

Ref. 109



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROCESOS DIVERSOS PARA LA  
ELABORACION DE LOS ACEROS

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**Ingeniero Mecanico Electricista**

PRESENTA:

**CLELIA MARIA SARA RIOS DORDELLY**

MEXICO, D. F.

1981



**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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (Méjico).

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.

## INDICE

### INTRODUCCION.

Pág.

I BREVE BOSQUEJO HISTORICO	
a) Obtención del hierro en estado líquido	2
b) Obtención del hierro en estado sólido	2
c) Obtención del hierro en estado pastoso	2
d) Forja Catalana	3
e) Horno de Crisol	4
f) Horno de reverbero antiguo	6
g) Convertidor Bessemer.	7
II METALURGIA EXTRACTIVA	9
a) Operaciones unitarias	9
b) Procesos unitarios	11
c) Metalurgia química	14
d) Procesos integrados	18
e) Ejemplos de procesos integrados	15
f) Obtención de los minerales.	18
III ALTO HORNO	21
a) Partes componentes	23
b) Carga del alto horno	28
c) Operaciones de alto horno	29
d) Productos del alto horno	32
e) Gases del alto horno.	33

	Pág.
<b>IV REDUCCION DIRECTA</b>	<b>36</b>
a) Clasificación de los procesos por reducción directa.	37
b) Proceso HyL	38
<b>V DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO-CARBONO</b>	<b>41</b>
<b>VI CALIDAD DEL ACERO EN RELACION CON SUS METODOS DE FABRICACION.</b>	<b>48</b>
a) Comparación de los aceros Siemens-Martin y básico y Bessemer ácido.	48
b) Comparación de los aceros Siemens-Martin básico y ácido.	49
c) Comparación del acero Eléctrico y del acero Siemens - Martin.	49
<b>VII DESCRIPCION DE PROCESOS.</b>	<b>52</b>
a) Proceso Siemens Martin	52
b) Historia de la colada Siemens-Martin básico	53
c) Historia de la colada Siemens-Martin ácido	65
d) Horno Eléctrico	70
e) Historia de la colada en horno eléctrico.	74
f) Horno Bessemer.	81
g) Historia de la colada Bessemer.	81
<b>VIII EFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION Y DE LOS ELEMENTOS ACCIDENTALES.</b>	<b>89</b>
<b>IX PROPIEDADES MECANICAS.</b>	<b>94</b>
<b>X CARACTERISTICAS ESPECIALES DE LOS ACEROS.</b>	<b>102</b>
- CONCLUSIONES	
- BIBLIOGRAFIA.	

## INTRODUCCION.

El propósito de este trabajo, es dejar una obra escrita para futuros lectores que tengan interés o necesidad de estudiar ciertos aspectos de la metalurgia de los aceros.

A través del mismo, se pretende exponer una introducción para aquellas personas que por primera vez inician el estudio de los diversos métodos para la fabricación de los aceros. Asimismo se espera que los temas que se desarrollan logren estimular el interés por los conocimientos metalúrgicos.

Algunas de las ideas expuestas, están muy cerca de ser fundamentales - pero con ello se desenfilará la compresión conceptual. Por supuesto que el lector deberá estar familiarizado con conocimientos de física y química.

Este trabajo empieza con un Breve Bosquejo Histórico de la elaboración del acero, donde se puede comprobar que desde sus inicios, este metal ha representado uno de los pilares más importantes para el desarrollo técnico y económico de la industria. En esta parte se hace mención de los diferentes hornos que se usaron para la obtención de los aceros.

Se hace un paréntesis para dar algunos conceptos metalúrgicos y explicar brevemente los diferentes minerales que existen para la obtención del hierro.

Continuamos con algunos de los métodos para la obtención del arrabio - para después seguir con los procedimientos de afino.

Según el procedimiento de fabricación, los aceros se clasifican en --  
Aceros : Bessemer, Siemens-Martin y Aceros Eléctricos.

Según sea su composición, se pueden dividir los aceros en dos clases - fundamentales : Aceros al carbono y Aceros Aleados.

Se ha convenido en designar como aceros al carbono, aquellos que están formados fundamentalmente por hierro y carbono, los aceros aleados son -- los que contienen además del carbono e impurezas, elementos de aleación voluntaria, como cromo, níquel, molibdeno, vanadio, tungsteno, etc.

Estos elementos influyen de muy diversas maneras en las propiedades de los aceros, aumentando o disminuyendo la templabilidad, la dureza, la maquinabilidad, etc.

Los elementos que pueden beneficiar al acero son :

Aluminio, azufre, boro, cerio, circonio, cobalto, cobre, cromo, fósforo, manganeso, molibdeno, niobo, nitrógeno, níquel, plomo, selenio, silicio, teluro, titanio, vanadio y tungsteno.

Los elementos que perjudican al acero son :

Antimonio, arsénico, estaño, hidrógeno y oxígeno.

En algunos casos la condición física de los aceros y en otros su composición química dan como resultado características especiales como: Distorsión del temple, distorsiones producidas en el mecanizado, maquinabilidad, resistencia a la abrasión, etc.

En general los materiales se catalogan como metálicos y no metálicos. Los metálicos a su vez se clasifican en ferrosos y no ferrosos, los no metálicos se clasifican en orgánicos e inorgánicos.

Los materiales no metálicos inorgánicos pueden ser los siguientes :

Minerales, cementos, cerámicas, vidrios, grafitos, etc., los materiales no metálicos orgánicos son los plásticos; productos del petróleo, materiales hechos a partir de animales, vegetales, madera, papel, hule, etc.

Los materiales más utilizados para la ingeniería son los metálicos de los cuales sus propiedades mecánicas se asocian con la habilidad del material para soportar esfuerzos mecánicos. Las propiedades son las de resistencia, elasticidad, ductilidad, cedencia, dureza y tenacidad. El Ingeniero busca la combinación adecuada de estas propiedades para su diseño, ya que hay ocasiones en que no se desea que se encuentren todas en un material a trabajar.

**CAPITULO I**

**BREVE BOSQUEJO HISTORICO**

## BREVE BOSQUEJO HISTORICO

La obtención del hierro se basa en general en la reducción del óxido de hierro, que es el mineral de este metal que existe con más abundancia en la naturaleza.

Siendo el acero el producto final que se obtiene de las siete octavas partes de este mineral, la casi totalidad de acero se fabrica obteniendo de este, un producto intermedio denominado arrabio con un alto contenido de carbono, que al descarbonizarlo en una operación posterior, resulta más económica la obtención del acero.

La obtención del hierro se clasifica de tres formas dependiendo del estado físico del producto obtenido :

- a) Obtención del hierro en estado sólido.
- b) Obtención del hierro en estado pastoso.
- c) Obtención del hierro en estado líquido.

### OBTENCION DEL HIERRO EN ESTADO SOLIDO.-

Este proceso consiste en reducir el mineral calentándolo moderadamente sin llegar a fundir, por medio de un gas reductor, generalmente monóxido de carbono, que al perder oxígeno queda una masa de hierro porosa llamada: esponja de hierro o hierro esponja. El principal inconveniente que tiene este procedimiento, es que la velocidad de reducción es muy baja y por consiguiente es pequeña la capacidad productora.

### OBTENCION DEL HIERRO EN ESTADO PASTOSO.-

Este procedimiento consiste en calentar el mineral sin llegar a fundirse, hasta que adquiera un estado pastoso. La reducción que se verifica simultáneamente con su reblandecimiento, no llega a carburar al hierro, por lo que el producto obtenido tiene carácter de acero (hierro con poco contenido de carbono).

### OBTENCION DEL HIERRO EN ESTADO LIQUIDO.-

Actualmente casi todo el hierro es obtenido en estado líquido en los altos hornos y sólo una pequeña parte en hornos eléctricos.

El dispositivo más simple para obtener la reducción de un mineral, consistía en un agujero cónico practicado en el suelo, en el se depositaba tierra y encima de ésta se apilaba una cantidad suficiente de car-

bón de leña a la que se le prendía fuego; un tubo de comunicación con el fuelle, proporcionaba al bracero el aire necesario para avivar la combustión. Este fué el principio de la fusión o la cocción en el crisol.

Los siderúrgicos hicieron esfuerzos para encontrar un proceso de producción diferente al del crisol porque éste era un aparato costoso, discontinuo y lento.

Y fue en Europa Occidental donde se encontraron hornos de tipo natural constituidos sobre un principio completamente diferente al del crisol. Estos hornos constaban de dos galeras rectangulares, una horizontal y otra vertical. Las materias primas se colocaban en la galería vertical, y la horizontal servía de tobera para el aire, como también de orificio de deshornear. Este horno es el antepasado del alto horno.

Hasta la Edad Media, la totalidad de la producción europea fue asegurada por el horno catalán, el cual tenía una forma tronco de pirámide invertido de 65 centímetros de lado, recubierto de piedra refractaria natural.



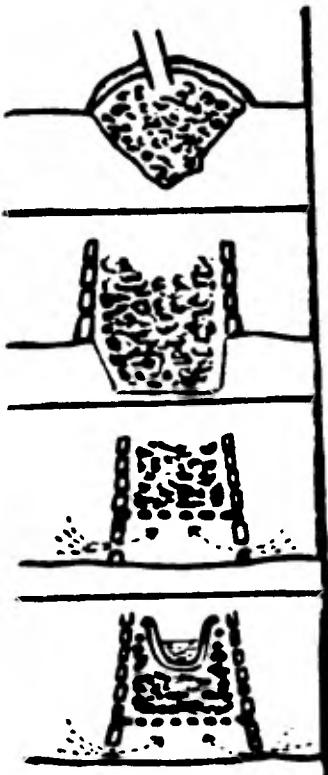
FORJA CATALANA

El aire soplaban por una tobera, en la parte superior y no a través de la masa, como se había hecho hasta el momento en los hornos primitivos, es debido a esto la superioridad de la forja Catalana.

Al comenzar cada vaciado, el horno debía estar caliente, ya sea que se calentara previamente o que se mantuviera el calor del vaciado anterior. Sobre aquél lecho y paredes calientes, se ponía el carbón vegetal apisonado hasta la altura de la tobera para soplar el aire y sobre el carbón cuya

combustión ya se había iniciado, se colocaba una capa de mineral preparado, dicha preparación, consistía en recocerlo previamente fuera de la fragua -- para deshidratarlo con lo cual, se conseguía abbreviar y facilitar el vaciado del horno, cuartear las piedras del mineral y hacerlas más fácilmente - desgregables y porosas, y por ello, más atacables por los gases de combustión.

La capa de mineral se cubría con otra de carbón y se soplaban aire para acelerar la combustión, pero debido a su reducida capacidad, tenían que ser agregadas capas sucesivas de combustibles y de mineral y limpiarse de vez en cuando para eliminar la escoria líquida, que al solidificarse era muy pesada y contenía una gran cantidad aún de hierro (la cual se volvía a añadir al horno). Así se continuaba durante una tres o cuatro horas, hasta obtener el fondo del horno una bola irregular de hierro pastoso del tamaño de seado, el cual era llevado primeramente a un martinet primitivo y grande, para expulsar los restos de escoria y darle forma de lingote, posteriormente se acababa de estirar en otro martinet igualmente primitivo pero pequeño.



Un simple hoyo en el suelo, lleno de carbón y cubierto de tierra. El tiro queda asegurado por un tubo de arcilla.

Aparece la obra de mampostería lateral; el volumen del horno aumenta. Los objetos que se han de cocer se entierran en el carbón.

La rejilla permite una mejor utilización del carbón.

La tierra cocida se convierte en crisol de fusión. Para las necesidades del dibujo se ha exagerado el tamaño del crisol.

HORNO DE CRISOL.

La forja catalana suministraba hierro de buena calidad, pero resultaba caro. Sus principales desventajas eran la pérdida de hierro en la escoria, el exagerado consumo de carbón (1.5 a 2 toneladas por una ac. mineral) el cual, tenía que ser exclusivamente carbón vegetal, ya que la huilla sulfuraba mucho al hierro, además la operación era lenta y la mano de obra excesiva.

Sin embargo, hasta el Renacimiento, el papel más importante lo desempeñaba la habilidad de los obreros y como la mano de obra siempre ha sido -- muy costosa, había que realizar progresos; entonces los metalúrgicos interesados en el problema, buscaron soluciones y lo que hicieron fue aumentar la capacidad de los hornos, realizando con esto un importante descubrimiento, notaron que sea cual fuera el horno y la altura de éste, a medida que va ardiendo el combustible, la carga desciende y su altura es bastante grande, la cantidad de hierro acumulado es más importante, ya que el metal se recarbura atravesando las capas inferiores de combustible.

Al final de la Edad Media, los progresos en altura de los bajos hornos fueron los que condujeron a los metalúrgicos al descubrimiento de la fundición.

La fundición líquida obtenida en el hogar del alto horno de antaño, no se podía vertir en moldes o no se conocía la forma de refundirla, por lo tanto, era utilizable tal como se encontraba; además probablemente era pobre en carbono ya que se observaba un color blanco, presentándose también demasiado fría.

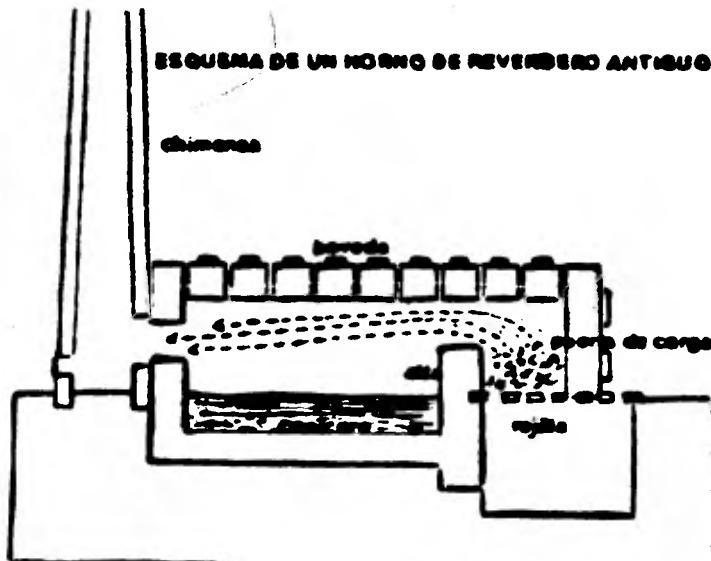
En aquélla época los únicos objetos metálicos que se conocían, eran de hierro puro o de bronce, pero siempre maleables, por lo tanto, la producción directa de piezas vaciadas en el alto horno seguía siendo insignificante, ya que el producto que se obtenía era un material duro e inutilizable en la fabricación aunándole a esto el ser también quebradizo. No obstante, la producción de fundición de afino destinada a la transformación en hierro dulce, se desarrollo en los nuevos hornos, porque estos eran -- los únicos que podían asegurar el aumento de la producción. Pero estos progresos tuvieron una desagradable contrapartida, la desaparición de los bosques, ya que el único combustible que se conocía hasta entonces era la leña o carbón de leña y con el aumento progresivo del precio de la leña; se hizo cada vez más difícil la explotación de los altos hornos. Entonces, -- Abraham Darby tuvo la idea de utilizar el coque (carbón desembarazado de sus productos volátiles por destilación), que además de resolver el problema de aprovisionamiento de combustible, presentaba preciosas ventajas en el plano técnico.

Ante todo la fundición era más fluida porque era más caliente, pero sobre todo el nuevo combustible tenía una resistencia al aplastamiento muy

superior a la del carbón de leña. Por esta razón, fue posible construir hornos más altos que los anteriores, con lo que aumentó la producción, y también el contenido de carbono de la fundición.

Hacia 1784, Cort inventó el horno de "Pudelar", cuyo principio se basa en un afino de la fundición líquida por oxidación (el producto resultante se recogía al final de la operación, en forma de bolas pastosas -- que convenía batir en el martínez para eliminar sus escorias). Este tratamiento se efectuaba en un horno de Reverbero de Solera, removiendo la masa de fundición en presencia de una corriente de aire superficial, con este se eliminaba además del carbono, el silicio, el manganeso y el fósforo.

En el plano técnico, el invento era el horno de reverbero mismo, llamado de este modo, porque el hogar lateral calienta no a la fundición, - sino a la bóveda del horno que reverbera o mejor dicho, irradian el calor hacia el baño metálico.



En 1855, se llegó a los procedimientos adultos, con el convertidor - "Bessemer", el cual permitió crear un acero enteramente por vía líquida.

El principio de la conversión de hierro en acero "Bessemer", es aná  
logo al de "Pudelaje", el cual se basa en la afinación de la fundición  
por medio de una corriente de aire frío.

La ventaja del procedimiento "Bessemer" sobre el de "Pudelaje", re-  
side en la ganancia de tiempo (veinte minutos en vez de dos horas), en  
la comodidad de la producción; y desde el punto de vista técnico, por  
el hecho de que el producto convertido, en vez de ser una bola pastosa  
es un baño completamente fluido, del que es fácil eliminar por decanta-  
ción las escorias y al que se pueden hacer las adiciones que se requie-  
ran.

Con el convertidor "Bessemer", los metalúrgicos conquistaron un nue-  
vo campo: el de los **ACEROS ALEADOS**.

CAPITULO II  
METALURGIA EXTRACTIVA

## METALURGIA EXTRACTIVA

La Metalurgia es la ciencia y el arte de extraer los metales de los minerales, refinándolos y preparándolos para su empleo.

De la mina, se extrae el metal en forma de mineral o de mezcla mineral, y hay que separar los minerales valiosos de los de desperdicio lo cual se hace posible triturando y moliendo los minerales, pasándolos luego por diferentes operaciones de refinación.

A su vez, podemos decir que la metalurgia química abarca el campo de la Ingeniería, que se dedica de la extracción de los metales a partir de sus minerales en bruto y de su refinación mediante procesos químicos a escala industrial.

## OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS.

Para que la producción de metal sea llevada a cabo, es necesario, recurrir a diferentes pasos individuales, llamados : "Operaciones Unitarias" y "Procesos Unitarios".

Los procesos unitarios implican primordialmente reacciones químicas y/o cambios en estado de agregación; ( forma natural en que se encuentra un mineral ) pero con cambios en la estructura molecular, mientras que las operaciones unitarias, implican cambios de formas físicas de las menas, sin cambios en su estructura molecular.

En la tabla No. 1, se hace mención de los principales procesos y operaciones unitarias, para la extracción de los metales.

Individualmente, daremos una breve descripción de cada uno de ellos.

### Operaciones Unitarias :

- 1) Trituración.- Es la operación por medio de la cual se reduce de tamaño el material que proviene de la mina.
- 2) Cribado.- Consiste en eliminar las impurezas por medio de un colador o criba.

TABLA No. 1

Operaciones Unitarias y Procesos Unitarios principales para la extracción de metales.

OPERACIONES UNITARIAS	PROCESOS UNITARIOS
Trituración.	Proceso Gas - Sólido (incluyendo: - tostación, calcinación, reducción - gaseosa y secado).
Cribado.	Sinterización y Piroaglomeración.
Clasificación.	Destilación en retortas.
Separación de Sólidos de los <u>Fluidos</u> .	Fusión Simple.
Separación de los <u>Fluidos</u> <u>sados</u> .	Fusión en Alto Horno.
Cribado Hidráulico.	Conversión.
Concentración de Película <u>Fluyente</u> .	Refinado de Metales Líquidos.
Flotación y Aglomeración.	Fusión y Liquefacción.
Separación Magnética.	Fundición y Solidificación.
Agitación y Mezclado.	Destilación y Sublimación.
Manejo de Materiales.	Proceso Hidrometalúrgico.
	Proceso Electrolítico.

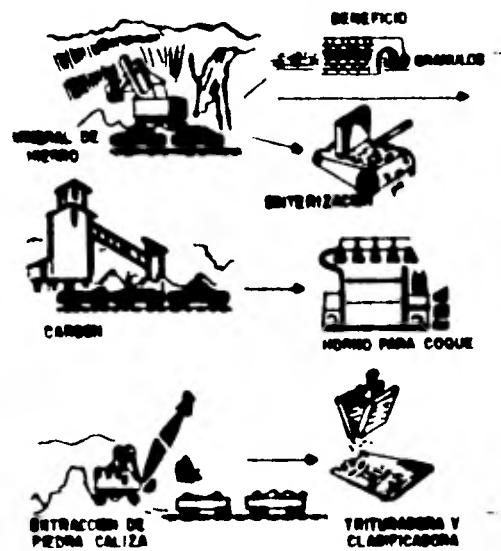
- 3) Clasificación.- Es ordenar por clase, o sea separar los materiales grandes de los materiales pequeños.
- 4) Separación de Sólidos de los Fluidos.- Se hace por medio de una paila, que es una vasija grande de metal a modo de sartén que contiene agua mineral, el cual se calienta a una temperatura que no afecte al mineral.
- 5) Separación de los Fluidos pesados.- Es una operación de separación, sin cambiar el estado de agregación de los fluidos.
- 6) Cribado Hidráulico.- Con ayuda del agua son llevadas las partículas pequeñas a un punto en el cual se forma una especie de lodo rico en mineral.
- 7) Concentración de Película fluyente.- Despues de hacer la mezcla de agua y mineral, se forma una nata, que es la película fluyente la cual se puede separar fácilmente.
- 8) Flotación y Aglomeración.- Por medio de un reactivo químico, se pone a flotar la ganga, y una vez que se ha hecho esto, se procede a retirar la sustancia química la cual no afecta al mineral.
- 9) Agitación y Mezclado.- El material de ganga que todavía tiene mineral, se tritura nuevamente para después ser pasado por pailas - hasta una mezcladora grande, con el fin de separar el material de la ganga.
- 10) Manejo de Materiales.- Consiste en la transportación y conducción de los materiales de una manera específica y ordenada, de un lugar a otro para facilitar operaciones unitarias posteriores.

#### Procesos Unitarios :

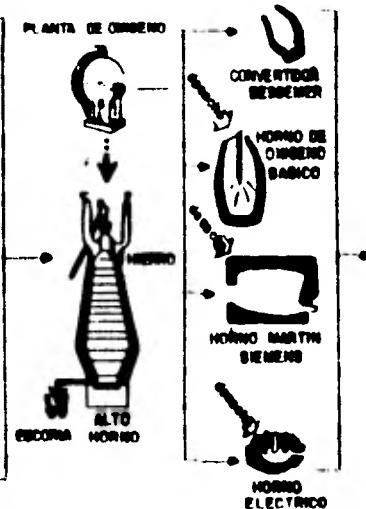
- 1) Proceso Gas Sólido.- Pueden ser en forma de :  
Tostación.- Es oxidar hasta cierto valor.  
Calcinación.- Es llevar a cabo una oxidación completa.  
Reducción Gaseosa.- Es eliminar óxidos mediante gases reductores.  
Secado.- Es eliminar humedad.

- 2) Sinterización y Piro - Aglomeración.- Sinterización es compactar o agrupar en forma de polvos.  
Piro - Aglomeración es aglomerar con la ayuda del fuego, lo cual, da origen a la formación de pequeñas bolitas, o sea es una oxidación del material.
- 3) Reducción de Oxidos Metálicos.- Se utiliza la propiedad química - que poseen ciertos metales o sustancias, para desoxidar determinados compuestos.
- 4) Destilación en Retortas.- La destilación en retortas se emplea generalmente para metales relativamente volátiles, tales como el --- zinc y el magnesio.
- 5) Fusión Simple.- La fusión es el paso de sólido a líquido, la fusión simple implica la participación de dos o más fases líquidas; cualquier operación de fusión simple se puede efectuar en un horno de reverbero, en un horno de arco, o en un crisol.
- 6) Fusión en Altos Hornos.- Es la fundición de varios materiales ya - procesados, para la elaboración de Hierro en gran cantidad, y en - un estado un poco más puro.
- 7) Conversión.- Es la deshidratación del mineral por medio de calor e hidrógeno.
- 8) Refinado de Metales Líquidos.- El material se funde en un crisol - de preferencia de grafito, al cual se le agregan elementos químicos para ir refinando el material, con el fin de obtenerlo en su - estado puro.
- 9) Fusión y Licuación.- Una vez que el material ya está fundido en el horno, se procede a sacarlo en estado líquido por una parte inferior del horno, para llevarlo a procesar en la operación deseada.
- 10) Fundición y Solidificación.- El material una vez fundido en el - horno, se extrae y por medio de lingoteras, se traslada para formar lingotes o barras.
- 11) Destilación y Sublimación.- Es cuando tenemos un crisol y lo calentamos para evaporar el contenido, y con la ayuda de un arco -

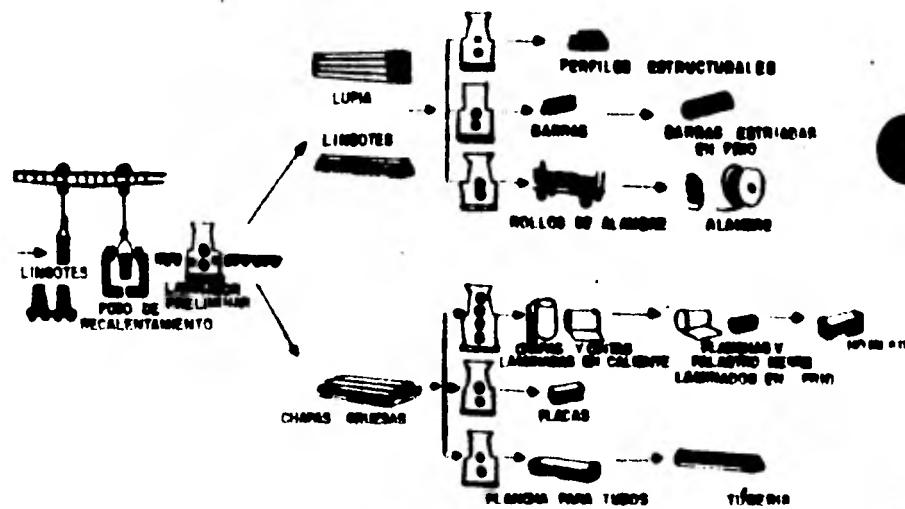
### METALURGIA EXTRACTIVA



### METALURGIA QUIMICA



### METALURGIA MECANICA



con agua circulando, se produce vapor que se condensa y des-  
pués empieza a gotear recogiéndose de esta manera el material.

