

21  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

" PRACTICAS DE TRABAJO DEL HORNO DE  
INDUCCION SIN NUCLEO. "

T E S I S

Que para obtener el Título de  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

p r e s e n t a

JOSE ROBERTO OROZCO MARTINEZ



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1 9 9 1



## **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.

## INDICE

Pág.

Objetivo		3
Capítulo 1.	Introducción	5
Capítulo 11.	Fundamentos teóricos	6
2.1.	Conversión de energía eléctrica en calor	7
2.2.	Factor de potencia	10
2.3.	Efecto piel	12
2.4.	Perdida eléctrica	12
2.5.	Resistencia a tierra	13
2.6.	Aeritación del baño	14
Capítulo 111.	Componentes del sistema eléctrico	29
3.1.	Sistema eléctrico	30
3.1.2.	Transformador principal	31
3.1.3.	Contactores principales y de puenteo y resistencias de arranque	31
3.1.4.	Sistema de balanceo de fases	32
3.1.5.	Banco de capacitores	32
3.1.6.	Interruptor de transferencia	33
3.1.7.	Instrumentación	33
3.1.8.	Control y supervisión	34
3.2.	Sistemas auxiliares	35
3.2.1.	Sistema hidráulico	35

INDICE (Continuación)

Pág.

3.2.2.	Sistema de agua de enfriamiento	36
3.2.3.	Ventilación	37
Capítulo 1V.	Construcción y tipo de refrac- tarios	42
4.1.	Construcción	43
4.1.1.	Armarón de volteo	43
4.1.2.	Cuerpo del horno	43
4.1.3.	Yuzos magnéticos	44
4.1.4.	Bobina	45
4.1.5.	Tapa del horno	45
4.1.6.	Cilindros de volteo	46
4.1.7.	Cables enfriados por agua	47
4.2.	Refractarios	47
4.2.1.	Fondo de concreto	48
4.2.2.	Anillo inferior de concreto	48
4.2.3.	Anillo superior de concreto	48
4.2.4.	Mesa para la bobina	49
4.2.5.	Recubrimiento de asbesto	50
4.2.6.	Tapa del horno	50
4.2.7.	Crisol	50
4.2.7.1.	Ácidos a base de Si O <sub>2</sub>	51
4.2.7.2.	Básicos a base de Mg O	52
4.2.7.3.	Amfóteros ó neutros a base de AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	52
4.2.8.	Plataforma	53
4.2.9.	Pico de colada	54

INDICE (Continuación)

Pág.

4.3.	Reparación del crisol con sílice	54
4.3.1.	Parche de sílice en la parte superior del crisol	55
4.3.2.	Parches de sílice en la parte inferior del crisol	56
4.3.3.	Parches de sílice a lo largo del crisol	56
4.3.4.	Parches de sílice en el fondo del crisol	57
Capítulo V.	Procedimientos para cambio de bobina	67
5.1.	Procedimiento de paro del horno	68
5.2.	Rompimiento del crisol	69
5.3.1.	Demolición de corona superior	71
5.3.2.	Demolición de corona inferior	71
5.4.	Colocación de bobina	72
5.4.1.	Extracción de bobina a reparar	72
5.4.2.	Se sacan los yugos	72
5.5.	Colado de piso y coronas	73
5.5.1.	Colado de corona inferior	73
5.5.2.	Colado de la corona superior	74
5.6.	Descimbrado de coronas	77
5.6.1.	Corona inferior	77
5.6.2.	Corona superior	77
5.7.	Secado de coronas	78

INDICE (Continuación)

	Pág.
5.8. Recubrimiento de asbesto	79
5.9. Instalación de electrodos de tierra	80
5.10. Apisonado	81
5.11. Herramientas y equipos	84
5.11.1. Un nivel de agua	84
5.11.2. Equipo de seguridad (mascara contra polvo)	85
5.11.3. Tablar	85
5.11.4. Cuñas	85
5.11.5. Forma de apisonado	85
5.11.6. Embudo para vaciar	88
5.11.7. Lámpara colgante	88
5.11.8. Cinta métrica	88
5.11.9. Herramientas para recuperar	88
5.11.10. Contactos eléctricos	89
5.11.11. Mezclador de concreto	89
5.11.12. Vibradores eléctricos	90
5.12. Requerimientos importantes que deben observarse	91
5.13. Sinterizado	92
5.13.1. Composición química y trans- formación de estructura cris- talina	93
5.13.2. Bajísimo contenido de conta- minantes	93

INDICE (Continuación)

PÁG.

5.13.3.	Disponibilidad exclusiva debido a factores geológicos	93
5.13.4	Granulometría	94
5.13.5.	Propiedades especiales	94
5.13.6.	Instalación	95
5.13.7.	Sinterización	96
Capítulo VI.	Control y operación	114
6.1.	Operación del horno	114
6.2.	Consideraciones para el cálculo de carga	119
6.2.1.	Aditivo	119
6.2.2.	Ferroaleación	119
6.2.3.	Contenido del elemento	120
6.2.4.	Eficiencia	120
6.3.	Cálculo de carga	120
6.4.	Influencia de los elementos de aleación sobre los hierros grafiticos	122
6.5.	Cargado	123
6.6.	Fusión	123
6.7.	Tiempo de fusión	125
6.8.	Inoculación	127
6.9.	Desescoriado	127
6.10.	Tipos de erosiones y causas	128

INDICE (Continuación)

pág.

Capítulo VII.	Resultados	131
7.	Resultados	132
Capítulo VIII.	Sugerencias	134
8.	Sugerencias	135
8.1.	En la hechura del refractario	135
8.2.	Recubrimiento de bobina	136
8.3.	En el sinterizado	137
8.4.	En la operación	137
Capítulo IX.	Conclusiones	139
9.1.	Referente a la hechura	139
9.2.	Referente al sinterizado	139
9.3.	Con referencia a control y supervisión	140
	Apéndice	141
Capítulo X.	Bibliografía	144

## O B J E T I V O

El objetivo de este trabajo es presentar un procedimiento general para el uso, manejo y funcionamiento del horno de inducción sin núcleo, los cuidados y consideraciones que se deben seguir para obtener una mayor eficiencia de trabajo, que proporcione información al estudiante de la carrera de ingeniero químico metalúrgico y a toda persona que tenga relación con este tipo de hornos.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

## I N T R O D U C C I O N

En el presente trabajo se hace una recopilación de los procedimientos que se siguen en la industria de la fundición para el uso de los hornos de inducción sin núcleo, indicando las descripciones propias de los cambios de bobina, refractarios así como los cuidados que se deben seguir para obtener los mejores resultados de operación de los mismos.

Presentando una descripción general del tipo de refractarios y materias primas que se utilizan en las diferentes partes del horno, además de dar un informe de los resultados de crisol, tipos de hierros que se obtienen, consumo de energía eléctrica, ferroaleaciones, inoculantes, cálculo de cargas y el proceso -- que se sigue en este tipo de hornos.

## C A P I T U L O I I .

### FUNDAMENTOS TEORICOS

## 2.1. CONVERSION DE ENERGIA ELECTRICA EN CALOR

En los procesos de fusión de metales es fundamental el incremento de energía, en forma de calor, de los materiales que son -- cargados, hasta que estos pasen del estado sólido al líquido, para hacer esto en una forma limpia, económica y controlada. Las mejores fuentes de energía usadas para los procesos de fusión de metales son; Gas, petróleo, combustión de coque y electricidad.

Por lo que los métodos de conversión de energía eléctrica en calor para la fusión de metales son arco eléctrico e inducción.

Para soportar mejor la definición de fusión por inducción; Si se tiene una pieza de material conductor con una bobina y se pasa una corriente eléctrica que fluye en dirección opuesta al -- campo magnético como se ilustra en la figura 2.1.1.

El campo magnético genera en el material cargado un voltaje inducido, el cual crea una corriente, cuya magnitud, depende de -- la resistencia eléctrica del material. La energía calorífica se produce por medio de las pérdidas  $I^2 R$  de esta corriente.

La fusión por inducción, se basa en el principio de que la -- energía se transfiere, de una bobina de inducción a la carga a -- fundir, con un campo magnético.

Este campo magnético, gira pasando a través del material a fundir provocando un flujo de corriente en este material en la di -- rección opuesta del campo magnético. El calor es generado por es -- te flujo de corriente a la resistencia del material o metal a -- fundir. El campo magnético alrededor de una sección de la bobina con paso de corriente a través de esta se muestra en la fig. 2.1.2.

La dirección de campo magnético está en oposición de la di -- rección alrededor de cada sección de la bobina como se indica por las flechas en la misma figura.

Los hornos de inducción son básicamente de dos tipos:

Sin núcleo y de canal, estos se diferencian principalmente en forma y colocación de la bobina de inducción y el baño metálico. En el horno sin núcleo la bobina está alrededor del crisol, como se ve en la figura 2.1.3. En el horno de canal la bobina está separada del refractario principal el cual contiene la mayor cantidad del baño metálico, el horno de canal se muestra en la figura 2.1.4.

Se podrá considerar ahora que un ciclo de corriente alterna es generada. Si el flujo de la bobina es rotativa en un campo magnético como se muestra en la figura 2.1.5. La corriente inducida en la bobina será constantemente variante y cambiante en dirección relativa a la orientación del campo magnético. Refiriéndose a la figura 2.1.5. El flujo de la corriente es cero en el punto medio entre los polos N y S como se ilustra por la posición 0. Como la rotación de la bobina a través del polo sur, el flujo de corriente positiva es generada alcanzando un máximo en el polo sur, posición 3, como una rotación continua, el flujo de corriente es aún positiva, pero disminuyendo de magnitud, hasta que la bobina alcanza la posición 6, otra vez en medio de los polos. Como la rotación continua en dirección del polo norte, el flujo de corriente disminuye como la rotación continua hasta que la bobina alcanza la posición de cero para completar una revolución.

