Horno básico de oxígeno
"BESSEMER"

Es utilizado preferentemente cuando el arrabio tiene un pobre contenido en fósforo. No utiliza combustible, y su funcionamiento consiste en la alimentación continua de aire a través del metal fundido que se proporciona por la parte lateral del horno. Este horno consiste de un gran recipiente de hierro fundido en forma de pera con la parte superior al descubierto, por donde se eliminan los gases de combustión. En la parte inferior del horno, se encuentran situadas cámaras de aire que suministran directamente el aire sobre el lecho de fusión. Este procedimiento dura de 15 a 20 minutos en la producción de 20 toneladas métricas.

13.- Reducción directa.

La reducción directa es un proceso mediante el cual se logra la eliminación del oxígeno de los óxidos de hierro sin necesidad de fundirlos y cuyo producto conserva la forma original del mineral, pero con notable mayor porosidad, por lo que recibe el nombre de "hierro esponja" o "esponja de hierro".

Los minerales de hierro que son sometidos a este proceso, -

están constituidos por óxido férrico Fe_2O_3 (hematita) y/o -- por el óxido ferroso férrico (magnetita) Fe_3O_4 . Los reductores usuales son el carbono, el hidrógeno, el monóxido de carbono o una mezcla de los dos últimos, los cuales se obtienen de la descomposición del gas natural.

El proceso se efectúa en reactores como los que se muestran (a), en donde ocurre la reducción del mineral a temperaturas 700 a 825°C. Posteriormente, el mineral es pasado a los Reforadores para aglutinarlo (b) y formar así los nodulos o pellets de hierro esponja que contienen de un 80 a 90% de hierro.

14.- Horno eléctrico.

- a) Chatarra para carga al horno.
- b) Hornos eléctricos en operación.
- c) Descarga del horno.
- d) Adición de cal y aluminio al descargar el horno.
- e) Olla de descarga rumbo a vaciado continuo.

El hierro esponja obtenido en el proceso de reducción directa, constituye la materia prima para la carga del horno eléctrico, junto con chatarra y agentes refinantes y desoxidantes. El funcionamiento del horno se basa en la creación de un arco eléctrico al poner en contacto los electrodos de carbón con la carga metálica suministrando así el calor necesario para la fusión (b). La adición de oxígeno se hace con lanzas de aire por la parte superior para descarburar. Este tipo de horno es basculante, lo que permite su fácil acceso a carga o descarga (c). Los agentes refinantes y escoriificantes se agregan a paladas por la puerta del horno o bien al estarlo descargando (d). La operación de fusión dura alrededor de hora y media con una capacidad de 60 toneladas. Después de vaciar el horno, el metal es transportado en las ollas de descarga a la sección de vaciado continuo (e).

15.- Vaciado.

- a) Bloque de acero vaciado en molde.
- b) Vista de frente de vaciado continuo.
- c) Vista lateral de vaciado continuo.
- d) Electroíman acarreado palanquilla

El vaciado en los hornos Bessemer y Martin Siemen, es directo de los hornos a los moldes o lingoteras y de ahí se separa el metal solidificado por golpe o por abertura del molde, quedando el bloque de acero de las dimensiones del mismo (a) En el horno eléctrico, el vaciado es primero a ollas de descarga, y de éstas a canales de movimiento continuo, donde se enfría con aire a la salida de la olla. A lo largo de los canales de vaciado, existen dispositivos automáticos que cor-

tan el producto vaciado a una determinada longitud (b), (c). Se obtienen barras de 10 metros de longitud y una tonelada - de peso llamadas palanquillas o billets; los que son trans-- portadas mediante electroimanes a la sección de laminación - (d).

16.-- Laminación y productos.

- (a) Horno de precalentamiento.
- (b) Molinos laminadores.
- (c) Productos.
- (d) Varilla corrugada y alambren.

Las palanquillas o billets que llegan a la sección de lamina ción, son sometidas a un precalentamiento hasta temperaturas proximas a la de su fusión en hornos especiales donde se em- plea gas natural como combustible (a). A la salida del horno el metal al rojo vivo es colocado en prensas o canales que - lo conducen hasta los molinos de laminación (b), donde se mo- difica gradualmente las dimensiones de la palanquilla hasta obtener las deseadas. En las fotografias se muestran algunos de los productos terminados (c), (d).