- 12) Procesos Hidrometalúrgicos.- Los metales son llevados a solucio-  
nes con ácidos o con aceites, para hacer flotar los materiales-  
que se deseen (esto es por diferencia de densidades).
- 13) Procesos Electrolíticos.- Se usa para separar elementos o parti-  
culas indeseables en el material, por medio de agua y electrici-  
dad a base de electrodos.

#### METALURGIA QUÍMICA.

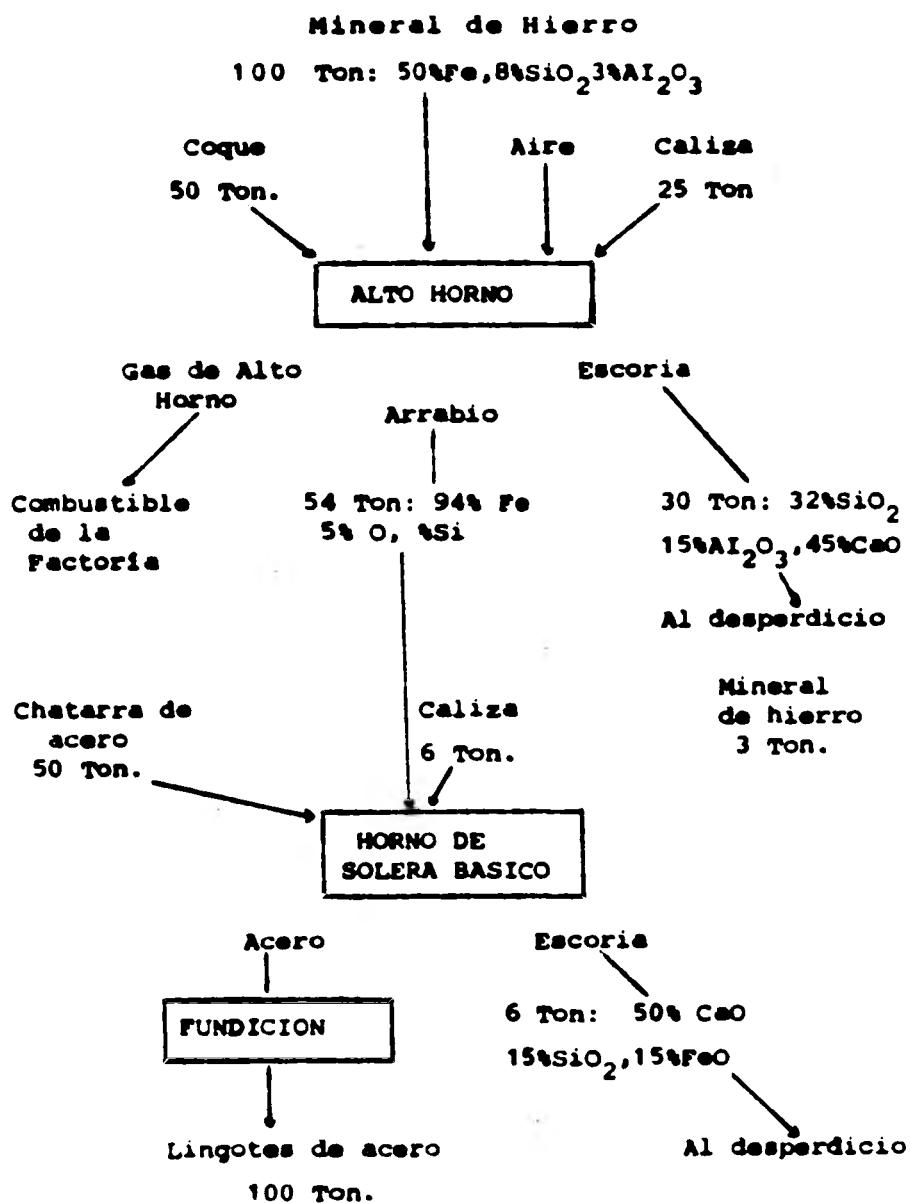
El éxito de un proceso industrial, depende de un buen conocimiento  
de sus relaciones con las circunstancias que lo rodean y una cuidado-  
sa coordinación con las características internas del proceso.

Los puntos más importantes son :

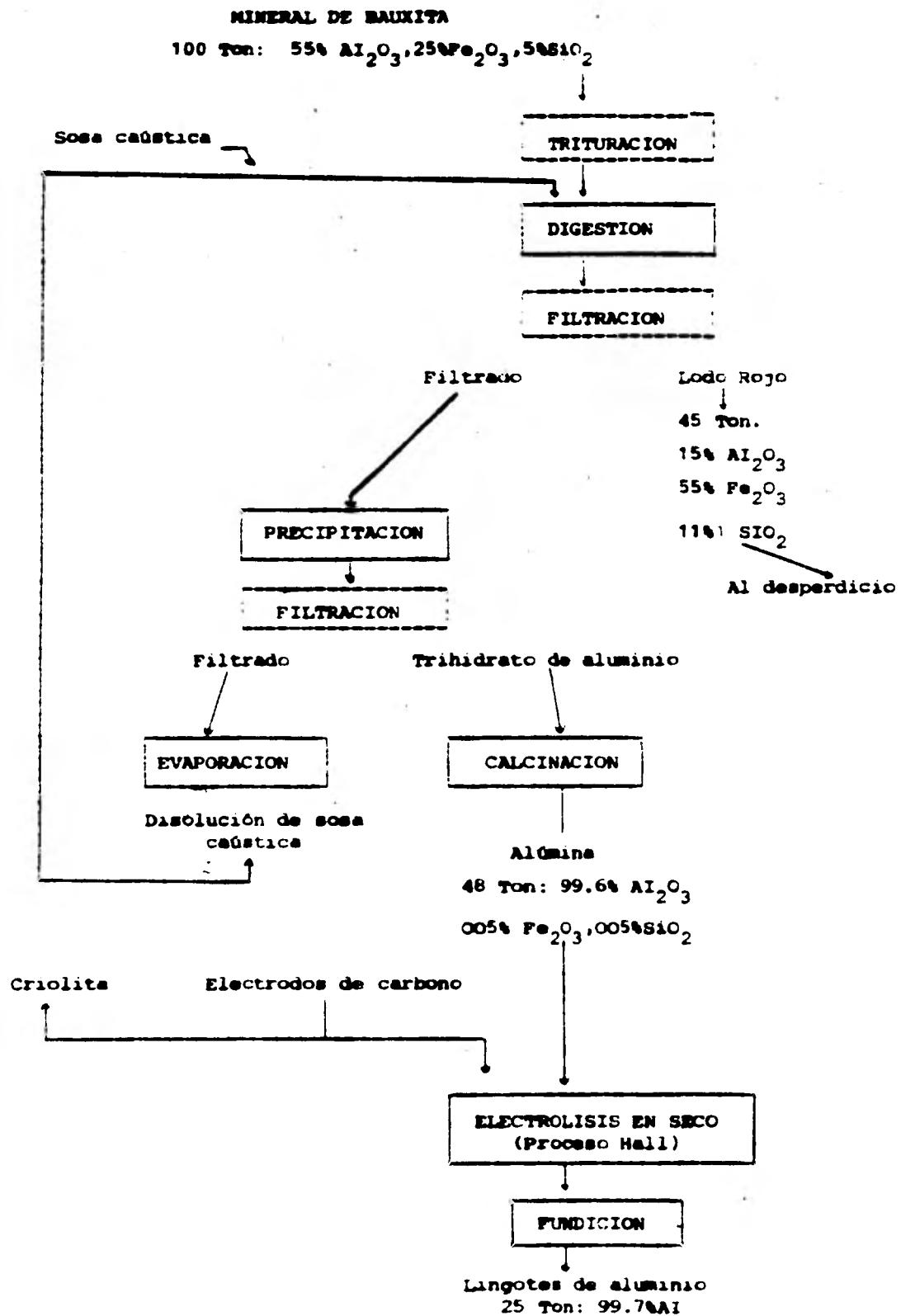
- 1o) Suministro de los materiales en bruto : combustible,  
agua y reactivos.
- 2o) Suministro y aplicación de la energía : tanto térmica  
como mecánica.
- 3o) Requerimiento de mano de obra y dirección.
- 4o) Transporte, almacenamiento y manejo de materiales en  
bruto: productos y subproductos.
- 5o) Disposición de los desperdicios: desechos, escorias,  
gases, etc.
- 6o) Instrumentación y control.

Estos puntos representan los costos de un proceso integrado, y el  
Ingeniero, no solo debe comprender cómo han de reunirse, sino también  
debe conocerlos y mantenerlos bajo estricto control para lograr un be  
neficio máximo.

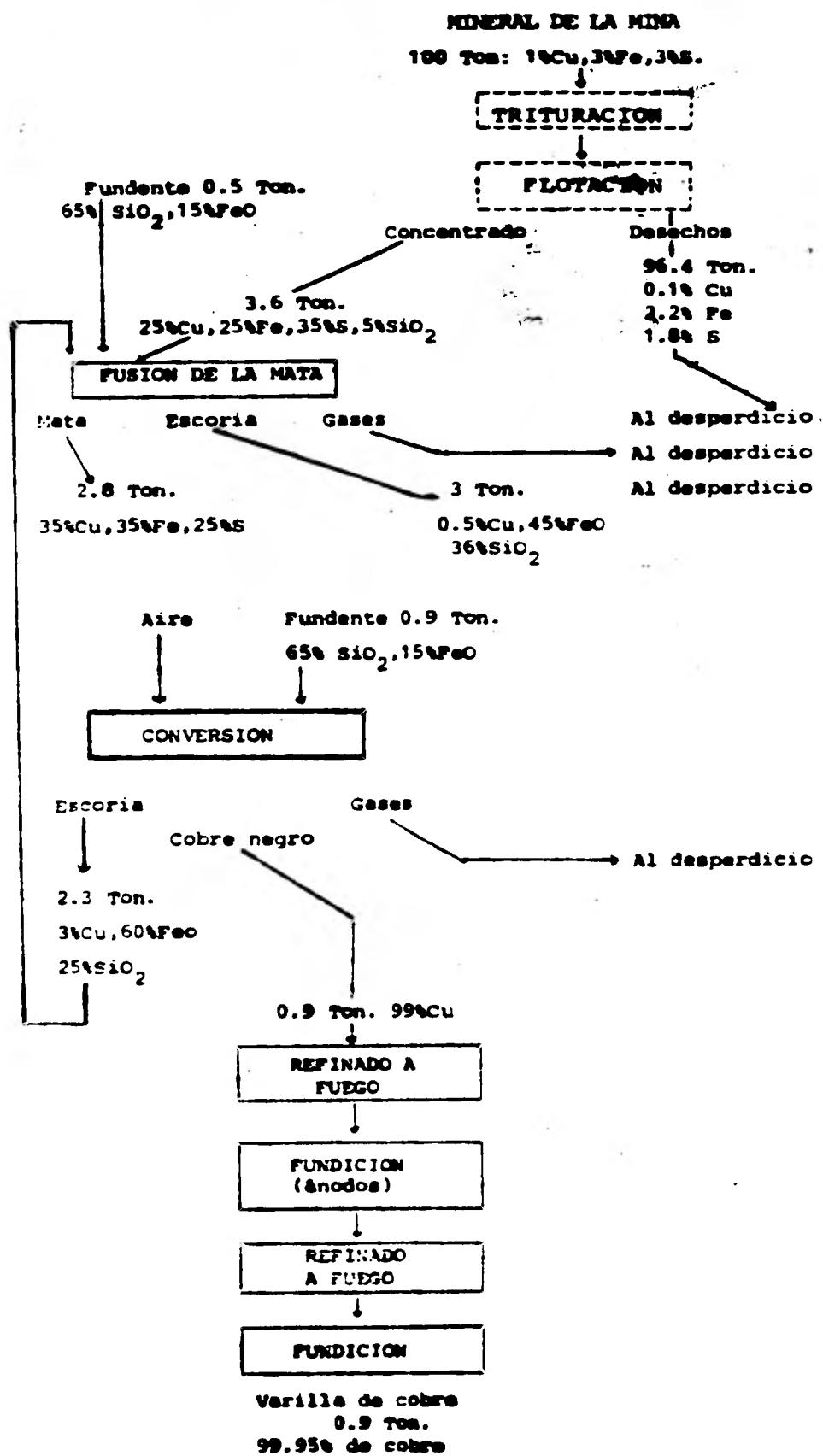
## EXTRACCION DEL HIERRO A PARTIR DE SU MINERAL



## EXTRACCION DEL ALUMINIO A PARTIR DE BAUXITA



EXTRACCION DEL COBRE DE UN MINERAL DE GRADO BAJO



## PROCESOS INTEGRADOS :

Se define como una secuencia de operaciones unitarias y procesos - unitarios. Es decir, que siempre siguen una secuencia, ya que los materiales cambian de un paso a otro de una manera ordenada.

A estos procesos y operaciones se les puede describir por medio de "Diagramas de Procesos"

### Diagrama de Proceso Típico :

Son procesos condensados, que sólo muestran los pasos necesarios y principales requeridos en el proceso.

Los pasos son representados por rectángulos, para las operaciones - unitarias, los rectángulos son indicados mediante líneas punteadas, y por líneas continuas para los procesos unitarios. Después se incluyen algunos ejemplos de procesos integrados.

## MINERALES DE HIERRO.-

Uno de los minerales que más abunda en la naturaleza es el hierro, - que constituye más del 5% de la corteza terrestre, aunque rara vez se encuentra puro, generalmente se encuentra combinado en forma de óxidos, carbonatos y sulfuros.

Los principales minerales que se utilizan para la obtención del hierro, son los siguientes :

1.0 OXIDOS ( son los minerales de hierro más interesantes. )

1.1. Oxidos Férricos Anhídridos. ( $Fe_3O_3$ ), con 70% de Fe.

a ) Hierro Ologisto.- Se presenta cristalizado en romboedros de color negro brillante.

b ) Hematites Roja.- Es el mineral de hierro más abundante, su forma es amorfa ( sin forma )

1.2 Óxidos Férricos Hidratados. ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), con 60% de Fe.

- a) Hematites Parda.- Cuando se presenta en forma pura, es de color pardo.
- b) Limonita.- Existen cinco variedades de limonita, que responde a la fórmula general ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), y son : la Turjita ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), la Goestita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), la Hidrogostita ( $3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), la Xantosíderita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), y la Limonita ( $3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), que es la más importante.

La Limonita es un producto de la oxidación y ataque del aire -- atmosférico sobre otros compuestos de hierro, su color es amarillo oscuro.

- c) Hematites Oölítica.- Está constituida por pequeños granos de diámetro inferior a un milímetro, aglutinados por un cemento -- calcáreo, silicioso o arcilloso.

1.3. Óxidos Ferrosos Férricos ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) con un 72.4% de Fe.

- a) Magnetita (piedra imán).- Que es el mineral más rico en hierro, contiene hasta un 72.4% de Fe, si es puro, pero es el más difícil de tratar, por la ganga que generalmente lo acompaña

2.0 CARBONATOS.- ( Deben ser tostados para reducirse a óxidos )

- a) Siderita o Siderosa o Hierro Espáctico ( $\text{CO}_3 \cdot \text{Fe}$ ).- Tienen una riqueza en hierro de 48.3%, cristaliza en forma romboédrica, es de color blanco ligeramente amarillo.
- b) Esferoidita ( $\text{CO}_3 \cdot \text{Fe}$ ).- Con 48.3% de Fe, se presenta en forma de granos, generalmente mezclados con arcilla, y entonces presenta un color pardo y grisáceo.

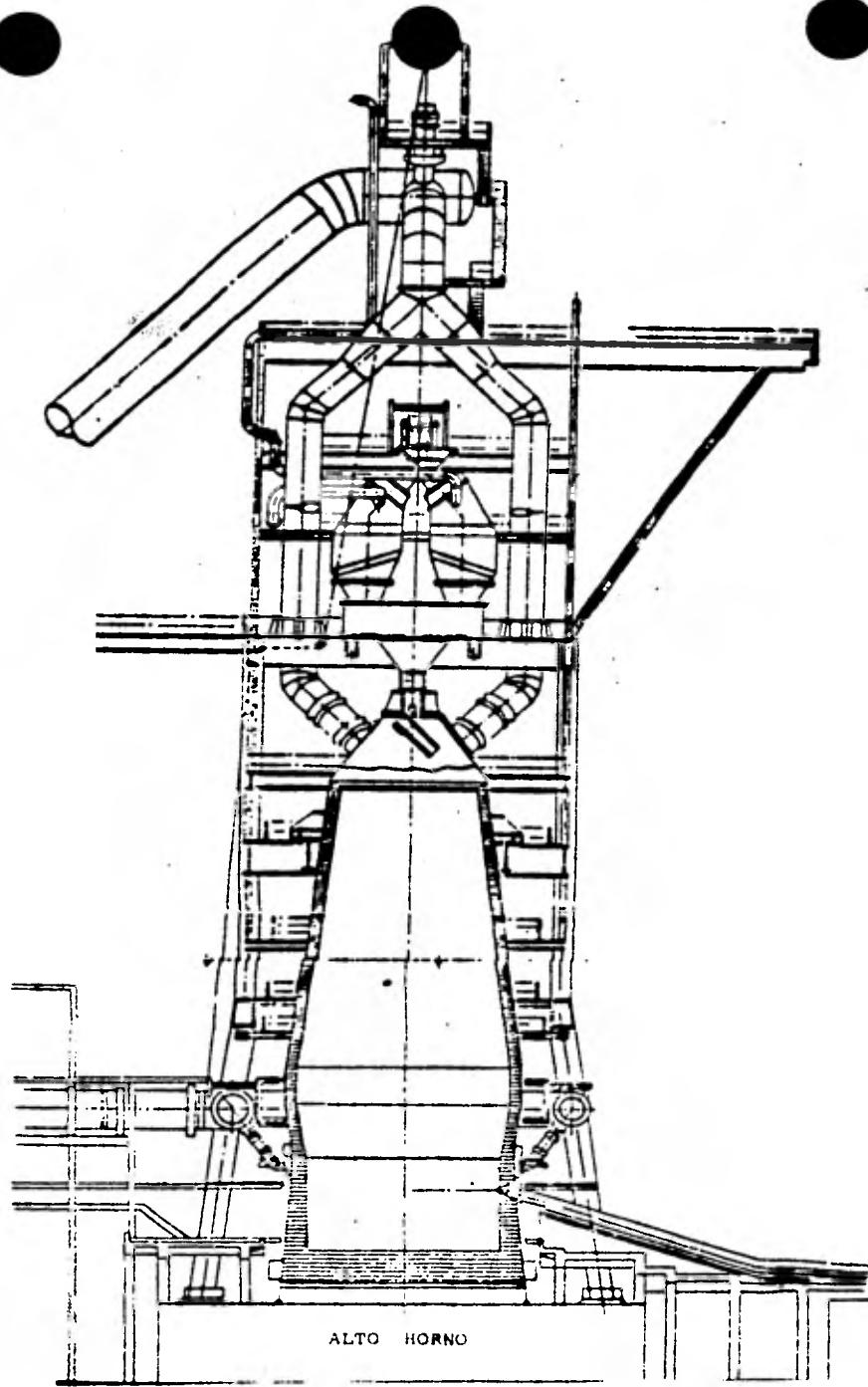
3.0 SULFUROS.

- a) Pirita de Hierro ( $\text{S}_2\text{Fe}$ ).- De riqueza teórica de 46.6% de Fe, cristaliza en forma cúbica, es de color amarillo latón.
- b) Calcopirita ( $\text{S}_2\text{FeCu}$ ).- Con 30.5% de Fe.

Las riquezas en hierro dadas anteriormente son teóricas (en la práctica dicha cantidad es menor), porque los minerales raramente se encuentran puros, generalmente se extraen impurificados por otros elementos, que constituyen la ganga, la cual está formada por Silice ( $\text{SiO}_2$ ), Alumina -- ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Cal ( $\text{CaO}$ ), Magnesia ( $\text{MgO}$ ) y pequeñas cantidades de Azufre, Manganeso y Fósforo.

**CAPITULO III**

**ALTO HORNO**



Tipo	Autoseparador
Volumen óptico	2163 metros cúbicos
Capacidad	4800 toneladas
Diametro del Crisol	11.30 metros
Diametro máximo del vieso	12.30 metros
Diametro del trapezio	8.00 metros
Altura del fondo del crisol al trapezio	29.40 metros
Altura total sobre el nivel del agua	66.43 metros
Número de tolva	20
Tipo de Tragante	Sistema Paul Werth (sin compresor)
Número de compresores de aire	1
Construcción	Davy Adamson Ltd.

## ALTO HORNO.

Términos usados en el Alto Horno, según el esquema :

- 1) TOLVA DE CARGA.- Es un recipiente metálico que está localizado en la parte superior del tragante, se utiliza para recibir la carga del -- horno.
- 2) TRAGANTE.- Es la parte superior del horno por donde se introduce la carga.
- 3) CAMPANAS.- Son válvulas de hierro o de acero, colocadas en el tragante para evitar la salida de los gases, permiten la introducción de - la carga y por ser cónicas, también su distribución.
- 4) CUBA.- Es la parte tronco cónica superior del horno, cuya base mayor está unida al vientre.
- 5) VIENTRE.- Es la zona de mayor diámetro, está situada entre la cuba y el etalaje, su forma es generalmente cilíndrica.
- 6) ETALAJE.- Es la parte tronco cónica inferior del horno, su base menor colinda con el crisol.
- 7) TOBERAS.- Son unos tubos de cobre que desembocan en unos orificios - colocados entre el etalaje y el crisol.
- 8) CRISOL.- Es la parte cilíndrica inferior del horno, donde se recolec<sub>tan</sub> el metal y la escoria líquida. Consta de un orificio de colada, piquera o sangradero, por donde se extrae en forma periódica el arrabio o hierro líquido, y otro orificio llamado "escoriadero" o "pique<sub>ra</sub> de escoria".
- 9) PIQUERAS DE ESCORIA Y ARRABIO.- Es la parte por donde se extraen dichos productos en forma líquida.
- 10) PERFIL DEL HORNO.- Se le denomina así a la forma interior del horno.
- 11) VOLUMEN UTIL.- Es el comprendido dentro del perfil, desde la solera o piso del crisol, hasta la base del tragante, se mide en metros cúbicos.
- 12) ANGULOS DE LA CUBA (beta) Y DEL ETALAJE (alfa).- Son los formados - entre las líneas respectivas del perfil y la horizontal, se expresa en grados.

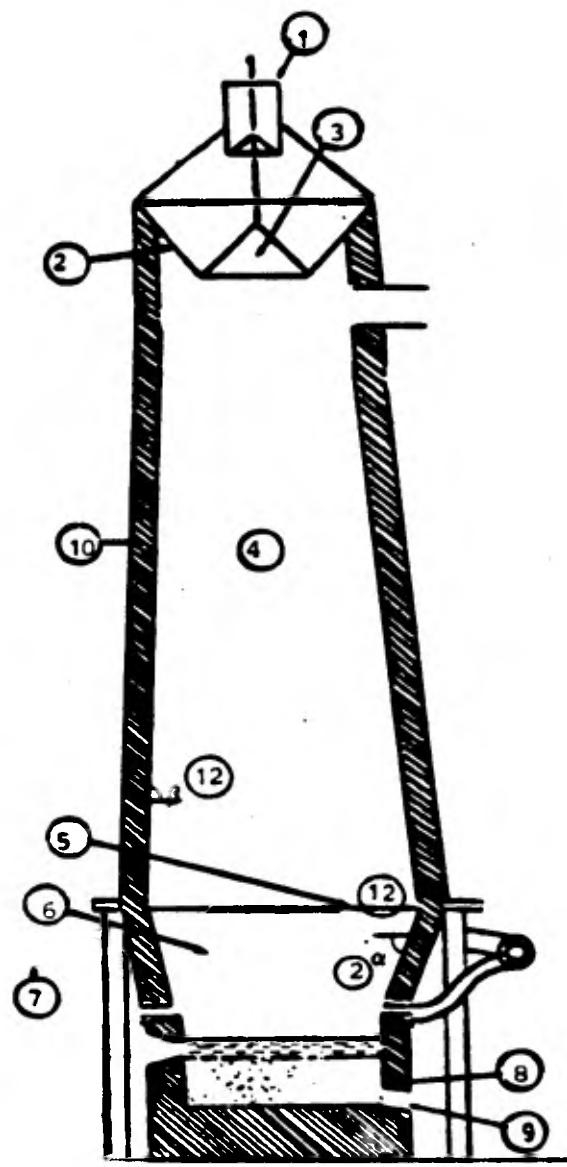


DIAGRAMA DE UN ALTO HORNO

- 13) Intensidad de Combustión.- Es la cantidad en kilogramos de coque - que se quema en el horno por cada metro cuadrado y por unidad de - tiempo.
- 14) El Alto Horno termina en su parte inferior en un cuerpo de sección cilíndrica, cuya parte superior se denomina obra, en la cual se lo calizan las toberas.

El Alto Horno está formado de dos cuerpos tronco cónicos unidos por su base mayor. Esta forma cónica facilita el descenso de la carga en el curso de la operación.

Sus partes principales son: el soporte u obra, el stalaje, el vientre, la cuba y el tragante. Tiene una altura de 30 a 80 mts., su diámetro máximo es de 10 a 14 mts.

La gran altura de los hornos modernos, tiene por objeto facilitar a los gases ascendentes, la cesión de su calor sensible y facilitar también al monóxido de carbono (CO), la reducción indirecta del mineral.

Todo alto horno está recubierto interiormente por ladrillos refractarios con un revestimiento de espesor variable, según la sección y la capacidad del horno. Las paredes del stalaje, obra y crisol, son refrigeradas por agua para proteger la vida del refractario.

Una envolvente de chapa de acero con aros de refuerzo constituye la infraestructura del horno.