Se podrán considerar dos términos necesarios para describir la conversión de energía eléctrica a calor: Voltaje y Ampereje.

Voltaje es la presión eléctrica ó fuerza inducida, la cual causa corriente para fluir en un circuito eléctrico, esto se mide en volts y es análogo a la presión hidráulica en un sistema - - - hidráulico.

Amperaje es la suma total de flujo de corriente en el circuito y se mide en amperes. Puede decirse que el voltaje lleva a los amperes a través del conductor. Se verán ahora 3 tipos de circuitos eléctricos que se usan en combinación para la fusión en inducción.

El primero es un circuito simple con resistencia, como se ve en la figura 2.1.6. El voltaje y la corriente están en fase uno con otro.

El segundo es un circuito simple conteniendo un capacitor. La corriente se adelanta al voltaje como se muestra en la figura 2.1.7.

El tercero es un circuito sencillo conteniendo una inductancia. En este caso la corriente se atrasa al voltaje, como se muestra en la figura 2.1.8.

Inductancia es la resistencia al flujo de corriente en el circuito. Los siguientes símbolos se usan para indicar: Resistencia, capacitancia e inductancia en diagramas de circuitos eléctricos figura 2.1.9.

La combinación de estos tres ( X, XC, XL ) es llamado impedancia. Esta es la total oposición ofrecida por el sistema o circuito eléctrico al paso de corriente.

El símbolo de impedancia es (Z) y se mide en OHMS. En términos matemáticos:

$$Z = \frac{E}{I}$$

Donde:            Z= Impedancia (OHMS)  
                     E= Voltaje (Volts)  
                     I= Corriente (Amperes)

Potencia es otro termino el cual se usa frecuentemente en fusión por inducción. Potencia es definida como la energia -- consumida o el trabajo realizado en un segundo por una corriente estable de un ampera fluyendo bajo una fuerza dada de un -- volt. matematicamente puede expresarse como:

$$P=I \times E$$

Otro termino usado para expresar potencia es el watt. El watt es una unidad de potencia o unidad de trabajo realizado y por tanto:

$$W=I \times E$$

En los metodos eléctricos de fusión el consumo de potencia es, normalmente se usa el Kilowatt.

## 2-2. FACTOR DE POTENCIA

Potencia es una medida de que tanto trabajo a sido realizado, o de que tanta energia ha sido consumida. Por lo tanto, la cantidad de energia usada por un equipo eléctrico es la proporción a la cual la energia ha sido consumida (La potencia) multiplicada por la cantidad de tiempo que el aparato este en uso.

Cuando la potencia es en watts y el tiempo en horas tenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Energia} &= \text{Potencia} \times \text{tiempo} \\ " &= \text{Watts} \times \text{horas} \\ " &= \text{Watts} - \text{Horas} \end{aligned}$$

El termino más comun de las unidades de potencia es el Kilo watt-hora.

La cantidad de calor producido por un Kw-hora es igual a -- 3.413 BTUS. por lo que para producir 3.413 BTUS de calor se consume 1 Kw-hora, en la línea de frecuencia de 60 Hertz en un horno de inducción sin nucleo se consumen 1 Kw-hora en el metal para elevar la temperatura 100° F/ton.

De toda la potencia aplicada en el circuito eléctrico no -- son usadas 2 de las reactivas que contiene el circuito. En un circuito eléctrico se tienen tres tipos de potencias: Potencia aparente, potencia reactiva y potencia real. Esto se puede ver en la figura 2.2.

El coseno del ángulo ( $\phi$ ) es el factor de potencia. El factor de potencia puede ser definida como la relación de la potencia en watts (Potencia real) con los volts-ampers. En un circuito de corriente alterna el valor del factor de potencia depende de como la corriente y el voltaje estan fuera de fase. Cuando la corriente y voltaje estan en fase, la potencia es igual a --  $I \times E$  ó el valor del factor de potencia es unitario.

Cuando la corriente y voltaje estan fuera de fase el factor de potencia es cero. Esto se establece en circuitos capacitivos o inductivos.

Otro camino para determinar el factor de potencia es dividir la potencia real por la potencia aparente, ó:

$$FP = \frac{KW}{KVA}$$

Los KVA (Kilo volts-ampers) es la potencia total que entra al circuito, por lo tanto el Kw es la potencia consumida para tener la carga de metal en estado líquido.

Cuando la potencia es suministrada por un sistema de 3 fases los fundidores deben proveerse de algunos medios de balanceo del sistema.

Hay algunos sistemas que se usan para balancear un sistema de 3 fases, la figura 2.2.1. ilustra esto.

La mayor parte de las compañías en E.U.A. y México trabajan con potencia a 60 Hertz.

Circuitos electrónicos de control son usados para estos equipos. Uno de los caminos para cambiar la frecuencia es por el uso de un transformador de circuito triple. Esto es ilustrado en la figura 2.2.2.

### 2.3. EFECTO PIEL

La densidad de flujo a lo largo del perfil transversal de la bobina no es constante. En la figura 2.3. se puede ver que el campo magnético es más concentrado cerca de la bobina y decrece hacia el centro de la misma. La corriente inducida en la carga genera un campo magnético el cual tiene un sentido opuesto al de la bobina del horno. El campo secundario orilla al campo primario cerca de la bobina, en vista de que la concentración de la energía está en la periferia se le llama efecto piel. Para un material dado, este efecto piel es más pronunciado a altas frecuencias. Como se ve en la figura 2.4.

### 2.4. PERDIDA ELECTRICA

El espesor del refractario dicta la distancia entre la bobina y la carga.

La pared del crisol, el cual está hecho de un material no conductor almacena líneas magnéticas, sin embargo estas líneas no son utilizadas porque no alcanzan el metal, esta energía es llamada reactiva. Otras líneas magnéticas no atravesaran toda la sección de la bobina y circularan entre las vueltas, estas líneas tampoco son efectivas en lo que concierne a la transmisión real de energía.

El perfil de cobre de la bobina debe ser seleccionado en tal forma que sea capaz de tolerar la máxima densidad de corriente, el espesor de la parte del perfil por donde circula la corriente está dado por la profundidad de penetración.

Es importante además tener en consideración que el aislamiento de la bobina entre espiras debe ser el adecuado, puesto que si el aislamiento es menor del necesario se puede producir un corto circuito entre espiras y si por el contrario, los segmentos aislantes son más gruesos que lo necesario, la bobina tendrá baja eficiencia.

## 2.5. RESISTENCIA A TIERRA

El sistema eléctrico debe tener protección para el horno y ésta es hecha por un monitor de resistencia a tierra, esta debe ser confiable como para dar la resistencia entre la bobina del horno y el baño metálico. Si una condición de baja resistencia ocurre, la potencia del horno saldrá inmediatamente. Acoplado a el sistema de alto voltaje del horno es completado con dos bobinas de alta resistencia.

El suministro de potencia a la medida del circuito debe ser estabilizada con el objeto de compensar las variaciones en la línea de voltaje. El monitor de potencia suministrada debe ser separado con el objeto de permitir las lecturas de la resistencia y el horno es desenergizado. El aparato que toma la lectura de la resistencia es una combinación de relevador contador con una aguja que activara una alarma que advierte al trabajador que la resistencia es baja y que el horno tiene peligro de perforación.

Un diagrama típico de monitor de resistencia a tierra es -- mostrado en la figura 2.5.

## 2.6. AGITACION DEL BAÑO

Otro punto de discusión es la acción de agitación del baño en un horno de inducción. Una buena agitación del baño en el horno de inducción es una de las principales ventajas, dando -- excelente uniformidad de análisis químico y temperatura. El -- campo magnético gira en forma paralela en el centro de la bobina de inducción. En ambas terminales de la bobina los campos -- magnéticos se dirigen hacia los extremos. Cualquier fuerza mecánica es siempre perpendicular a las líneas magnéticas, por lo tanto las fuerzas mecánicas están en forma recta dirigidas hacia el centro de la bobina de inducción, por lo tanto en ambas terminales de la bobina la dirección de las cargas es como se -- muestran en la figura 2.4. Esto nos da una irregular distribución de fuerzas sobre la longitud de la bobina como se muestra en la figura 2.6. El cual resulta en movimiento del metal como se muestra en la misma figura.

Para un metal y horno dado, esta agitación es directamente proporcional a la potencia inducida.

El efecto de la frecuencia en la acción de excitación es inversamente proporcional a la relación de frecuencia.

El movimiento del metal en el horno da como resultado en el baño una superficie que tendrá un pequeño aumento en el centro. Esto se refiere frecuentemente como el menisco.

