

26 2e1



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

LOS HORNOS ELECTRICOS DE INDUCCION EN
LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION DE ACEROS
Y HIERROS COLADOS



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A :
VELASCO OLVERA HECTOR

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 (México).

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

INTRODUCCION

En la actualidad la necesidad de obtener un buen producto del modo más eficiente, en el tiempo requerido, en la cantidad correcta, a la temperatura adecuada y dentro de la calidad requerida a partir de materiales fácilmente disponibles ha originado el uso creciente de los hornos eléctricos de inducción, debido a lo cual el objeto de este trabajo de Tesis es tener un mayor criterio para su aplicación en los diferentes tipos de fabricación de hierros colados y aceros dando a conocer lo siguiente:

El principio en que se basa la fusión de los materiales mediante el calor generado por corrientes inducidas de alta o baja frecuencia, esto es la transformación de la energía eléctrica en energía calorífica.

Descripción de las partes principales del horno y función de las mismas durante el proceso de fusión.

Alternativas presentadas para la selección del tipo de refractarios tanto para aceros como de hierros colados. Como de las reacciones efectuadas durante la fusión.

La importancia que tiene el sinterizado en la vida del revestimiento, así como de la importancia de como debe realizarse la forma de apisonado, en el crisol del horno inducción.

Algunas características tecnológicas y metalúrgicas que hacen ventajoso su empleo con mayor frecuencia para hierros - colados, así como de algunas innovaciones para una mejor selección de refractario, en aplicaciones prácticas.

Finalmente el control que debe lograrse en el proceso - de fundición tanto de calidad como de producción y de las al ternativas que deben tomarse en el control de los defectos -- producidos en las piezas fundidas.

I.- PRINCIPIO DE OPERACION DE LOS HORNOS DE INDUCCION

Los Hornos de Inducción utilizan el principio del Transformador, en el cual un circuito de alta tensión es acoplado a un circuito de baja tensión, sin conectar directamente los dos circuitos. Este efecto de acoplamiento es producido por el campo magnético creado cuando se energiza la bobina primaria, como se muestra en la Figura I-1.

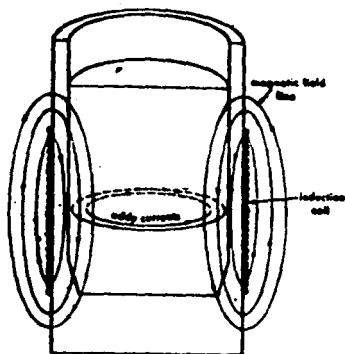


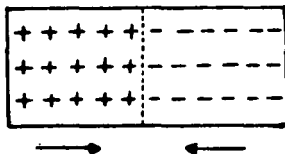
FIGURA I-1

Este campo magnético es conducido de tal forma que la carga metálica absorbe energía rápida y eficientemente. El calentamiento comienza en la zona más externa y prosigue por conducción hacia el centro.

En todos los Hornos de Inducción cuando una corriente alterna circula por una bobina, se crea un campo magnético, el --cual induce Corrientes de EDDY en una carga de metal colocada -- en el interior de este campo. Estas corrientes Inducidas causan una elevación de temperatura en la carga. El grado de calenta-- miento que se alcance dependerá del grado de variación o frecuen-- cia del campo magnético y de su intensidad.

Esta frecuencia no es más que el número de veces que cam-- bian las cargas positivas y negativas de un lado hacia otro, es decir cuando se tiene un imán se sabe que de un lado están las-- cargas positivas y del otro las negativas como se ilustra en la

FIGURA I-2



El proceso de Inducción funciona únicamente con metales, no se induce ningún calor en el crisol cerámico el cual está -- intercalado entre la bobina y la carga metálica. La función de este crisol es únicamente servir de recipiente al metal fundi-- do. Sin embargo el límite de temperatura del horno está estre-- chamente relacionado con la duración del crisol refractario.

La instalación completa del paquete consiste en el horno propiamente dicho, los módulos conteniendo el equipo eléctrico necesario para el suministro de energía de la bobina, equipo de enfriamiento para disipar el calor radiado por el baño fundido y el calor generado por la propia bobina y por último -- equipo auxiliar para la operación mecánica del horno.

I-2. SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA AL HORNO.

El sistema de suministro de energía al horno comprende - los dispositivos eléctricos necesarios, instrumentación, cables y barras de alimentación. Desde la alimentación de la compañía suministradora de energía, hasta las terminales de la bobina - del horno.

Dependiendo de las normas de la compañía suministradora, el sistema puede ser monofásico o trifásico. Los componentes - básicos de potencia son los mismos para ambos circuitos, con - la única excepción de que para el circuito trifásico, se agrega un reactor de balanceo de fases y un banco de capacitores.

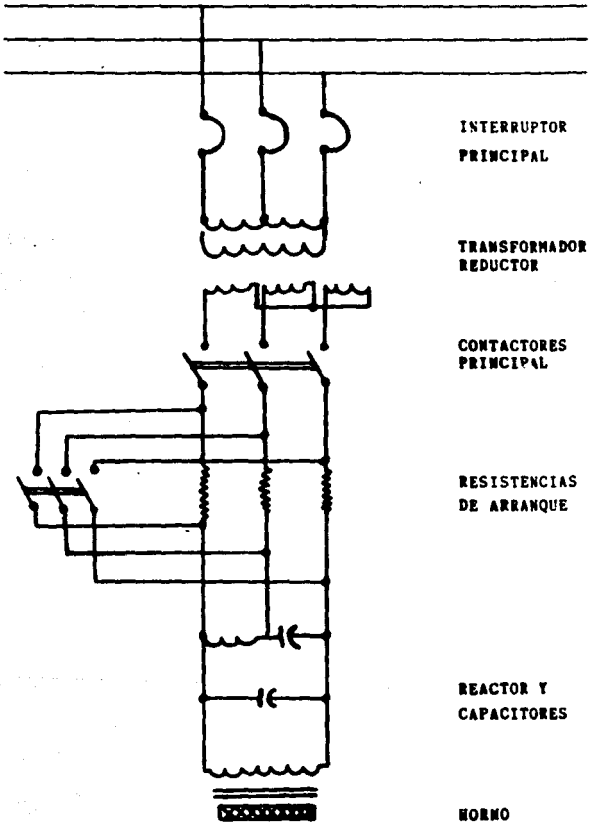
El diagrama mostrado en la figura I-3 muestra el circuito básico de potencia, los componentes principales son:

I-2 A).- Interruptor Principal, este tiene dos propósitos:

- Protección contra cortos circuitos.

- Seccionamiento de todo el sistema para aislarlo de las líneas de alimentación.

FIGURA I-3



- I-2 B).- Transformador reductor, para acoplar el sistema, de las líneas de alta tensión hasta la tensión de -- alimentación dependiendo de la capacidad del horno.
- I-2 C).- Contactor principal, conecta y desconecta la alimentación del horno.
- I-2 D).- Contactor de puenteo de las resistencias de arranque, aproximadamente un segundo después de haber cerrado el contactor principal, el sistema alcanza su condición estable. Al cerrar el contactor de puenteo, -- este corto - circuito las resistencias de arranque - alimentándose el horno a su tensión nominal.
- I-2 E).- Resistencia de arranque, limita la corriente inicial de arranque.
- I-2 F).- Red de balanceo de fases, en tanto que la alimentación es un circuito trifásico, el horno en tanto presente una carga monofásica, por lo tanto se requiere un sistema para alimentar estos dos circuitos.

Para este efecto, se emplea un sistema de balanceo de - fases, consistente de un reactor y de un banco de capacitores. Su efecto eléctrico es el de dividir la carga del horno simétricamente entre las tres fases.

I-2 G).- Autotransformador, con cambiador de derivaciones sin carga. Su función es la de regular la potencia del horno por medio de la variación de su -- tensión de alimentación.

Se requiere este sistema debido a que la absorción de potencia por el horno, varía a través de la vida del recubrimiento del crisol. Están previstas dos variaciones de baja tensión. - Estos niveles de potencia se emplean cuando el - horno es puesto en "MANTENIMIENTO" por un largo período o, durante el proceso de sinterizado de un nuevo recubrimiento.

I-2 H).- Capacitores de compensación, la bobina del Horno representa una carga Inductiva, la cual varía:

- Con la cantidad de metal en el horno.
- Con las condiciones del recubrimiento.

Para compensar y corregir esto, se provee de un banco de capacitores. Este está conectado en paralelo con la bobina del horno para compensar la reactancia Inductiva de la bobina. La totalidad de este banco de capacitores no está conectado permanentemente, sino que la mayor parte de él está dividido en secciones, las cuales

se conectan al circuito por medio de contactores especiales. En esta forma es posible conectar exactamente la cantidad correcta de capacidad (Kvar) requerida para mantener el factor de potencia cercano a la unidad. Esto se efectúa automáticamente durante la operación del horno.

I-2 i).- Interconexión entre la fuente de potencia y el horno,

ésta se efectúa por medio de cables de potencia enfriados por agua. En el extremo del horno, estos cables se conectan directamente a la bobina de Inducción, en el extremo de la alimentación, se conectan a tubos - barra enfriados por agua.

HORNO

II- 1.- Componentes Principales del Horno

El Horno de Inducción se compone de las siguientes partes - principales:

Soporte de Volteo, Cuerpo de Horno, Tapa consu Mecánismo y Cilindros para su accionamiento, Bobina de Inducción, Núcleos - Magnéticos, Cilindros de Volteo, Refractarios.

II-1 a).- Armazón de Volteo. Este armazón va anclado a la cimentación y es de construcción pesada, ya que como su nombre - lo indica soporta el horno completo y sirve de apoyo para el -- volteo del mismo.

El armazón tiene en su parte frontal dos columnas, las cuales tienen en su parte superior dos chumaceras con rodamientos - a rotula que son los que sirven de centro de giro del horno para el vaciado del metal; Estas columnas, están soportadas en su -- parte inferior de los cilindros de volteo y además se encuentran las anclas que fijan al horno a la cimentación, estas vigas y - columnas están unidas entre si por otros miembros estructurales para darle a todo el soporte una mayor rigidez.

Este armazón de volteo tiene al frente unas láminas de acero que sirven para proteger al cuerpo del horno de salpicaduras del metal fundido.

El armazón de volteo está diseñado para resistir los esfuerzos mecánicos que se producen durante el volteo del horno.

II-1 b).- Cuerpo del Horno. El cuerpo del horno completamente ensamblado consiste de las siguientes partes: Estructura de -- Acero, Núcleos Magnéticos (Yugos), Bobina, Anillos de Concreto, -- Crisol, Aislamientos y Terminales de la bobina, Tapa del Horno -- con su mecanismo y Cilindros Hidráulicos para su accionamiento.

La estructura de acero la componen varias columnas de vigueta, unidas entre sí, tanto en su parte inferior como en la superior, los anillos formados de placa de acero, en la parte inferior, además tiene un piso abombado torisférico para alojar el -- concreto refractario.

En el anillo inferior se encuentran localizados los soportes de la bobina, los cuales tienen una serie de roldanas cónicas que actúan como muelles para absorber las dilataciones de la bobina, -- este soporte, está hecho de material antimagnético ya que se encuentra expuesto al campo magnético que produce la bobina.

Las columnas tienen integrados los apoyos de los tornillos -- que aprietan a los Núcleos Magnéticos (Yugos) contra la bobina -- aquí se encuentra también con roldanas cónicas para asegurar el -- apriete constante de los tornillos.