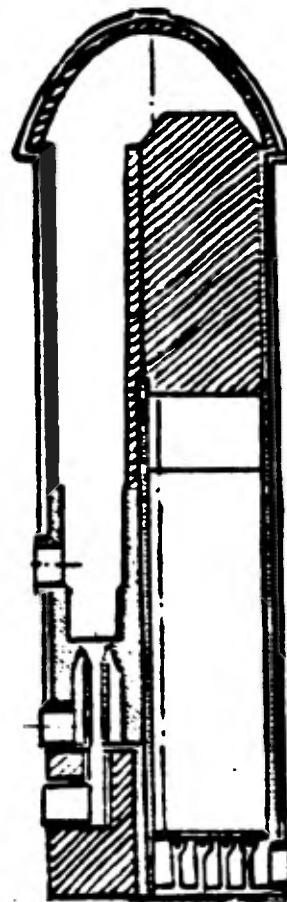
Completan la instalación del alto horno: silos para el almacenamiento de materias primas (mineral, coke y fundente), un montacargas, máquinas soplantes, estufas o precalentadores de aire, sopladores, mierillas, ollas para coladas, ollas para la escoria y una instalación de depuración de gases.

Estufas o Precalentadores de Aire.- Son regeneradores cuyo objetivo es el de precalentar el aire que se inyecta al horno por las toberas, utilizando los gases que salen del mismo horno y que trabajan alternativamente al calentamiento y al enfriamiento.

En las estufas modernas para obtener temperaturas más altas en el aire de combustión del alto horno y de esta forma reducir el consumo de coque y aumentar la productividad, incorporan una cámara de combustión externa. Un ejemplo es: la estufa "Hoogovens" que es de este tipo y tiene como características especiales, el utilizar quemadores verticales bocarriba, el tener un horno superior tipo hongo, el cual flota con objeto de que se deslice verticalmente con la dilatación del refractario sin dañarlo.

## Refractarios

 **aislante**  
 **alúmina**  
 **sílice**



Esquema. Estufa Hoogovens

**Soplador.**- es un compresor alternativo, que suministra al horno aire a presión.

**Mirillas.**- son orificios con un cristal azul de cobalto en el codo - de la tobera, para observar el interior del horno.

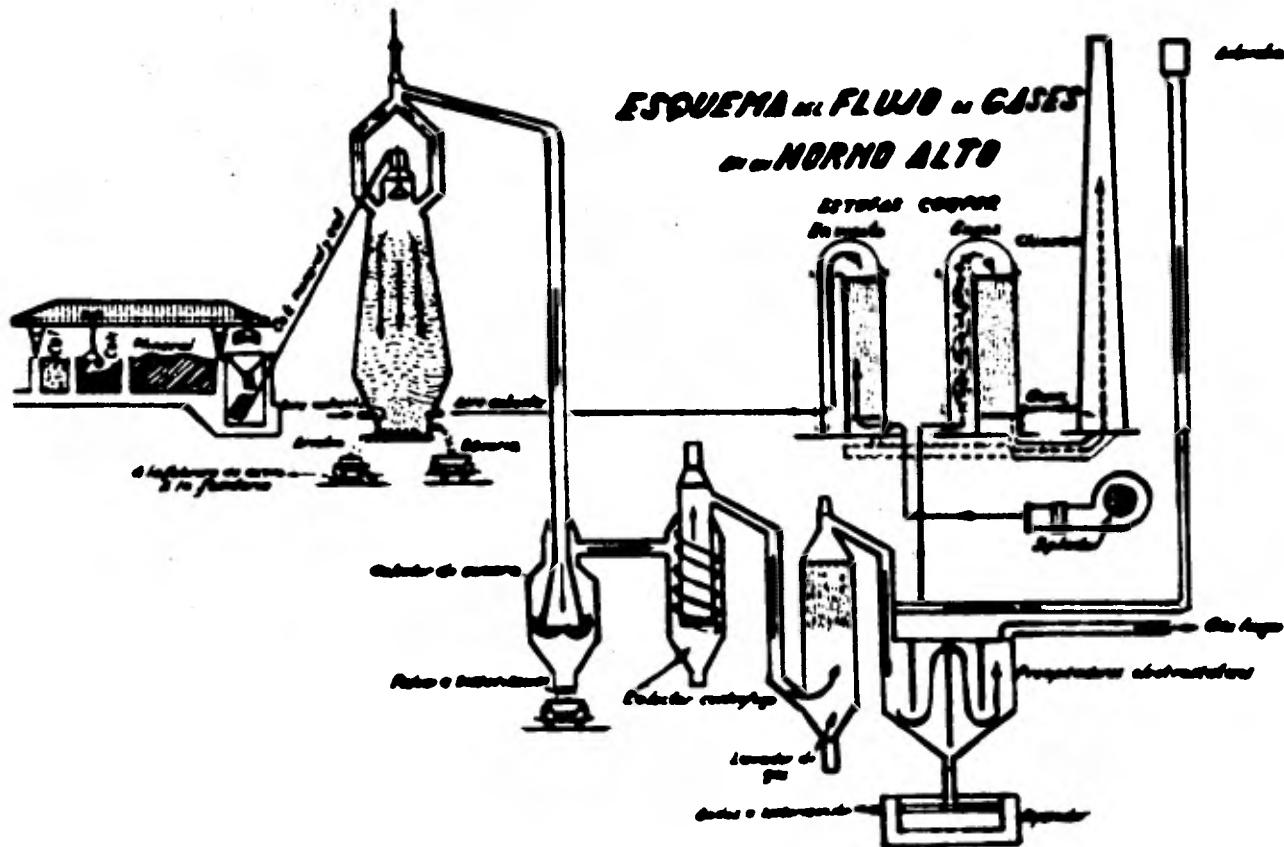
**Ollas de colada.**- son recipientes donde se recibe y transporta el arrabio líquido, son de formas diversas.

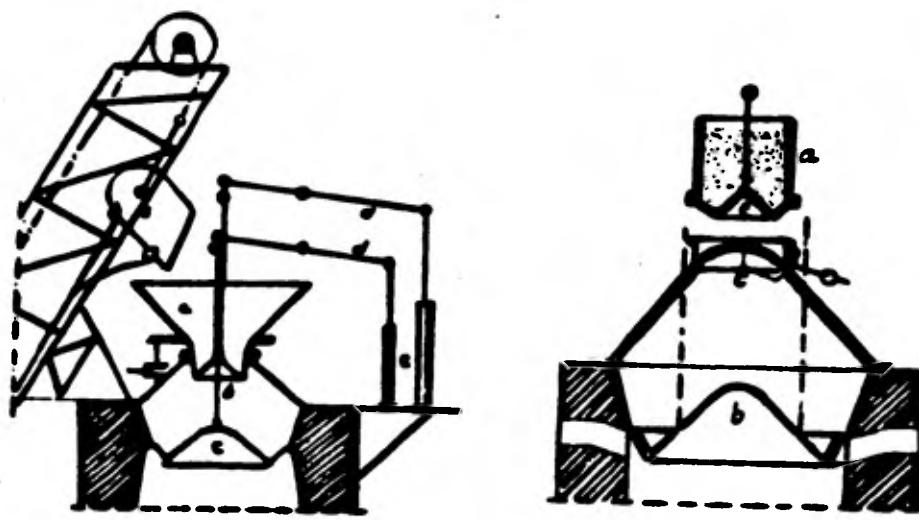
**Ollas para escoria.**- son recipientes de hierro o acero donde se recibe la escoria líquida.

Depuración de Gases.- los gases llevan en suspensión de 8 a 10 -- gr./M<sup>3</sup> de polvo, formado aproximadamente por 30 o 40% de hierro y 15% de coque. Este polvo, es necesario separarlo del gas para que no perjudique a los aparatos que se alimentan con gas de alto horno.

Los sistemas modernos de depuración, comprenden un colector de cámara, donde por expansión y cambio de dirección de los gases se deposita el polvo más grueso; a continuación los gases pasan a un colector centrífugo, y después a un lavador, donde se lavan con agua a contracorriente y por último, el polvo residual se separa en precipitadores electrostáticos.

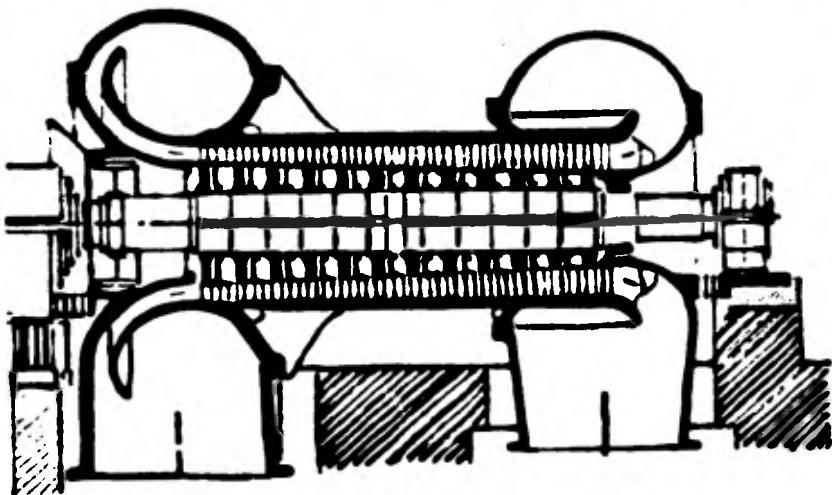
Montacargas.- es un mecanismo utilizado para elevar las cargas hasta la tolva de carga, mediante cubas o vagones accionadas por un maquinaria, el cual se mueve por medio de vapor o eléctricamente.



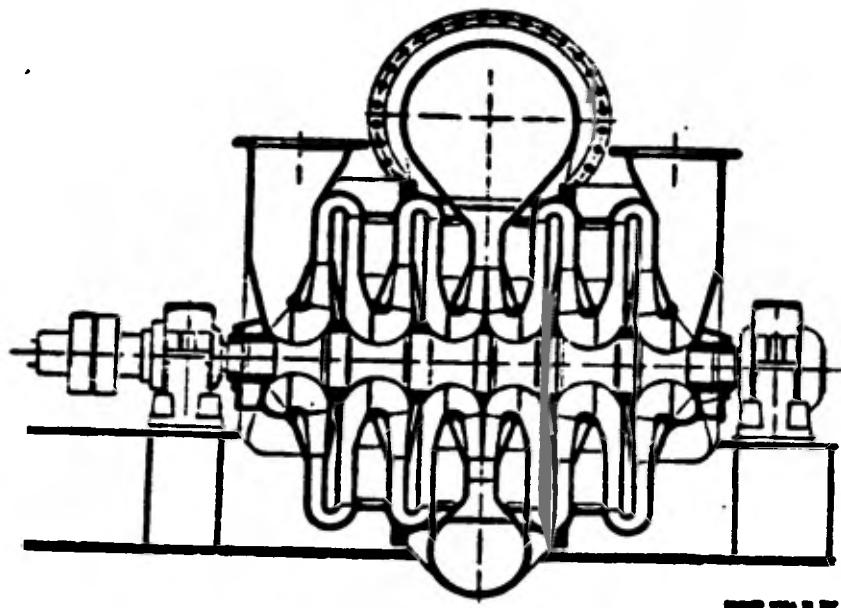


Esquema. Montacargas

Máquinas Soplantes.- Su función es inyectar el aire a presión, y actualmente están compuestas de una turbina de vapor y de un ventilador -- centrífugo de tipo axial o radial.



Máquina soplante tipo axial



Esquema. Máquina Soplante Radial

#### CARGA DEL ALTO HORNO.

Los altos hornos se cargan alternativamente con una mezcla de mineral, coque y fundiente.

La carga del horno va descendiendo a medida que transcurre la operación, y se puede efectuar coladas de arrabio y escoria, tardando de 8 a 10 horas en obtenerse el metal.

El tamaño del mineral, debe ser aproximadamente entre 10 y 16 milímetros, ya que mientras más grande sea su superficie, es más fácil su reducción indirecta con el monóxido de carbono (CO).

El combustible generalmente empleado, es el coque metalúrgico, que debe tener buena resistencia mecánica del orden de 160 Kg/Cm<sup>2</sup>, para resistir sin pulverizarse grandes cargas. Se debe evitar que contenga materias volátiles que podrían aglomerar los materiales en el horno.

y además debe ser poroso para facilitar la combustión.

El carbón vegetal generalmente se emplea para obtener hierro de alta calidad, y sin ningún contenido de azufre, ya que el coque aporta aproximadamente 1% de azufre en forma de sulfuro al arrabio, pero el carbón vegetal tiene varios inconvenientes que son, además de su alto precio, no resiste grandes cargas, por lo que los hornos que los utilizan tienen menor altura que los que usan coque.

El sinterizado está compuesto del polvo del mineral y del coque, así como también de cenizas producidas por la tostación de piritas, y en caso de encontrarse de carbonatos de hierro.

Los fundentes tienen por objeto, dar a la escoria fluidéz suficiente. La escoria está compuesta por sílice, alumina y cal.

Si en la ganga del mineral existe una gran cantidad de sílice, se dice que es ácida, y el fundente que se utiliza es la caliza y la dolomita, aunque esta última se emplea más como revestimiento refractario de carácter básico que como fundente.

#### OPERACIONES DEL ALTO HORNO.

Las operaciones del alto horno, son las siguientes :

- 1o. Puesta en marcha.
- 2o. Encendido.
- 3o. Carga.
- 4o. Colada o Sangría.
- 5o. Descariado o Colado o Sangría de Escoria.
- 6o. Taponado mediante la máquina taponadora, o cañón de lodo con bolas de barro.

#### Obstrucción del Horno.

- 1.- Embague, formación de lodos y de bóvedas.
- 2.- Tiempo de operación hasta su reparación.

- 3.- Parada del horno temporal o definitivo.
- 4.- Apagado del horno.
- 5.- Dinamitado del horno, para romper embancamiento y obstrucciones difíciles.
- 6.- Formación de salamendras.
- 7.- Revestido o reparación del horno.

#### Reacciones Químicas Básicas.

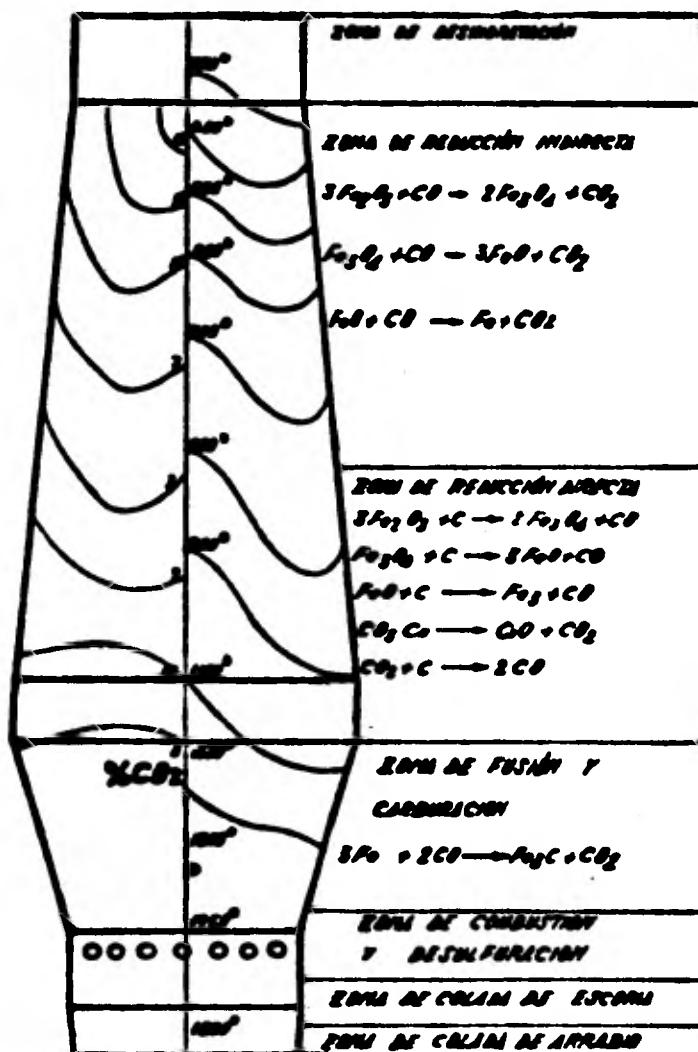
Una vez que el mineral de hierro se deposita en la boca o tragante - del horno, se da origen a reacciones con los gases ascendentes :



La figura de "Reacciones Químicas", muestra que estas tienen lugar - durante el proceso e indican las posiciones relativas y las temperaturas aproximadas a que corren éstas.

En resumen, teóricamente puede dividirse verticalmente, de arriba a abajo, un alto horno a partir de su funcionamiento en 7 zonas :

- 1o) Zona de Deshidratación.- con temperaturas entre 200°y 400°C, donde se lleva a cabo la desecación de la carga.
- 2o) Zona de Reducción Indirecta.- con temperaturas desde 400°a 700°C que es donde tiene lugar la reducción del oxígeno del mineral, - por medio de monóxido de carbono (CO).
- 3o) Zona de Reducción Directa.- con temperaturas desde 750°a 1350°C donde se realiza la reducción del oxígeno del mineral directamente por el carbón incandescente.
- 4o) Zona de Fusión y Carburación.- donde tiene lugar la fusión y carburación del hierro formado.
- 5o) Zona de Combustión y Desulfuración.- es donde se pueden alcanzar temperaturas cercanas a los 200°C, y es donde se encuentran las toberas.
- 6o) Zona de Colado de Escorias.- es donde se encuentran flotando las



Esquema. Reacciones Químicas Básicas

escorias sobre el metal.

7o) Zona de Colado de Arrabio.- que es la última etapa.

Estas divisiones por zonas antes mencionadas no deben de tomarse en una forma estricta real, ya que el funcionamiento del alto horno no - puede ajustarse a ningún esquema de estas fases, otra razón es que las temperaturas son más elevadas en el centro del horno que en la periferia.

Además, las reacciones, tanto directa como indirecta, son todas reversibles y se verifican según la temperatura y concentración de los - diversos elementos.

#### PRODUCTOS DEL ALTO HORNO.

El arrabio (o hierro de primera fusión).- es un producto frágil, y no forjable, que se obtiene en forma líquida del horno.

Por su composición química, es un hierro con alto contenido de carbono (3.0 a 4.5%), silicio (0.5 a 3.5%), y otros elementos como: manganeso, fósforo y azufre.

Se produce generalmente tres clases de arrabio, según la composición que se da a la carga: el gris, el blanco y el atruchado.

El lingote gris o arrabio para fundición contiene de 3 a 4% de C, - tiene aspecto cristalino y es de color gris oscuro, su temperatura de fusión es más alta que la del lingote blanco, pero es más fluido cuando está fundido. Es generalmente empleado para el moldeo de piezas de fundición.

El lingote blanco o arrabio para aceración, combina todo el carbono con el hierro en forma de carburo de hierro (cementita), su aspecto es blanco y algunas veces cristalino, es más duro y frágil que el lingote gris.

El lingote atruchado es un tipo intermedio entre el gris y el blanco, su aspecto es el de una matriz de hierro blanco con manchas grises.

La escoria se forma por la reacción de la ganga del mineral, las cenizas del carbón y los fundentes, cuyo objeto es dar a la escoria que se forma características deseables de fusibilidad, poder desulfurante y desfóforante.

La escoria empieza a formarse a los 700° o 800°, o sea al iniciarse

la zona de reducción directa.

Los tres constituyentes fundamentales de la escoria son: la Silice - ( $\text{SiO}_2$ ), en una proporción de 18 a 38%, la Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), en un 8 a 27%, y la Cal ( $\text{CaO}$ ), en un 30 a 50% que en parte proviene de la ganga mineral.

Las temperaturas que la experiencia aconseja para que la escoria cuie libre y fluidamente en los altos hornos, es la de 1500° a 1600°.

La cantidad de escoria producida por tonelada de arrabio oscila entre 500 a 1500 Kg., siendo las coladas de escoria más frecuentes que las de arrabio, aproximadamente 2 o 3 de escoria por una de arrabio.

La escoria se aprovecha para fabricar :

- 1.- Balastro de ferrocarriles.
- 2.- Bloques para pavimentación de calzadas y aceras.
- 3.- Mezcándolas con cal para la fabricación de ladrillos.
- 4.- Para la fabricación de cemento de escorias.
- 5.- Para la fabricación de lana mineral, que es un producto aislante del calor y que resiste muy altas temperaturas.

#### Gases del Alto Horno.

Se obtienen aproximadamente 6,000 Kg. de gases por tonelada de arrabio a temperaturas de 800° a 900°. Una vez depurados en los separadores de polvo se aprovechan los gases para :

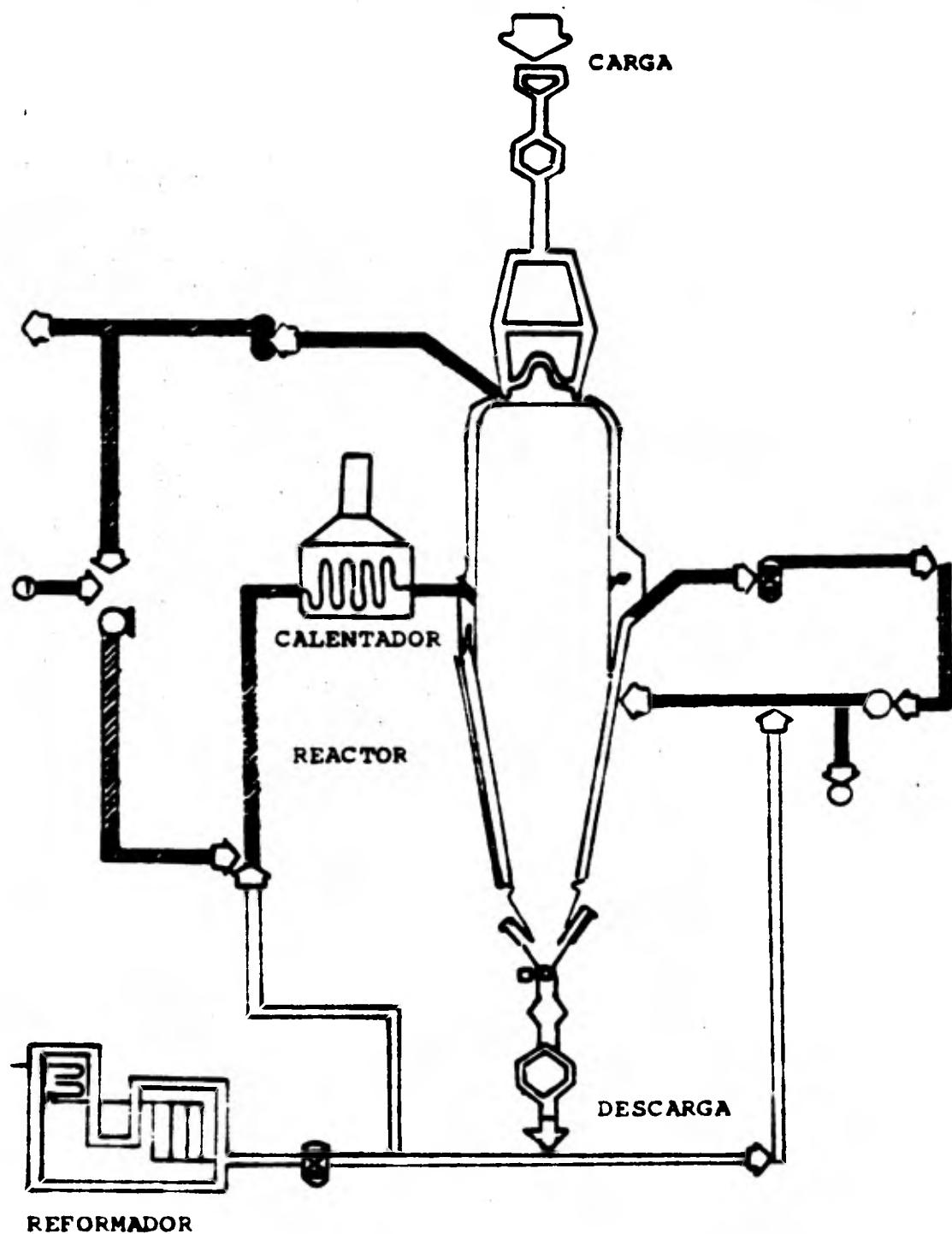
- a) Caldear el aire que se inyecta a las toberas de los altos hornos.
- b) Como combustible (gas pobre).
- c) Para producción de fuerza en motores adecuados.
- d) Para producción de energía eléctrica.

Polvillo.- la cantidad de polvo separado de los gases, es aproximadamente de 50 Kg/Ton de arrabio.

**CAPITULO IV**  
**REDUCCION DIRECTA**

**PROCESO CONTINUO**

H Y L



**REFORMADOR**



Circuito del gas reductor



Circuito del gas de enfriamiento

## REDUCCION DIRECTA.

Otra forma de obtener acero diferente al del proceso del alto horno, es mediante la reducción de los óxidos de hierro, cuyo producto, es el "Hierro Esponja".

### Hierro Esponja.

Cuando se elimina el oxígeno de los óxidos de hierro sin llegar a la fusión, el producto conserva la forma original del mineral, pero con una mayor porosidad, por esta razón, recibe el nombre de "Hierro Esponja o Esponja de Hierro".

Puede decirse que es un producto de la reducción directa de los minerales de alta concentración, mediante calentamiento por contacto con gases en presencia de un catalizador.

No todos los productos sólidos, obtenidos por reducción directa son hierro-esponja, algunos procesos emplean mineral de hierro en pequeñas partículas, debiendo ser briqueteadas luego de ser reducidas, con lo cual, el producto resulta muy compacto y denso, en este caso, se habla de briquetas "metalizadas" a briquetas "prereducibles".

### Grado de Reducción.

Es la relación entre el oxígeno removido total y el oxígeno antes de la reducción, multiplicando esta relación por 100, se expresa el grado de reducción como un porcentaje :

$$\frac{Or}{Ot} = 100$$

### Grado de Metalización.

Es la relación entre el hierro metálico  $Fe_m$  del producto reducido y el hierro total  $Fe_t$  del mineral empleado. Este grado de metalización expresada en porcentaje sería :

$$\frac{Fe_m}{Fe_t} = 100$$

El grado de reducción es siempre mayor que el de metalización. Generalmente la metalización se presenta luego de haberse efectuado alguna reducción, porque los óxidos superiores  $Fe_2O_3$  y  $Fe_3O_4$ , se deben reducir

a FeO, antes de liberar al hierro.

## CLASIFICACION DE LOS PROCESOS POR REDUCCION DIRECTA.

Estos procesos se dividen en :

- a) Proceso a base de reductor sólido ( carbón ).
- b) Proceso a base de reductor gaseoso ( gas procedente del craqueo del gas natural, o de otros hidrocarburos líquidos o gaseosos o de la gasificación o destilación del carbón ).