Esta elevación del menisco es normalmente expresada en por ciento de la elevación de la bobina e indica la velocidad del movimiento del metal. Esto puede ser expresado como sigue:

$$M = \frac{E_p K}{\sqrt{P} \cdot f \cdot \pi D L^2 \gamma}$$

Donde:

M = Menisco en % de L

K = Constante

E<sub>p</sub> = Potencia inducida

f = Frecuencia

γ = Resistencia eléctrica específica

π = 3.1416

D = Diámetro del crisol

L = Longitud de la bobina

γ = Peso ó carga específica

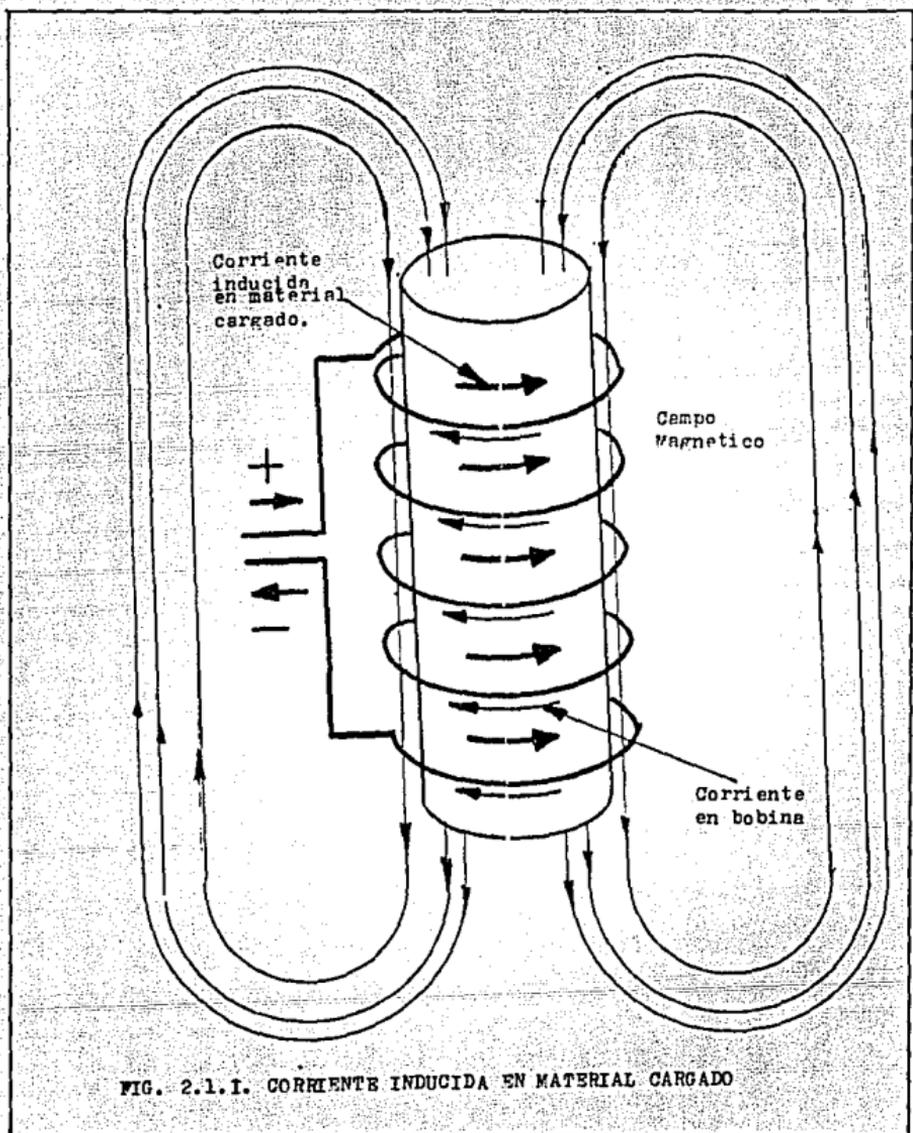
Los hornos de inducción se utilizan ampliamente en la metalurgia y en las fundiciones de partes para maquinaria.

En comparación con los hornos de arco eléctrico tienen una serie de ventajas: La ausencia de electrodos y arcos electricos da la posibilidad de elaborar aceros y aleaciones con bajo contenido de carbono y gases. La fusión se caracteriza por el pequeño quemado de los elementos de aleación, elevado rendimiento de la energía eléctrica, una exacta regulación de la temperatura -- del metal.

Las desventajas de los hornos son:

Escorias frías, mal mezcladas lo que no permite realizar -- los procesos de afinado con la misma intensidad que en los hornos de arco eléctrico.

La estabilidad del revestimiento no es elevada. En los laboratorios se emplean hornos con una capacidad de varios gramos hasta 100 Kg. En talleres de fundición desde 2 hasta 6 toneladas y los más grandes tienen una capacidad de 13.5, 25 y 65 toneladas.



Campo  
magnético



- Corriente fluyendo hacia uno
- + Corriente fluyendo lejos de uno

FIG. 2.1.2. SECCION DE CAMPO MAGNETICO

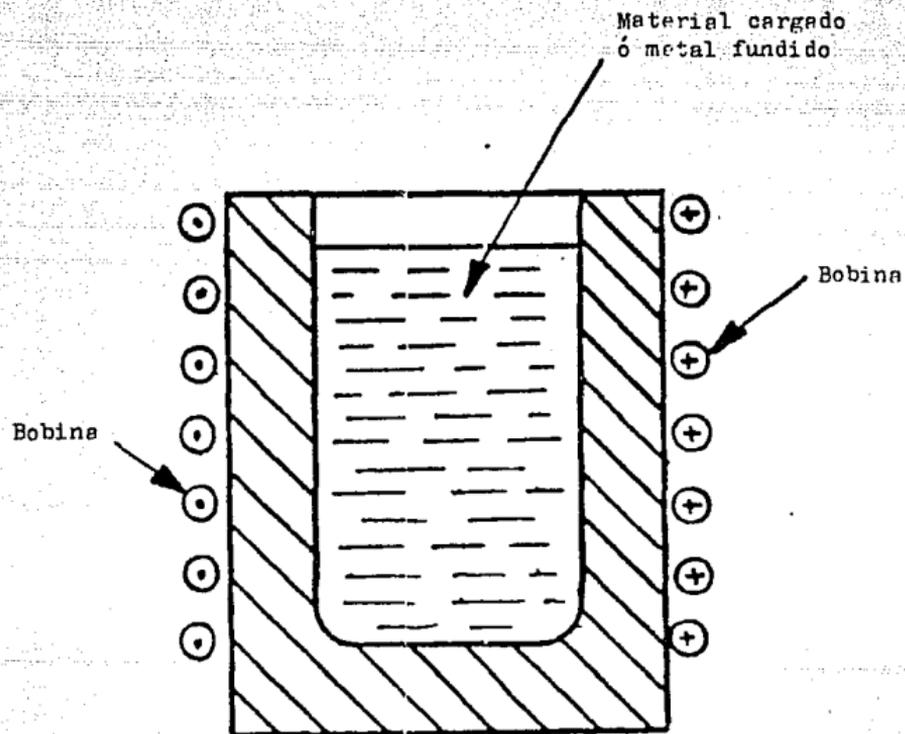


FIG. 2.1.3. Horno de inducción sin núcleo

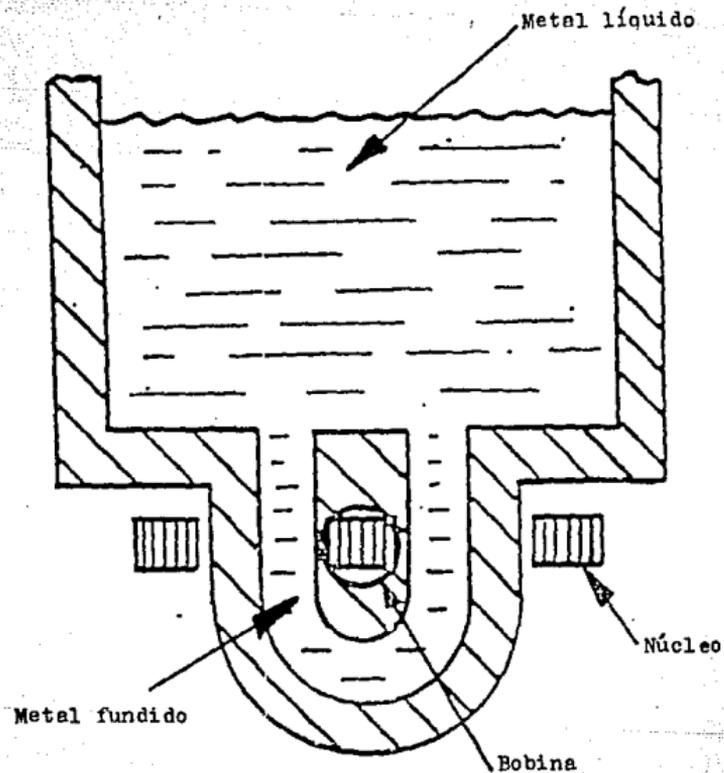


FIG. 2,1. 4. HORNO DE INDUCCIÓN DE CANAL

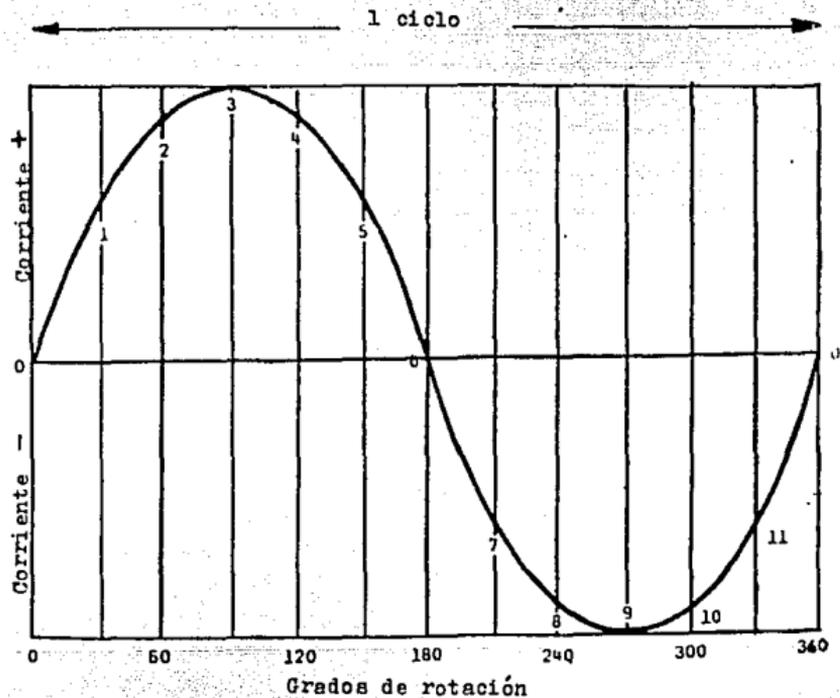
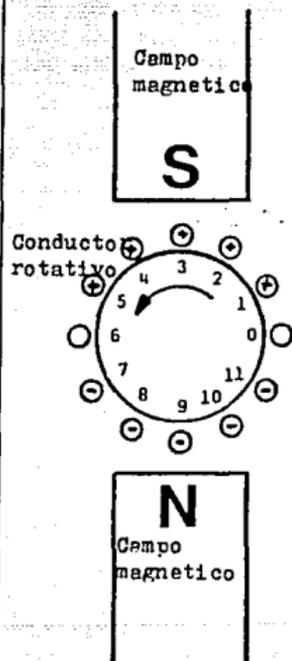