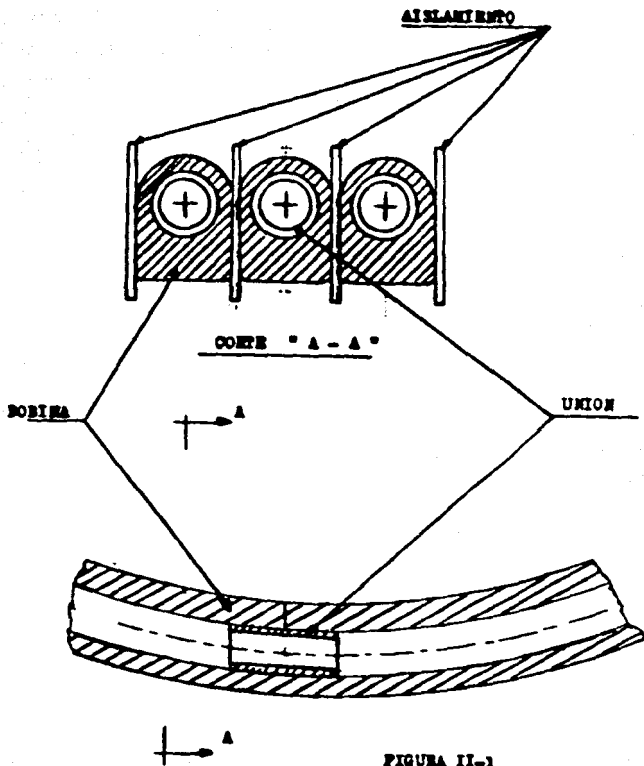


FIGURA II-1

AISLAMIENTO Y UNION TIPO EN BOBINA

II-1 b-).- Núcleos Magnéticos. Los núcleos magnéticos están formados por laminillas de acero al silicio de grano orientado, las laminillas están colocadas de tal manera que tienen el radio que conforma el aislante de la bobina; Los núcleos están aislados con isónica y asbesto.

Los Nucleos Magnéticos tienen funciones:

- 1o.- Guiar o Concentrar las líneas de fuerza del campo magnético por el exterior del crisol para evitar pérdidas.
- 2o.- Dar a la bobina y al crisol un soporte mecánico en el sentido radial.

II-1 b-2).- Bobina. La bobina y el crisol forman prácticamente el corazón del horno.

La bobina está formada por un tubo extruido de sección especial, de tal manera que puede ser eficientemente enfriada por agua.

Entre espira y espira de la bobina se encuentran segmentos aislantes convenientemente separados para asegurar la salida de la humedad del refractario, lo que permite un rápido y uniforme sinterizado del crisol como se ilustra en la figura II-1.

Los anillos de concreto soportan la bobina en sentido vertical.

Los aislantes de la bobina son cartón, asbesto y cinta de vidrio.

Las terminales de la bobina están preparadas para recibir los cables de potencia que son enfriados por agua. Tanto los cables como la bobina, tienen en sus extremos bridas de bronce - selladas para no permitir la salida del agua y asegurar buen - contacto para la transmisión de la corriente eléctrica.

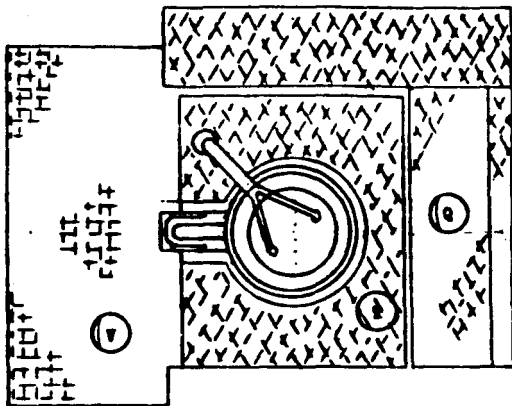
II-1 B-3).- Tapa de Horno. Esta tapa está hecha de placa de acero con forma abombada torisférica y en su interior colocado el concreto refractario, en la parte superior de la tapa se encuentran soldadas unas orejas de donde se sujeta a un brazo - que es el que la suspende y la mueve según sea el requerimiento este brazo, actúa como una palanca con apoyo en el centro, en - el otro extremo de la palanca o brazo actúa el mecanismo para - proporcionarle movimiento. Como se ilustra en la figura II-2.

Este mecanismo de accionamiento de la tapa consta de dos cilindros hidráulicos, uno horizontal y el otro vertical, el cilindro vertical levanta la tapa y el horizontal la gira.

La tapa abre lo suficiente para dejar completamente libre el crisol para las maniobras de carga del horno.

El cilindro horizontal tiene al final de la carrera un amortiguamiento que hace que al empezar y al finalizar el movi-

miento no tenga acciones bruscas, ya que éstas producirían grietas en el refractario de la tapa.



- Q PLATAFORMA TRASERA GIRATORIA
- T CUBIERTA DEL HORNO Y REFRACTARIO
- V CUBIERTA DEL FOSO DE GIRO DEL HORNO Y DE VACIADO.

FIGURA II-2 ENSAMBLE DEL HORNO

II-1 B-4).- Cilindros de Volteo. Los cilindros de volteo tienen como fin voltear el horno para vaciar la carga una vez terminado el ciclo de fusión.

Estos cilindros son dos y se encuentran a los lados del cuerpo del horno, tienen en sus extremos rodamientos de rótula, son muy robustos, ya que el volteo del horno con todo el material fundido representa grandes cargas y trabajo pesado y continuo.

Para voltear se aplica presión hidráulica a los cilindros, el peso propio del horno permite el regreso a su posición original. Estos cilindros tienen un amortiguamiento al final de la carrera, ya que los impactos que se producirían al no existir este amortiguamiento repercutirían directamente en los refractarios.

Los cilindros de volteo y de accionamiento de la tapa son accionados desde un pupitre de operaciones colocado en la parte superior de la plataforma principal donde se domina la trayectoria (principal) del metal al vaciar el horno.

II-1 B-5).- Cables. El horno cuenta también con cables-alimentadores de corriente eléctrica, son huecos con el objeto de conducir el agua de enfriamiento de la bobina y flexibles-

para permitir el volteo del horno. Estos cables están diseñados para soportar la presión del agua de enfriamiento.

II-1 B-6).- Sistema de tierra. El marco del horno debe ser puesto a tierra de una manera apropiada. Todas las herramientas como descorriadores, palas, etc., que se usen cuando se trabaja el horno, deberán ser puestas a tierra.

III.- SELECCION DEL TIPO DE REVESTIMIENTO.

La selección del material del refractario está determinada por los requerimientos metalúrgicos.

Los refractarios usados en los Hornos de Inducción son óxidos de minerales, tales como Silicio, Magnesio o Aluminio.

Dependiendo el tipo de óxido el refractario será a base de Sílice (SiO_2), Alúmina (Al_2O_3) ó Magnesio (MgO) desde el punto de vista químico, estos refractarios son clasificados como Ácidos Neutros y Básicos respectivamente.

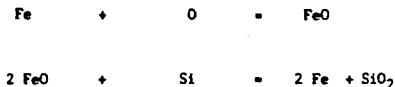
Es de vital importancia la utilización del revestimiento adecuado para el tipo de metal que se está fundiendo, es decir que si se va a fundir un material que produzca una escoria ácida se deberá utilizar un revestimiento ácido para evitar los ataques químicos de la escoria al refractario, si durante la fusión se forma una escoria básica el revestimiento deberá ser básico.

Al seleccionar el material refractario adecuado se asegura una mayor vida útil del mismo, también se reduce la posibilidad de tener problemas con las inclusiones no metálicas.

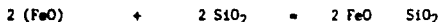
III-2.-Reacciones Químicas que Influyen en la Vida Útil del

Revestimiento.

Debido a la solubilidad del oxígeno del aire en el baño metálico y al oxígeno que entra con la carga (carga y/b húmeda), se tiene en un principio la oxidación del Fe y la reducción del FeO, según las siguientes reacciones:



Posteriormente y como consecuencia del contacto físico entre el material refractario y el baño metálico bajo condiciones atmosféricas normales tendremos que la Sílice (en el caso del refractario ácido) del revestimiento reacciona principalmente con el óxido de Hierro del baño metálico para formar Fayalita, según:



p.f. aprox. 1205°C

Esta reacción es muy importante en la vida promedio útil del refractario, ya que el Silicato que se forma tiene un punto de fusión más bajo, debido a lo cual la duración del revestimiento es menor.

III-3.- Importancia del Equilibrio de SiO₂ y C.

Como ya se mencionó la vida del revestimiento es de gran importancia para el área de fusión por razones económicas y de propagación. La vida del refractario depende de la composición del metal, de la temperatura - promedio de trabajo y de la selección de la materia prima.

Es un hecho que tienen lugar reacciones químicas entre el baño metálico y el revestimiento. La composición del metal (Fe, Si, C) el revestimiento (SiO₂), la escoria (FeO) y la atmósfera del horno son los principales factores que influyen en las reacciones químicas.

A una temperatura elevada el oxígeno presente en el metal se combina con el carbono del metal formado CO en forma de gas el cuál escapa a través de la superficie del baño metálico. Durante el proceso de fabricación el oxígeno de la Sílice del revestimiento reacciona también con el carbono lo que ocasiona una reducción de la Sílice, según ecuación:



A bajas temperaturas el Silicio en el metal, se oxida con el oxígeno presente en el baño y produce SiO₂, esta SiO₂ podría aparecer como un pared delgada en la parte superior del baño o adherirse al crisol y aumentar - el espesor de la pared disminuyéndose con esto la absorción del factor - de potencia.

La temperatura donde el Si, C, SiO₂ están en un balance químico es llamado equilibrio. Este equilibrio depende principalmente del contenido de Si y C en el metal la figura III-1 muestra el equilibrio isotérmico de la SiO₂ y el carbono.

Cualquier reacción química es una función del tiempo y la temperatura. El diagrama de equilibrio muestra que la temperatura de vaciado deberá estar siempre sobre el equilibrio. El objetivo ahora es conseguir una temperatura promedio tan baja como sea posible. Esto puede ser hecho mediante la selección adecuada del tap del horno y tipo de carga.

En México la mayoría de las fundiciones que usan los hornos de Inducción sin núcleo, funden en ellos diferentes tipos de Hierros, como consecuencia de esto, el uso de la Sílice es muy generalizado.

III-4.- Las Ventajas de la Sílice-Cuarzita:

- 1.- Material Económico.
- 2.- Soporta Cambios de Temperatura.
- 3.- Proceso Simple de Apisonado.
- 4.- Ciclo de Sinterización corto debido al apisonado seco.
- 5.- Lenta Transformación, permitiendo Expansión vertical sin esfuerzos en el recubrimiento.

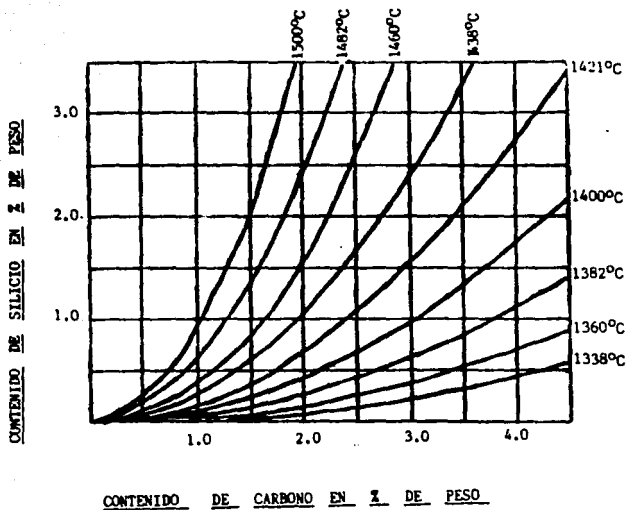


FIGURA-III - 1

I S O T E R M I C O
S I L I C I O C A R B O N O

6.- Efecto - Auto Cicatrizante, que reduce fugas de metal que se producen en las endaduras menores.

Los granos de Sílice forman una masa monolítica debido a la acción de Sinterización que tiene lugar entre el ácido bórico y la Cuarzita Fina.

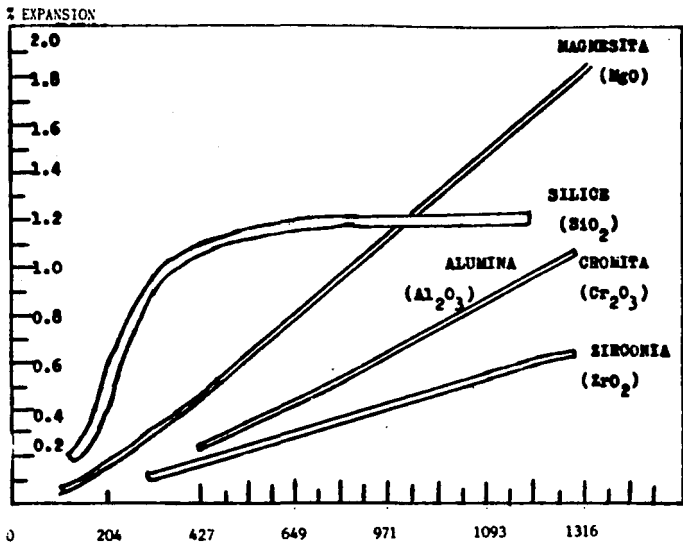
El porcentaje de adición del ácido bórico depende de la temperatura del metal durante la operación del horno y variará con la naturaleza y composición de los granos de cuarzita.