También se suelen dividir, por la clase de reactor que emplean en - proceso de :

Lecho fluidizado.

Retorta.

Horno de cuba.

Horno rotativo.

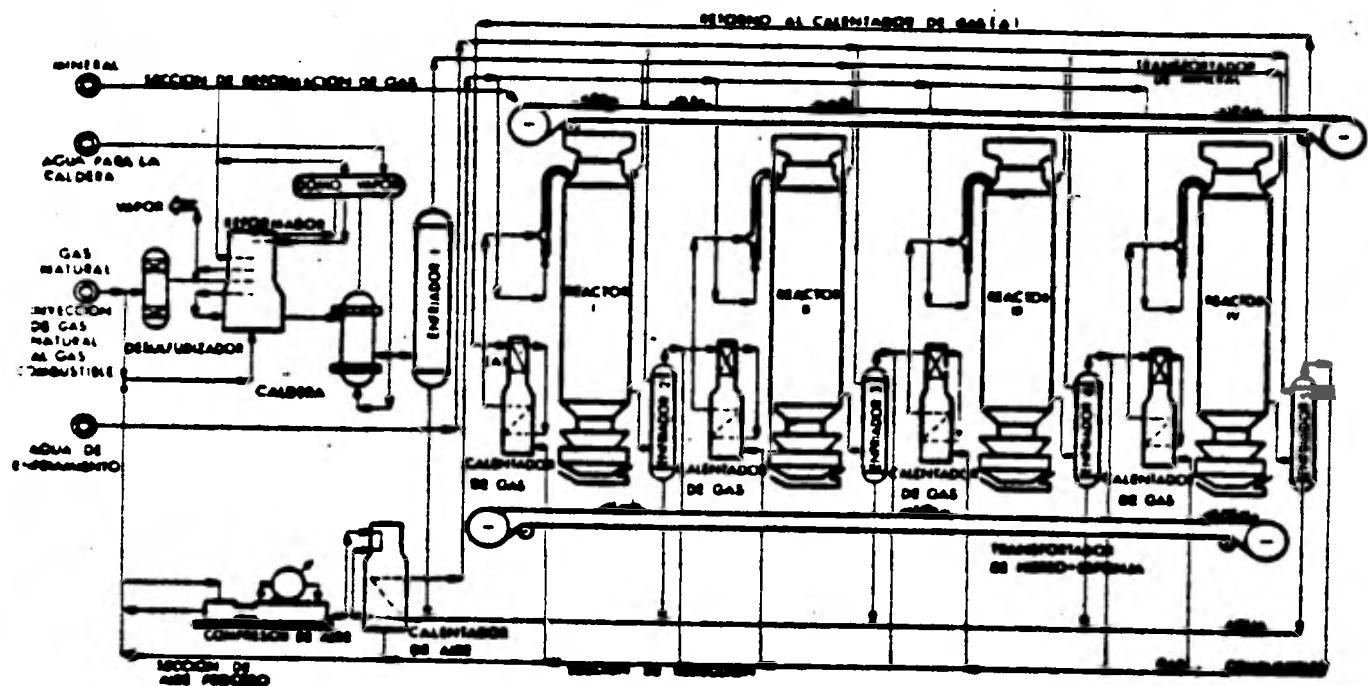
Los procesos de reducción directa utilizan mineral de hierro de muy diversas granulometría, teniendo los finos, aplicación en reactores de lecho fluidizado, y los trozos mayores, los pélets, y las briquetas, en retortas y en hornos de cuba.

Los hornos rotativos son los más flexibles en cuanto a tamaño, permitiendo no solo pélets, briquetas y trozos, sino también, finos de mineral.

Es importante también, que el mineral no se tueste ni sufra un gran hinchamiento durante el proceso de reducción, particularmente cuando se efectúa este en retortas o en hornos de cuba, en que los afinos que se producen, pueden bloquear el flujo normal de los gases, a través de la carga.

Reductor Sólido.

Las características más importantes que determinan la aplicabilidad



Esquema. Proceso HYL

de un carbón a la reducción directa de los minerales de hierro y son :

Fusibilidad de las cenizas.

Composición de las cenizas.

Reactividad.

Materias Volátiles.

Contenido de azufre.

Contenido de cenizas.

#### Reductor Gaseoso.

Los gases reductores son: el hidrógeno, el monóxido de carbono, o una mezcla de ambos.

Cualquiera que sea el gas reductor, debe estar libre hasta donde sea posible de los elementos oxidantes  $H_2O$  y  $CO_2$ , que dilatan su poder reductor.

En la actualidad, se está difundiendo ampliamente el proceso "HYL", -- por lo que haremos una breve mención de este.

Según este proceso, desarrollado por "Hojalata y Lámina, S.A.", de Monterrey-Méjico, la reducción del mineral de hierro en trozos o pélets, se efectúa en retortas mediante gas natural reformado con vapor y un catalizador (níquel).

El mineral permanece estático en el reactor, recibiendo gas secundario caliente en primer término, esto es, gas que ya efectuó una operación de reducción, en otro reactor, luego recibe el gas reductor primario caliente, y finalmente el gas reductor frío para enfriar el producto antes de descargar la retorta y evitar reoxidación inmediata del hierro-espuma al ponerse en contacto con la atmósfera.

El grado de metalización, suele estar entre el 85 y 90%.

**CAPITULO V**

**DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO - CARBONO**

## DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO-CARBONO

Intercalaremos un paréntesis para dar una explicación de lo que son: LOS HIERROS, LAS FUNDICIONES Y LOS ACEROS.

Por este motivo, introduciremos un leve estudio del diagrama de "Equilibrio Hierro-Carbón", el cual es indispensable para el conocimiento de las aleaciones, porque para cada porcentaje de los elementos que lo componen, podemos conocer con el diagrama, su constitución a diferentes temperaturas, siempre y cuando la aleación esté en equilibrio.

Las modificaciones que se llevan a cabo, en el sistema hierro-carbón, considerando al carbón como un elemento de aleación del hierro, variando sus proporciones y las temperaturas del sistema, es posible representarlas en el llamado: "Diagrama Hierro-Carbón".

En dicho diagrama, el eje de las abscisas representa el porcentaje de carbón y también del carburo de hierro (que es la manera en que se encuentra el hierro combinado con el carbón), y el eje de las ordenadas representa las temperaturas.

En el eje de las abscisas, encontramos diferentes puntos definidos - de los cuales, nombraremos los más importantes:

1.- El límite del diagrama corresponde a una proporción de 6.67% de carbón, que corresponde a la cementita pura.

2.- El punto "C", es el llamado Punto Eutéctico, con una proporción de 4.3% de carbón y 64.5% de carburo de hierro.

Durante el proceso de solidificación, en contenidos inferiores - al 4.3% de carbono, se precipita la austenita y para contenidos superiores a 4.3%, se precipita la cementita.

3.- El punto "E", marca la máxima solubilidad del carburo de hierro en hierro gama.

El punto de 1.76% de carbono en el eje de las abscisas, divide - las aleaciones de hierro-carbono en dos clases de diferentes características:

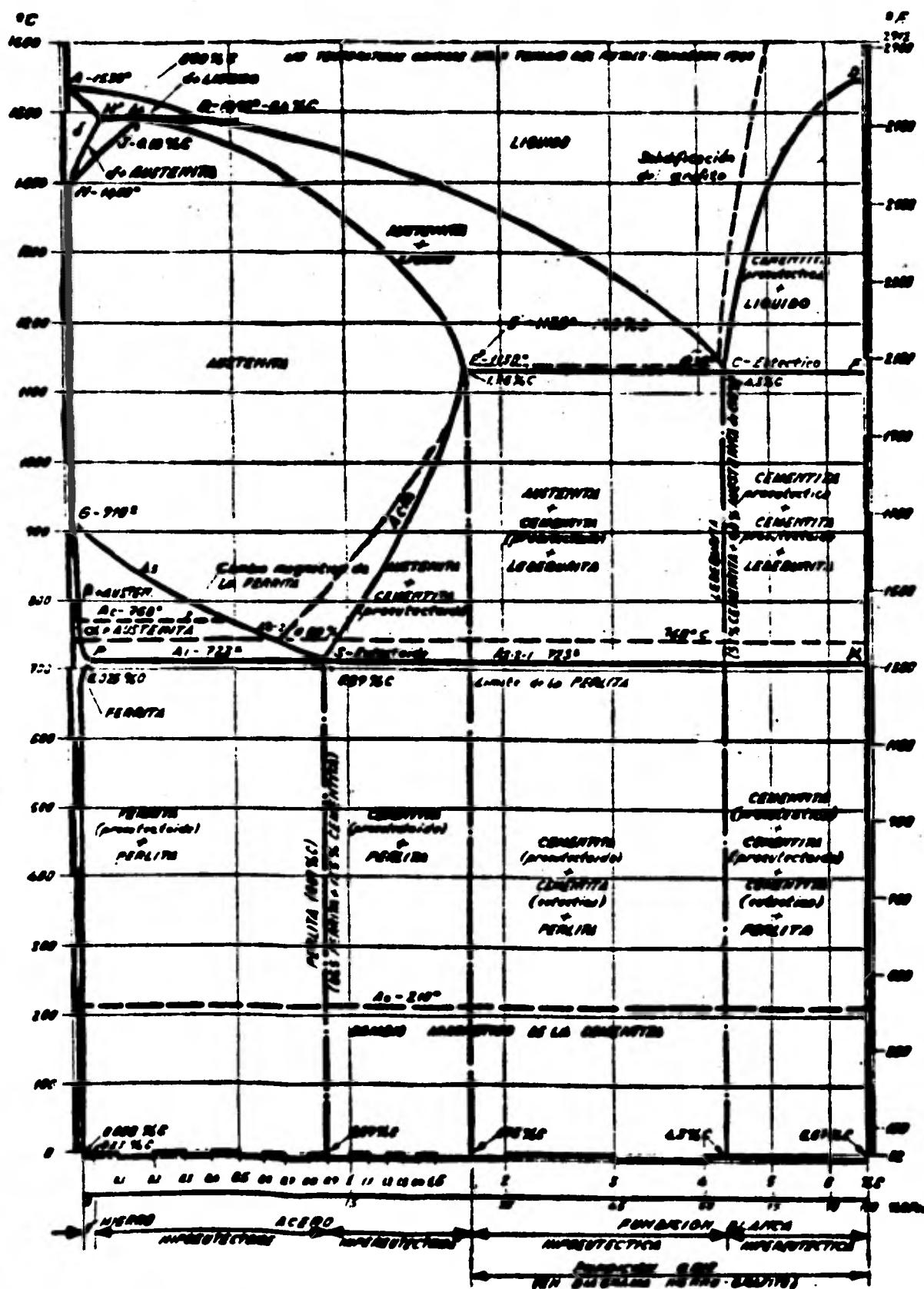
A) De 0.03% hasta 1.76% de contenido de carbono, son aceros.

B) De 1.76% a 6.67% de carbono, son fundiciones.

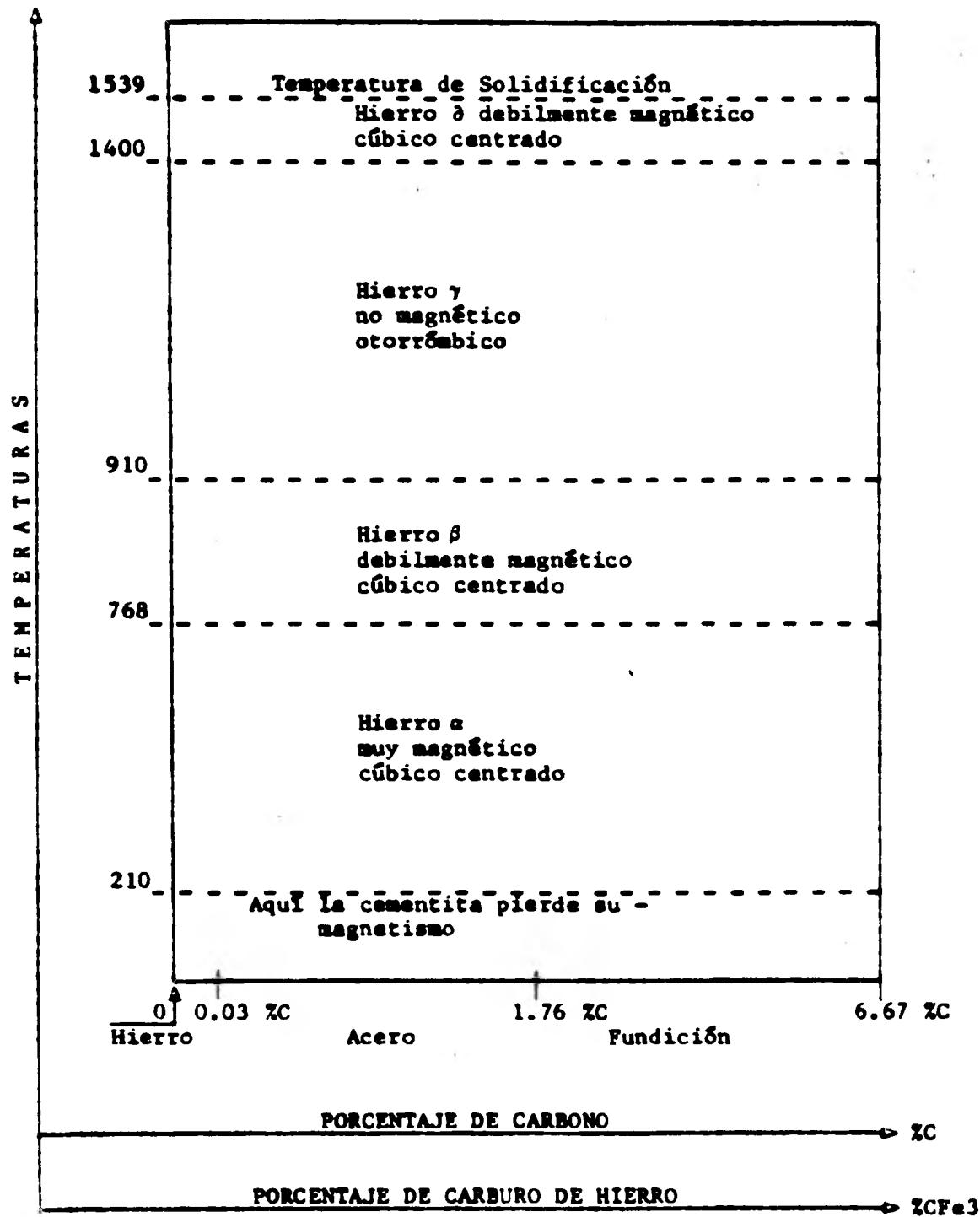
4.- El punto "S", denominado "Eutectoide", es similar al punto "C" (eutéctico), pues en el punto "C" existe un cambio de estado, -- de líquido a sólido o de sólido a líquido, y en el punto "S" - - hay una transformación en la constitución de la aleación que es

# DIAGRAMA HIERRO - CARBONO

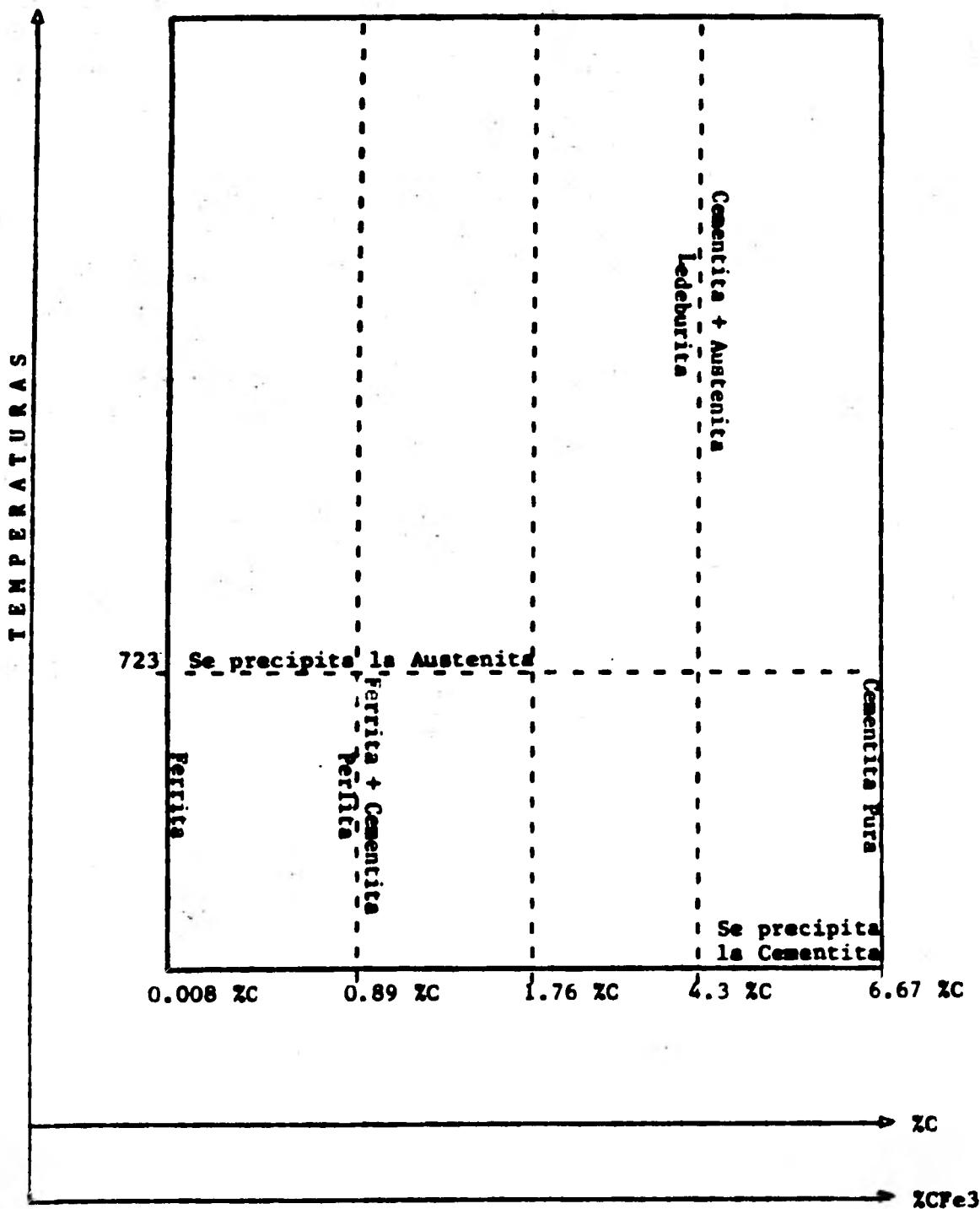
----- DIAGRAMA HIERRO - GRÁFITO



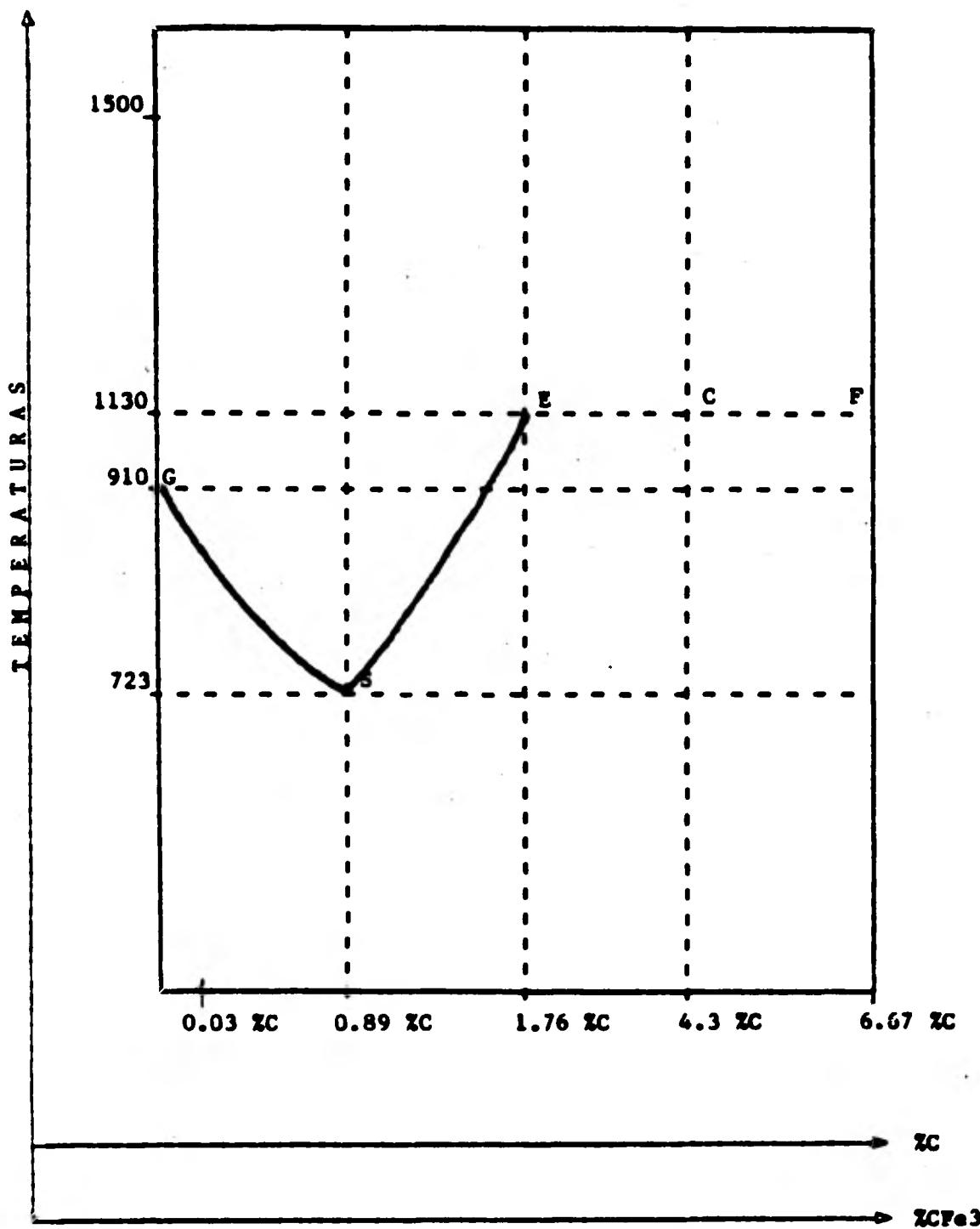
"DIAGRAMA HIERRO-CARBONO"



"DIAGRAMA HIERRO-CARBONO"



"DIAGRAMA HIERRO-CARBONO"



sólida.

En el eje de las ordenadas, existen los siguientes puntos críticos:

- a) A  $210^{\circ}$ , es donde tiene lugar el cambio magnético de la cementita (por encima de esta temperatura la cementita deja de ser magnética).
- b) A  $723^{\circ}$ , es el límite de la perlita.
- c) A  $768^{\circ}$ , es la temperatura de cambio magnético de la ferrita. Por arriba de esta temperatura la ferrita deja de ser magnética.
- d) La línea SG, que es el límite de la ferrita (que es hierro puro).
- e) La línea SE, es el límite de la cementita (carburo de hierro).
- f) La línea EF, es el límite de la ledeburita (que es un constituyente de las fundiciones).

**CAPITULO VI**

**CALIDAD DEL ACERO EN RELACION CON  
SUS METODOS DE FABRICACION.**

LA CALIDAD DEL ACERO EN RELACION  
CON SUS METODOS DE FABRICACION.

Para valorar adecuadamente la calidad del acero, se debe estudiar el empleo final y el procedimiento empleado en su obtención, la naturaleza y proporciones de elementos de aleación, la desoxidación, la fabricación de los lingotes, la laminación y los ensayos que se han efectuado para apreciar sus características y propiedades mecánicas. A continuación, - se tratará de dar una referencia detallada de cada uno de esos factores.

Algunos de los procesos empleados son los siguientes:

- 1) Siemens - Martin Básico
- 2) Bessemer Acido
- 3) Horno Eléctrico
- 4) Siemens - Martin Acido.

Cada procedimiento produce un acero de características peculiares que lo hacen adecuado para ciertas aplicaciones específicas.

Ahora se hará una comparación general de los aceros obtenidos por cada procedimiento.

Comparación de los Aceros Siemens - Martin Básico y Bessemer Acido.

El horno Siemens-Martin Básico, permite regular mejor el proceso de obtención que el convertidor Bessemer Acido, lo cual hace posible fabricar aceros con menor contenido de gases, como el oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, que producen sopladuras.

El acero Siemens-Martin Basico, contiene menos inclusiones no metálicas, como son: óxidos, sulfuros y silicatos, porque el proceso químico - se regula mejor por medio de la formación de escorias y la desoxidación se puede efectuar de una manera más económica que en el procedimiento Bessemer.

La resistencia mecánica del acero Bessemer, aumenta debido a su contenido de nitrógeno que raramente excede de 0.2%; además, para la misma resistencia a la tracción, tiene este acero mayor límite de fluencia que-

### **el acero Siemens-Martin Básico**

También da el procedimiento Bessemer, por laminación en caliente, superficies más lisas, es más sensible al trabajo en frío, a los choques y vibraciones, pero se mecaniza y suelda mejor.

Se ha comprobado que el acero Bessemer completamente desoxidado, tiene la misma resistencia a los choques y vibraciones que el acero Siemens-Martin Básico, incluso a bajas temperaturas.

Los aceros Bessemer con 0.20% de cobre, son más resistentes a la corrosión atmosférica que los aceros Siemens-Martin Básicos de la misma composición química. El rendimiento en producto útil es mayor en los hornos - Siemens-Martin Básico, que en los convertidores Bessemer, en los cuales son mayores las pérdidas, tanto mecánicas como químicas.

### **Comparación de los Aceros Siemens-Martin Básico y Acido.**

El proceso Siemens-Martin Acido, es más caro que el Básico, ya que en el primero, al no separarse el fósforo y azufre, requiere del empleo de materias primas más puras y más caras.