FIG. 2.1.5

CORRIENTE ALTERNA

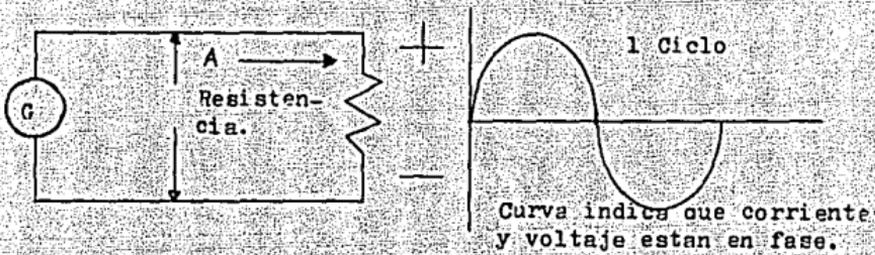


FIG. 2.1.6. CIRCUITO CON RESISTENCIA

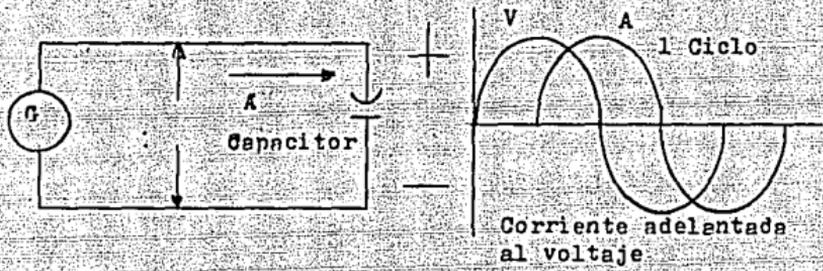


FIG. 2.1.7. CIRCUITO CON CAPACITOR

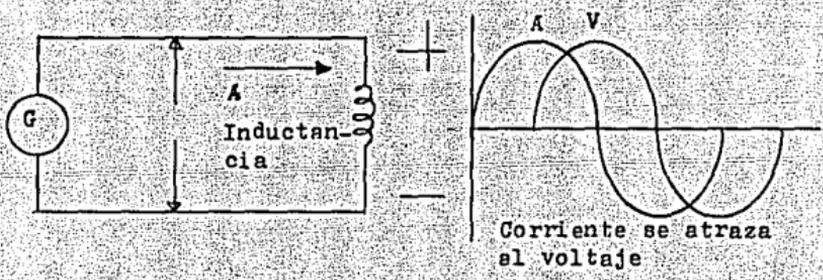


FIG. 2.1.8. CIRCUITO CON INDUCTANCIA

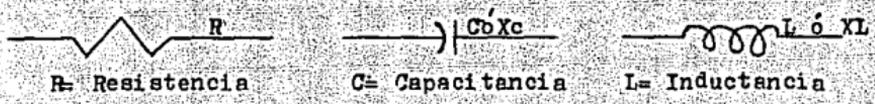


FIG. 2.1.9. SIMBOLOS ELECTRICOS

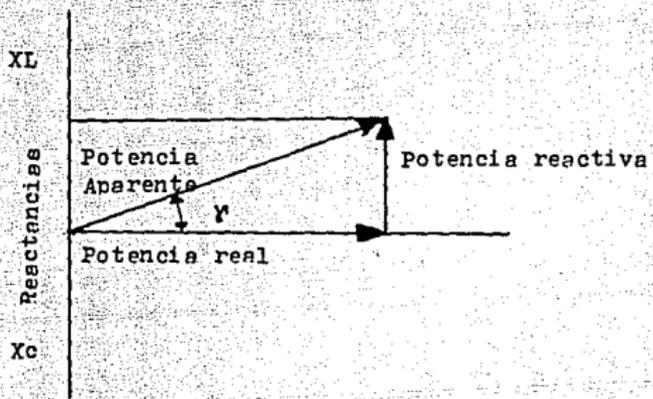
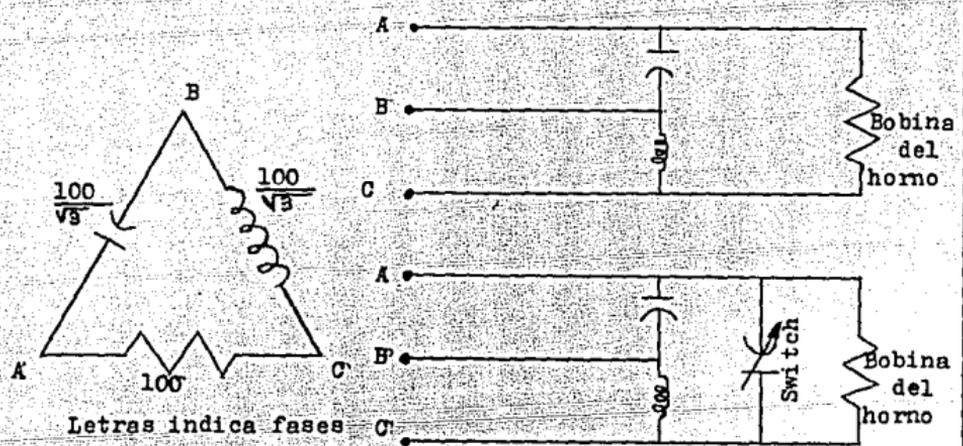