La Sílice tiene una curva de expansión única. Esta característica permite enfriar el crisol y recalentarlo después con la seguridad de que las grietas de contracción se cerrarán antes de que el hierro alcance su temperatura de fusión. La curva de expansión lineal de varios refractarios está ilustrada en la figura III-2.

FIGURA III.-.- EXPANSION LINEAL DE VARIOS REFRACTARIOS

LA SILICE TIENE UNA CURVA DE EXPANSION

LINEAL UNICA



III-5.- CRISOL.

Este es el refractario más importante en el horno, debido a que es el que contiene el metal fundido en el horno y por esto es al que mayor cuidado debemos prestar, ya que la producción del horno depende en gran parte del estado del crisol.

Las características que debe cubrir un crisol son las siguientes:

a) Las paredes deben ser lo más delgadas posibles, las paredes gruesas impiden que el flujo magnético se cierre en la carga con lo cual se prolonga el tiempo de colada y se aumenta el consumo de energía eléctrica.

b) El revestimiento no debe ser conductor, de otra manera se producirían cortos circuitos.

c) Debe ser suficientemente resistente al calor para que resista la temperatura de fusión de distintos productos.

d) El revestimiento debe resistir los efectos de la escoria durante la fusión. Para esto se debe seleccionar el refractario adecuado para un proceso dado, ya que con esto aseguramos una mejor vida útil del refractario y a la vez reducimos el riesgo de tener en un momento inclusiones no metálicas.

e) Debe ser mecánicamente resistente, ya que muchas veces durante la fusión es necesario golpear la carga con el objeto de acelerar la fusión y para evitar que la carga se "PUENTEE" al soldarse entre sí.

f) Los cambios de volumen del material refractario deben ser mínimos, el revestimiento trabaja en condiciones muy difíciles. Las paredes delgadas están sometidas a grandes esfuerzos por un elevado gradiente de temperatura.

Mientras que la superficie interna del crisol tiene la temperatura del metal fundido. La superficie externa del crisol está en contacto con la bobina enfriadora con agua.

g) La reparación y cambio de revestimiento debe ser posible sin que se presente ningún obstáculo.

El revestimiento se desgasta durante el trabajo y las paredes se debilitan, con esto se disminuye la distancia entre la bobina y la carga, mejorándose así la unión magnética.

Para poder producir un crisol monolítico con masa de material compacto de Sílice, es necesario que el material de cuarzita sea sometido a un proceso de sinterizado.

Debido a que la temperatura de sinterizado de la Sílice es relativamente alta, es necesario agregar un agente sinterizador para reducir la temperatura de fusión. Esto se lleva a cabo por adición del ácido bórico, por medio de fusión de las partículas pequeñas de la cuarzita con el ácido bórico se forma una masa sólida. Cuando el ácido bórico alcanza la temperatura de fusión (575°C), se forman silicatos de boro, los cuales incrementan su contenido de sílice con el incremento de temperatura.

Habrà una solidificación gradual si solo las partículas de sílice se funden. Un aumento de temperatura ocasionará la formación de una estructura con las partículas de la sílice más grandes. Dicha estructura no permite el movimiento de los granos.

Las partículas grandes tendrán sus superficies sólidamente fundidas por las partículas más pequeñas de sílice. Cuando esto ocurre, la sílice alcanza su más alta densidad y su más bajo grado de porosidad el cuál -- puede verificarse o probarse por la cantidad de agua absorción.

Durante el proceso de sinterizado , el ácido bórico actúa como un -- agente catalizador el cuál promueve un rápido cambio en la cuarzita en varias fases polimorfas cristalinas.

III-6.- RECUBRIMIENTO PARA LA BOBINA.

La masa de la bobina es una mezcla de 30 % de cemento de alúmina y - 70% de Sílice. Revuelto con agua se hace una mezcla y con una paleta se cubre la superficie de la bobina del horno.

La masa sirve para proteger la bobina del metal que se pueda colar y de la alta temperatura del crisol.

Dependiendo de la operación del horno y de la cantidad de metal que se coló, puede suceder que al cabo de un año de vida de la masa, ésta requiera de una reparación.

El material con que se hace la masa para la bobina, una vez que se a

mezclado con el agua, se seca rápidamente, por esto que se deben mezclar pequeñas cantidades y utilizarlas rápidamente, emparejando la superficie con una regla de aluminio de tamaño conveniente.

El material sílice, usado frecuentemente en el crisol puede ser preparado con anterioridad.

III-7.- RECUBRIMIENTO DE ASBESTO

El propósito del recubrimiento de asbesto, colocado entre la masa de bobina y el crisol, es lograr un buen aislamiento térmico y procurar espacio para la expansión del crisol.

III-8.- TAPA DEL HORNO.

El diseño de la estructura de acero de la tapa del horno está hecho para utilizar refractario apisonado o de concreto, ya que tiene convenientemente dispuestas una serie de anclas para sostener el concreto refractario.

III-9.- PICO DE COLADA.

Se puede obtener una cierta variedad de refractarios para altas temperaturas y con resistencia física bastante aceptable, este tipo de refractario se recomienda para recubrir el pico de colada.

Es preferible utilizar un refractario plástico, ya que su aplicación es más fácil separar la escoria que se adhiere al pico de colada.

III-10 PLATAFORMA.

La plataforma del Horno de Inducción está expuesta al calor proveniente directamente de la parte superior del crisol de la tapa al abrir está para cargar el horno y de las ollas de carga cuando la carga está precalentada. Estas circunstancias hicieron que usará un piso refractario en la plataforma, este refractario no es de tanta calidad como se requiere en las otras partes del horno, pero debe ser resistente a impactos.

IV.- SINTERIZADO DEL CRISOL.

IV-1.- INTRODUCCION. Se requiere una elevación gradual de temperatura de $50^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ por hora. La forma de apisonado como se muestra en las figuras IV-1 a IV-4, y la carga inicial se funden juntas gradualmente mientras que la temperatura aumenta a un mínimo de 1500°C .

El aumento gradual de temperatura ayuda a evitar:

- Esfuerzos excesivos debidos a trasformaciones rápidas.
- Choques térmicos.
- Presión de vapor causado por el agua en la : Sílice, el ácido bórico y el refractario.

La temperatura puede aumentarse paulatinamente, pero no debe permitirse que descienda.

Los hornos equipados con un monitor de tierra, mostrando la resistencia a tierra durante la operación deberá ser operado de acuerdo a las instrucciones especiales para el monitor como sigue: En la tabla IV-1.

Resistencia a Tierra del Horno (ohms)	Monitor de Resistencia a Tierra Escala de Lectura	Voltaje Máx. Permisible del Horno
50	5	no mayor 750V
500	35	Voltaje Nominal
1000	53,5	" "
3000	87	" "
5000	100	" "
Arriba 5000	Arriba 100	" "

FIGURA IV-1.- CAMBIO DE REFRACTARIO PARA HORNO DE 4.5 TONELADAS

PROCESO A SEGUIR.

- 1.- Se agregan 50 Kgrs. de Sílice sueca (Minro-Sil Ram 1001 100% puro) + 181.440 Kgrs. (4bultos) de Minro-Sil, se apisona 20 min. a continuación se agrega 181.440 Kgrs. (4bultos) de Minro-Sil y apisonado 20 min. (total 412.88 Kgs.).

Nota. La revoltura que lleva el fondo de altura debe ser de 20 a 21 cm., esto es muy importante.

- 2.- Procederá a nivelar de piso.

- 3.- Hecho esto, se debe colocar el cilindro ya limpio lo más centrado posible colocado dentro un anillo sólido, para que no se mueva.

- 4.- Durante 5 min. se apisona con pisonetas planas (puntas) para hacer irregular la parte superior del fondo, desde donde comienzan las paredes.

- 5.- Continuar paredes.

No.Bote	Apisonado
1-40Kgs.	x 15 min.
2-40Kgs.	x 15 min.
"	" "
"	" "
10-40Kgs.	x 10 min.
11-40Kgs.	x 10 min.
"	" "

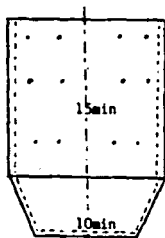


FIGURA IV-2.- CAMBIO DE REFRACTARIO PARA HORNO DE 8 TONELADAS.

PROCESO A SEGUIR PARA APISONAR EL REFRACTARIO.

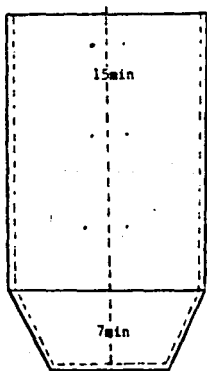
1.- Se agregan 100 Kgs. de Sílice sueca + 200 Kgs. de Minro-Sil pizonando 20 min., después se agrega + 250 Kgs. de Minro-Sil pizonando 20 min. (total 550 Kgs.).

2.- Con lo cuál se procederá a nivelar el fondo o piso.

3.- Hecho ésto deberá de colocar el cilindro lo más centrado posible, metiendo dentro del cilindro un anillo sólido, para que no se mueva el cilindro, usando Gage y cuñas.

4.- Posteriormente se picará 5min. con unas puntas, para luego iniciar la hechura de las paredes.

5.- Continuar paredes.



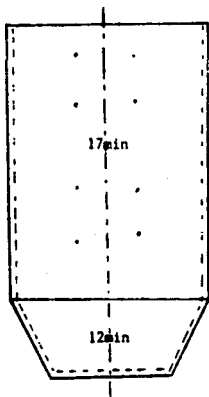
No.Bote	Kgs.	Tiempo
		Apisonado
1	40	15 min.
2	40	15 min.
3	"	"
4	"	"
"	"	"
10	40	7 min.
11	40	7 min.
12	40	7 min.
"	"	"
"	"	"

FIGURA IV-3.- CAMBIO DE REFRACTARIO PARA HORNO DE 13.5 TONELADAS.

PROCESO A SEGUIR.

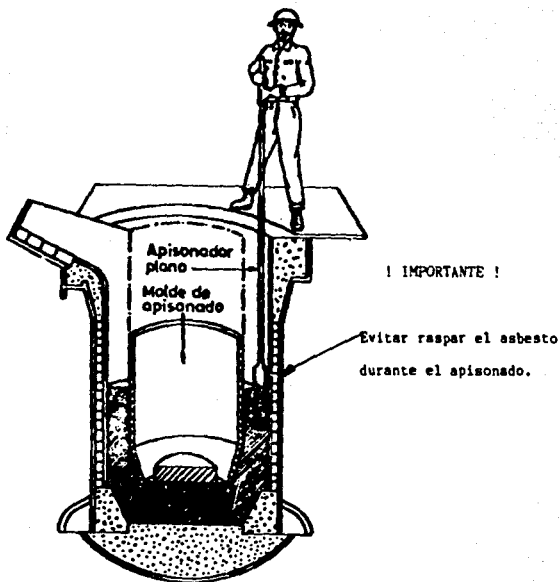
- 1.- Se agregan 200 Kgs. de Sílice pura + 222Kgs. de Minro-Sil (7 bultos) apisonando 20min., a continuación se agregan otros 368 Kgs. de Minro-Sil (5bultos) apisonando 20min. (total piso 890Kgs.). se procederá a nivelar el fondo o piso.
- 2.- Hecho ésto se deberá colocar el cilindro lo más centrado posible colocando un anillo sólido con el fin de que no se mueva, usando Gage y Cuña.

3.- Hacer paredes.



No.Bote	Kgs.	Tiempo Apisonado
1	3-40	17min.
2	3-40	17min.
3	3-40	17min.
4	"	"
5	"	"
"	"	"
"	"	"
8	2-40	12min.
9	2-40	12min.
10	2-40	12min.
11	2-40	12min.
"	"	"
"	"	"

FIGURA IV-4.



Apisonado Manual.

Aplicador del apisonador plano.

Durante el proceso de sinterizado, el indicador rojo del monitor de tierra deberá ser colocado de manera que se lea en la escala aproximadamente 5. El voltaje puede ser aumentado solamente si la resistencia se ha incrementado de acuerdo con la tabla anterior.