El procedimiento Acido se presta mejor a la desoxidación, la cual suele efectuarse en el mismo horno, obteniéndose así, un acero más limpio que el fabricado por el proceso básico. La escoria del proceso Acido es un vidrio bastante consistente que por no desintegrarse cuando se eleva a través del metal fundido, puede arrastrar con ella las impurezas no metálicas que encuentran a su paso.

### **Comparación del Acero Eléctrico y del Acero Siemens-Martin.**

El horno eléctrico, puede alcanzar mayor temperatura y regularse mejor que los hornos Siemens-Martin; se pueden producir aceros que contengan tungsteno, niobo (columbio), y otros elementos refractarios.

El acero eléctrico puede obtenerse más limpio, denso y con menos sopladuras, gases e inclusiones no metálicas que los aceros Siemens-Martin.

El acero eléctrico se fabrica generalmente, con dos tipos de escorias, una es oxidante y se separa, después de un tiempo determinado, antes de añadir la escoria reductora. Esta operación permite separar mayores cantidades de fósforo, azufre y otros componentes no metálicos, puesto que el baño está más limpio y tiene menos oxígeno, se consiguen mejores rendimientos en elementos oxidables de aleación, lo que representa una considerable

ventaja económica.

Las principales desventajas del proceso en horno eléctrico son : el - mayor costo de producción en aceros corrientes, a pesar de su mayor rendimientos y la cantidad relativamente pequeña que se obtiene en cada operación.

En el capítulo próximo daremos cuatro casos prácticos de coladas de acero ejecutadas, según cada uno de los procedimientos anteriores. En estos ejemplos prácticos, describiremos y explicaremos, minuto a minuto, lo que sucede durante la fabricación de una colada de acero. Son dignos de tratarse con detalle, porque son ejemplos vivos y no teóricos, que nos proporcionarán muchos conocimientos fundamentales.

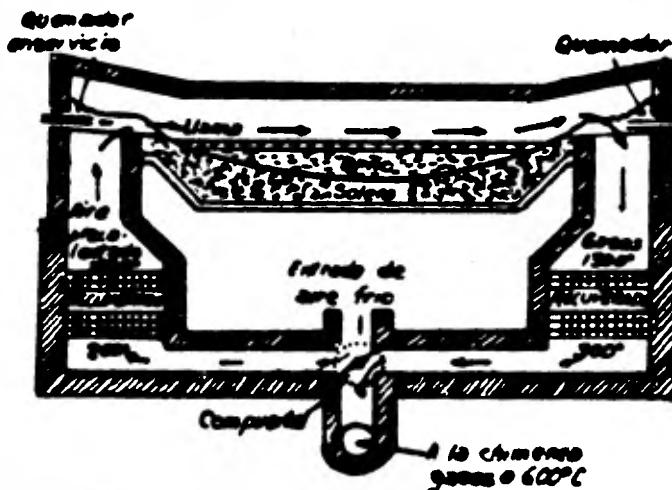
**CAPITULO VII**  
**DESCRIPCION DE PROCESOS**

## PROCESO SIEMENS - MARTIN O DE HOGAR

### ABIERTO

Consiste en la afinación del arrabio y la fusión de chatarra, en hornos de hogar abierto, para la producción de acero, oxidando las impurezas mediante mineral de hierro o por inyección de oxígeno.

El horno Siemens - Martin, es del tipo de solera y está construido - con mampostería revestida de material refractario que puede ser ácido, - ( ladrillo de sílice y arenas siliciosas ) para la marcha ácida o básica, ( ladrillo de magnesita o dolomía ) para la marcha básica.



Esquema : "Sección convencional de  
un Horno Siemens-Martin".

La solera del horno tiene un ligero declive, hacia la boca de cadera para facilitar la descarga.

Estos hornos pueden ser fijos o basculantes, estos últimos, pudiendo inclinarse. El proceso de aceración en estos hornos puede ser básico - o ácido, según se requiera, o no eliminar fósforo y azufre.

El calentamiento de estos hornos, se efectúa mediante combustibles gaseosos o líquidos, naturales o artificiales, inyectados a presión por medio de inyectores, y pulverizados con aire o vapor.

## HISTORIA DE LA COLADA DE UN ACERO ALEADO POR EL PROCEDIMIENTO

### SIEMENS MARTIN-BASICO

Se dan órdenes al fundidor para que obtenga una colada de acero al - cromo-níquel-molibdeno, dentro de los siguientes límites de composición química :

#### Elemento

Carbono -----	0.40	a 0.45	%
Manganoso -----	0.75	a 1.00	%
Fósforo, máx. -----		0.04	%
Azufre, máx. -----		0.04	%
Silicio -----	0.20	a 0.35	%
Níquel -----	0.40	a 0.70	%
Cromo -----	0.40	a 0.60	%
Molibdeno -----	0.20	a 0.30	%

A continuación, se describe la historia de la colada por riguroso orden cronológico :

9:30 de la mañana.- Se inspecciona el horno que se ha empleado en coladas anteriores. Despues se limpia, extrayendo los restos de acero y escoria de la colada anterior, y se reparan algunos posibles deterioros ocurridos en él. Esta reparación, se hace con dolomita, cubriendo toda la suela del horno para empapar algo de escoria remanente y asegurar una superficie seca y consistente a la nueva carga. El agujero de colada, se taponeó también con dolomita.

Hasta aquí, se han empleado aproximadamente unos 2250 Kg. de dolomita.

La dolomita es un carbonato doble de calcio y magnesio, que tiene la siguiente composición química aproximada.

Carbonato Cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) -----	54.02	%	
Carboncito Magnésico ( $\text{MgCO}_3$ ) -----	43.45	%	
Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) -----	1.26	%	
Oxido Férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) -----	0.86	%	
Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) -----	0.33	%	

10:00 de la mañana.- Se empieza a dar algo de calor, este es suministrado por la combustión del aceite mineral, y cada veinte minutos se invierte la dirección de la llama, con el fin de igualar las temperaturas. En condiciones normales de trabajo, un horno consume alrededor de 1'150,000.00 -- Kcal ( unos 150 lts. de aceite ), por tonelada de acero producido.

10:20 de la mañana.- Se empieza a cargar el horno con 11,800 Kgs. de cas

tina (piedra caliza), 42,000 kg. de chatarra pesada de acero al cromo-níquel molibdeno, 17,900 kg. de torneaduras y 3,400 kg. de rebabas. Después de cargar la castina, se da todo el calor.

La chatarra pesada, consistía en despuntes de desbastes pesados y de palanquillas, procedentes de coladas anteriores, de similar composición química; las torneaduras procedían de talleres mecánicos que habían fabricado piezas como engranajes, piñones, diferenciales, ruedas de transmisión, etc., a partir de acero de composición similar, y las rebabas procedían de los talleres de forja.

La chatarra es una fuente importante de elementos de aleación, por el buen rendimiento de su recuperación. La parte que no se recupera pasa a la escoria.

El promedio de recuperación es :

Cromo -----	20 %
Manganoso-----	20 %
Molibdeno -----	85 %
Níquel -----	95 %

La chatarra ligera se distribuye uniformemente sobre el piso del horno, y la castina en trozos que varían desde el tamaño de una naranja, hasta el de la cabeza de un hombre, se colocan encima. Se hace así para evitar que la piedra caliza se hunda en la solera del horno y que la chatarra ligera no se oxide demasiado. El óxido de hierro formado en la superficie de la chatarra es un componente necesario del baño, por ser una fuente de oxígeno que contribuye a la formación de la escoria y a la eliminación de las impurezas del metal. La chatarra se carga en el horno en su estado de recepción. La carga completa dura de dos a tres horas, porque como el horno no es lo bastante grande para contener la totalidad de las cargas en estado sólido, es necesario añadirlos a medida que vayan fundiendo las anteriores.

La composición aproximada de la castina suele ser :

Oxido Cálcico-----	53.48 %
Oxido Magnésico----	1.51 %
Silice-----	1.01 %
Anhídrido Carbónico	43.57 %
Alúmina -----	0.43 %

12:05 del día.- Empieza la carga de 8,100 Kgs. de lingote frío al cromo-molibdeno.

El lingote frío se carga cuando la chatarra se ha blandido, entonces la temperatura del horno, es de unos 1500°C, y la fusión total se produce rápidamente.

La castina se ha calcinado parcialmente y unas pequeñas lagunas de escoria empiezan a formarse.

2:25 de la tarde.- Empieza la carga de 5,500 Kgs. de metal directo (-arrabio antes de solidificar), de la composición siguiente :

Carbono -----	4.23 %
Manganese -----	1.96 %
Fósforo -----	0.16 %
Azufre -----	0.03 %
Sílice -----	1.07 %

El metal directo se carga cuando la mezcla de chatarra y lingote frío han alcanzado, aproximadamente la misma temperatura, a la cual toda la escoria y el lingote frío necesariamente están líquidos. Cuando el metal directo se mezcla con el contenido del horno, produce un violento desprendimiento de gases, por la reacción entre el óxido de hierro del horno y el carbono del arrabio. La escoria que se ha formado se hace espumosa.

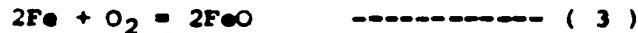
2:40 de la tarde.- Se termina de añadir el metal caliente, y el horno entra en la fase final del período de fusión.

3:25 de la tarde.- El baño está ahora parcialmente fundido y empieza a trabajar, o sea, se inician las reacciones químicas que convertirán en acero la mezcla de materiales que hay en el horno.

La primera fase de la marcha se llama "hervido del carbono", por la agitación que en la masa fundida producen el óxido de carbono desprendido del baño, y el hidrógeno procedente del vapor de agua de la atmósfera.

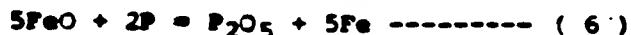
Desde el principio del período de fusión, pasando por los estados intermedios de hervido de la cal, se han producido las siguientes reacciones químicas :

La cascarilla se ha formado sobre la superficie de la chatarra, de acuerdo con las siguientes igualdades :



El óxido de hierro separa el silicio, manganeso, fósforo y carbono del baño, según las reacciones siguientes :

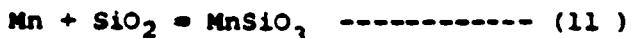




La caliza se descompone desprendiendo anhídrido carbónico, el cual, se combina con el hierro y el carbono según :



Algunos de los compuestos anteriores se combinan para formar escoria, la cual asciende a través del metal fundido y flota sobre una superficie juntamente con trozos grandes de castaña :



Mientras estas reacciones se producen, el baño hierva violentamente, debido al desprendimiento de anhídrido carbónico.

Este borboteo, se llama "hervido de la cal", por estar producido por la descomposición de la caliza. El anhídrido carbónico, incapaz de combinarse con la escoria, la hace espumosa, aumentando varias veces su volumen primitivo. La escoria se reduce a su volumen normal primitivo agitándola con una varilla larga de acero suave.

La cal liberada durante el hervido de la misma, se combina con la silice desplazando parcialmente los óxidos de hierro y manganeso que formaban parte de la escoria :

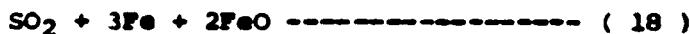


El anhídrido carbónico que continúa desprendiéndose, agita violentamente al metal fundido y lo expone a los efectos oxidantes de la atmósfera superior. La oxidación del silicio termina en seguida; la del manganeso y azufre es menos rápida, y la eliminación del carbono transcurre lentamente. Estas reacciones de oxidación, son exotérmicas (que desprenden calor), y suministran alrededor del 10% del calor total del horno.

Parte del azufre contenido en el baño, en forma de sulfuro de hierro y sulfuro de manganeso, reacciona con la cal:



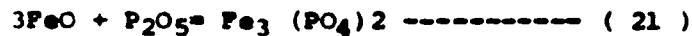
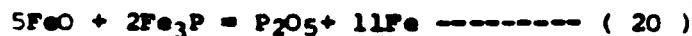
La escoria contiene algo de azufre en forma de sulfato. El sulfuro de calcio, formado es soluble en la escoria. Parte del azufre del baño, procede de los gases del horno, en donde se halla en forma de anhídrido sulfuroso y sulfuro de hidrógeno :



El sulfuro de hierro, se transforma en escoria; pero si los gases contienen mucho azufre, se puede establecer un equilibrio y no disminuir la cantidad existente en el metal.

4:25 de la tarde.- Durante el hervido de la cal, se regulan automáticamente las válvulas, la llama y el tiro de la chimenea, con el fin de controlar el desprendimiento de gases.

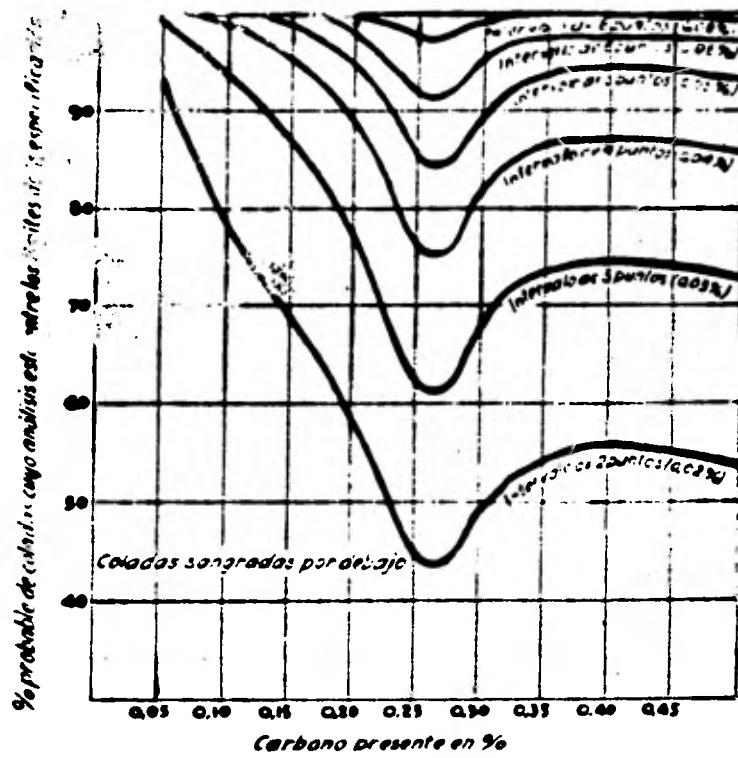
El hervido de la cal, continúa y durante este periodo, gran parte del fósforo contenido en el baño pasa a la escoria, de acuerdo con las reacciones siguientes :



La silice tiene mayor afinidad para el óxido cálcico que el anhídrido fosfórico y lo reemplaza parcialmente en la escoria, según la siguiente reacción :



Por esta razón, el fósforo no se separa completamente en el proceso - Siemens-Martín Básico, cuando se trabaja en condiciones normales; pero si la escoria se mantiene muy básica (con un exceso de CaO sobre la cantidad necesaria para formar el compuesto  $2\text{CaO SiO}_2$ ; ver la ecuación número 13, con suficiente FeO y dejándola actuar el tiempo necesario, la cantidad de fósforo del baño quedará reducida a indicios.



Número de coladas que probablemente se obtienen entre límites en función del contenido de carbono y de la amplitud de los límites especificados.

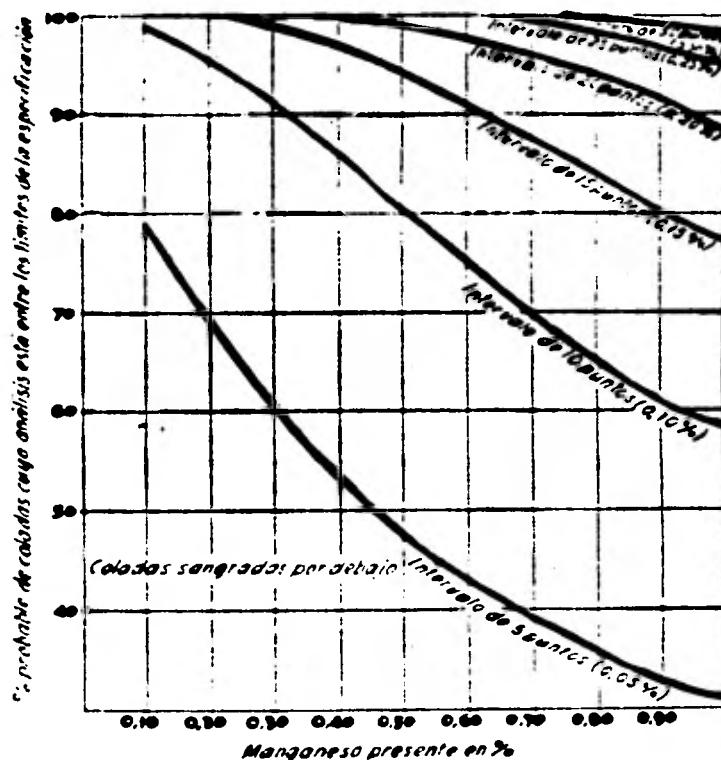
5:30 de la tarde.- Se forma una muestra del baño, por medio de una cuchara de manejo largo, y se mandan virutas de la muestra al laboratorio -de control, para su análisis. Durante toda la marcha de la colada, se vigila cuidadosamente la composición del metal. El fundidor intenta conseguir una composición del acero acabado lo más próximo posible al promedio de los límites fijados en la orden de trabajo.

El carbono, cromo y manganeso son los elementos más difíciles de regular, los cuales se denominan oxidables, porque se combinan con el oxígeno.

y pasan a la escoria, a menos que se evite mediante reacciones secundarias.

6:10 de la tarde.- El laboratorio da el análisis de la muestra de las 5:30 de la tarde:

Níquel -----	0.44	%
Cromo -----	0.31	%
Molibdeno -----	0.09	%



- Número de coladas que probablemente se obtienen entre límites en función del contenido de manganeso y de la amplitud de los límites especificados.

8:00 de la noche.- Se cargan 1820 Kg. de mineral de hierro, para oxidar y separar el carbono contenido en el mineral.

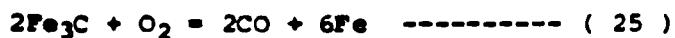
Cuando el mineral se añade al baño, éste empieza a hervir intensamente (hervido del mineral), debido al desprendimiento del óxido de carbono producido por la reacción :



El mineral empleado es hematites roja compacta, tiene 58% de hierro y está en trozos del tamaño de una naranja grande.

9:10 de la noche.- Se cargan otros 1820 Kg. de mineral de hierro, la colada continúa trabajando y se va eliminando algo de manganeso, silicio fósforo y azufre.

9:40 de la noche.- Se cargan 1050 Kg. de castina para aumentar la basidad de la escoria. Al principio se separa un poco de carbono, según la reacción :



Al elevarse la temperatura, y después que se ha separado la mayor parte del silicio, manganeso y fósforo, se inicia la disminución de carbono, según :



Durante éste periodo, conocido como segundo hervido del carbono, el baño burbujea suavemente, la escoria queda flotando como la nata y el horno se ajusta para su marcha normal.

10:45 de la noche.- Se cargan los siguientes materiales :

Níquel metálico ----- 136 Kg.  
Óxido de molibdeno ----- 92 Kg.  
Spiegeleisen ----- 450 Kg.

El spiegeleisen (spiegel), es una aleación de hierro y manganeso, contiene alrededor de 3% de carbono, 8% de manganeso, 1.50% de silicio y pequeñas cantidades de fósforo y azufre. Se emplea para disminuir la cantidad de FeO del baño, y en general, contribuye a las reacciones de desoxigenación.

11:00 de la noche.- El laboratorio da el análisis de las muestras de - las 10:40 de la noche :

Aceros ;  
Carbono ----- 0.68 %  
Fósforo ----- 0.15 %  
Azufre ----- 0.20 % (entre límites)

Escoria;  
Oxido de hierro----- 16.0 %

11:10 de la noche.- A medida que aumenta la actividad del horno, se rebaja la llama.

11:15 de la noche.- Se cargan 92 Kg. de óxido de molibdeno. El óxido de molibdeno suele contener 55% de molibdeno, 3% de hierro, 0.20% de azufre y el resto de oxígeno.

El rendimiento de recuperación de los elementos de aleación es mayor con las ferroaleaciones u otras adiciones vírgenes que con la chatarra. Los rendimientos o factores de eficiencia son:

Cromo ----- 83 %  
Manganese ----- 75 %  
Molibdeno ----- 90 %  
Níquel ----- 98 %

11:18 de la noche.- Se envía al laboratorio una muestra de acero, para determinar el carbono. El carbómetro del taller dió 0.58%.

11:25 de la noche.- El laboratorio contesta que la muestra de las 11:18 de la noche, contenía 0.59% de carbono.

11:30 de la noche.- Se comprueba la temperatura del baño, y se encuentra que es correcta. Para ello se introduce en el baño una barra de acero suave, y se mueve por encima. Si el extremo de la barra queda ahuzado en punta, el baño está demasiado frío; si el corte es irregular, la temperatura del baño es dudosa y si el corte es limpio, el baño está suficientemente caliente.

11:31 de la noche.- Se envían al laboratorio de control muestras de acero y escoria. El carbómetro de taller dió 0.44% de carbono.

11:40 de la noche.- El laboratorio de control da la siguiente composición :

Aceros;  
Carbono ----- 0.44 %  
Escoria;  
Óxido de hierro----- 15.5 %

11:42 de la noche.- Se envían al laboratorio de control muestras de acero y escoria. El carbómetro de taller dio 0.39%.

11:55 de la noche.- El laboratorio contesta :

Aceros;  
Carbono ----- 0.36 % (por debajo de Límites)  
Manganoso ----- 0.24 %  
Fósforo ----- 0.015% (entre límites)  
Níquel ----- 0.57 %  
Cromo ----- 0.18 % (por debajo de Límites)  
Molibdeno ----- 0.26 % (entre límites)

Escoria;  
Óxido de hierro ----- 15.2 %

11:58 de la noche.- Se agregan 450 Kg. de spiegel.

0:03 de la noche.- Se cargan 230 Kg. de ferrosilicio del 14%. El hervido del baño disminuye por la acción del spiegel y ferrosilicio.

El magnesio del spiegel sustituye al hierro, en parte del óxido de hierro contenido en el baño, según la reacción siguiente :



Por ser el óxido de manganoso más estable que el óxido de hierro, suministra menos oxígeno para que el carbono oxide lo cual interesa ahora, porque el carbono está por debajo del límite inferior especificado.

El ferrosilicio es una aleación de hierro y silicio que sustrae oxígeno al acero y lo pasa a la escoria. Se fabrica con diferentes graduaciones. El que se acaba de emplear, contiene :

Silicio ----- 14.00 %  
Carbono ----- 1.00 %  
Fósforo ----- 0.10 %  
Azufre ----- 0.05 %

0:10 de la noche.- Se envía una muestra de acero al laboratorio.

0:15 de la noche.- El laboratorio informa: 0:34% de carbono.

0:17 de la noche.- Se cargan 450 Kg. de spiegeleisen.

0:22 de la noche.- Se cargan 230 Kg. de ferrosilicio del 14%. Estas dos cargas se han hecho para asegurar la desoxidación del acero y prepararlo para recibir la carga de cromo, que es un elemento muy fácilmente oxidable.

0:26 de la noche.- Se cargan 590 Kg. de ferrocromo del 67% alto en carbono, 67% de cromo, 1.25% de silicio y el resto de hierro.

Al añadirlo se produjo en el baño una ligera agitación, lo cual indica que la desoxidación previa al acero no había sido completa.

0:30 de la noche.- Se cargan 1050 Kg. de ferromanganese y el resto de hierro. El fundidor ha calculado, que esta aleación elevará el contenido de manganeso hasta la cifra requerida.

0:32 de la noche.- La cuchara, colgada de la grúa, se coloca debajo del agujero de colada del horno, y este se pica parcialmente.

0:37 de la noche.- Con la llama de oxígeno se acaba de destapar el agujero de colada, y el horno se descarga, la temperatura de colada media con pirómetro óptico es 1590°C.

0:38 de la noche.- Se agregan a la cuchara 730 Kg. de ferrosilicio y 84 Kg. de granalla de aluminio.

El aluminio y ferrosilicio completan la desoxidación del acero y lo preservan de oxidaciones posteriores. El aluminio también contribuye a que el acero adquiera un tamaño de grano adecuado.

0:39 de la noche.- Se añaden a la cuchara 23 Kg. de carbón. Esta adición se ha hecho porque el fundidor había calculado que el carbono del baño, más el carbono de las adiciones, menos las pérdidas por oxidación, daban un número que estaba por debajo de la especificación.

0:44 de la noche.- Se ha acabado de llenar la cuchara y de vaciar el horno. La escoria que acompañó al acero durante el funcionamiento del horno se vierte en una pequeña cuchara, llamada "cuchara de escoria". La escoria que flota sobre la superficie del acero era espesa y estaba

tranquila, lo cual indica que el acero se había desoxidado completamente.

0:50 de la noche.- con la grúa se transporta la cuchara llena hasta la plataforma de colada, y se centra la buza sobre el primero de una fila de moldes de lingotes.

Se deja pasar algún tiempo hasta que el acero adquiere la temperatura \_ adecuada para colar los lingotes.

0:58 de la noche.- se inicia la colada de los lingotes, y a intervalos se toman muestras de acero, que se envían al laboratorio de control para \_ su análisis.

Temperaturas

Ambiente ----- 15.5°C

del acero ----- 1470°C (con pirómetro óptico).

Las muestras para análisis químicos se tomaron de los lingotes números 4, 16, 28 y 32. La muestra para el ensayo de templabilidad se tomó del lingote número 16.

1:45 de la noche.- se ha terminado de colar los lingotes. Se han obtenido 32 7/8 lingotes redondos de superficie acanalada, de 56 cm., de cabeza ancha y con mazarote calentada. Peso de un lingote: 3450 kg.; peso total: 112,900 kg.

A cada uno de los tres últimos lingotes se añadieron 700 gramos de aluminio, con el fin de garantizar su completa desoxidación.

Tiempo.- 14 horas, 17 min., desde el principio de la carga hasta que - se pica el horno; 5 min. para sangrar el horno y 47 min. para colar los - lingotes.

Total de las cargas metálicas: 130,900 kg., incluyendo el hierro del mineral y ferroaleaciones. Metal directo: 40.4%; arrabio frío: 6.4%; charría: 49.4%.