FIG. 2.2. FACTOR DE POTENCIA



FIG; 2.2.1. SISTEMA DE BALANCEO DE FASES

Filtro del  
Circuito

Transformador  
Triple

Ajuste de  
Capacitores

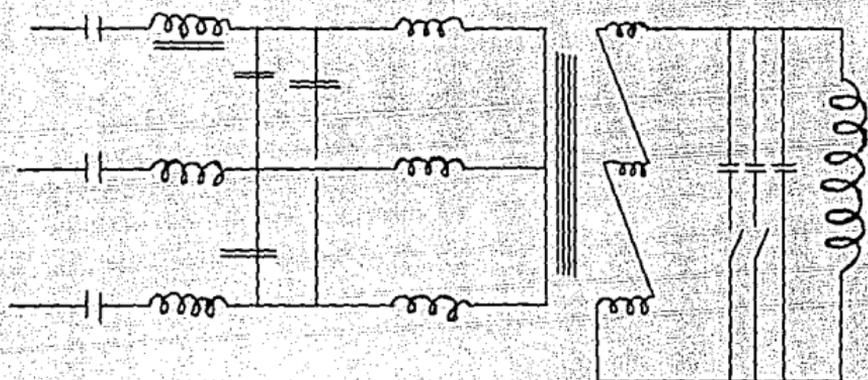


FIG. 2.2.2. CIRCUITO TRIPLE TIPICO

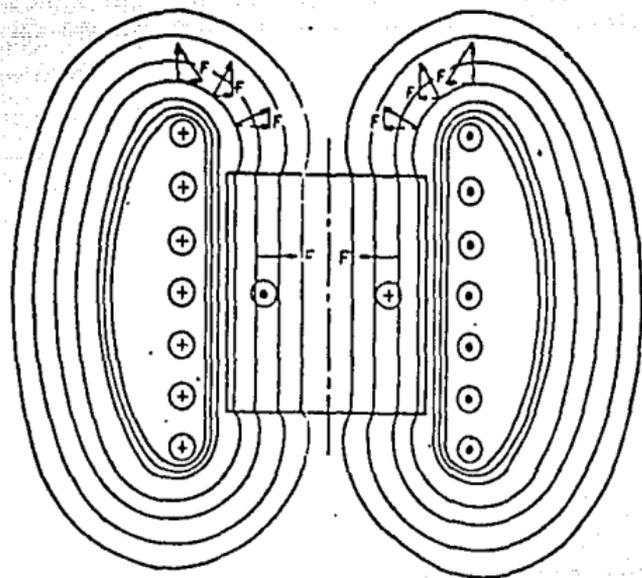


FIG. 2.3. ILUSTRACION DEL EFECTO PIEL

Profundidad  
aparente de  
penetración

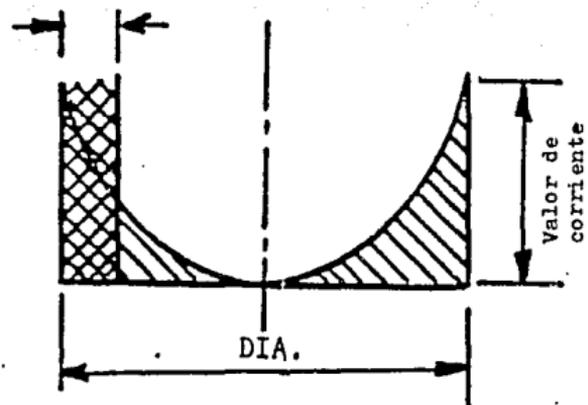


FIG. 2. 4. PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN

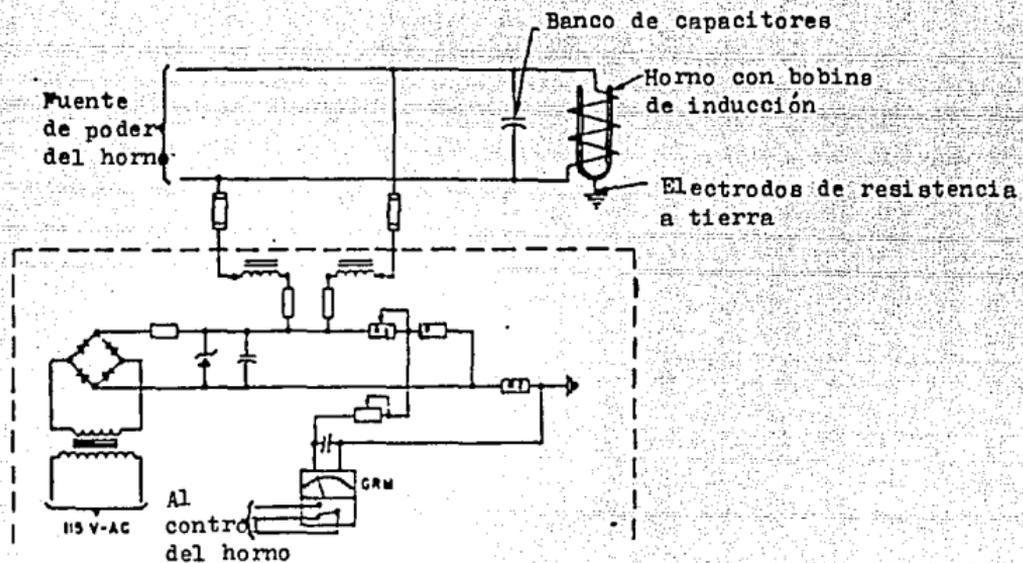


FIG. 2.5. CIRCUITO DE RESISTENCIA A TIERRA CON MONITOR

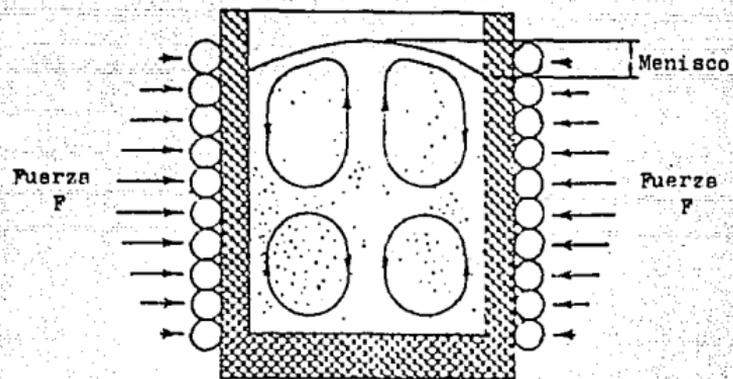


FIG. 2.6. MOVIMIENTO DEL METAL EN UN HORNO DE INDUCCION

## C A P I T U L O III.

### COMPONENTES DEL SISTEMA ELECTRICO.

### 3.1. SISTEMA ELÉCTRICO

Con objeto de satisfacer las necesidades eléctricas, se debe seleccionar el sistema eléctrico apropiado para el suministro al horno.

La seguridad del horno, el sistema eléctrico, el balanceo de las fases y la corrección del factor de potencia son necesarias para conseguir una buena instalación de trabajo.

El suministro de potencia del horno consiste básicamente de lo siguiente: Como se ve en la figura 3.

3.1.1. Subestación

3.1.2. Transformador del horno

3.1.3. Contactores principales y de puenteo y resistencias de arranque

3.1.4. Sistema de balanceo de fases.

3.1.5. Banco de capacitores para la corrección del factor de potencia.

3.1.6. Switch de transferencia (cuando es requerido)

3.1.7. Instrumentación.

3.1.8. Control y supervisión.

La selección de la subestación dependerá del voltaje suministrado por la C.F.E.

Para hacer una instalación económica, los hornos más grandes deben ser conectados a un voltaje más alto. Este equipo puede ser una cuchilla interruptora bajo carga con fusibles, o bien un interruptor con protecciones. Este dispositivo puede controlarse a distancia desde el tablero de control por medio de un botón pulsador.

### 3.1.2. TRANSFORMADOR PRINCIPAL

El objeto del transformador es sconlar el sistema desde las líneas de alta tensión, hasta la tensión de alimentación. Este equipo cuenta con un cambiador de tomas, el cual tiene varios -- pasos. El objeto de esto es poder seleccionar la relación de -- reducción más adecuada de voltaje.

### 3.1.3. CONTACTORES PRINCIPALES Y DE PUENTE Y RESISTENCIAS DE ARRANQUE.

Debido a su alta inductancia, la bobina de un horno de in-- ducción tiene un factor bajo de potencia. Para mantener el factor de potencia cercano a la unidad, unos capacitores son instalados y conectados en paralelo a la bobina del horno. Cuando se arranque un horno desde frio, el factor de potencia no es conoci-- do y debido a esto el suministro de corriente podria exceder el rango permitido.

Para evitar que esta entrada de corriente vaya a ocasioner un deterioro en el horno, se instala un banco de resistencias de arranque con un interruptor de tal forma que cuando entre en ser-- vicio la corriente pase a treves de las resistencias de arranque, amortiguándose con esto la entrada de la corriente al horno. El interruptor principal de las resistencias de arranque entra en -- servicio aproximadamente un segundo despues de haber cerrado el interruptor de puenteo, este corto circuito resistencias de -- arranque, alimentándose entonces el horno a su tensión nominal.

### 3.1.4. SISTEMA DE BALANCEO DE FASES

Si la alimentación es trifásica el horno en cambio representa una carga monofásica, por lo tanto se requiere un sistema para balancear la fase no conectada con la bobina.

Para este efecto se emplea un sistema de balanceo de fases, consistente en reactores y un banco de capacitores.

Su efecto eléctrico es el de dividir la carga del horno simétricamente entre las tres fases. El arreglo de los reactores y los capacitores es como se indica en la figura 3.1.4.

El balanceo del sistema se alcanza solamente cuando el horno está lleno de metal, el factor de potencia es uno cuando el crisol está nuevo.

Como la corriente en la fase B está determinada por la carga de los reactores y los capacitores de balanceo de fase la corriente en a y c variarán con el espesor de pared del refractario y con el metal contenido en el crisol. A medida que el espesor del refractario vaya reduciéndose el número de capacitores conectados para corregir el factor de potencia será mayor y mientras menos metal el No. de capacitores conectados será menor.

### 3.1.5. BANCO DE CAPACITORES

La bobina del horno representa una carga inductiva, la cual varía con la cantidad de metal en el horno y con las condiciones en el refractario.

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 esta conectado permanentemente; sino que la mayor parte de el esta dividido con secciones, las cuales se conectan al circuito por medio de interruptores 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 efectua automaticamente -- durante la operaci3n del horno.

### 3.1.6. INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA

En algunos casos en donde se tienen unos tiempos muertos demasiado largos y con objeto de conseguir una m3xima utilizaci3n de una instalaci3n, un segundo horno puede ser conectado a la -- fuente de potencia del ya existente y por medio de un interruptor de transferencia alternar la potencia de uno y otro, segun se vaya requiriendo.

### 3.1.7. INSTRUMENTACION

El horno de inducci3n esta equipado con un determinado n3mero de instrumentos, algunos son solamente instrumentos de indicaci3n y control. Estos instrumentos nos permiten tener un control detallado sobre las condiciones en que se encuentra trabajando -- un horno, ya que permiten conocer en forma visual las variantes -- que se van teniendo en el voltaje, el factor de potencia, en el -- consumo de potencia etc.

A continuaci3n enumeramos los instrumentos m3s importantes; que varian de acuerdo al fabricante del horno.

- a) Amperímetro de fase
- b) Amperímetro de horno
- c) Monitor de voltaje del horno
- d) Controlador e indicador del factor de potencia.
- e) Monitor de resistencia a tierra
- f) Kilowattmetro registrador gráfico
- g) Relevadores de sobre carga y corto circuito

### 3.1.8. CONTROL Y SUPERVISION

Como complemento de la instrumentación y con objeto de proteger al equipo, se tienen instalados dispositivos de control para supervisar ciertas funciones en la instalación.

En caso de un mal funcionamiento, casi instantáneamente el dispositivo correspondiente indicara la falla en el tablero y a la vez desconectara el horno.

Estos dispositivos de control y supervisión estan enlistados a continuación y varían de acuerdo al fabricante del horno.

- a) Dispositivo de control de sobrecorriente a tierra
- b) " " " de agua de enfriamiento del horno
- 1) " " " de flujo de agua
- 2) " " " de temperatura del agua
- 3) " " " de presión de entrada de agua
- c) " " " de agua de enfriamiento de reactores y autotransformador.
- d) " " " de resistencia a tierra
- e) " " " de sobre voltaje y bajo voltaje.
- f) " " " de resistencia de arranque
- g) " " " de enfriamiento de capacitores
- h) " " " de funcionamiento bomba de agua
- i) " " " de mantenimiento de temperatura del agua de enfriamiento.

- j) Dispositivo de control de ciclo de fusión
- k) " " " de factor de potencia

### 3.2. SISTEMAS AUXILIARES

Para el buen funcionamiento de un horno, los servicios auxiliares son de suma importancia.