Una vez que el voltaje a sido aumentado, el indicador rojo deberá moverse paralelamente. Si la resistencia no aumenta, como se lee según el indicador negro de nuestro monitor de tierra integrado en nuestro horno de Inducción. El sinterizado debe permanecer al mismo voltaje hasta que haya un incremento. Coloque el indicador rojo en la división 50 a 75 para operación normal una vez que el horno este seco.

IV-2.- EXISTEN DOS METODOS BASICOS DE SINTERIZADO.

Uno con combustibles naturales (gas o quemadores de aceite) o abasteciendo de potencia al horno (Inducción). En el caso de que los quemadores sean insuficientes, se podrá ayudar algunas veces calentando por inducción la parte más baja del crisol.

IV-2 a).- SINTERIZADO POR INDUCCION.

i) Limpiar de partículas de sílice la forma de apisonado. El bloque de arranque que es un cilindro sin perforación en el centro, usado como peso durante el apisonado, permanece contrado en la forma.

ii) Bajar y centrar los bloques normales adicionales de arranque hasta alcanzar la altura total de la bobina.

iii) Cerrar la tapa, teniendo cuidado de no romper la cavidad hecha para el pico de colada.

iv) Conectar la potencia del horno elevando el voltaje lo más lentamente posible.

Ajuste a obtener un aumento de temperatura hasta de 100°C por hora en la forma de apisonado la cantidad de energía requerida depende del tamaño del horno y del espesor de la forma de apisonado de la pared. Por ejemplo, hornos de aproximadamente 3 a 10 toneladas de capacidad del crisol, requieren cerca de 20 KWH durante la primera hora, 40 KWH en la segunda hora, 60 KWH en la tercera hora y así sucesivamente. Hornos con capacidades del crisol de 25 toneladas, requieren de 50 a 100 KWH en la primera hora y de 30 a 50 KWH posteriormente en las siguientes horas. Todo esto se lleva de acuerdo con las gráficas presentadas en las figuras IV-5 a IV-7 y de las tablas IV-2 a IV-4.

v) Mantenga la temperatura del agua de enfriamiento de la bobina del horno arriba de la temperatura ambiente.

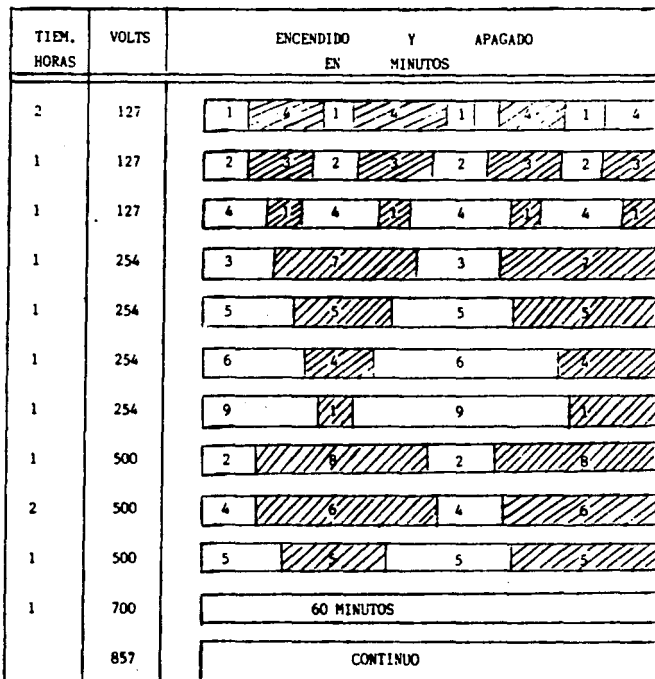
vi) Puede ser necesario conectar y desconectar la energía al horno, dependiendo de los taps disponibles en el transformador del horno, este programa cíclico está indicado en las tablas IV-2 a IV-4 anteriores.

vii) Recargar con material sólido poco antes de que se fundan los bloques superiores.

viii) Remover la escoria cuando el horno este lleno.

FIGURA IV-5 GRAFICA DE SINTERIZADO

HORNO 4.5 TONS.



 MINUTOS
ENCENDIDO

MINUTOS 
APAGADO

G R A F I C A D E S I N T E R I Z A D O

H O R N O 8 T O N S

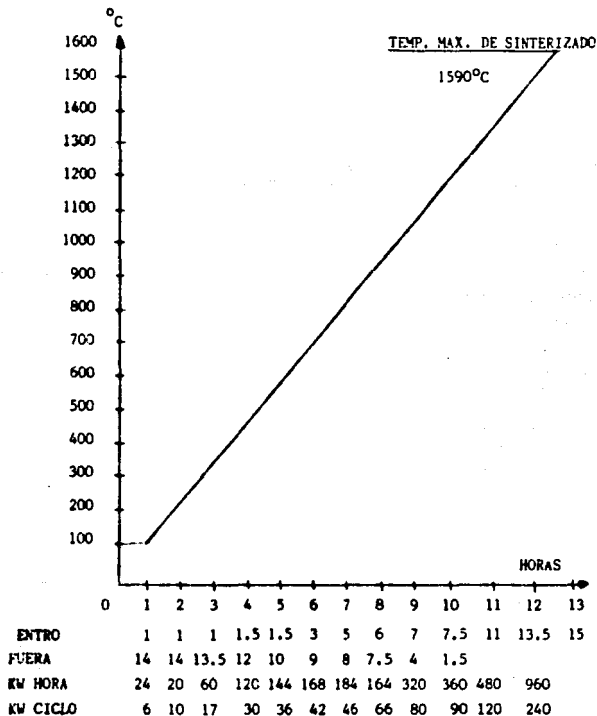
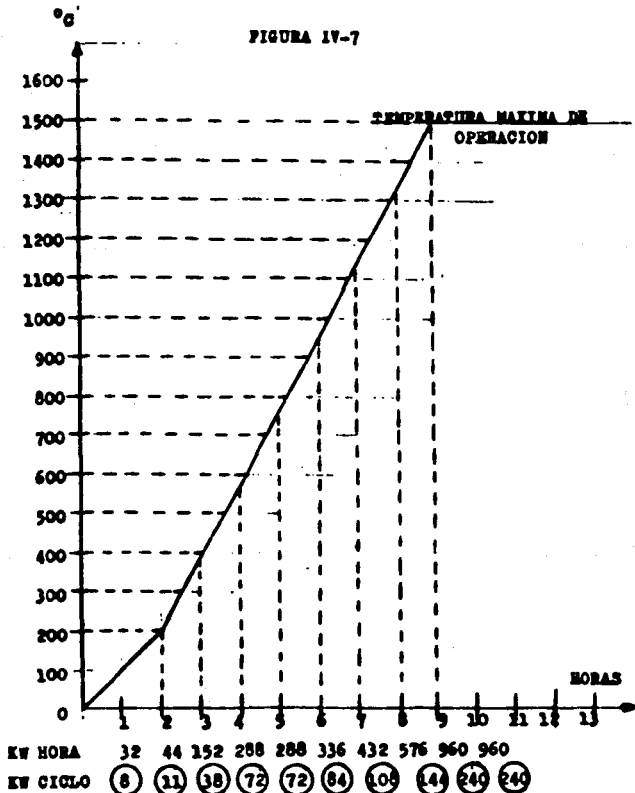


FIGURA IV-6

A B R A M O U R E E N F R I O
H O R N O S . Q . T O N E S

FIGURA IV-7



H O R N O D E I N D U C C I O N 3 . 5 T O N .

B R O W N B O V E R I

TAPS. EN OPERACION	REGISTRADOR GRAFICO KWH \pm 3%	CORRIENTE DEL HORNO EN AMP. \pm 3%	VOLTAJE EN TAPS. TRAB. \pm 3%
1	20	0.155	127
2	76	0.304	250
3	304	0.608	500
4	596	0.852	700
5	894	1.045	857
6	1217	1.217	1000
7	1375	1.292	1052
8	1500	1.351	1111

TABLA IV-2

H O R N O D E I N D U C C I O N 8 T O N.
B R O W N B O V E R I

TAPS. EN OPERACION	REGISTRADOR GRAFICO KWH +- 3%	CORRIENTE DEL HORNO EN AMP. +- 3%	VOLTAJE EN TAPS. TRAB. +- 3%
1	323	0.695	466
2	661	0.993	666
3	1270	1.382	926
4	1444	1.467	984
5	1619	1.554	1042
6	1710	1.597	1071
7	1804	1.640	1100
8	2000	1.727	1158

TABLA IV-3

H O R N O D E I N D U C C I O N 13.5 T O N.
B R O W N B O V E R I

TAPS. EN OPERACION	REGISTRADOR GRAFICO KWH +- 3%	CORRIENTE DEL HORNO EN AMP. +- 3%	VOLTAJE EN TAPS. TRAB. +- 3%
1	259	0.345	750
2	459	0.459	1000
3	1035	0.690	1500
4	2027	0.965	2100
5	3227	1.218	2650
6	3476	1.264	2750
7	3733	1.309	2850
8	4000	1.355	2950

TABLA IV-4

- ix) Elevar la temperatura del baño no excediendo aproximadamente la mitad de operación del horno hasta la temperatura mínima de sinterizado que es de 1500°C . Cuidando el monitor de tierra.
- x) Mantenga la temperatura de sinterizado por una hora.

IV-3.- SINTERIZADO CON COMBUSTIBLE NATURAL.

- i) El bloque de arranque del fondo, usado como peso durante el apisonado, permanece en su lugar, no deberán agregarse bloques adicionales ni carga sólida.
- ii) Para un mejor control de la temperatura, se recomienda que un termo-par sea adherido al block de arranque y otro a la mitad de la pared de la forma de apisonado. Conectese a un registrador de temperatura y pruebe el funcionamiento. Como se muestra en la figura IV-8.
- iii) Cierre la tapa del horno dejandola 10 cm. abierta.
- iv) Centre la boquilla del quemador de 10 a 30 cm. arriba de la apertura de inspección de la tapa del horno.
- v) Los hornos con capacidades de crisol hasta de 23 toneladas deberán calentarse hasta alrededor de 1000°C , en 10 horas. Quite el quemador de gas y llene el crisol hasta abajo del pico de colada con hierro fundido de entre 1300 a 1400°C , con un mínimo de interrupción, quite la escoria.

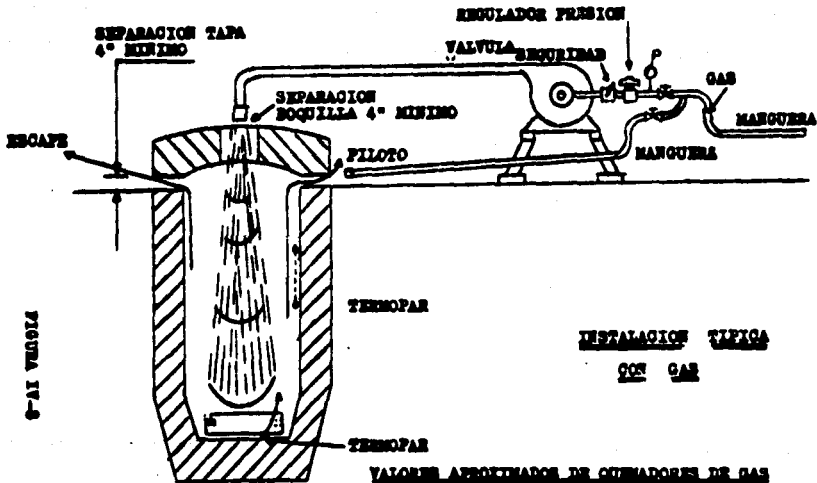


FIGURA 11-2

VALORES APROXIMADOS DE CUMADORES DE GAS

IT 5	1.2×10^6 BTU/H	300,000 KCAL/H
IT 6	1.6×10^6 BTU/H	400,000 KCAL/H
IT 7	3×10^6 BTU/H	750,000 KCAL/H
IT 8	3×10^6 BTU/H	750,000 KCAL/H
IT 9	4×10^6 BTU/H	1,000,000 KCAL/H
IT 11	5×10^6 BTU/H	1,000,000 KCAL/H

- vi) Conecte la potencia del horno en el tap más bajo posible. Revisando los instrumentos eléctricos, así como el monitor de tierra. Eleve el voltaje a un medio del voltaje de operación. Llevando la temperatura del hierro fundido a la temperatura de sinterizado.
- vii) Mantener la temperatura del agua de enfriamiento de la bobina del horno arriba de la temperatura ambiente.
- viii) Si la temperatura de operación es superior a 1500°C el sinterizado se hará a la temperatura de operación.
- xv) Mantenga la temperatura de sinterizado por una hora.