Rendimiento.- 88.6%

Análisis final de la colada:

Carbono -----	0.43	%
Manganese -----	0.97	%
Fósforo -----	0.023	%
Azufre -----	0.017	%
Silicio -----	0.33	%
Níquel -----	0.56	%
Cromo -----	0.54	%
Molibdeno -----	0.27	%

HISTORIA DE UNA COLADA DE ACERO AL CARBONO POR EL PROCEDIMIENTO SIEMENS-MARTIN ACIDO.

Se dan órdenes al fundidor para fabricar un acero al carbono de la siguiente composición química :

<u>Elemento</u>	<u>Por ciento</u>
Carbono -----	0.47 a 0.52
Manganeso -----	0.70 a 0.80
Fósforo, máx. -----	0.045
Azufre, máx. -----	0.045
Silicio -----	0.22 a 0.32

A continuación, se hace la historia de la colada por riguroso orden cronológico :

1:35 de la tarde.- Se inspecciona el horno que se ha empleado en coladas anteriores. Después se limpia, extrayendo los restos de acero y escoria que quedaron de la colada anterior, y se reparan algunos defectos de la suela y orillas. La reparación se hace con arena silicea, que funde dando una dura superficie vítrea. El agujero de colada se repara con una mezcla de arcilla plástico y pedernal quinclezado ( arena muy alta en sílice que contiene pequeñas cantidades de óxidos de hierro, aluminio, calcio y magnesio ).

Las materias primas empleadas en el proceso ácido, deben ser bajas en fósforo y azufre, porque en esta marcha no se eliminan. De hecho, el acero resultante contiene algo más de estos elementos, que el promedio de las materias empleadas, porque parte del metal se pierde en forma de escoria, y por tanto, aquellos se concentran. La arena usada en la reparación de la suela tiene la siguiente composición química:

Silice ( $\text{SiO}_2$ ) -----	96.00 %
Oxido de hierro ( $\text{FeO}$ ) -----	0.50 %
Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) -----	2.75 %
Magnesia ( $\text{MgO}$ ) -----	0.10 %
Materia volátil -----	0.65 %

El tamaño de las partículas de arena es, aproximadamente el 20% retenidos por el tamaño de 20 mallas; el resto son tamaños progresivamente decrecientes hasta polvo. Después de acabar la reparación de la suela, se calentó el horno durante 10 a 15 min., con el fin de fundir la arena. Durante este período, el gasto de aceite fué a razón de 900 lt. por hora.

2:35 de la tarde.- Empieza la carga. Esta consiste en 11,350 Kg. de lingote de alto horno, 49,000 Kg. de chatarra de acero, 320 Kg. de gráfito ---

y 550 kg. de carbón vegetal.

El lingote era bajo en fósforo, y tenía la composición siguiente :

Carbonato total -----	4.30 %
Manganese -----	1.50 %
Fósforo -----	0.28 %
Azufre-----	0.02 %
Silicio -----	1.50 %

La chatarra consistía en torneaduras de los talleres mecánicos, rebabas de taller de forja y chatarra del comercio, formada por recortes de planchas y manojos de chapas. La composición media de la chatarra es aproximadamente :

Carbono -----	0.40 %
Manganese -----	0.60 %
Fósforo -----	0.035%
Azufre -----	0.037%
Silicio -----	0.80 %

El carbón vegetal y el grafito se añaden para compensar la deficiencia de carbono en la carga. El contenido de carbono debe ser suficientemente alto, para que al fundir las cargas quede 0.60 - 0.80% por encima de la composición ordenada.

La composición media del total de la carga es, aproximadamente :

Carbono -----	2.15 %
Manganese -----	0.73 %
Fósforo -----	0.034%
Azufre -----	0.034%
Silicio -----	0.90 %

Se carga primero alrededor de una mitad del lingote, para cubrir la suela. El grafito y el carbón vegetal se cargaron a continuación, y se cubrieron con torneaduras. Después se cargó la chatarra de chapas y planchas. A las tres horas 25 min. de la tarde, las cargas llegaban ya a unos 30 cm. por debajo del umbral de la puerta, por lo cual se detuvo la carga y el gasto de aceite se elevó de 900 lt. por hora hasta el máximo, o sea, 1100 lts. por hora.

4:25 de la tarde.- La primera parte de la carga está ya muy caliente, y empieza a hundirse por ablandamiento, pero todavía no ha fundido. Entonces se carga el resto de la chatarra, y se esparce sobre la superficie la otra mitad del lingote. Durante este período la carga, se ha rebajado el calor - hasta 900 lts. de aceite por hora.

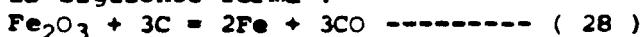
4:40 de la tarde.- Ha terminado la carga. Se abre la llave del aceite --

hasta 1100 lts. por hora.

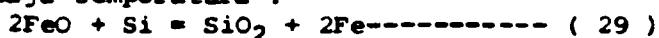
7:30 de la tarde.- La carga está fundida, y se ha formado una escoria muy fluida y corrosiva. El grafito y carbón vegetal que no han sido absorbidos por la chatarra empiezan a flotar. Estos productos contribuyen a la desoxidación de la escoria, con la cual se rebaja su acción corrosiva sobre las orillas.

La primera fase de la marcha se llama "periodo de fusión y oxidación". Se origina un hervido del carbono, similar al del procedimiento Siemens-Martin básico, producido como allí, por el desprendimiento de óxido de carbono e hidrógeno. Desde el principio de la fusión hasta el final del hervido del mineral, las principales reacciones químicas son :

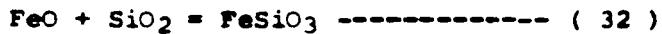
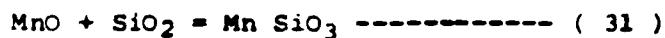
La herrumbre de la chatarra reacciona con el grafito y el carbón vegetal de la carga, de la siguiente forma :



Al fundirse al acero, el hierro se combina con el oxígeno de la atmósfera superior del baño y se produce  $\text{FeO}$ , el cual da lugar a las siguientes oxidaciones a baja temperatura :



La silice reacciona con los óxidos de hierro y manganeso, y forma escoria :



La escoria resultante es ácida. Si la escoria se hace demasiado ácida (demasiado alta en  $\text{SiO}_2$ ), pasa hierro a la escoria, de acuerdo con la reacción número ( 32 ). Si los constituyentes básicos ( $\text{FeO}$  y  $\text{MnO}$ ) aumentan, actúan como fundentes del revestimiento del horno y lo atacan demasiado. El carbono del arrabio y de la chatarra reaccionan con el óxido de hierro en la siguiente forma :



La composición de la escoria se determina empleando un instrumento denominado viscosímetro. Las muestras de escoria se cuelan con una cuchara en este aparato, y la longitud del chorro de escoria que ha fluído, a una temperatura determinada, a través de un orificio de diámetro conocido, de la cantidad de  $\text{SiO}_2$  presente. Una longitud mayor del chorro corresponde a un porcentaje menor de  $\text{SiO}_2$ .

El viscosímetro empleado tenía un agujero de 4.8 mm., y la composición de la escoria varió durante este periodo, desde un chorro de unos 152 mm. (45 - 46% de  $\text{SiO}_2$ ) a un chorro de 57 mm. (58% de  $\text{SiO}_2$ ), en este momento - el baño estaba completamente fundido y la temperatura era de unos 1510°C.

8:35 de la noche.- Todas las cargas están fundidas. Temperatura: 1510°C. El baño tiene ahora la siguiente composición :

Carbono -----	1.13 %
Silicio -----	0.15 %
Manganese -----	0.20 %

El baño estaba poco activo. Sólo se veían algunas burbujas sobre la superficie de la escoria, lo cual indica que parte del baño del carbono se estaba eliminando.

8:42 de la noche.- Se añaden 450 kg. de mineral. Esta adición se ha hecho porque el ensayo de la escoria indicó que quedaba muy poco óxido de hierro - para poder eliminar el carbono. Al añadir el mineral de hierro, se produce una viva agitación, indicadora de la oxidación del carbono. La reacción es :



El gas CO forma burbujas en la superficie que separa el metal y la escoria.

9:09 de la noche.- El análisis con el carbómetro resultó 0.98% de carbono.

El viscosímetro dió un chorro de 76 mm. (56.0% de SiO<sub>2</sub>). El ensayo de fractura indicaba, aproximadamente, aún 0.04% de silicio. El baño hierva bien.

9:19 de la noche.- Se añaden 180 kg. de mineral de hierro.

Esta adición tiene por objeto, rebajar rápidamente el carbono, a razón de 50 a 60 puntos (0.50 - 0.60% de carbono) por ahora como mínimo, por lo menos durante la primera media hora, para que el baño quede libre de gases disueltos que son perjudiciales en los productos de forja.

9:46 de la noche.- El análisis del carbómetro resultó 0.66% de carbono, - el viscosímetro dió un chorro de 63 mm. ( o sea 58% de SiO<sub>2</sub>), que es muy -- buen resultado.

9:52 de la noche.- Se añaden 230 kg. de castaña, CaCO<sub>3</sub>, para modificar la escoria, y que esta pueda contribuir a la separación del carbono. Las reacciones principales son las siguientes :



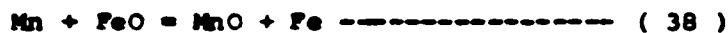
10:21 de la noche.- El análisis en el carbómetro dio 0.49% de carbono; el ensayo con el viscosímetro, 51 mm. (60% de SiO<sub>2</sub>) buen efecto; temperatura aproximada 1610°C.

10:30 de la noche.- El carbómetro dio 0.44% de carbono, el viscosímetro 44 mm. (61% de SiO<sub>2</sub>). El baño hierve suavemente, y la escoria flota como la nata.

10:34 de la noche. - Se añaden 450 Kg. de spiegel del 20% de manganeso, a fin de parar el baño.

El manganeso reacciona con el exceso de FeO, y el acero se calma al minorarse o detenerse la oxidación del carbono. El óxido de manganeso formado se combina con algunas gotitas de silicato de hierro contenidas en el baño, los hace más fluidos y ascienden rápidamente hasta la escoria.

El baño queda parcialmente purificado. Las principales reacciones son:



10:45 de la noche.- Los ensayos dieron los siguientes resultados :

Carbómetro : 0.42% de carbono  
Viscosímetro : 38 mm.; o sea 62% de SiO<sub>2</sub>  
Ensayo de frescura : 0.08% de silicio aprox.

El baño hierve muy poco. Escoria calcinada; temperatura 1640°C.

10:50 de la noche.- Se añaden 380 Kg. de ferromanganeso del 80%

10:55 de la noche.- Se pincha el horno y se cuela en la cuchara previamente calentada.

<u>Adiciones</u>	Aluminio -----	16 kg.
en la	Ferrotitanio -----	180 kg.
<u>cuchara.</u>	Ferrosilicio -----	230 kg.
	Ferromanganeso -----	310 kg.
	Grafito -----	18 kg.

El ferrotitanio, aluminio y ferrosilicio completan la desoxidación del acero y la preservan contra oxidaciones posteriores. El ferromanganeso y grafito se añaden para elevar el contenido de manganeso y carbono, respec-

pectivamente, hasta los límites ordenados.

11:01 de la noche.- La cuchara ya está llena y el horno, descargado. Se vierte la escoria en un recipiente pequeño denominado cuchara de escoria.

11:06 de la noche.- Se empieza a trasladar la cuchara llena hacia la - plataforma de colada.

11:20 de la noche.- Se empieza a colar los lingotes, y se toma una muestra en la cuchara para enviarla al laboratorio de control.

0:16 de la noche.- Se acaba de colar los lingotes. Se han obtenido 9 - lingotes de 75 cm. y 6150 kg. de peso unitario, y un lingote de 40 cm. y - 2320 kg. de peso. Peso total de los lingotes: 58,000 kg.

Tiempo.- 8 horas, 20 min. desde la carga hasta el piquete; 6 min. para descargar el horno, y 56 min. para colar los lingotes.

Total de las cargas metálicas.- 63,000 kg. incluyendo el hierro del mineral y de las ferroaleaciones, lingotes - 19%, chatarra - 81%.

Rendimiento - 93.5 %.

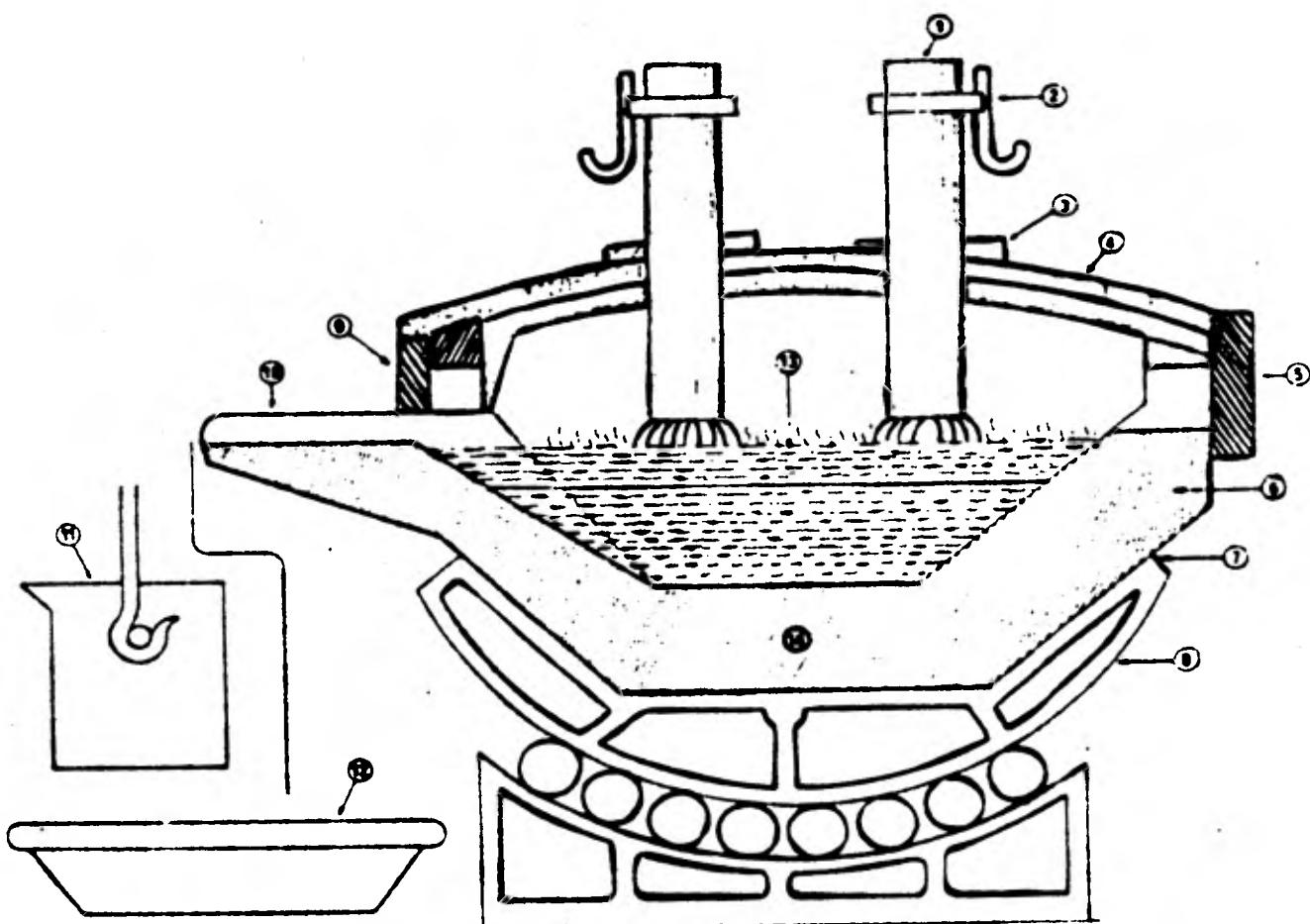
#### Análisis final de la colada

Carbono -----	0.50 %
Manganeso -----	0.75 %
Fósforo -----	0.035%
Azufre -----	0.039%
Silicio -----	0.35 %

#### HORNO DE ARCO ELECTRICO.

Los hornos de arco eléctricos, se calientan por medio del arco eléctrico que salta en el interior del horno entre electrodos dispuestos para este -- fin en estos hornos, se pueden alcanzar temperaturas hasta de 3,500°.

Están formados por una cuba de chapa de acero revestida de material refractario (ácido o básico), provista de electrodos de grafito o de carbón -



### ESQUEMA DE UN HORNO ELECTRICO DE ARCO

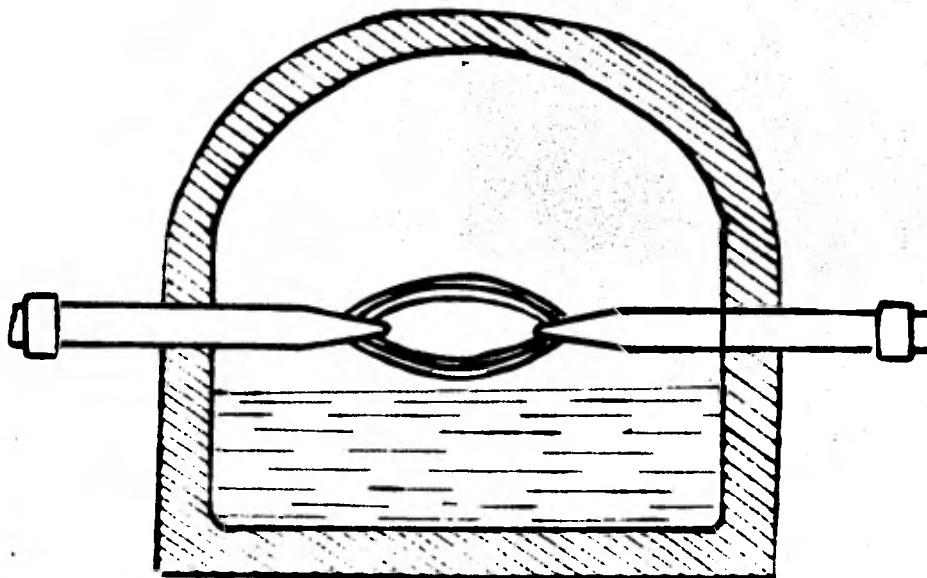
- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. Electrodos.                           | 8. Cremallera de volteo. |
| 2. Mordaza y portaelectrodo.             | 9. Pared lateral.        |
| 3. Boquilla de electrodo.                | 10. Canal de colada.     |
| 4. Bóveda.                               | 11. Olla de colada.      |
| 5. Puerta de trabajo                     | 12. Caja de escoria.     |
| 6. Revestimiento refractario del crisol. | 13. Baño líquido.        |
| 7. Casco de lámina.                      | 14. Piso o solera.       |

~~an~~orfo.

Se emplean tres sistemas para producir el arco:

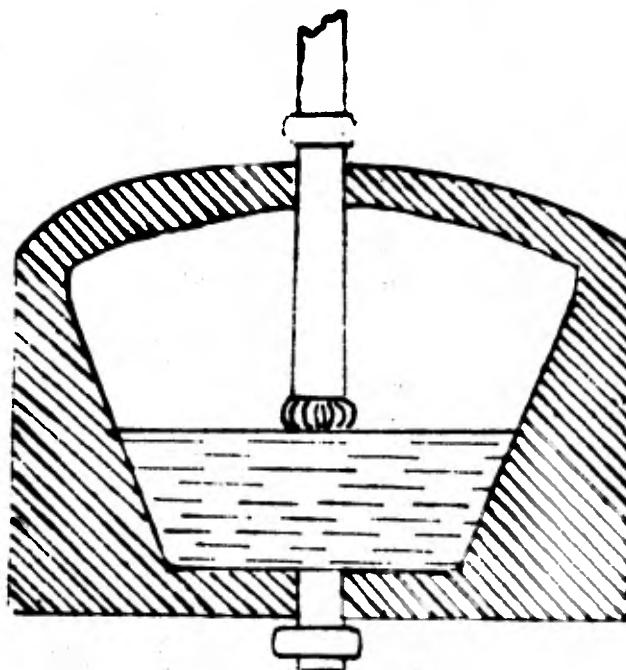
a) El arco no pasa por el baño, sino que salta entre los electrodos - (horno Stassano), este horno es de los más antiguos y apenas se emplea. Estos hornos son monofásicos. Su capacidad oscila entre 25 y 250 kg. y se emplean para fundir el hierro y metales no ferreos, como cobre, latones, broncees e incluso níquel, la operación dura de 30 a 60 minutos.

Estos hornos tienen un balanceo que reparte perfectamente el calor acumulado por el refractario. En los hornos más modernos el balanceo es producido automáticamente por un motor, al que commutadores de fin de carrera invierten el sentido de su marcha y producen el balanceo característico.



"Horno de Arco Stassano."

b) El arco se cierra entre los electrodos y el baño a través del cual, pasa corriente (horno girod). Estos hornos casi no se usan por ser muy frágiles ya que deben ser construidos con solera de magnesita para que se pueda ser conductora.

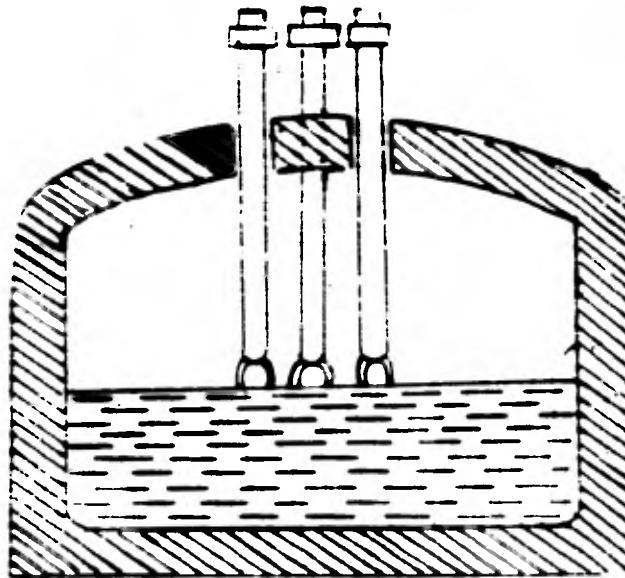


" Horno de Arco Girod "

c) El arco salta entre los electrodos por medio del baño (horno Heroult). Son generalmente trifásicos, con los tres electrodos verticales dispuestos - en el vértice de cada lado de un triángulo equilátero. Este horno, que es el más utilizado requiere que se forme una capa de escoria fundida entre los -- electrodos y el metal fundido para evitar que la carga absorba el carbono de los electrodos. Dichos hornos están formados por una cuba provista de tres aberturas; una para la colada, provista de una piquera, otra diametralmente opuesta para el descoriado, y a veces para la carga o adiciones, y otra situada perpendicularmente al eje de las anteriores, utilizada como puerta de trabajo.

El horno se encuentra herméticamente cerrado por una bóveda atravesada - por camisas refrigeradas por agua que aseguran la perfecta estanqueidad de - la cámara del horno. Esta cubierta está generalmente revestida de ladrillos- silicios o sílico-aluminoso.

Los electrodos actualmente son de grafito y en la mayoría de los casos - preparados artificialmente con una mezcla de antracita, de bajo contenido de cenizas y de alquitrán moldeados en forma cilíndrica y grafitados a unos -- 2,200°.



#### HISTORIA DE UNA COLADA DE ACERO ELECTRICO.

El fundidor tiene orden de fabricar una colada de acero inoxidable al - cromo-níquel, de la siguiente composición :

##### Elemento

Carbono -----	0.06
Manganoso -----	0.30 a 0.50
Fósforo, máx. -----	0.025
Azufre, máx. -----	0.025
Silicio, máx. -----	0.50
Níquel -----	8.00 a 10.00
Cromo -----	18.00 a 20.00

A continuación se reseña por orden cronológico :

2:55 de la tarde.- Se limpia el horno y se arrastran los restos más pequeños de la colada anterior, mediante una corriente de aire a presión. Después se procede a la reparación cuidadosa de la suela y paredes con magnesi-

ta sinterizada y dolomita quiclericada. Estos materiales refractarios funden rápidamente al calor blanco de la solera.

3:15 de la tarde.- Se inicia la carga con 6,250 Kg. de despuntes de chapas y redondas, 5,300 kg. de chapas y redondas, 5,300 kg. de chapas y redondas de rechazo y 1,550 kg. de níquel electrolítico recocido.

Las chapas y redondas empleadas eran de acero Siemens-Martín de bajo carbono.

La chatarra que se emplea en el horno eléctrico debe seleccionarse con cuidado, tanto por su composición química como por su forma y tamaño. El contenido medio de cada elemento debe ser inferior al pedido para el acero final. De esta manera, se reduce la duración del refino y, consecuentemente el costo, y se puede ajustar más fácilmente la composición ordenada, añadiendo después la cantidad necesaria de elementos de aleación. La forma y tamaño de la chatarra influyen mucho en la marcha mecánica y eléctrica del horno. Si la chatarra es demasiado pequeña, se pierde mucho metal por oxidación, aparte que su gran volumen reduce la capacidad del horno; con chatarra excesivamente grande, se necesita mucho tiempo para fundir la carga. La chatarra se debe distribuir y repartir por igual en el horno, para garantizar la eficiencia y economía de la operación.

3:30 de la tarde.- Se da fin a la carga del horno.

3:31 de la tarde.- Se da la corriente y empieza el período de fusión.

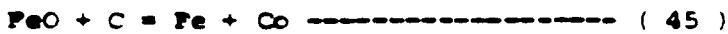
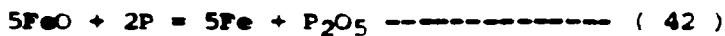
Durante este período hay mucha actividad en el horno. Se funden los trozos de chatarra ligera que está debajo de los electrodos, y éstos empiezan a subir y bajar. Este movimiento se presenta cuando el arco falla por estar los electrodos a demasiada distancia del metal. La chatarra ligera se coloca en la parte superior de la carga, con el fin de que los electrodos no se rompan cuando suban y bajen para hacer contacto, y también para reducir la acción nociva del arco sobre las paredes y techo del horno. Los electrodos se elevan y descienden por medio de un regulador automático, accionado por las grandes fluctuaciones de la corriente. Cuando ya se ha formado un charco grande de metal fundido debajo de los electrodos, cesa el movimiento, el arco se estabiliza y la corriente es más uniforme. Al principio de la fusión, el horno absorbe 10,000 amp. y 190 volts, y cuando el arco quedó fijo 12,000 amp. y 242 volts.