Los principales servicios auxiliares que se encuentran en un sistema de horno son:

- 3.2.1. Sistema hidráulico
- 3.2.2. Sistema de agua de enfriamiento
- 3.2.3. Ventilación

#### 3.2.1. SISTEMA HIDRÁULICO

La mayoría de los hornos utilizados en la fundición son -- volteados por cilindros hidráulicos y cuentan con una tapa para reducir las pérdidas de calor debido a la radiación. La tapa -- también es activada hidráulicamente. Un circuito hidráulico típico se ilustra en la figura 3.2.1.

El volteo del horno es la función más importante del sistema hidráulico, se utilizan cilindros para trabajo pesado diseñados para trabajar en el ambiente de la fundición. Una válvula manual de control de flujo asegura el suave control de la velocidad de volteo.

Los controles para voltear el horno y para abrir y cerrar -- la tapa se encuentran instalados en un pupitre de operación, , desde el cual se domina el lugar donde el horno esta vaciando su -- carga.

Para casos de fallas eléctricas prolongadas, un sistema de volteo de emergencia tiene que estar disponible para vaciar el horno antes de que el metal solidifique.

Esto puede hacerse por medio de un equipo generador de emergencia, o con una bomba hidráulica con motor de gasolina.

Los sistemas hidráulicos operen con aceites minerales o con fluidos sintéticos resistentes al fuego. Cuando se utilicen fluidos sintéticos se deberá dar una atención especial a los empujes utilizados en el sistema para que estos sean compatibles con el fluido. Se pueden también utilizar emulsiones de aceite con agua, pero solamente en aplicaciones de baja presión.

### 3.2.2. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

Debido a la elevada densidad de corrientes en la bobina de un horno de inducción y al calor que atraviesa las paredes del crisol, la bobina se enfría por medio de agua; en algunas instalaciones ciertos equipos eléctricos son enfriados por agua como los capacitores, el transformador y el reactor en equipos de media frecuencia el motor-generador.

El sistema de agua de circuito cerrado es el más común y más confiable, la ventaja principal de este sistema es que permite controlar la cantidad de agua que circula.

La calidad típica de agua por horno de inducción es:

PH 6.5 a 7.5

Sólidos disueltos menos de 250 ppm.

Sólidos en suspensión menos de 10 ppm.

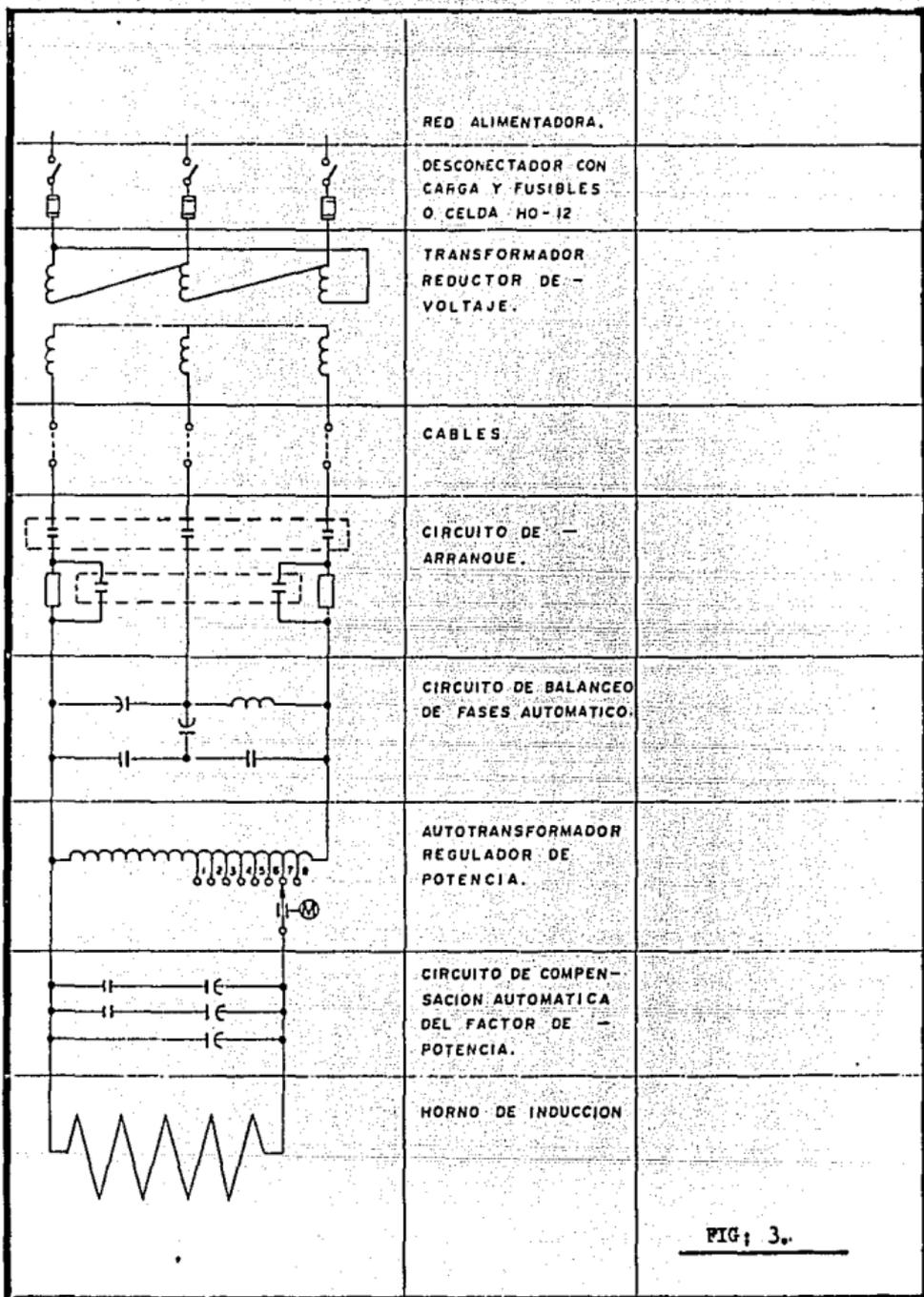
Un esquema típico de un sistema de agua se ilustra en la figura. F.3.2.2.

Es muy recomendable que el sistema incluya dos bombas de plena capacidad, una sirviendo de reserva. El circuito debe ser conectado a una fuente de emergencia por una valvula automatica. - Esta fuente puede ser un tanque elevado o un pozo con moto-bomba de gasolina. Para evitar contaminacion al sistema cuando se utilice el agua de emergencia, debe procurarse que el agua sea de la misma calidad que la del circuito cerrado.

El agua es enriada por un intercambiador de calor que puede ser del tipo agua-agua o cuando el agua no esta disponible en cantidades necesarias, puede ser del tipo intercambiador agua-aire.

### 3.2.3. VENTILACION

Con la excepcion de hornos pequenos donde todo el equipo electrico esta puesto en gabinetes y es enriado por agua; un sistema de ventilacion debe ser instalado para disipar las perdidas de calor generado por el equipo electrico, generalmente para capacitores enriados por aire.



FIG; 3.

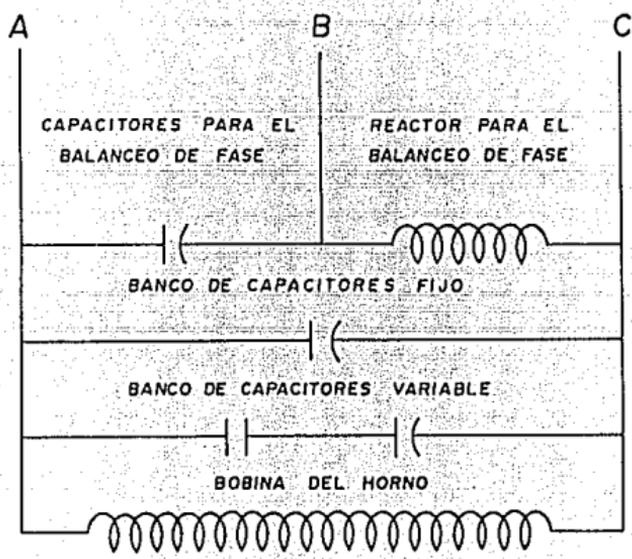


FIG. 3.1.4.