IV-4.- PROCEDIMIENTO DE MANTENER TEMPERATURA.

Para evitar las pérdidas de carbón en el metal o las pérdidas de sílice en el revestimiento, es muy importante en caso de mantener el metal por un periodo largo seleccionar el mantenimiento de temperatura apropiado.

La gráfica de los isotérmicos silicio carbono mostrada en el capítulo III de la figura III-1 nos da la temperatura de mantenimiento con referencia al contenido de silicio y carbono en el metal. Como se indica en el ejemplo siguiente.

Análisis del hierro Silicio = 1.5% Carbono = 2.0% utilizando la gráfica, la temperatura deberá ser 1460°C .

V.- EXPERIENCIAS DE REFRACTARIOS EN FUSION AL AIRE
EN HORNOS DE INDUCCION

La producción primaria de aleaciones en hornos de Inducción sin núcleo representa uno de los mayores retos por la dificultad del refractario en la industria hoy en día.

Los requerimientos en el servicio del refractario incluye la habilidad para resistir; temperaturas desde 1315 °C hasta 1735 °C considerando su ciclo térmico por ornada fundida sobre un turno de operación, una amplia variedad química de metales, y numerosas otras variables.

Estas condiciones de operación fluctúan claramente desafiando la optimización de la vida del refractario, en la industria de la fundición de aceros tiene muy limitada habilidad para alterar esta situación, sin embargo para mirar el mayor compromiso de las propiedades del refractario tratando con estas condiciones.

V-2.- PROPIEDADES FISICAS DEL REFRACTARIO.

Hay naturalmente mucho menores variaciones en varios grupos de refractarios, haciendo mención a cada tipo específico impracticable. Sin embargo, las cinco categorías genéricas listadas en la tabla V-1 son de cuidado para compuestos arriba de 90% de mezclas de apisonado para fusión de aceros ó aleaciones a alta temperatura en los hornos de Inducción sin núcleo.

Referido a la tabla V-1 frecuentemente el análisis químico y propiedades físicas de cada refractario listado provee de principales criterios para seleccionar el refractario propio para cada aplicación.

Una pieza adicional de datos necesarios está suministrada en la figura III-2 del capítulo III. Gráficamente ilustra las características de expansión térmica de estos cinco grupos de refractarios. La expansión térmica y la expansión de sobrecalentamiento del baño críticamente extremadas desde una proporción de expansión alta de varias condiciones del ciclo térmico, tales como un turno de operación puede frecuentemente causar fallas en el refractario del crisol por agrietamiento ó descascarado. (por fractura ó rompimiento o choque térmico).

El ejemplo más obvio de esta pobre habilidad de ciclo térmico es evidente en los materiales a base de magnesita, como los indicados por su positivo cambio lineal y su alta relación de expansión en el baño de la figura III-2 del capítulo III y la tabla VI-1 de este capítulo.

Despreciando su relativo bajo costo y su razonable buena resistencia a la penetración en operaciones de fusión continuas su susceptibilidad por el agrietamiento sobre el enfriamiento y sobre calentamiento, frecuentemente eliminando consideraciones de altas mezclas de magnesita para las operaciones de un turno dado.

COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS CINCO

MEJORES GRUPOS DE REFRACTARIOS PARA ACEROS Y HIERROS COLADOS

TABLA V-1	A	B	C	D	E
		SiO ₂	ó Compues-		
		MgO	ó ton Qui-	Al ₂ O ₃	
<u>Química</u>	Zirconia	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO
Al ₂ O ₃		94-96	90-94	88	16
SiO ₂	35.0	0.5	4-5	0.2	1.6
Cr ₂ O ₃				10	
MgO		4.0			81
ZrO ₂	64.0				
Fe ₂ O ₃			0.1	0.1	0.08
P ₂ O ₅			1.6	1.0	
<u>Máx. Servicio</u>					
°C	1816	1871	1816	1816	1871
<u>Densidad de</u> <u>Bulto gm/cc</u> <u>ASTM C-20</u>	3.6	2.78	3.2	3.27	2.75
<u>Porosidad</u> <u>Aparente %</u> <u>ASTM C-20</u>	19-21	22-24	9-11	13-15	
<u>Cambio de (Ex-</u> <u>pansión) Lineal</u>					
538°C (1000°F)	0%	-0.01	-0.03		
816 (1500)	+0.03	+0.03	-0.01		
1093 (2000)	-0.06	+0.25	-0.04		
1371 (2500)	-0.2	+0.90	-0.19	+0.24	
1566 (2850)	-0.6	+2.40	-0.03	+0.17	+0.20
1649 (3000)	-1.25	+1.50	-0.09	+0.20	+0.60
<u>Módulo de Ruptura</u> <u>PSY ASTM C-133</u>					
538°C (1000°F)	2900		2773		
816 (1500)	2600		2187		
1093 (2000)	2900		5001		
1371 (2500)	3500		5693	4738	
1566 (2850)	4000	1200	3781	4737	800
1649 (3000)	6400	2200	3534	4008	950

V-3.- COMPATIBILIDAD QUÍMICA METAL/REFRACTARIO.

Probablemente el factor más significativo que afecta la vida del refractario es su compatibilidad química entre el baño de metal fundido y el revestimiento del refractario. En conexión con la temperatura del baño, sobre todo en lo que respecta a las características químicas de las escorias.

Hablar generalmente, de las consideraciones primarias pudieran ser relativos factores ácidos contra básicos para escorias del metal, y su compatibilidad con el análisis químico del refractario. Este resulta en pequeñas prácticas sugeridas en el uso de refractarios de magnesita para escorias básicas y zirconia para escorias ácidas.

La alúmina y cromita - Alúmina ofrecen, relativa neutralidad química para resistir teóricamente el tipo de escorias usuales. El significado de las reacciones químicas, entre el refractario y la escoria queda acelerado por un incremento de la temperatura, causando flujo y cambios de fase mineralógicas adicionales en el revestimiento.

La comprensión general de este principio resulta excluido en el revestimiento de Sílice utilizado en las unidades de fusión sin núcleo, de aleaciones ferrosas y de hierros colados y evitando la zirconia para aceros de alto manganeso.

V-4.- VARIABLES DE OPERACION DEL HORNO.

Consideraciones adicionales en la predicción de la colocación del refractario está en función del tamaño, frecuencia y potencia de entrada en la fusión del metal en el horno.

Estas experiencias irán mejorando el uso, como el tamaño del horno se incrementa típicamente a la alta potencia de entrada y a la baja frecuencia del horno, que originan una mayor erosión por la forma de agitación del baño y que requieren de un refractario con un módulo térmico alto de ruptura.

Esta experiencia es claramente ilustrada en una fundición subjetiva donde el horno es operado con el equipo estático respectivo indicado en la siguiente tabla V-2.

TAMAÑO	POTENCIA	H _z	ESPEJOR REVESTIMIENTO	ESPEJOR DEL AISLAMIENTO DETRAS DEL REVESTIMIENTO DE TELA DE ASBESTO.
lb.	Kw		ca.	Pulg. Cm.
1000	250	1000	5.0	1/8
2000	300	1000	8.9	1/8
4000	600	540	10.2	1/8 1/4
8000		180	11.4	1/4 1/8

Las variables agrupadas anteriormente, provistas para la fundición de un refractario ideal están dadas por las siguientes razones:

- 1.- Varias aleaciones químicas son fundidas durante cada cambio de refractario.
- 2.- Los refractarios cumplen un ciclo térmico diario en uno o dos turnos de operación.
- 3.- Se usa variedad de tamaño de hornos, con diferentes frecuencias, y potencias de entrada. Su forma de operación puede por consiguiente ser aplicada a una mayoría de hornos de Inducción sin núcleo para la fundición de aceros.

VI.- CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS Y METALURGICAS NOTABLES DE LOS
HORNOS ELECTRICOS DE INDUCCION PARA HIERROS Y ACEROS.

El tipo de horno de inducción de canal fue usado en europa desde los primeros años de este siglo para fabricar aceros aleados de alta calidad.

Sin embargo mientras los costos de energía eléctrica fueran altos, la fusión eléctrica solo podía ser usada económicamente para productos especiales de alto precio.

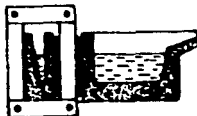
Progresivamente la eficiencia de las plantas de potencia se incrementó y hoy en día el kWh es bastante barato para fundir productos de bajo precio, tales como hierros y aceros ordinarios.

VI-2.- HORNOS - VENTAJAS.

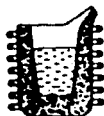
Hay esencialmente tres tipos diferentes de hornos de inducción: Los tipos de canal abierto, de canal cerrado y de crisol.



CANAL CERRADO



CANAL ABIERTO



CRISOL

FIGURA VI-1.- DIFERENTES TIPOS DE HORNOS DE INDUCCION.

Los dos primeros tipos a y b de la figura VI-1 son transformadores especiales en los cuales el devanado de cobre del primario es rodeado por el canal de metal líquido que actúa corto-circuitado por el devanado del secundario.

La potencia de entrada de estos hornos, es baja, su principal función es homogeneizar, fundir adiciones de aleaciones, y sobre calentar el metal.

El tipo de horno de canal tiene indudablemente la mejor eficiencia electrotérmica, particularmente para hierros fundidos porque la gran diferencia en su resistividad eléctrica entre el hierro líquido y el cobre. Por un KWH pérdidas en el devanado del primario unos 50 KWH son generados en el hierro líquido.

La eficiencia es baja en el caso de fundiciones no ferrosas pero aún excede del 90%.

El horno tipo de crisol y horno de inducción sin núcleo es indudablemente el mayor confiabilidad y de mayor comodidad para su operación. Existiendo de grandes variedades de capacidades.

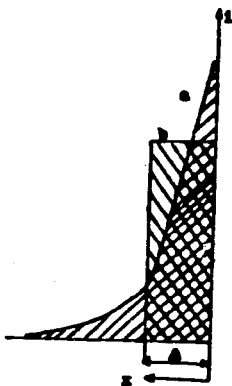
Otra ventaja del horno de crisol es su fácil inicio con una carga fría y consecuentemente la posibilidad de realizar una serie de fusión prácticamente no contaminante de elementos presentes en la fusión inicial y durante toda ella.

Esta ventaja, sin embargo solo es aplicada completamente para hornos de frecuencia intermedia. Para inicio de hornos de frecuencia de la línea se requieren cargas grandes de bloques metálicos que normalmente son producto de metal frío.

VI-3.- DESVENTAJAS.

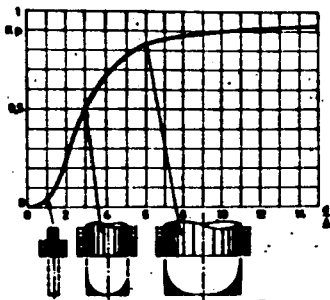
La influencia de la frecuencia sobre la eficiencia electrotrémica y algunos otros factores de mayor importancia deberán ser considerados -- para lo siguiente.

El flujo magnético inducido en la carga por la bobina del primario se incrementa por la corriente, tal que la intensidad se decreta muy bruscamente desde la superficie al centro del conductor. Este fenómeno -- es llamado "efecto SKIN" ilustrado en la figura VI-2.



"EFECTO SKIN" a) REAL
b) IMAGINARIO

FIGURA VI-2A



FACTOR DE EFICIENCIA k_p COMO
UNA FUNCION DEL RADIO d/Δ

FIGURA VI-2B

Por simplicidad de cálculo, para hacer uso de la profundidad de penetración imaginaria, que está definida como la profundidad a corriente constante imaginaria al igual que el efecto JOULE en corriente real.

La profundidad de penetración está dada por la siguiente ecuación:

$$= 50.3 \sqrt{\frac{\rho}{f \mu}}$$

- Δ = Profundidad de penetración (en mm).
- ρ = Resistividad ($\Omega \text{ cm}$).
- f = Frecuencia (c/s).
- μ = Permeabilidad magnética de la carga de material.

La eficiencia electrotérmica depende de la profundidad de penetración. La magnitud K_p , representada en la figura VI-2B es una medida para la eficiencia, en este caso de una carga cilíndrica (con diámetro d), K_p se incrementa con el incremento del valor de d/Δ , y con el incremento del diámetro del horno.