Se cargan 360 kg. de cal viva y 91 kg. de espato flúor.

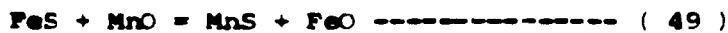
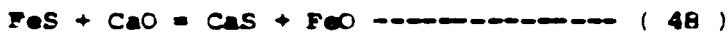
4:10 de la tarde.- El fundidor empuja la chatarra sin fundir, desde los lados del horno hacia el centro, y se cargan 550 kg. de mineral de hierro sinterizado de un 60% de hierro metálico. La potencia se cambia a 10,000 amp. y 190 volts.

El mineral de hierro es un compuesto de hierro y oxígeno.

Su adición produce un violento desprendimiento de gases, principalmente de óxido de carbono. El mineral contribuye, por tanto, a rebajar el contenido de carbono del baño. El hierro procedente del mineral entra en el baño, y las impurezas que lo acompañan se combinan con la cal, para formar escoria, la cual, separa el fósforo, silicio y manganeso. Esta oxidación, en la misma forma que en el proceso Siemens-Martín Básico, según las reacciones siguientes :



Una pequeña cantidad de azufre se separa del metal durante este período, de acuerdo con las siguientes reacciones :



Los sulfuros de calcio y manganeso ascienden a través del metal y entran a formar parte de la escoria.

5:00 de la tarde.- termina el período de fusión y el acero se estabiliza.

5:01 de la tarde.- se envían muestras del metal y escoria al laboratorio de control para hacer el análisis completo del metal y una determinación rápida del óxido de hierro de la escoria. El análisis completo de la escoria invierte 48 horas o más.

5:31 de la tarde.- el laboratorio da la siguiente composición de las -

MUESTRAS :

Acero :

Carbono -----	0.03	%
Manganoso -----	0.05	%
Fósforo -----	0.02	%
Azufre -----	0.02	%
Silicio -----	0.05	%
Níquel -----	11.90	%

Escoria :

Oxido de hierro (FeO) -----	45.0	%
Oxido de Manganoso (MgO) -----	12.3	%
Oxido cárlico (CaO) -----	23.7	%
Sílice -----	12.0	%
Oxido de Manganoso (MnO) -----	4.6	%
Alúmina ( $Al_2O_3$ ) -----	2.2	%
Pentaóxido de Fósforo ( $P_2O_5$ ) -----	0.02	%
Azufre -----	0.10	%

5:45 de la tarde.- Se empieza a separar la escoria oxidante. Se inclina lentamente el horno, y la escoria es separada por el fundidor y su asistente, valiéndose de unas largas espumaderas de acero suave.

6:10 de la tarde.- Termina la separación de la escoria. Pérdidas por oxidación, alrededor de 4%, o sea 534 Kg. Peso del baño para calcular las adiciones de aleación : 12,811 Kg.

6:12 de la tarde.- Se forma ahora una escoria reductora, añadiendo al baño 230 Kg. de cal viva y 68 kg. de espato flúor. Se rebaja la corriente a -- 10,000 amp. y 190 volts. a causa de que el horno ha alcanzado la temperatura adecuada ( unos 1,590 °C ).

Con la formación de esta escoria, empieza la verdadera fase de afino. -- El baño está formado ahora por hierro con muy pocas impurezas disueltas, a excepción del óxido de hierro y óxido de carbono, pero tiene en suspensión - pequeñas cantidades de óxido de manganoso y silicio. La escoria nueva separa estas impurezas. Los óxidos se reducen , el hierro y manganoso resultantes vuelven al baño, y el contenido de carbono del mismo, se conserva bajo.- El espato flúor se añade principalmente para mantener fluida la escoria, -- pero también contribuye a la separación del azufre, de acuerdo con las siguientes reacciones :



6:17 de la tarde.- Se cargan 140 kg. de ferrosilicio del 50% y 11 kg. - de ferrosilicio del 75% en forma granulada, y 49 kg. de ferromanganeso del tipo de bajo carbono.

El ferrosilicio es una aleación de hierro y silicio. Es un purificador o limpiador, que quita oxígeno al acero y lo pasa a la escoria. El ferrosilicio penetra en la escoria, la desoxida y la pone en condiciones para que pueda reaccionar después con las impurezas del metal. También contribuye a la separación del azufre según la siguiente reacción :



Al mismo tiempo, se produce la siguiente reacción de formación de escoria :



6:25 de la tarde.- La escoria reductora está líquida, es blanca y tiene buen aspecto. El baño está quieto, y las impurezas ascienden constantemente hacia la escoria.

6:42 de la tarde.- Se levantan los electrodos y se añaden al baño 1,500 kg. de ferrocromo de bajo carbono. El ferrocromo se había calentado previamente, y después de su adición, la corriente se aumentó a 12,000 amp. y 242 voltas., con el fin de fundirlo rápidamente. Después la corriente se rebajó a 10,000 amp. y 190 voltas. hasta que la aleación se acabó de fundir.

El ferrocromo añadido contenía 0.06% de carbono, 71.1% de cromo, y el resto de hierro. Este material se añadió para llevar el baño a la composición deseada, y después se hicieron las adiciones siguientes.

7:12 de la tarde.- Se añaden 1,500 kg. de ferrocromo, 91 Kg. de cal viva y 23 kg. de espato flúor.

7:30 de la tarde.- El fundidor manda precalentar una cuchara y que esté lista para descargar el horno dentro de unas dos horas. La cuchara se calienta previamente para evitar la solidificación del metal fundido y la consecuente formación de un lodo o costra en el fondo de la misma.

7:47 de la tarde.- Se añaden 1,500 kg. de ferrocromo, 91 kg. de cal viva y 23 kg. de espato flúor.

7:52 de la tarde.- Se añaden 360 kg. de ferrocromo, 23 kg. de cal viva y 5 kg. de espato flúor.

Después de efectuar estas adiciones, se batió o removió todo el baño para asegurar una composición uniforme del material, y el fundidor recalcó la composición del baño. Encontró que el contenido de níquel era demasiado bajo.

7:55 de la tarde.- Se añaden 116 kg. de níquel electrolítico recocido. - Después de esta adición, se batió nuevamente el baño.

8:10 de la noche.- La corriente se rebajó a 10,000 amp. y 190 volts.

8:30 de la noche.- Se envía al laboratorio de control una muestra de acero para hacer el análisis químico completo, y una muestra de escoria para determinar solamente el óxido de hierro.

9:00 de la noche.- El laboratorio contesta que las muestras de las 8:30 de la noche tenían las siguientes composiciones:

Carbono -----	0.06 %
Cromo -----	18.81 % (entre límites)
Níquel -----	9.15 %
Manganoso -----	0.28 %
Silicio -----	0.21 % (demasiado bajo)
Oxido de hierro -----	2.80 %
(en la escoria)	

Como resultado de estos análisis, el fundidor calculó las cantidades de elementos de aleación y desoxidantes que debía añadir para llevar la colada a la composición deseada.

9:05 de la noche.- Se añaden 23 Kg. de ferromanganoso del 80%, 45 kg. de ferrosilicio granulado del 50% y 35 kg. de ferrosilicio granulado del 75%, - 66 kg. de cal viva y 18 kg. de espato flúor.

El ferromanganoso se añadió para ajustar la composición, y el ferrosilicio, como purificador para reducir los ácidos.

9:10 de la noche.- El fundidor revisa sus cálculos, y encuentra que todos los elementos especificados en la orden, están dentro de los límites deseados.

Se limpia la cuchara precalentada, mediante, una corriente de aire a presión, se ajusta y se afianza su tapón, y se coloca debajo de la piquera del horno. Se corta la corriente, y el horno queda listo para la colada.

9:12 de la noche.- Se inclina el horno, y el acero fundido fluye a la cuchara. Durante la colada, se introducen en el chorro del metal pequeñas cantidades de aluminio (unos 225 gr. por tonelada de metal), para contrarrestar las oxidaciones eventuales. Se evita que la escoria acompañe al acero hasta la cuchara, mediante un espumador colocado en la piquera del horno.

9:17 de la noche.- La cuchara ha quedado llena, y el horno vacío.

Se toma la temperatura con un pirómetro óptico y se encuentra 1580°C - (temperatura real 1670°C que resulta demasiado alta para colar).

Hay costumbre de colar los lingotes a una temperatura excesiva. La temperatura adecuada para esta clase de acero ha sido determinada por recientes y precisas experiencias. Un período de espera, entre la descarga del horno y la colada de los lingotes, sirve no solamente para que el acero se enfrie hasta la temperatura adecuada, sino que además permite la separación de algo de escoria que el acero haya podido arrastrar.

9:30 de la noche.- La temperatura desciende a 1500°C ópticos (1605°C reales), que es correcta para colar. Empiezan a colarse los lingotes. Durante esta operación se cuelan varios lingotillos de prueba y se envían al laboratorio para su análisis.

9:58 de la noche.- Termina la colada. Se han obtenido 19 lingotes de unos 910 kg. cada uno. La temperatura final de colada fue 1480°C ópticos (1600°C reales).

Tiempo - 5 horas, 58 min., desde la carga hasta el inicio de la descarga; 5 min. de descarga; 25 min. para colar los lingotes.

Total de cargas metálicas - 18,567 kg., incluyendo el hierro del mineral de las ferroaleaciones.

Rendimiento - 93.25 %.

Rendimiento en elementos de aleación :

Manganese -----	92.77 %
Silicio -----	34.51 %
Níquel -----	94.12 %
Cromo -----	92.02 %

Análisis final de la colada :

Carbono ----- 0.054%

Manganoso -----	0.42	%
Fósforo -----	0.018	%
Azufre -----	0.014	%
Silicio -----	0.31	%
Níquel -----	8.97	%
Cromo -----	18.34	%

#### CONVERTIDOR BESSEMER ACIDO.

Un convertidor es un recipiente de chapa de acero en forma de pera, revestido interiormente por refractario y con su fondo perforado para permitir la entrada de aire, siendo en muchos modelos, este fondo es reemplazable, pues es la parte que más se desgasta.

El convertidor puede girar alrededor de un eje situado aproximadamente en su centro de gravedad para cargar el arrabio y descargar el fundido cerrándose automáticamente la entrada del aire en cuanto deja de estar vertical, que es la posición de trabajo.

En el convertidor Bessemer, el revestimiento refractario es ácido, generalmente constituido por silice (arena aglomerada con un poco de arcilla), se utiliza para el afinado de fundiciones grises pobres en fósforo y en azufre de composiciones parecidas a las siguientes :

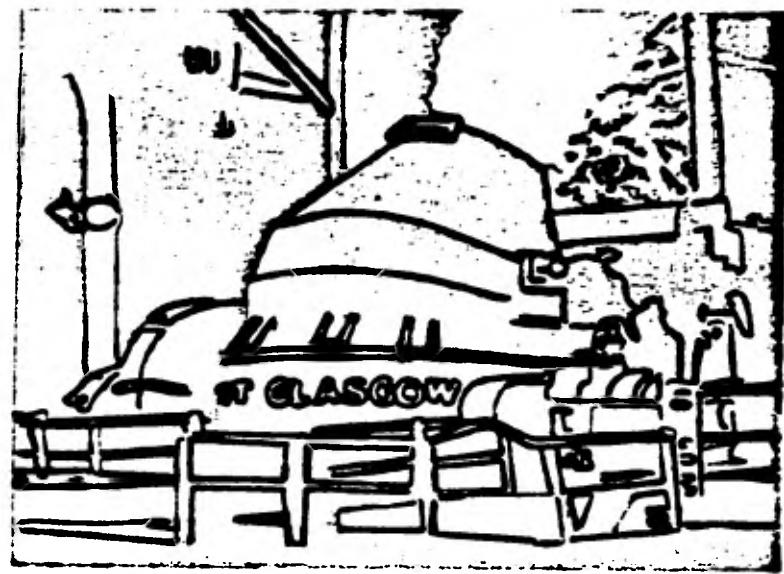
Carbono -----	3.0 - 4.0	%
Silicio -----	1.5 - 2.5	%
Manganoso -----	1.0 - 2.0	%
Fósforo -----	0.08% (menor)	
Azufre -----	0.05% (menor)	

En el proceso Bessemer, el principal elemento termógeno es el silicio, cuya oxidación provoca la gran elevación de temperatura, que favorece la operación.

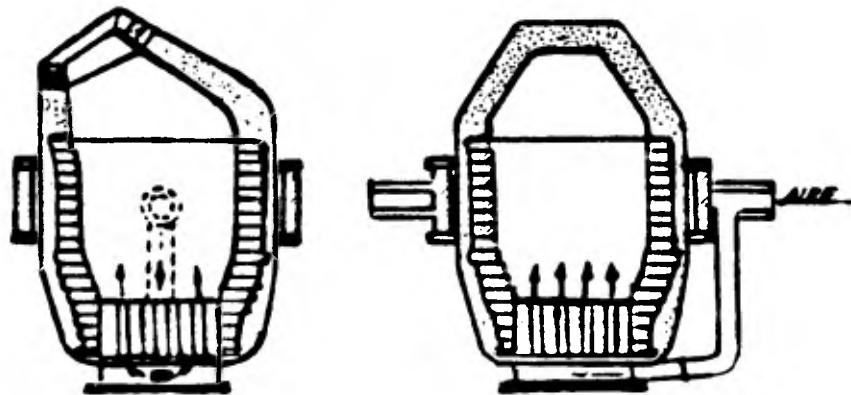
#### HISTORIA DE UNA COLADA DE ACERO BESSEMER.

El soplador recibe órdenes para producir una colada de acero de tornillería con la siguiente composición química :

<u>Elemento</u>	<u>Por ciento</u>	
Carbono -----	0.08	a 0.16
Manganoso -----	0.60	a 0.90
Fósforo -----	0.090	a 0.130
Azufre -----	0.100	a 0.150



CONVERTIDOR BESSEMER EN POSICION DE TRABAJO



SECCION DE UN CONVERTIDOR

Las siguientes notas indican la forma de ejecutar la operación.

9:03 de la mañana.- El soplador ordena que saquen del mezclador 22,800 kg. de arrabio fundido o metal caliente.

9:08 de la mañana.- El convertidor se vuelca hacia su lado del hierro, para recibir una carga ordenada de arrabio, la cual tiene la siguiente composición:

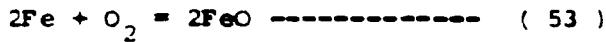
Carbono -----	4.30	%
Manganoso -----	0.40	%
Fósforo -----	0.085	%
Azufre -----	0.035	%
Silicio -----	1.25	%

Se cargó el metal a una temperatura de 1260 a 1370°C

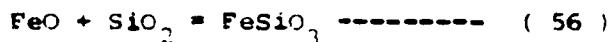
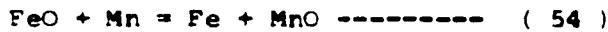
9:10 de la mañana.- Se termina la carga, se da el viento y se levanta el convertidor para ponerlo en su posición de soplado. Cuando el aire pasa a través del metal, se proyecta por la boca del convertidor una lluvia de chispas blancas, y casi inmediatamente después aparece un denso humo de colores rojizo, atravesado por llamas puenteadas de color rojo oscuro.

Estas llamas son características del período de formación de escoria, durante el cual se oxidan el manganoso y silicio. El volumen del aire soplado en el convertidor varía de 700 al 1,000 metros cúbicos por minuto, a la presión del 1.5 a 2 kg/cm<sup>2</sup>.

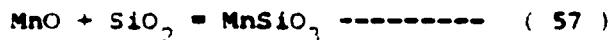
Cuando el aire entra en contacto con el metal fundido, tiene lugar la siguiente reacción exotérmica:



El óxido de hierro formado reacciona con el silicio y manganoso de la siguiente forma:



El óxido de manganoso y anhídrido silícico formados se combinan entre sí, como se indica en la siguiente ecuación para formar la escoria:



La llama rojo-oscuro, cambia gradualmente a amarillo brillante con matiz verde, cuando se ha entrado en la segunda fase del soplado.

9:12 de la mañana.- La composición del metal del convertidor era:

Carbono -----	3.90 %
Manganoso -----	0.10 %
Fósforo -----	0.088 %
Azufre -----	0.035 %
Silicio -----	0.70 %

9:16 de la mañana.- La segunda fase del proceso se demuestra hervida. El silicio y manganeso, en su mayor parte, han sido oxidados, se ha formado escoria, y ahora el carbono es atacado activamente. La composición del metal en el convertidor será:

Carbono -----	2.10 %
Manganoso -----	0.03 %
Fósforo -----	0.092 %
Azufre -----	0.037 %
Silicio -----	0.03 %

A medida que el carbono se combina con el oxígeno, se reduce el óxido de hierro:



y el baño se agita violentamente, a causa del desprendimiento de grandes cantidades de gas. La llama es ahora blanco-amarillenta con matices verdes; crece o se rompe hasta alcanzar una longitud de 9 a 12 m. y se produce un marcado aumento de la oxidación del carbono. Pronto la llama vacila, y el proceso entra en su tercera y última fase.

9:17 de la mañana.- El soplador considera que el metal del convertidor está demasiado caliente o sopla caliente, y añade 1360 kg. de chatarra de acero de bajo carbono, en trozos pequeños. Cuando no se encuentra chatarra de clase adecuada, también puede rebajarse la temperatura del metal añadiendo algo de vapor al viento.

9:18 de la mañana.- La composición del metal en el convertidor es:

Carbono -----	0.60 %
Manganoso -----	0.01 %
Fósforo -----	0.094 %
Azufre -----	0.038 %
Silicio -----	0.03 %

9:19 de la mañana.- Durante esta fase final, la llama decrece en intensidad; finalmente cae y se hace corta y perezosa. La caída de la llama, ---

que está ahora teñida de pardo por el óxido de hierro, indica que la fase del soplado ha terminado por haber quedado reducido el carbono a un porcentaje muy bajo.

9:20 de la mañana.- Final del soplado. El convertidor se inclina hacia su lado del acero, se corta el viento, se cuela en una cuchara el metal soplado y se ejecuta su composición. El metal, al salir del convertidor, tiene la siguiente composición :

Carbono -----	0.030 %
Manganoso -----	0.010 %
Fósforo -----	0.096 %
Azufre -----	0.039 %
Silicio -----	0.005 %

Temperatura del metal soplado; 1,635°C.

#### Recarburoación y Ajustes de Composición.

El soplador calcula el promedio de los límites que figuran en su orden de trabajo, y se anota que debe producir un acero de la siguiente composición:

Carbono -----	0.12 %
Manganoso-----	0.75 %
Fósforo -----	0.110 %
Azufre -----	0.125 %

Después calcula las cantidades de metaloídes, que deberán añadirse para llevar al acero a la composición deseada, así como las cantidades necesarias para compensar las pérdidas inevitables.

ELEMENTOS	Metaloides remanentes dentro del soplado Kilogramos	Cantidades necesarias en 22700 Kg.	Pérdidas		Adiciones necesarias Kilogramos
			Porcentaje	Por ciento	
Carbono .....	6.8	27	50 (%)	41	
Manganoso .....	2.3	170	25	223	
Fósforo .....	22.0	23	>	3.2	
Azufre .....	8.8	26.3	>	19.5	
Silicio .....	1.1	>	>	>	

\* Pérdidas del polvo de coque añadido en la cuchara.

El contenido de manganeso se eleva hasta la especificación, mediante - la adición de 274 kg. de ferromanganeso de la composición siguiente :

Carbono -----	5.00	%
Manganeso -----	31.50	%
Fósforo -----	0.30	%
Silicio -----	0.30	%
Azufre -----	0.04	%

Las cantidades de metaloides introducidas por la adición, son las siguientes :

Manganeso -----	223.00	kg.
Silicio -----	0.8	kg.
Fósforo -----	0.8	kg.
Azufre -----	0.11	kg.
Carbono -----	14.6	kg.

El azufre se sube hasta la especificación por la adición de 19.5 kg. de trozos de azufre, y el fósforo se añade en forma de ferrofósforo de la siguiente composición

Fósforo -----	18.00	%
Manganeso -----	0.18	%
Silicio -----	0.10	%
Azufre -----	0.65	%
Carbono -----	1.10	%

La cantidad añadida de ferrofósforo es 18 kg., y, desde su composición, se han introducido en el metal fundido los siguientes metaloides :

Fósphoro -----	3.3	kg.
Manganeso -----	0.03	kg.
Silicio -----	0.12	kg.
Azufre -----	0.12	kg.
Carbono -----	0.20	kg.

El azufre y el fósforo pueden añadirse al convertidor, antes de empezar el soplado. El método de adición que hemos presentado ha sido elegido para demostrar mejor los efectos cualitativos y cuantitativos del soplado.

Todos los elementos, excepto el carbono, están ahora dentro de los límites de la especificación. Con el fin de conseguir la cifra de carbono pedida, se añaden a la cuchara 13.5 kg. de coque en polvo. Un 50% de polvo de coque se pierde por oxidación; el coque que queda (6.7 kg.), más el carbono del ferromanganeso (13.5 kg.), más el carbono del ferromanganeso (13.5 kg.), llevan al acero dentro de los límites de la especificación.

El total de cargas añadidas es el siguiente :

Hierro metálico en la carga -----	21,303	Kg.
Metaloides en la carga -----	1,380	Kg.
Chatarra añadida -----	1,360	Kg.
Hierro añadido con los agentes de aleación -----	50	Kg.
Metaloides añadidos -----	<u>262</u>	Kg.

Total 24,355

Metaloides perdidos en el soplado -----	1,340	Kg.
Metaloides perdidos por oxidación en la cuchara--	63	Kg.
Metaloides perdidos en la escoria -----	341	Kg.
Metaloides perdidos en el soplado tumultuoso, etc.	<u>227</u>	Kg.

Total 1,971

Peso neto de acero en la cuchara: 22,384 Kg.

Al terminar la operación, el metal tenía la siguiente composición :

Carbono -----	0.12	%
Manganeso -----	0.75	%
Fósforo -----	0.110	%
Azufre -----	0.126	%

El metal se deja reposar durante diez minutos en la cuchara, para que adquiera la temperatura de colada y que las impurezas asciendan y entren a formar parte de la escoria. A continuación se cuelan los lingotes. Se obtuvieron 8 lingotes rectangulares de 48 X 53 cm. de unos 2,800 kg.

Rendimiento.- 87% del total de la carga metálica.

Tiempo.- Duración del soplado, 10 min., tiempo total transcurrido desde que el convertidor fue inclinado hasta el inicio de la colada de los lingotes, 12 min. Tiempo total para colar los lingotes, 21 min.

CAPITULO VIII

EFFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION  
Y DE LOS ELEMENTOS ACCIDENTALES.

## EFFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION Y DE LOS ELEMENTOS ACCIDENTALES.

La influencia que sobre el hierro ejercen los elementos que se le unen para formar el acero, son fundamentales para el logro de esa variedad de propiedades que el metal puede presentar.

Los elementos carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio, son los elementos que acompañan al hierro en un acero al carbono, y no se consideran como elementos de aleación, aunque algunos de ellos forman aleaciones con el hierro, porque el significado usual de la palabra acero aleado, lleva implícita la idea del uso de elementos tales como : el níquel, cromo -- molibdeno, o vanadio.

Los elementos de aleación pueden agruparse en cuatro clases : a la primera suelen llamarseles fortalecedores de la ferrita, pues hacen al hierro más resistente y tenaz. Entre ellos tenemos el manganeso y el níquel.

El segundo grupo de elementos comprende aquellos que se unen al carbono para formar carburos, que hacen al acero más duro y resistente. Entre estos elementos formadores de carburos están el cromo, molibdeno y vanadio.

Otro grupo de elementos como el silicio y el manganeso que se emplean - en la fabricación del acero para limpiarlo de las impurezas perjudiciales o para convertirlos en impurezas inofensivas.

El último grupo es el de aquellos elementos que se añaden al acero fundido para contrarrestar los efectos perjudiciales de los óxidos o gases. - Estos elementos, entre los que se encuentran aluminio, titanio y circonio, no quedan en el acero en cantidad apreciable, se combinan con las impurezas y pasan a la escoria.

Ahora veremos las principales características de los elementos más importantes que se encuentran en el acero.

Carbono.- La influencia más importante del carbono es sobre la dureza, resistencia y ductilidad del metal. Su efecto sobre estas propiedades puede variar ampliamente con el tratamiento térmico.

Boro.- Es uno de los elementos de los llamados aleantes de adición o -- comúnmente conocidos como intensificadores de la templabilidad.

La adición adecuada de estos aleantes especiales es beneficiosa por el aumento de templabilidad que va acompañada de un incremento de resistencia en secciones críticas.

Todo indica claramente que los elementos especiales de adición son eficaces para la elevación de las propiedades mecánicas.

Manganoso.- Su importancia en la elevación de las propiedades mecánicas del acero, especialmente en aceros aleados es muy considerable. Es muy frecuente considerar al manganoso sólo como desoxidante y desulfurante, - aunque también aumenta la penetración de la dureza.

Fósforo.- El fósforo actúa como el carbono aumentando la resistencia - a la tracción, dureza y límite elástico y disminuyendo la ductilidad.

En el pasado al fósforo, se le había considerado como uno de los elementos más perjudiciales que se encuentran en el acero, pero su presencia no es perjudicial en cantidades inferiores al 0.08%.

El cobre y el cromo, aumentan la tolerancia para el fósforo y la capacidad del acero para resistir la corrosión atmosférica y la resistencia eléctrica.

Azufre.- Sus efectos también se consideraban muy perjudiciales para el acero, en cantidades mayores de 1.12%, el azufre hace a los aceros frágiles en caliente, esto es se agrietan y rasgan en el laminado y la forja,-- aunque el manganoso elimina este defecto perjudicial combinándose con el - azufre para formar sulfuro de manganoso.

Silicio.- Este elemento se considera ordinariamente solo como desoxidante, es fortalecedor de la ferrita, que eleva la resistencia sin sacrificar ductilidad y tenacidad cuando se añade en cantidades de hasta aproximadamente 1.0%.

Cobre.- En cantidades de hasta .65%, aumentan la resistencia del acero- a la corrosión atmosférica y no tiene efectos perjudiciales sobre la soldabilidad hasta contenidos del 0.75%.