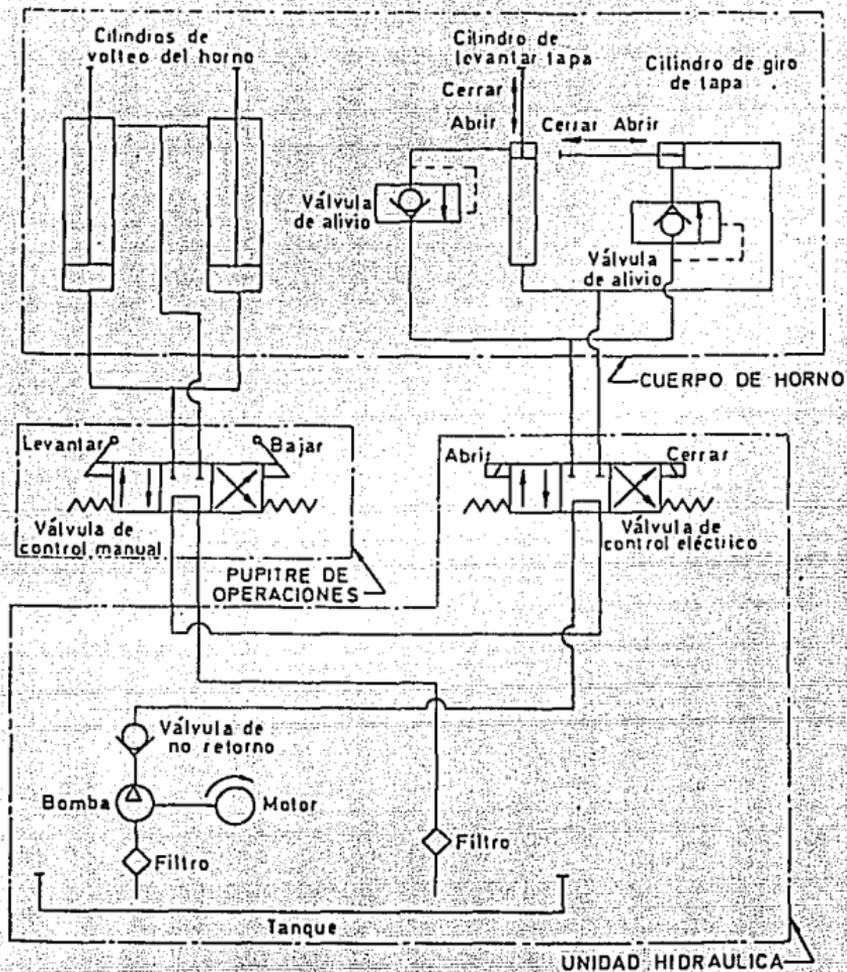


Diagrama hidráulico para volteo del horno y abertura de tapa

FIG. 3.2.1.

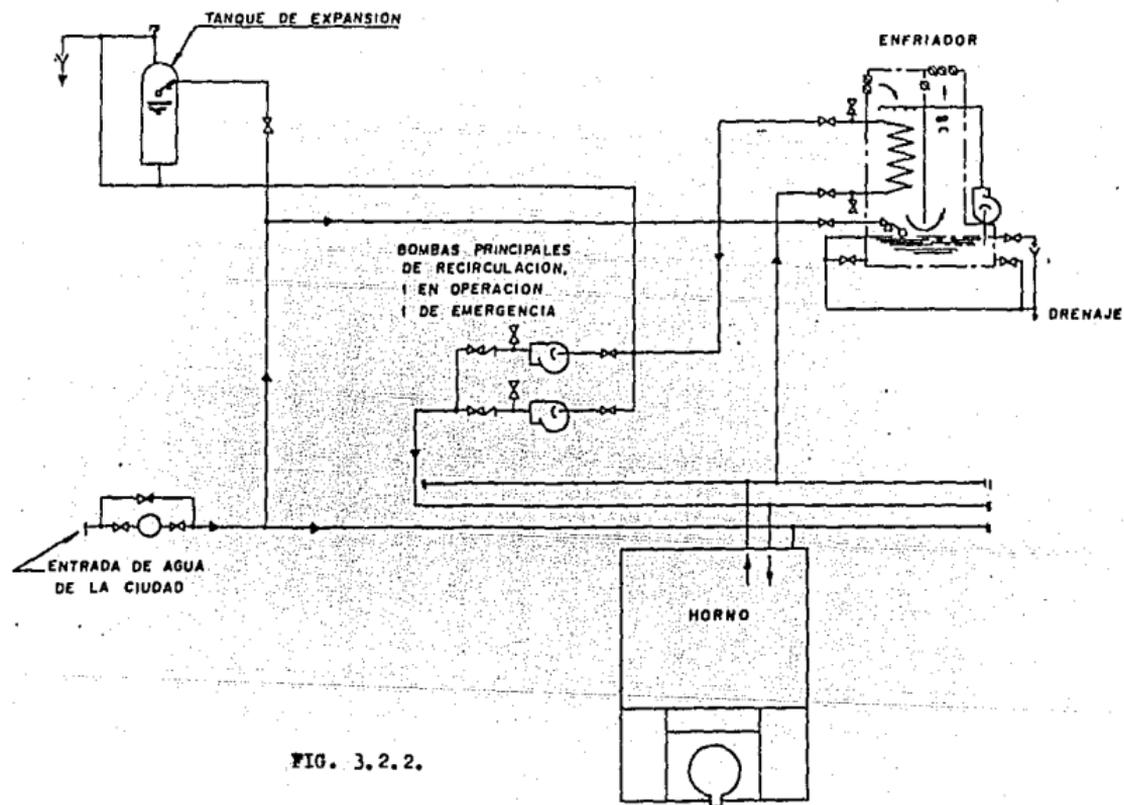


FIG. 3.2.2.

## C A P I T U L O I V .

### CONSTRUCCION

Y

### TIPOS DE REFRACTARIOS

#### 4.1. CONSTRUCCION

El horno de inducción se compone de las siguientes partes principales:

Armazón de volteo, cuerpo del horno, tapa con su mecanismo y cilindros para su accionamiento, bobina de inducción, yugos, cilindros de volteo, refracterios y cables enfriados por agua.

##### 4.1.1. ARMAZÓN DE VOLTEO

Este soporte va enclavado a la cimentación y es de construcción pesada y como su nombre lo indica soporta el horno completo y sirve de apoyo para el volteo del mismo.

Este 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 soportadas en su parte inferior por vigas, en las cuales se apoya la parte inferior de los cilindros de volteo, además se encuentran las anclas que fijan el 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.

El armazón de volteo tiene al frente una lámina de acero que sirve para proteger al cuerpo de salpicaduras de metal fundido.

##### 4.1.2. CUERPO DEL HORNO

El cuerpo del horno completamente ensamblado, consiste de las siguientes partes: Estructura de acero, yugos magnéticos, bobina, snillos de concreto, fondo 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 viguetas unidas entre si tanto en su parte inferior como en la superior por anillos formados por placa de acero, en la parte inferior ademas tiene un nido abombado torisferico 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 actuan como muelles para absorber las dilataciones y vibraciones de la bobina, este soporte esta hecho de material antimagnetico ya que se encuentran expuestos a la corriente magnetica que produce la bobina. Las columnas tienen integrados los apoyos de los tornillos que aprietan a los yugos contra la bobina, aquí se cuenta con roldanas cónicas para asegurar el apriete constante de los tornillos.

#### 4.1.3. YUGOS MAGNETICOS

Los yugos magnéticos estan formados por laminillas de acero al silicio de grano orientado, las laminillas estan colocadas de tal manera que tienen un radio que conforma el aislante de la bobina, ya que se montan alrededor de la bobina.

Los yugos tienen dos funciones;

1.- Guiar las líneas de fuerza del campo magnético por el exterior del crisol para evitar perdidas ; y

2.- Dar a la bobina y al crisol mayor resistencia mecánica en el sentido radial.

#### 4.1.4. BOBINA

La bobina y el crisol forman practicamente el corazón del horno.

La bobina este formada por un tubo de cobre extruido de sección especial, de tal manera que puede ser enfriada por -- agua. Entre espira y espira de la bobina se encuentran segmentos aislantes convenientemente separados para asegurar la salida de la humedad del recubrimiento refractario, lo cual permite un rápido y uniforme sinterizado del crisol.

La bobina debe ser probada hidrostáticamente antes de ser instalada. Los aislantes de la bobina son cartón asbesto y -- cinta de fibra de vidrio.

Las terminales de la bobina estan preparadas para recibir los cables de potencia que son enfriados por agua.

Tanto los cables como la bobina, tienen en su extremo bridas de bronce selladas para no permitir la salida del agua y -- asegurar buen contacto para la transmisión de la energía eléctrica.

#### 4.1.5. TAPA DEL HORNO

Esta tapa esta hecha de placa de acero con forma semiesférica 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 segun el requerimiento; Este brazo actua como una palanca con apoyo en el centro, en el otro extremo de la palanca o brazo actua el mecanismo para darle movimiento.

Este mecanismo de accionamiento de la tapa, consta de dos cilindros hidraulicos, uno horizontal y otro vertical, el accionamiento de estos cilindros es como sigue:

Estando la tapa cerrada y se quiere abrir:

1.- Se acciona el cilindro vertical, este hace que la tapa se levante lo suficiente como para que cuando la tapa gire, esta no roce con el cuerpo del horno.

2.- Se acciona el cilindro horizontal haciendo girar a la tapa que esta apoyada en la columna del mecanismo, esta columna tiene en su interior dos rodamientos los cuales facilitan notablemente este movimiento.

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

Los cilindros tienen al final de la carrera un amortiguamiento que hace que al empezar y al finalizar el movimiento no tengan acciones bruscas ya que estas producirian grietas en el refractario de la tapa.

#### 4.1.6. CILINDROS DE VOLTEO

Los cilindros de volteo tienen como fin voltear el horno para vaciar la carga una vez terminado el ciclo de fusión, el ángulo de giro puede ser de 105 grados que permite extraer todo el metal del crisol.

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

Para voltear el horno se aplica presión hidráulica a los cilindros y para regresar a su posición original lo hace por el propio peso del horno, también en estos cilindros tienen un amortiguamiento al final de la carrera ya que los impactos que se producirían al no existir este amortiguamiento repercutirían directamente a todos los refractarios usados en el horno y muy particularmente en el crisol, pudiendo esto causar graves daños al cuerpo y a la bobina.

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

#### 4.1.7. CABLES ENFRIADOS POR AGUA

Estos cables son los que alimentan a la bobina de la corriente eléctrica para lograr la potencia necesaria, deben ser huecos y cubiertos de hule para permitir la circulación de agua de enfriamiento, teniendo además gran flexibilidad para permitir el volteo del horno.

Todas estas partes del horno se ven en la figura 4.1.7.

#### 4.2. REFRACTARIOS

El cuerpo del horno tiene diferentes refractarios, los cuales se moldean dentro del cuerpo mismo, estos refractarios previenen los sobrecalentamientos en la estructura de acero del cuerpo del horno, aseguran una mejor operación del crisol y disminuyen las pérdidas de calor.