La mínima dimensión de piezas iniciales en la carga es otro factor importante, ya que la profundidad de penetración es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia siendo que a mayor frecuencia pueden utilizarse piezas pequeñas en el arranque del horno.

A 60 c/s el diámetro mínimo es de 25cm. y para 1000 c/s es de 5cm.
Este punto es solo de interés para hornos que trabajan intermitentemente o para iniciar la fusión.

Si el horno contiene metal líquido en una cantidad de un 20% de su capacidad las dimensiones de las piezas a fundir no tendrán importancia en la carga.

Lo concerniente a la influencia de la frecuencia sobre la potencia máxima de entrada, tiende a considerar la interacción entre las corrientes inducidas y el campo magnético, responsable para el movimiento del baño. Este movimiento del baño puede ser expresado por un factor B, dado por la siguiente ecuación simplificada.

$$B = C \frac{w}{\sqrt{f}}$$

C = Constante

w = Potencia específica de entrada por unidad
de superficie lateral.

f = Frecuencia

Una cierta cantidad del movimiento del baño es una ventaja o igualmente necesario para homogeneizar el metal, pero un exagerado movimiento del baño causa un gran uso de refractario y mayores pérdidas por oxidación. El peligro de inclusiones de silicatos se incrementa también.

VI-4.- RESUMEN; VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS HORNOS DE INDUCCION.

- 1.- Ausencia de los electrodos debido a lo cual el metal no se carboniza durante la fusión; esto permite fabricar aceros con muy bajo contenido de carbono.
- 2.- Ausencia de los arcos de alta temperatura, lo que da lugar a que disminuya la absorción del hidrógeno y el nitrógeno, así como la pérdida por ignición del metal durante la fusión.
- 3.- Insignificante pérdida por ignición de los elementos de aleación por cuya causa es conveniente emplear los hornos de inducción para la refundición de los desechos de aleación.
- 4.- Agitación electrodinámica que contribuye a obtener un metal homogéneo en cuanto a su composición y su temperatura.
- 5.- Pequeñas dimensiones exteriores de los hornos que permiten colocarlos en cámaras cerradas y efectuar la fusión y la colada al vacío o en la atmósfera de un gas inerte.

Las desventajas de los hornos de inducción son las siguientes:

1.- Baja temperatura de la escoria, puesto que se calienta del metal.

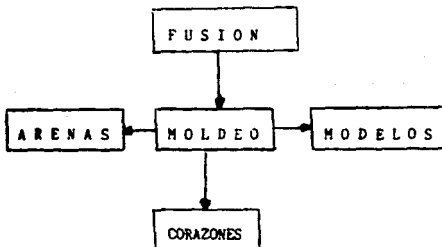
Por esta causa está limitada la eliminación del fósforo y el azufre durante la fusión.

2.- Pequeña resistencia al revestimiento básico.

VII.- REPORTE DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS
EN AUTOMANUFACTURAS Y FORD MOTOR COMPANY.

Básicamente el trabajo cubierto por estas dos empresas es la fabricación de hierro gris y hierro nodular para producir piezas automotrices como son: multiples de escape, multiples de admisión, cubierta de bomba de agua, cigueñales, chumaceras, culatas (cabezas de mono-block), mono-blocks V-8 y V-6, concha (cubierta de clochs de embrague) bielas, volante de embrague, siendo todo esto fabricado por ford motor company y la línea de tanbores, masas rotores o discos. Son fabricados por automanufacturas siendo proveedores de todas las marcas automotrices como son: Nissan, Ford motor company, Chevrolet, Volkswagen, Dodge, etc.

Su proceso de fabricación se desarrolla como se indica en el siguiente diagrama VII-1.



VII-1.- FUSION.

La parte de fusión cubre desde el equipo utilizado, el tipo de materias primas y la calidad de hierro o acero a fabricar.

Por lo que corresponde al tipo de equipo utilizado en estas dos empresas es de la marca BROWN BOBERI Y JUNKER distinguiéndose cada uno de ellos por su sistema de enfriamiento únicamente.

Una línea de moldeo consta básicamente de una batería de 4 hornos de inducción. La utilización de estos cuatro hornos dependerá de la cantidad de piezas a producir.

El funcionamiento de esta marca de hornos es como se ha mencionado en los capítulos anteriores.

Para el caso de las materias primas utilizadas tanto para la producción de hierro gris como de hierro nodular para el balance de carga se recomienda utilizar pecas de acero de primera calidad, ya que estas no contienen materiales perjudiciales en la calidad del hierro es decir no tienen elementos presentes, tales como zinc, plomo, estaño e inclusive materiales orgánicos como pinturas, barnices. Protectores para la corrosión del metal.

A continuación en las páginas siguientes se presenta la manera de ajuste de carga para hierro gris como de hierro nodular, así como de las características particulares de piezas fabricadas por estas empresas.

FORMULA PARA EL AJUSTE DE CARGA EN EL AREA DE FUSION

$$\text{Kg. de Aleación} = \frac{\text{Análisis Requerido}}{\text{Concentración}} \quad (\text{Ton. de Acero})$$

$$\text{Kg. de Aleación} = \frac{\text{Puntos Faltantes}}{\text{Concentración}} \quad (\text{Pozo Líquido})$$

$$\text{Kg. de Acero} = \frac{\text{Puntos Sobrantes}}{\text{Análisis Requerido}} \quad (\text{Pozo Líquido})$$

Para el caso de puntos faltantes del análisis, se considera que por cada uno de ellos se agrega un Kg. de aleación en hornos de 8 Ton. y para hornos de 14 Ton. se agregan uno y medio Kg. por cada punto faltante del análisis. Esta es una manera práctica de realizar el balance. Justificándose por la habilidad de cada hornero.

Otro dato interesante es el consumo de energía por fusión que resulta de aproximadamente de un 70% del total requerida en una planta que utiliza hornos de inducción.

FORMULA PARA OBTENCION DE HIERRO GRIS

Material de recargue	Cantidad	Ferro carbo	Ferro cromo	Carbono coque	Fe-Mn	Total
			60-70%		al 75%	
Paca de 2a.	250	7.2	0.75	7.7	1.75	267.4Kg
Rebaba de hierro gris	250			0.50	0.50	251.0 Kg.
Retorno	250			0.50	0.50	251.0 Kg.

En caso necesario adicionar Fe-Si al 45% para ajustar baño.

Se agrega Fe-Si al 75% (1.2Kg/Olla de 900Kg) como inoculante en el momento de vaciar en la olla Modern.

Se requiere escoriador (0.750Kg/Olla) en la olla Modern para eliminar impurezas en el metal con 5% Máximo de finos.

Se requiere de un Fe-Si entre malla 4 y malla 16.

FORMULA PARA OBTENCION DE HIERRO NODULAR

Material de recargue	Cantidad	Ferro carbo	Ferro cromo	Carbono coque	Fe-Mn	Total
			60-70		al 75%	
Paca de 2a.	250	7.2	0.750	7.7	1.75	267,4Kg
Retorno	250			0.50	0.50	251Kg.

En caso necesario se agrega Fe-Si al 45% para ajustar el baño antes de sangrar horno se prepara olla nodriza con FeSiMg al 5% (noduloy) (12.5Kg.) y rebaba de hierro gris (22 a 30Kg.) por c/500Kg.

Se agrega escoriador (0.750Kg.) en olla nodriza para eliminar impurezas.

Se agrega Fe-Si al 75% (3.5Kg/Olla de 500Kg) como inoculante en el momento de vaciar a olla moder (se requiere Fe-Si al 75% tamaño 3/8" a 1/8").

CUBIERTA BOMBA AGUA

Análisis químico

Elemento Anal. P₁ P₂ P₃ P₄ P₅ Material Carga Adicio.

Reque.

C	3.53	3.47	3.54	3.61	3.52	3.53	Placas	2700	3000
Mn	0.77	0.71	0.72	0.77	0.76	0.76	Arrabio	200	
Si	2.28	1.66	1.85	2.31	2.26	2.55	Retorno	1000	
P							Fe-Si	30	46
S							Fe-Mn	12	6
Cr	0.15	0.28	0.19	0.19	0.19	0.10	Fe-Cr	8	
							Mafusa	150	208

Carga fundida 7002 Kg.

KWH final 201500 KWH Inicial 193800 KWH Consumidos

7700

KWH Teóricos por Tonelada Fundida = 750

Eficiencia de fusión = $\frac{7700 \text{ KWH}}{1100 \text{ KWH/Ton.}}$ = 7.0 Ton.

7.0 Ton.

$\frac{750 \text{ KWH/Ton.}}{1100 \text{ KWH/Ton.}}$ = 100 = 68.18%

1100KWH/Ton.;

MULTIPLE ESCAPE V6

Elemento	Anál. Requerido %	P ₁ %	P ₂ %	P ₃ %	Material	Carga Kg.	Adicio Kg.
C	4.05	3.94	4.03	4.05	Placas	4000	
Mn	.40	.41	.42	.41	Retorno	6000	1000
S	.02	.022	.02	.02	Fe-C		20
Si	2.05	1.86	2.63	2.05	Fe-Si		25
Cr	.15	.14	.14	.14	Carbo Coke	184	45

Carga 2300

Carga fundida 11045

Total 13345

Elemento	Anál Requerido	P ₁ %	P ₂ %	P ₃ %	Material	Carga Kg.	Adicio Kg.
C	4.05	4.05	4.05		Placas	2000	150
Mn	.40	.43	.42		Retorno	4000	
Si	2.05	2.09	2.08		Fe-Si		
S	.020	.017	.014		Fe-C		
Cr	.20	.13	.13		Mafusa	138	

Carga 7200

Carga fundida 6288

Total 13488

KWH Final 3194410

KWH Inicial 3189200

KWH Consumidos

5210

Eficiencia

$$\text{de Fusión} = \frac{5210 \text{ KWH}}{6.288} = \frac{750 \text{ KWH/TON.}}{828.26 \text{ KWH/TON.}} = 100 = 90.51$$

MULTIPLE DE ESCAPE V-8

Elemento	Anal. Requerido %	P ₁ %	P ₂ %	Material	Carga	Adicio.
C	3.55	3.58	3.55	Placas	1000	
Mn	0.70	0.60	0.68	Retorno	7000	1000
Si	2.25	2.24	2.26	Block	4000	
				Arranque		
Cr	0.53	0.34	0.53	Fe-Mn		15
Mo	0.28	0.28	0.27	Fe-Cr		25
				Fe-Mo		15
				Mafusa	1000	

Carga fundida 13.055 Ton.

KWH Final 272500 KWH Inicial 263800 KWH Consumidos
8700

KWH/Ton. = $\frac{8700 \text{ KWH}}{13.055 \text{ Ton.}}$ = 669.23

Descripción	Nombre de la parte Rotor as-150	
Metalografía	Especificación MSA-101	Resultados
Tipo de Gráfico		
A	Predominante	73%
B	40% máximo	20%
C	5% máximo	3%
D-E	10% máximo	4%
Tamaño de gráfico	2-5	4-5
Pérlita	85% mínimo	97%
Ferrita	12% máximo	3%
Cementita	3% máximo	
Ledeburita		
Análisis Químico		
C	3.3-3.55	3.33%
Mn	0.50-0.85	0.68%
Si	1.8-2.25	2.07%
S	0.12Máx.	0.076%
P	0.12Máx.	
Cr		

Dureza 212 BHN

Descripción	Nombre de la parte	Masa	500 KE
Metalografía	Especificación D-4512	Resultados	

Nodularidad	85% Mínimo	98%
-------------	------------	-----

Clasificación forma	1	2	3	1	2	3
de gráfita	60%	40%	10%	91%	7%	2%

Nodularidad por mm ²		175
---------------------------------	--	-----

Perlita	40% Máximo	20%
---------	------------	-----

Ferrita	60% Máximo	80%
---------	------------	-----

Anal. Químico

C	3.6-4.0%	3.70%
Mn	0.40 Máximo	0.34%
Si	2.70-3.0%	3.0%
S	0.045% Máximo	0.004%
P	0.08% Máximo	
Cr		
Mg	0.04-0.008%	

Dureza 197BHN

**INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION EN LOS CONSTITUYENTES
MICROSCOPICOS DE LAS FUNDICIONES**

Elemento	Grafitización y Coef. de Grafitización	Efecto sobre los carburos a alta Temperatura	Efecto en la estructura - del Grafito Engruesa	Efecto en el carbono combina de la perlita	Efecto que produce en la Matriz
Carbono	Favorece	Decrece estabilidad		Decrece Fuertemente	Ablanda y favorece la formación de Ferrita
Silicio	Favorece +1	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece fuertemente.	Ablanda y Favorece la formación de Ferrita.
Aluminio	Favorece +0.5	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece Fuertemente.	Ablanda y Favorece la formación de Ferrita.
Titanio	Favorece +0.4	Decrece estabilidad	Afina -- fuerte-- mente.	Decrece	Ablanda y favorece la formación de Ferrita.
Niquel	Favorece +0.35	Decrece ligeramente estabilidad	Afina Fuertemente	Decrece y estabiliza la Perlita.	Afina la Perlita y da dureza.
Cobre	Favorece +0.20	Indiferente	Indife-- rente.	Decrece ligeramente.	Da dureza
Manganeso	Se opone -0.30	Indiferente	Afina ligeramente	Aumenta	Afina la Perlita y da dureza.
Molibdeno	Se opone -0.30	Indiferente	Afina Fuertemente.	Aumenta Ligera-- mente.	Afina la Perlita y da resis-- ten-- cia.
Cromo	Se opone -1	Estabiliza fuertemente	Afina ligera-- mente.	Aumenta	Afina la Perlita y da dureza.
Vanadio	Se opone -2.5	Estabilidad Fuertemente	Afina	Aumenta	Afina la Perlita y da dureza.