El cobre aumenta la templabilidad si su contenido es inferior al 0.60% por encima de esta cifra, empieza a producir efectos de endurecimiento por precipitación.

Níquel.- Este elemento es fortalecedor de la ferrita soluble en el hierro en todas las proporciones, mejora las propiedades del acero bruto de - laminación, particularmente la estrucción, alargamiento y resistencia.

La característica más notable de los aceros al níquel, es su tenacidad, particularmente a temperaturas bajo cero.

Cromo.- Este elemento, es a la vez, formador de carburos y fortalecedores de la ferrita, aumentando la resistencia a la tracción, dureza y tenacidad. Con él se consigue una penetración profunda de la dureza, también ayuda a conservar la capacidad uniforme de endurecimiento en los aceros - calmados con aluminio, en los que los carburos tienden a descomponerse.

Titanio.- Es un enérgico desoxidante y hace solidificar rápidamente a los lingotes de acero.

Selenio.- Se emplea para hacer mecanizables automáticamente a los aceros de alta aleación.

Circonio.- Se emplea mucho como desoxidante en la fabricación de chas y planchas. Atrae principalmente al oxígeno y azufre, y reduce la posibilidad de envejecimiento y las rupturas superficiales debidas a inclusiones no metálicas.

Pbomo.- Se añade al acero para mejorar la maquinabilidad a altas velocidades.

Estaño.- Su presencia en el acero es debido a la chatarra contaminada por el estaño, por la soldadura, cojinetes y otros objetos que contienen estaño. El efecto general del estaño es de un endurecedor.

Arsénico.- Su presencia siempre es debida a contaminación por chatarra y en contenido inferior a 0.25% no afecta perjudicialmente a la soldabilidad.

Antimonio.- En proporciones superiores al 0.69% produce fragilidad - en caliente. No modifica prácticamente la resistencia pero tiene un efecto perjudicial, sobre la tenacidad y ductilidad, aún en proporciones menores al 0.5%.

Niobo ( columbio ).- Es un elemento raro y se emplea principalmente para evitar la corrosión intercristalina en los aceros inoxidables, altos en cromo y níquel.

Cobalto.- Se usa solamente en aceros rápidos de herramientas y en -- aceros para imanes.

Oxígeno.- Los efectos de envejecimiento en los aceros bajos en carbono se cree que son producidos por oxígeno o nitrógeno, tales efectos se eliminan con adecuadas adiciones de aluminio.

Vanadio.- Se le emplea tanto por su valor, como desoxidante, como -- por los beneficios que reporta como elemento residual en el acero. Como desoxidante disminuye las agregaciones y es capaz de realizar una limpieza del acero más completa que la que se consigue con silicio y manganeso.

Como elemento residual de aleación se disuelve en el hierro y se combina con el carbono, aumentando la resistencia a la tracción y la relación elástica del acero, sin disminución de la ductilidad.

Aluminio.- Este elemento se emplea como desoxidante y como elemento de aleación residual. Es uno de los mejores agentes para la eliminación del oxígeno y otros gases de los aceros efervescentes o agitados.

Sin embargo, es necesario emplearlo con cautela porque su exceso tiende a hacer frágil al acero.

Molibdeno.- Es un fortalecedor de la ferrita y formador de carburos además estimulante de los demás elementos de aleación. Sólo en un acero al carbono-molibdeno, incrementa la templabilidad, resistencia a la tracción a - - temperaturas ordinarias y altas, y la resistencia a la fluencia a elevadas - temperaturas.

En combinación con otros elementos, no sólo comunica sus buenas propiedades individuales, sino que empuja a los otros elementos, elevando las propiedades deseables que ellos pueden proporcionar y disminuyendo los efectos no deseables de cada uno.

Tungsteno.- Los aceros con una cantidad de tungsteno de 1.0 a 6.0%, -- sin otros elementos de aleación, se emplea en la fabricación de material -- eléctrico por su alta permeabilidad magnética y remanencia. Ayuda a mantener su estabilidad estructural a elevadas temperaturas.

Hidrógeno.- Se cree que es el causante de las capas, manchas brillantes o grietas de forja y también de la fragilidad que algunas veces se produce, - como consecuencia del uso de alcalis, ácidos y otros compuestos químicos en la manufactura del acero.

Nitrógeno.- Se utiliza como elemento de aleación en los aceros nitrurados. Combinados con aluminio, vanadio o cromo, forma nitruros, compuestos -- durísimos que dan al acero una dureza de diamante y alta resistencia al rozamiento y la abrasión. Al nitrógeno se debe en parte la relativamente alta resistencia o dureza de los aceros Bessemer, comparados con los aceros -- Siemens-Martin del mismo contenido de carbono.

**CAPITULO IX**

**PROPIEDADES MECANICAS**

## PROPIEDADES MECANICAS.

Todas las propiedades mecánicas se asocian con la habilidad del material para soportar esfuerzos mecánicos.

Para conocer estas propiedades hay que someter a los materiales a diversas pruebas y ensayos que sirven para comprobar, en la recepción de materiales, que estos cumplen con las condiciones estipuladas para su utilización y adquisición.

En algunos casos estos parámetros son iguales en todas las clases de acero de construcción por lo que los valores observados coinciden aproximadamente con un valor medio común.

Para evaluar la calidad de los aceros de construcción y para clasificarlos según su aptitud en el cumplimiento de funciones específicas el ensayo de tracción es el más común y generalmente aceptado.

El ensayo de tracción encierra dos conceptos fundamentales : carga y alargamiento.

La carga es una fuerza que se expresa en kilogramos. La carga unitaria, es un kilogramo por milímetro cuadrado ( $\text{Kg/mm}^2$ ).

El alargamiento es la deformación producida por la carga y se expresa en milímetros. El alargamiento unitario es la deformación por milímetro de distancia entre puntos.

Módulo de elasticidad o Módulo de Young.- Es una medida de la rigidez del acero o capacidad para resistir la deformación elástica.

Es una propiedad característica de la materia, diferente para las distintas clases de metales.

## T A B L A

Módulo de elasticidad de algunos metales férreos y no férreos laminados en caliente :

$\text{Kg/mm}^2$

Acero de construcción ( aleados y al carbono ) -----21,100

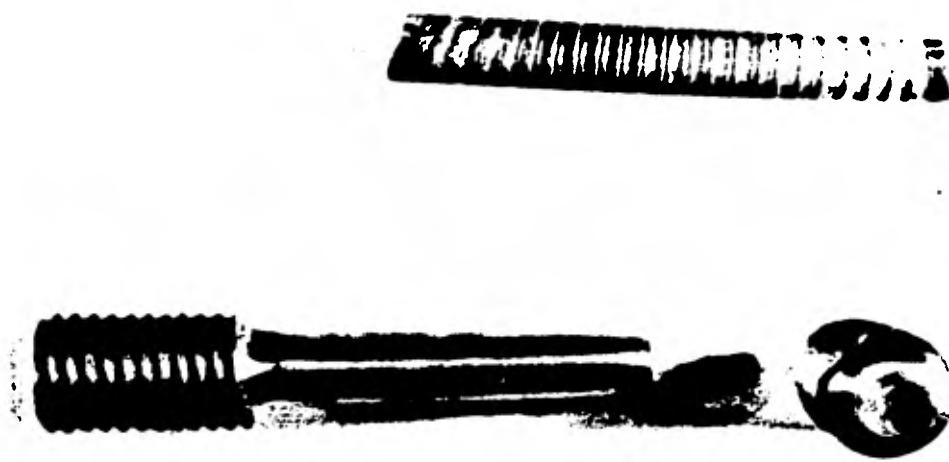
	<u>Kg/mm<sup>2</sup></u>
Níquel -----	21,100
Acero Inoxidable -----	19,700
Fundición maleable -----	19,000
Monel "K" -----	16,900
Bronce de Aluminio -----	12,650
Cobre - Berilio -----	11,250
Cobre -----	11,250
Bronce de Manganeso -----	10,550
Bronce de fósforo -----	10,550
Latón ( 60CU - 40 Zn ) -----	8,450
Aluminio -----	7,050
Magnesio -----	4,200

El módulo de rigidez que se deriva del módulo de elasticidad, tiene un valor igual a los dos quintos del módulo de elasticidad y representa la relación entre la carga y deformación en el cizallamiento.

Límite de Fluencia.- Es el punto en el cual el acero se alarga rápidamente sin que aumente la carga. Cuando se sobrepasa el límite de fluencia, el acero no vuelve a sus dimensiones originales al suprimir la carga. El punto exacto por debajo del cual vuelve a sus dimensiones originales se llama : límite de proporcionalidad.

Resistencia a la Tracción.- Se define como la carga máxima de tracción que un material es capaz de resistir, y da un criterio sobre la capacidad del acero para soportar cargas bajo esfuerzos estáticos, es decir es la carga máxima entre la sección transversal.

Estricción.- Es la reducción de la sección transversal que experimenta una barreta cuando se somete al ensayo de torsión. Se expresa en tantos porcientos de la sección original.



#### PROBETAS DE TRACCION

Indice de calidad.- Es la relación entre la resistencia a la tracción y la estricción, para juzgar la aptitud de un acero, en el cumplimiento de servicios determinados. Generalmente se representa por la letra P, y viene definida por la siguiente fórmula :

$$P = \frac{R + 4.2}{3.5} E$$

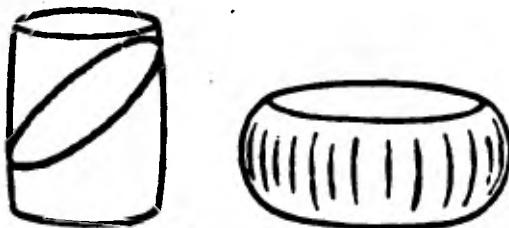
donde : P = Indice de calidad  
R = Resistencia a la tracción en  $\text{Kg/mm}^2$

Trabajo.- Es el último concepto que puede deducirse del diagrama cargas-ajargamiento, es la cantidad de trabajo necesario para deformar el acero.

Cizalladura.- Es el deslizamiento de un metal a lo largo de un plano - de tensión máxima paralelo a la acción transversal del material y se mide en  $\text{Kg/mm}^2$ . La resistencia a la cizalladura se calcula dividiendo la carga de rotura por el área de corte.

Torsión.- Es una clase especial de cizallamiento, en la cual el acero-a ensayar se tuerce a lo largo de su eje longitudinal hasta que se rompe.

Ensayos de compresión.- Cuando se somete a compresión creciente, un trozo de material frágil de forma cilíndrica y con poca altura, se rompe a lo largo de ciertas líneas de clivaje que forman ángulos de unos  $30^{\circ}$  con la dirección de la presión, como se observa en la figura siguiente:



#### Ensayo de Compresión.

Una pieza semejante hecha con material dúctil y sometida al mismo esfuerzo se aplastará en la forma como se indica en la misma figura. Despues de alcanzar cierta carga, aparecerán en toda su circunferencia unas grietas-similares a las indicadas en el esquema, pero la pieza continuará aplastadas y podrá soportar progresivamente crecientes.

Es patente que los materiales frágiles tienen perfectamente definida su resistencia a la compresión, no ocurriendo lo mismo en los materiales dúctiles.

Los elementos de construcción que son mucho más altos que anchos, se llaman : columnas, las cuales se rompen por pandeo lateral.

Coeficiente de Poisson.- Un alargamiento positivo ( tracción ) va acompañado de una contracción y un alargamiento negativo ( compresión ) supone una expansión del material en todas las direcciones perpendiculares a la dirección del esfuerzo causante de ambos alargamientos. Este coeficiente, importante para calcular los cambios de volumen o de densidad ocasionados por la aplicación de esfuerzos.

Ensayo de fatiga.- El límite de fatiga del acero, algunas veces llamado límite de duración, se define como la carga máxima aplicada en constante variación de cuantía y dirección la cual puede ser soportada durante un número indefinido de aplicaciones. Este valor se expresa en  $\text{Kg/mm}^2$ , y solamente es útil para evaluar los aceros que han de estar sometidos a esfuerzos dinámicos. Las cargas estáticas no pueden producir rotura de fatiga.

**Ensayo de choque o de resiliencia.**- Tiene por objeto determinar la energía que es capaz de absorver el metal cuando sufre un choque brusco en una probeta y una medida de la capacidad que tiene el acero para distribuir un esfuerzo en toda la extensión de su sección transversal. Es difícil encontrar una relación definida entre la resistencia al choque, o resiliencia y las otras propiedades mecánicas. Generalmente se dice que los aceros suaves y tenaces tienen valores altos de resiliencia, mientras que los aceros duros o frágiles los tienen bajos. Los resultados de los ensayos de choque se expresan en  $\text{Kg/cm}^2$ , es decir, el trabajo absorbido por unidad de sección útil.

**Ensayo de tracción por choque.**- El material que se ensaya, está sometido a una tracción pura, sus resultados se relacionan fácilmente con los del ensayo de tracción lenta; es decir con el límite elástico práctico, resistencia a la tracción o alargamientos. Los resultados se expresan en  $\text{Kg/cm}^2$ .

En el ensayo ordinario de tracción lenta, las probetas se refuerzan--antes de romperse a causa del trabajo en frío a que se hallen sometidos en los ensayos rápidos, por aplicarse la fuerza instantáneamente no hay tiempo para que se produzca este fortalecimiento. Una elevada resistencia al impacto indica buena combinación de resistencia y ductilidad, es decir que los metales más dúctiles no solamente requieren mayores cargas para romper, sino que además estas cargas actúan a lo largo de mayor distancia. Un metal o aleación francamente tenaz soportará sin romperse --impactos muy rápidos, conservando su ductilidad o absorviendo mucha energía antes de romper.

**Dureza.**- Se define comúnmente como la resistencia a la penetración. - El ensayo de dureza es el de empleo más corriente para el control de la calidad del acero.

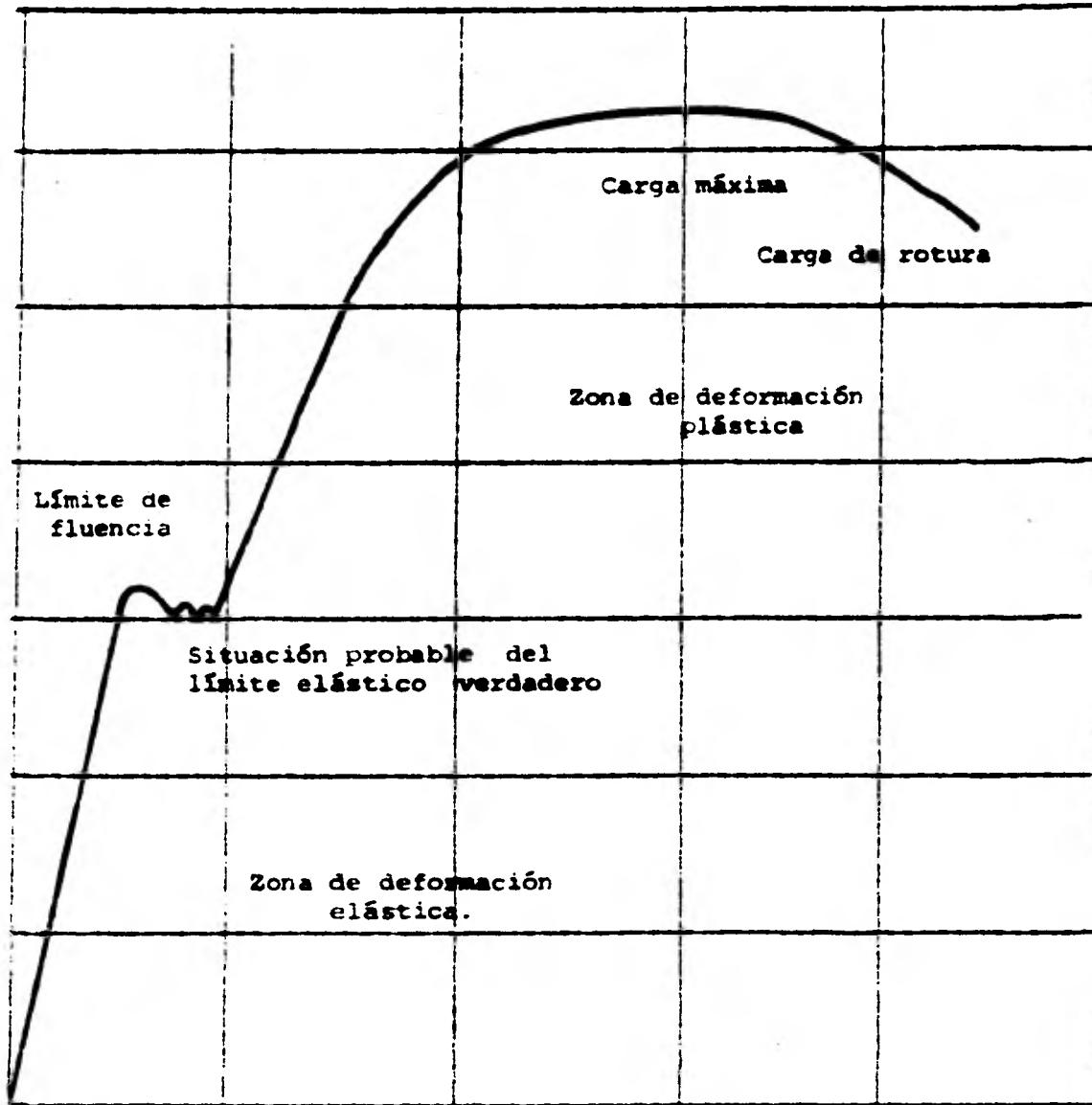
Corrientemente el ensayo de dureza nos proporciona mucha información respecto a las propiedades resistentes al acero y además es un medio de comprobación de la uniformidad del material y de la marcha y resultado de su tratamiento térmico.

Los métodos de uso ordinario para el ensayo se pueden dividir en dos grandes grupos : ensayos estáticos y ensayos dinámicos.

Los procedimientos dinámicos incluyen todos los métodos de rebote representados por el esclerómetro.

Los procedimientos estáticos son los más importantes e incluyen todos los métodos de penetración tales como el Brinell, Vickers Rockwell y Monótron.

El método Brinell, que es el único ensayo que trataremos, consiste en apretar contra una superficie llana y relativamente libre de rayas una bola de acero extraduro de 10 milímetros de diámetro, bajo una carga de-



Alargamiento en mm.

Diagrama Cargas - Alargamiento.

3,000 Kg., durante quince o treinta segundos. El diámetro de la impresión producida por la bola se mide con ayuda de un microscopio y se convierte en cifra de dureza Brinell auxiliada por la fórmula de Brinell :

$$\Delta = \frac{2 W}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

donde : W = Carga de Kilogramos.

D = Diámetro de la bola en mm.

d = Diámetro de la huella en mm.

Este ensayo no debe emplearse en materiales de espesor menor de unos 6 mm.

En el método del escleroscopio se deja caer una pequeña masa con punta de diamante, desde una altura fija, y se mide su rebote en una escala graduada.

**CAPITULO X**

**CARACTERISTICAS ESPECIALES DE LOS ACEROS.**

## CARACTERISTICAS ESPECIALES DE LOS ACEROS.

Generalmente las características especiales dependen más bien de la condición física del acero, que de su composición química; las más importantes son :

Distorsión en el temple.- Depende de varios factores; uno es el efecto de los elementos de aleación en la templeabilidad (capacidad de penetración al temple) lo que acarrea variaciones de volumen que a su vez ocasiona cambios no deseables en las dimensiones.

La principal causa de distorsión, es proyectar piezas en las que existan secciones adyacentes con grandes diferencias de espesor.

Distorsiones producidas en el mecanizado.- La mayoría de los aceros sufren distorsiones al ser mecanizados. La causa estriba en que la mecanización rompe el equilibrio de tensiones internas que mantenían enderezando al acero.

Las barras laminadas en caliente son enderezadas pasándolas por una serie de cilindros que producen a la vez esfuerzos de tensión y compresión. Estas tensiones se equilibran y la barra queda recta.

Cuando las barras se estiran en frío, se producen considerables tensiones internas especialmente en los aceros duros, y tales tensiones deben eliminarse por tratamientos térmicos, si se quiere evitar la distorsión en el mecanizado.

Maquinabilidad.- El término maquinabilidad se refiere en forma general, a la rapidez y economía con que el metal puede ser cortado en un torno o por una fresa.

Para juzgar la maquinabilidad de un acero deben considerarse los siguientes factores :

- 1.- La velocidad con que el metal puede cortarse.
- 2.- El tiempo de vida de la herramienta.
- 3.- La energía consumida para cortar el metal.
- 4.- La calidad de la superficie obtenida en las partes mecanizadas.
- 5.- El calor producido por la operación de corte.

Servicio a baja temperatura.- Los aceros aleados son cada vez más empleados

dos en aplicaciones en las cuales se opera a temperaturas muy por abajo - del acero. Cualquier acero tiene diferentes propiedades a esas temperatu-  
ras que al ambiente; tales temperaturas se encuentran en la industria - del petróleo, en la refrigeración de alimentos y en las industrias quí-  
micas y los problemas que ocasionan son que : aumenta la resistencia a - la tracción, se reduce la ductilidad, el acero tiende a hacerse frágil - y pierde mucha resistencia.

Servicios a altas temperaturas.- El acero calentado al rojo, se hace - blando y no puede soportar tanta carga como a la temperatura ordinaria.

Para proyectar equipos que hayan de trabajar a altas temperaturas es - imprescindible tener en cuenta la disminución de la resistencia a la trac-  
ción y la plasticidad del acero a la temperatura de trabajo. Este fenóme-  
no plástico se conoce con el nombre de fluencia.

Debe también tenerse en cuenta al seleccionar un acero para trabajo a alta temperatura, la resistencia al ataque químico, porque los productos de combustión son a veces muy activos y pueden causar una rápida corro-  
sión del material expuesto a ellos.

Resistencia a la abrasión.- Los elementos más eficaces para obtener en el acero resistencia a la abrasión frente a materiales como : arena, grava carbón mineral y coque, son el carbono, cromo y en contenidos altos el man-  
ganoso. El carbono y el cromo actúan aún en pequeñas cantidades por la - formación de garburos muy duros que resisten a la abrasión.

## CONCLUSIONES

Hemos visto que el arte y la ciencia de la Siderurgía, abarcan un campo muy amplio que se extiende desde los métodos de minería empleados para aprovechar al máximo minerales, combustible, fundentes y refractarios consumidos en la fabricación de arrabio, ferroaleaciones, acero y fundición, hasta los procedimientos donde se utilizan algunos tratamientos térmicos.

Sabemos ya que el acero es un metal complejo y sin duda es el metal más adaptable que el hombre ha conocido. Actualmente no tiene rival que le pueda disputar su posición en el campo de la ingeniería.

También vimos que químicamente el acero se compone de hierro, (es -- el componente que se encuentra en mayor proporción) y carbono, además de otros metales y metaloides, los cuales coexisten en forma de solución sólida, combinaciones simples, compuestas, intermetálicos o fases y mezclas.

Las dos formas de la obtención del acero que aprendimos fueron : mediante el alto horno en forma líquida y por reducción directa cuyo producto es el hierro esponja.

Nos dimos cuenta a través de este trabajo que en el proceso de fabricación del acero todos los cambios químicos y mecánicos ocurren estando el metal en estado líquido, sin embargo cuando el metal está enteramente solidificado y a temperaturas muy por debajo de aquellas a las que el -- acero funde, se llevan a cabo algunas transformaciones que para poder -- ser utilizadas satisfactoriamente era preciso un conocimiento adecuado - del diagrama de equilibrio hierro-carbono.

Se denomina acero a toda aleación hierro carbono forjable, cuyo contenido de carbono está generalmente comprendido entre .10 y 1.76%.

Fundición es toda aleación hierro carbono no forjable y cuyo contenido de carbono es generalmente de 2.5 a 4% (Estas definiciones son exactas, salvo algunas excepciones ;

Hierro es, el metal del mismo nombre técnicamente puro o con un contenido de carbono inferior a 0.03%.

Ahora sabemos que no es razonable afirmar que una clase de acero es -- de mejor calidad que otra, sin conocer el servicio a que se va a destinar y el procedimiento empleado en su fabricación, esto se debe a la gran variedad existente de aceros.

Aparentemente el acero Bessemer es de calidad inferior con respecto a

los otros procesos para fabricar cigüeñales de motores de aviación, -- pero resulta de calidad adecuada para hacer los tapones de las bujías de éstos mismos.

En cambio, el acero de horno eléctrico es frecuentemente reputado como el acero de mejor calidad que existe y sin duda lo es, en un sentido abstracto. Pero si empleamos el acero eléctrico para fabricar material de refuerzo para la construcción veríamos que resultaría de calidad inferior, porque costaría demasiado y no se obtendría un mejor servicio que si fuera hecho de acero Bessemer o Siemens-Martin.

Físicamente, el acero está formado por granos poliedricos o cristales que pueden variar mucho en tamaño y forma, además de cantidades mínimas de óxidos, sulfuros y silicatos. Estos productos son generalmente perjudiciales y se toman diversas precauciones para reducirlos al mínimo. Sin embargo como se vió para ciertos empleos específicos, se agregan deliberadamente al acero algunos elementos como fósforo, azufre y selenio, con el fin de producir una cantidad regulada de inclusiones no metálicas que comuniquen al acero algunas propiedades deseadas.

Concluyendo, el acero es el metal de más amplias posibilidades que se conoce porque sus propiedades físicas y mecánicas pueden modificarse.

## BIBLIOGRAFIA

LE THOMAS PIERRE - JULIEN.

- LA METALURGA SHARP JOHN D. ELEMENTS OF STEELMAKING PRACTICE

LASHERAS Y ESTEBAN JOSE MARIA.

- TECNOLOGIA DEL ACERO.

PARKER CHARLES M.

- METALURGIA DE LOS ACEROS DE CALIDAD.

LEYENSETTER.

- TECNOLOGIA DE LOS OFICIOS METALURGICOS.

EDMISTON J.

- "RECENT DEVELOPMENTS IN STEELMAKING" METALLURGIA

MOORE, HERBERT F.

- MATERIALS OF ENGINEERING.

MC GRAW - HILL BOOK CO.

BAIN, EDGAR C.

- FUNCTIONS OF THE ALLOYING ELEMENTS IN STEEL.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS.

NOTA.- Los dibujos y diagramas fueron tomados de la bibliografia antes citada.