En la segunda columna de la tabla anterior se dan unos coeficientes relativos del poder grafitizante de varios elementos, que señalan el valor de su influencia comparada con la del silicio.

Aluminio.- El valor que se anota sirve hasta 2% de Aluminio. Al aumentar el aluminio de 2 a 4% la acción grafitizante decrece hasta cero.

Titanio.- Con 0.1 a 0.2% el Titanio tiene una acción grafitizante más intensa que el silicio, mientras que para mayores porcentajes su acción es inferior como se apunta en la tabla.

Cobre.- La acción grafitizante baja hasta 0.05, cuando los contenidos en carbono son mayores de 3%.

Manganeso.- El coeficiente de -0.25, corresponde a porcentajes de 0.8 a 1.5% de Mn. Por debajo de 0.8% la acción del Mn es menor intensa. En cambio puede llegar a favorecer la formación de grafito por debajo de 0.6% si se combina con el azufre.

Molibdeno.- El coeficiente de -0.30 corresponde a 0.8 a 1.5% de Mo. Porcentajes de molibdeno inferiores a 0.8%, tienen una acción más débil y contenidos más elevados tienen una acción más intensa.

En resumen el Silicio, Aluminio, Niquel y Cobre, que se disuelven en la ferrita, la endurecen y hacen aumentar su resistencia. Son elementos que favorecen la grafitización.

Elementos como el Cromo, Manganeso y Molibdeno son formadores de carburos, son elementos que tienden a formar fundición blanca en vez de gris y dificultan la grafitización.

VII-2.- MOLDEO.

Basicamente el moldeo cubre lo que son las arenas de moldeo los modelos metálicos de hierro gris y los corazones hechos a base del método SHELL ó cascara utilizados en los huecos predispuestos en las piezas a fabricar. Como todas las mencionadas en páginas anteriores.

VII-2A.- ARENAS.

Para obtener buenos trabajos en fundición hay que preparar buenas arenas, y éstas han de ser compacta, lo suficientemente plásticas para copiar las huellas de los moldes, y ser muy porosas, a fin de que su permeabilidad facilite el paso de los gases.

En la mezcla de la arena ha de entrar la arcilla en cantidad suficiente para hacerla compacta y plástica. Si la cantidad de arcilla es pequeña, los moldes se desmoran, y un exceso de arcilla hace disminuir la porosidad de las arenas. Además, los moldes al secarse se agrietan.

Según la aplicación que valla a darse a las arenas, así a de ser el tamaño del grano; cuando se funden piezas pequeñas conviene que el grano sea fino, para obtener igualmente piezas finas. Cuando más uniforme sea el grano, más porosa resulta la arena, pues si se mezclan granos grandes y pequeños, los granos pequeños taparán los espacios que dejan los granos grandes entre sí.

Cuando se hace el desmoldeo conviene retirar las arenas quemadas o mezclarlas con un 75% por lo menos de arena nueva, siendo prescindible no utilizarlas, pues en ellas el grano es tan pequeño que hace disminuir notablemente la permeabilidad.

Cuando una arena reúne las condiciones precisas, a poco que se le pinche dejará salir los gases con facilidad, y en la mayor parte de las piezas los gases han de salir a través de las arenas sin necesidad de pincharlas. Una arena poco permeable, pinchada en la arena cuidadosamente, puede ser empleada para trabajos, que sin pinchar, darían piezas con costras.

Las arenas de moldeo están compuestas principalmente de Sílice (SiO_2), Alúmina (Al_2O_3), Oxido férrico (Fe_2O_3), Cal (CaO) y Magnesi-ta (MgO) en proporciones diferentes. Una arena característica para el moldeo de piezas como tambores de freno es la siguiente.

Sílice (SiO_2)	90%
Alúmina (Al_2O_3)	5%
Oxido de (Fe_2O_3)	4%
Hierro	

Oxido de (CaO)	0.4%
Calcio	
Magnesita (MgO)	0.6%

Cuanto más gruesas sean las piezas a fundir, más cantidad de Sílice deben contener las arenas.

La alúmina no debe entrar en una proporción mayor del 8% y el óxido de hierro no debe pasar del 5% la cal y la magnesita entrarán en proporciones muy pequeñas.

El óxido de hierro, la cal y la magnesita atacan las arenas, por lo que las piezas quedaran mal limpiadas.

Todas las arenas de moldeo utilizadas en estas dos empresas son arenas de moldeo en verde o arenas negras ya que estas están compuestas de arena (sílice SiO_2), Carbón marino y agua principalmente. El carbón marino empleado no conviene que tenga una proporción elevada de azufre, porque este se combinaría con el hierro.

En la página siguiente se apunta un reporte de control de calidad de las arenas teniendo presente los siguientes resultados para un mejor control de algunos defectos de fundición presentados durante todo el proceso.

CONTROL DE CALIDAD

REPORTE DE LABORATORIO DE ARENAS

MOLINO	HORA	COMPACTABILIDAD	HUMEDAD	R. C. V. PSI	F. PROB. STB	ADITIVOS APROV.	R. CORTE PSI	PERMEABILIDAD	TEMP. °C	E. MEC.	ARCILLA ESPECTIVA	COMENTARIOS Y FIRMA DEL SUPERVISOR
1	7:30	44	4.0	27.0	188	8.0	7.8	220	25	57%	4.6	
	9:00	46	4.0	27.0	185	8.1	7.9	215	30	58%	4.7	
	10:30	42	3.7	26.5	197	7.6	7.8	195	34	59%	4.5	
	12:00	45	4.0	27.0	185	8.1	7.9	210	30	58%	4.7	
	13:30	42	3.7	26.5	197	7.6	7.8	195	34	59%	4.5	
	PROMEDIO		3.8	26.75			7.85					
2	7:30	47	3.9	27.0	180	8.0	7.3	220	31	60%	4.8	
	9:00	49	3.7	26.5	184	7.6	7.8	200	26	60%	4.6	
	10:30	47	3.9	27.0	180	8.0	7.3	210	28	60%	4.8	
	12:00	45	3.7	26.5	184	7.6	7.2	200	26	60%	4.6	
	13:30	52	4.1	23.5	165	7.9	6.4	220	27	56%	4.7	
	PROMEDIO		3.8	25.25			6.85					
3	7:30	42	4.1	29.0	199	8.4	7.2	195	25	58%	4.9	
	9:00	40	3.7	27.0	205	7.7	7.0	210	25	58%	4.5	
	10:30	45	3.7	26.5	184	7.6	7.2	200	26	60%	4.6	
	12:00	51	4.1	27.0	160	8.4	6.8	210	30	62%	5.2	
	13:30	40	3.7	27.0	205	7.7	7.0	210	25	58%	4.5	
	PROMEDIO		4.0	27.75			7.0					

75-

ARCILLAS	
A. P. B. LAVADA	55.99%
ARCILLA TOTAL	15.18%
ARCILLA ACTIVA	9.9% 9.6%
COMBUSTIBLE	6%
MAT. VOLATIL	2.8%
TOTAL ADIT. AGR.	1- 13.921 2- 7.670 3- 8.660
ARENAS NUEVA ABRESADA A TOLVA	9350 kgs.

ANALISIS GRANULOMETRICOS	TAMIZ		PETERING		FACTOR		PRODUCTO		% HUMEDAD	ARENA MUY GRESA	ARENA GRESA	ARENA MEDIANA	ARENA FINA	POLVOS GRESOSOS	POLVOS FINOS
	75	150	300	600	1200	2500	5000	10000							
	0.23	15	2.3												
	2.98	25	59.7												
	9.11	30	291.45												
	28.1	45	1124.16												
	33.93	50	1696.68												
	15.35	75	1074.87												
	5.49	100	549.76												
	1.96	140	275.36												
	0.99	200	199.04												
	1.20	300	362.55												
	TOTALES	3494.24	5599.47												

OBSERVACIONES															

De nuestro análisis de arenas tenemos los siguientes resultados.

Arcilla Efectiva

Eficiencia de Mezclado = -----

Aditivos Aprovechables

Arcilla efectiva y Aditivos Aprovechables se determinan gráficamente mediante los puntos de resistencia a la comprensión en verde y compactibilidad, junto con el dato de humedad.

La A.F.S. lavada resulta del análisis granulométrico de nuestra arena por lo que representa el tamaño de partícula real de nuestra arena.

Es importante realizar este tipo de análisis de nuestra arena ya que con ello cuidaremos que nuestros moldes de piezas solidificadas tengan un menor rechazo y por lo tanto un mejor control de mantener las mejores propiedades de las arenas.

El manejo de nuestras arcillas es de sumo cuidado para tener la cantidad de arena recirculada del sistema como de la arena nueva de tolvas.

El índice de plásticidad que resulta de dividir la resistencia al corte entre la resistencia a la comprensión es un indicador de nuestra arena que nos pudiera ocasionar sobre dimensionamiento en nuestras piezas desmoldeadas.

Resistencia al corte

I.P (índice de plásticidad) = -----

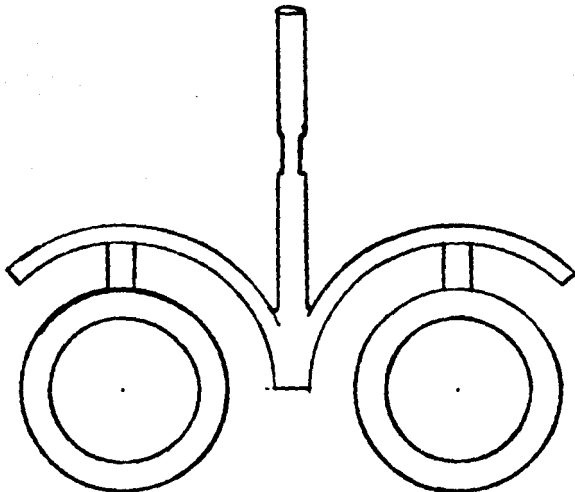
Resistencia a la Comprensión

El producto de la resistencia al corte por la húmedad resulta un indicador apróximado del rechazo de nuestra cantidad de piezas fundidas.

% de Rechazo = Resistencia al corte x húmedad X 100

VII-2B.- MODELOS.

El modelo es propiamente la replica de la pieza a fabricar compuesta de Drag y cope (base y tapa) en nuestro sistema de moldeo.



MODELO DE TAMBOR DE FRENO CON SU SISTEMA DE ALIMENTACION

Como se observa en la figura de arriba en una misma caja de moldeo existe espacio suficiente para producir dos piezas pudiendo ser del mismo tipo o de diferente que en este caso resultó para diferente pieza una es para volkswagen sedan y la otra volkswagen combi.

Como es bien sabido todas las piezas experimentan una contracción al enfriarse en los moldes, y esto debe tenerse en cuenta, para dar a los moldes los aumentos correspondientes.

Por otra parte hay que hacer el modelo de forma que no oponga gran resistencia a la contracción, e incluso en algunos casos habrá que -- recurrir, durante el enfriamiento, a facilitar la contracción escarbando las arenas o haciendo todo lo que sea preciso para ello, y procurando, además, que el enfriamiento de haga lo más uniformemente posible.

El volumen de una pieza en frío resulta menor que el volumen del modelo.

Las contracciones pueden originar roturas y torceduras por lo que su sistema de alimentación diseñado debe sujetarse a pruebas de producción.

La contracción es mayor cuando aumentan el azufre y el manganeso, y disminuye al aumentar el silicio. La influencia del azufre es considerable. Las fundiciones de alta dureza tienen mayor % de contracción.

A continuación se tratarán algunos problemas frecuentemente sucitados en el proceso de fundición y algunas posibles soluciones para su control en la producción.

Los problemas que con mayor frecuencia se presentan en el proceso de fundición son: Gotas Frias, Porosidades, Explosiones en el sistema de moldeo.

GOTAS FRIAS.

Las gotas frías son pequeñas esferas del mismo material de que se funde la pieza, originadas por diversas causas al efectuar la colada.

Las gotas frías son perjudiciales, y dan lugar a muchas pérdidas de piezas. La principal causa que origina esta formación de gotas - frías es el colar alto; es decir, que cuando se colocan las entradas del hierro en las partes altas del molde, al caer se produce un chisporroteo y se forman las gotas frías. Se concluye que las gotas formadas por esta causa se pueden evitar fundiendo las piezas por la parte más baja.

Causas que motivan la formación de gotas frías. Si se desborda el bebedero al colar y entra parte del material por un cargador es fácil que se formen gotas frías, así que cuando se fundan piezas que vayan trabajadas hay que evitar por todos los medios que esto ocurra.

Si un molde está mal seco, a pesar de ser fundido por la parte baja el hierro salta en chispas y forma gotas frías, y lo mismo ocurre si está atacado duro. Los alimentadores y las entradas también producen gotas si están duros y mal secos.

Un molde en perfectas condiciones no puede producir gotas frías.

Cuando se transporta el hierro en las cucharas se va eliminando el azufre, por medio del carburo de calcio (CaC). Por este motivo el hie-

rro está más cargado de azufre en el superficie, y como es lo primero que entra en el molde, hay que evitar la formación de gotas. Cuando el hierro está muy cargado de azufre, las gotas son inevitables y, al formarse, como contienen mucho azufre se endurecen de tal manera que las herramientas, al trabajar el hierro saltan y no hay forma de hacer un trabajo perfecto.

Al producirse el chiporroteo, la gran cantidad de gotas, que pueden formarse de todos los tamaños, se recubren de un óxido que las separa del resto del material, formando un poro mayor que la propia gota y quedando en ocasiones completamente suelta ésta.

Como las gotas pueden ser muy numerosas, la cantidad de poros que puede presentar una pieza hace que, en ocasiones, ésta sea inservible.

Una temperatura elevada del hierro evitaría en parte las gotas, porque llegaría a fundirlas, así que habrá que procurar no descuidarse en todas aquellas cosas que pudieran dar lugar a que se enfriara el caldo, y que serían fáciles de evitar con un poco de cuidado.

Porosidades en las piezas de fundición.

En las piezas fundidas se llaman poros unos pequeños orificios que se aprecian a simple vista y que, apesar de no tener, en algunos casos, más importancia que el dar a las piezas mal aspecto suele ser motivo suficiente para rechazarlas, su aplicación fuese la misma con poros que sin ellos.

Pero cuando los poros salen en piezas que tengan que soportar presiones de líquidos o de gases, estas piezas no servirán, de todos modos hay que evitar los poros en todos los casos.

Se procurará fundir las partes más delicadas de la pieza para abajo, puesto que en las partes de arriba del molde son siempre más frecuentes los poros, porque todas las impurezas del metal flotan en el caldo.

Los poros en las piezas de fundición pueden presentarse de distintas maneras y en sitios que pueden tener más o menos importancia.

Los poros pueden ser producidos por muchas razones, que unas veces dependen de la calidad del material y otras de la imperfección del moldeo.

Manera de evitar los poros.- Para evitar los poros habrá que tener presente: eliminar todo el óxido de hierro disuelto entre el caldo, que el material esté bien caliente, que los moldes estén bien secos, que no estén atacados duros, que gaseen bien, que el material esté bien desulfurado, que no se produzcan gotas frías que no se desprendan arenas del molde que no pasen escorias al colar las piezas, que el bebedero esté colocado en la parte de menos importancia de la pieza y cortado que no permita la entrada de escorias, que la chatarra empleada no este excesivamente oxidada, que los trozos no sean demasiado pequeños y que las cucharas estén bien limpias.

Explosiones en los moldes.

Son muchas las piezas que se pierden o salen defectuosas por las explosiones producidas en los moldes, las cuales son consecuencia de los gases que se acumulan al quemarse las arenas y los que se desprenden del hierro, y tienen trascendental importancia el saber encenderlos a su debido tiempo; es decir, que en cuanto entra el primer caldo en el molde hay que proceder a encender los gases de los machos y piezas en general. Para facilitar el encendido de éstos se prende fuego a papeles o virutas de madera, para que los primeros gases que se formen se inflamen con facilidad.

Defectos producidos por las explosiones.- El riesgo que puede correr un molde al hervir es que se produzcan darts o salgan venteaduras, que siempre son consecuencia de un mal gaseado. Se facilita el gaseado encendiendo pronto los gases, pues al quemarse, se consumen a medida que se van formando, y dejan paso libre a los que se forman luego, por el tiro que se produce en la columna inflamada.

Si se retrasa el encendido los gases producidos se comprimen en la porosidad de la arena, llegando un momento en que la presión es mayor que la resistencia que tiene la arena, y entonces se rompe ésta, y la pieza hierve, porque los gases salen a través del hierro.

Si los gases no se encendieron en el momento preciso, como ya los poros de la arena contienen gases, al encenderlos hay una expansión explosiva de estos, que puede dar lugar al desprendimiento de arenas.

Modo de evitar las explosiones.- El procedimiento más sencillo consiste en provocar el encendido constantemente, con una varilla de hierro caliente metida en el bebedero de la pieza que está sin fundir, hasta el momento de venir a colar en ella, pues si el gas se apaga, en un pequeño espacio de tiempo la cantidad de gases aumenta considerablemente y al encenderlos de nuevo la explosión es inevitable, y será mayor cuanto más tiempo se tarde en encenderlos.

Al tener lugar la explosión, el molde se rompe, porque se produce un vacío en él, y el gas que se encuentra entre los poros de las arenas derrumba éstas al tratar de llenar el vacío provocado por la explosión.

VII-2C.- CORAZONES.

Basicamente los corazones son utilizados para dejar cavidades de una pieza a moldear.

Los procesos utilizados en estas dos empresas son basicamente el proceso SHELL (cascara) y el proceso de CAJA CALIENTE.

Los componentes utilizados para el proceso de fabricación de corazones son: Arena, Oxido de Hierro, Resina y Catalizador todo esto se somete a un proceso de mezclado durante aproximadamente de 3 minutos haciendo incipiente que éste mezclado se hace primero la arena con la -- resina y posteriormente se le agrega el catalizador mezclandose durante un tiempo de un minuto posteriormente se efectúa el proceso de curado a 250°C durante un minuto y medio; los corazones son de muy diversas formas.

C O N C L U S I O N E S

Este trabajo desarrollado de manera práctica nos lleva a concluir las diferentes alternativas o puntos que deben cuidarse para tener un buen funcionamiento del horno tanto en su parte eléctrica como en la mecánica para efectuar proceso de fusión costables.

Debido al trabajo realizado se ha tenido la experiencia de seleccionar con mayor eficiencia el tipo de horno de crisol ya que éste ha resultado de mayores ventajas tanto metalúrgicamente como económicamente comparado con el mismo tipo de horno de inducción pero de canal.

~~El desarrollo~~ El desarrollo relativamente reciente del uso de frecuencias de la línea han hecho en los Hornos de Inducción que tengan menores costos de producción y mantenimiento ya que no se hace necesario tener equipo adicional, como de generadores de frecuencia, que en un principio resultó imprescindible su utilización.

La trascendencia de producir piezas terminadas a partir de hornos de inducción como las que se han mencionado en el último capítulo de este trabajo representa un elevado porcentaje en la aplicación de la industria automotriz.

Esta tesis queda abierta a trabajos posteriores tanto de puntos de investigación como de aplicación industrial de un producto deseado o del mismo diseño del horno.

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

- 1.- Control of Refractory Erosion in Holding Furnaces.
A.F.S. Transactions 1978 Vol. 86 págs. 71 a 74.
- 2.- Effectiveness of Coreless Induction Melting.
A.F.S. Transactions 1975 Vol. 83 págs. 493 a 496.
- 3.- Electric Furnace Steelmaking.
- 4.- Evaluation of Cast Iron Melting in The Cupola, Arc Furnace
and Induction Furnace.
- 5.- Inductive Heating of Coreless Induction Furnace Linings.
A.F.S. Transactions 1978 Vol. 86 págs. 197 a 204.
- 6.- Metalurgia General. A.I. Samojválov.
Primera Edición Editorial Mir. Moscú 1982 págs. 370 a 381.
- 7.- Moldeo y Fundición. O. SCHUTZE ALONSO.
Tercera Edición Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona 1972
Págs. 13 a 19 y 93 a 103.
- 8.- Process Controls and Procedures for The Induction Melting of
Steel.
- 9.- Properties and Behavior of Refractories in Induction Furnace,
A.F.S. Transactions 1974 Vol. 89 págs. 117 a 124.
- 10.- Refractory Experiences in Air Melt Induction Furnace.
A.F.S. Transactions 1981 Vol. 89 págs. 787 a 800.
- 11.- The Impact of Energy Cost on Melting Methods.
A.F.S. Transactions 1982 Vol. 90 págs. 865 a 873.
- 12.- Very Low Industry Levels Via Air Melt Induction Furnace.
A.F.S. Transactions 1965 Vol. 73 págs. 21 a 27.

I N D I C E

INTRODUCCION.

CAPITULO I.

- I-1.- Principio de operación de los
Hornos de Inducción.
- I-2.- Sistema de suministro de
Energía al Horno.

CAPITULO II.

- II-1.- Componentes principales del horno.
- II-1a.- Armazon de volteo.
- II-1b.- Cuerpo del Horno.
- II-1b-1.- Núcleos Magnéticos.
- II-1b-2.- Bobina.
- II-1b-3.- Tapa de Horno.
- II-1b-4.- Cilindros de volteo.
- II-1b-5.- Cables.
- II-1b-6.- Sistema de tierra

CAPITULO III.

- III-1.- Selección del tipo de revestimiento.

- III-2.- Reacciones Químicas que influyen
en la vida útil del revestimiento.
- III-3.- Importancia del equilibrio
SiO y Carbono.
- III-4.- Ventajas de la Sílice - Cuarzita.
- III-5.- Crisol.
- III-6.- Recubrimiento de la Bobina.
- III-7.- Recubrimiento de Asbesto.
- III-8.- Tapa del Horno.
- III-9.- Pico de Colada.
- III-10.- Plataforma.

CAPITULO IV.

- IV-1.- Introducción.
- IV-2.- Metodos básicos de sinterizado.
- IV-2a.- Sinterizado por Inducción.
- IV-2b.- Sinterizado por combustible Natural.
- IV-4.- Procedimiento de mantener temperatura.

CAPITULO V.

- V-1.- Experiencias de refractarios en Fusión
al aire.
- V-2.- Propiedades Físicas del Refractario.
- V-3.- Compatibilidad Química.
Metal/Refractario.
- V-4.- Variables de operación del Horno.

CAPITULO VI.

VI-1.- Características Tecnológicas y Metalúrgicas notables de los Hornos Eléctricos de Inducción para Hierros y Aceros.

VI-2.- Hornos-Ventajas.

VI-3.- Hornos- Desventajas.

VI-4.- Resumen Ventajas y Desventajas.

CAPITULO VII.

Reporte de actividades desarrolladas en Automanufacturas y Ford Motor Company.

VII-1.- Fusión.

VII-2.- Arenas.

VII-3.- Modelos.

VII-4.- Corazones.

C O N C L U S I O N E S .

BIBLIOGRAFIA.