Del estado de los refractarios de un horno dependen su producción y la seguridad de la instalación, si los refractarios están en malas condiciones pueden producirse problemas tan serios como la destrucción del propio horno.

#### 4.2.1. FONDO DE CONCRETO

Sobre el fondo semiesférico de acero del cuerpo del horno se colocara un piso adecuado para soportar grandes cargas. El peso total del refractario, crisol y de la carga del horno seran soportadas por este piso.

Este fondo de concreto dura varios años, a menos que sea dañado por metal escurrido del fondo del horno.

#### 4.2.2. ANILLO INFERIOR DE CONCRETO

Soportando el crisol entre el extremo inferior de la bobina y la capa superior del fondo de concreto esta el anillo inferior de concreto.

Dependiendo de la operación del horno este anillo debera ser reemplazado cada uno o dos años.

#### 4.2.3. ANILLO SUPERIOR DE CONCRETO

Soportando el crisol entre el extremo superior de la bobina de cobre y la plataforma del horno incluyendo el piso de colada, está el anillo superior de concreto.

Dicho anillo, además de proporcionar un soporte radial al crisol, ayuda a mantener verticalmente la bobina en su lugar.

Si este anillo esta desgastado, la bobina sera empujada hacia arriba.

El desgaste del anillo es causado por:

1.- La olla de carga golpea demasiado fuerte en la superficie del anillo.

2.- Calor excesivo sobre la superficie más gastada del recubrimiento.

En contraste con el anillo inferior mencionado antes, el anillo superior gastado únicamente en su superficie puede ser reparado fácilmente por composuras parciales. Esto se puede llevar a cabo un cierto número de veces hasta que las condiciones generales del anillo requieran que se reemplace totalmente.

Para los anillos de concreto, se recomienda usar un concreto extrafuerte con bajo contenido de hierro. Se requiere pureza en esta mezcla, porque la bobina está en contacto físico con ella.

Estas partes se ven en la figura 4.2.

#### 4.2.4. MASA PARA LA BOBINA

La masa para 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 puede colar y de la alta temperatura del crisol.

Dependiendo de la operación del horno y de la cantidad que se colo, 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 ha mezclado con el agua se seca rápidamente.

Es por esto que se deben mezclar pequeñas cantidades y utilizarlas rápidamente, emperajando la superficie con una regla de aluminio del tamaño conveniente.

El material silice usado frecuentemente en el crisol, puede ser preparado con anterioridad utilizando una malla para cernir del N° 18 o 20 y usando solo el material cernido.

#### 4.2.5. RECUBRIMIENTO DE ASBESTO

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

#### 4.2.6. 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 -- soportar el concreto refractario.

#### 4.2.7. CRISOL

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

Las características que debe cubrir un crisol son las siguientes;

a) Las paredes deben ser lo más delgadas posibles, generalmente de 10 a 17 cm. los hornos de 8.5 a 25 tons., 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 soporte 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 reducimos el — riesgo de tener en un momento inclusiones no metálicas.

En base a su composición química se pueden considerar 3 — tipos de refractarios.

#### 4.2.7.1. ACIDOS A BASE DE $SiO_2$

Este tipo de refractarios están constituidos fundamentalmente por óxido de silice ( $SiO_2$ ), la cuarzita es el mineral del — que se parte para la fabricación de este tipo de materiales refractarios, la cuarzita existe en dos formas alotropicas, tiene una a temperaturas inferiores a  $575^{\circ}C.$ , denominado cuarzita beta.

Entre esta temperatura y  $870^{\circ}C.$  no ocurre ningún cambio en dilatación. A partir de esta temperatura la forma de cuarzita beta ya no es estable, siendo entonces la forma estable la tridimita que desde los  $1250^{\circ}C.$  empieza a transformarse en cristobalita, aunque esta reacción no empieza a adquirir cierta velocidad — hasta los  $1400^{\circ}C.$ , la expansión de la transformación de la tridimita a cristobalita puede ser de 15 a 20% en volumen.

A 1625°C. la tridimita empieza a fundirse para transformarse en un vidrio de silice, el cambio de cuarzita alfa a cuarzita beta es reversible mientras que el paso de tridimita a cristobalita no lo es. De aqui podemos deducir que los refractarios de silice soportan altas temperaturas, pero no cambios bruscos de temperatura.

#### 4.2.7.2. BASICOS A BASE DE MgO.

Refractarios de magnesita

Refractarios hechos de magnesita (MgO.) en porcentajes superiores al 80%, gracias a este alto porcentaje estos materiales tienen una alta refractabilidad y gran resistencia a la corrosión bajo la acción de escorias basicas.

#### 4.2.7.3. ANFOTEROS O NEUTROS A BASE DE $Al_2O_3$ .

Estos materiales pudieran tambien llamarse aluminio-silicosos, pues estan constituidos principalmente por oxidos de aluminio y silicio, pero desde luego predominando el oxido de aluminio. Los refractarios de alúmina tienen muchas propiedades físicas y químicas que los hacen muy útiles en fundición. Son resistentes a temperaturas muy elevadas, poseen buena estabilidad de volumen a altas temperaturas, buena resistencia a la erosión y a la abrasión, buena resistencia al choque termico.

Debido a estas propiedades los refractarios de alta alúmina se usaran en zonas donde se requiera soportar demandas termicas y mecanicas superiores a las que pudieran resistir los refractarios de silice.

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 hierro fundido, la superficie externa del crisol está en contacto con la bobina enfriada con agua.

Los cambios repentinos de volumen, son las causas principales de las fracturas del crisol del horno, por lo que tanto para el proceso de fusión inicial como para su arranque y paro debe ser gradual ( $100^{\circ}/\text{Hr.}$ ).

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

#### 4.2.8. PLATAFORMA

La plataforma del horno de inducción está expuesta al calor proveniente directamente de la parte superior del crisol, de la tapa al abrir esta para cargar el horno y de las ollas de carga cuando la carga está precalentada.

Estas circunstancias hicieron que se usara 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.

#### 4.2.9. PICO DE COLADA

Se puede tener una cierta variedad de refractarios para -- altas temperaturas y con resistencia física bastante aceptable.

Este tipo de refractarios se recomienda para cubrir el pico de colada.

#### 4.3. REPARACION DEL CRISOL CON SILICE

Todas las reparaciones mayores se haran con el mismo material usado en el crisol inicial, particularmente los parches -- abajo del nivel del baño, deberan ser hechos con material de -- las mismas propiedades de expansión y de fácil fusión con el -- antiguo apisonado.

Se deberan observar los siguientes puntos;

a) Toda la superficie del crisol que entrara en contacto con la nueva masa de apisonado, debera limpiarse de escoria con un cincel neumático y debera quitarse todos los puntos oscuros.

b) La nueva masa de apisonado debera tener un espesor minimo y ser colocado alrededor de toda la circunferencia.

El espesor minimo de las paredes es de 5 cm. y de un tercio a un medio de la pared original del crisol.

El espesor minimo en el fondo es de por lo menos 10 cm. y no menor de dos tercios del espesor original del fondo, capas -- más delgadas tienden a desprenderse unos dias despues del sinterizado.

c) La masa de cuarzita para el apisonado deberá contener -- de 1/10 a 3/10 más de óxido bórico que la cantidad usada para -- un crisol nuevo.

d) Los parches de cuarzita requieren formas o peso que los mantengan en su lugar hasta estar sinterizado.

e) La cuarzita no necesita otro ingrediente, solo el óxido bórico.

f) Un horno parchado con cuarzita no puede ser volteado -- hidráulicamente hasta que haya sido sinterizado.

g) El parchado de toda la superficie interior del crisol -- requiere casi el mismo programa de sinterizado que para un crisol nuevo. Los crisoles reparados tienen algo así como más -- tiempo de vida o menos desgaste.

h) Los hornos pequeños con capacidad de entre 1.5 y 3.5 -- tons. no justifican la reparación debido a que la remoción parcial de crisol usado requiere mayores cuidados y por lo tanto, más horas de trabajo. Además es más económico reponer todo el crisol que repararlo.

i) La masa de anisado de sílice no es costosa. Los parches de sílice siempre deberán ser anisados con el objeto de obtener la más alta densidad posible.

#### 4.3.1. PARCHES DE SILICE EN LA PARTE SUPERIOR DEL CRISOL

La parte superior del crisol generalmente sufre el mayor desgaste. La reparación se lleva a cabo según se muestra en la figura 4.3.1.

El material del crisol antiguo, es removido con un martillo neumático, el cincel opera en posición vertical.

La forma de anisado empleada para la reparación sera -- cortada según se necesite, lo cual es determinado después de re mover el material del crisol desgastado.

En este caso es una lamina calibre 18 con 4.5 de largo y 90 cm. de ancho. La altura del material removido es de 50 a 60 cm. se deben de puntear abrazaderas a la plataforma del -- horno y a la forma de apisonado, con objeto de mantener esta última en su lugar, la cual actua como cimbra del material -- del crisol.

#### 4.3.2. PARCHES DE SÍLICE EN LA PARTE INFERIOR DEL CRISOL

Los parches en la parte inferior del horno reducen la capacidad de fusión del mismo debido a que se reduce el diámetro del crisol, sin embargo despues de algún tiempo en que el parche empieza a desfastarse nuevamente, la capacidad de fusión aumenta otra vez.

Estos parches pueden reducir la capacidad de fusión del horno aproximadamente un 10%. Por tal razón no es conveniente colocar una mayor cantidad de masa de apisonado nuevo de la necesaria.

La parte más baja del crisol será cuidadosamente limpiada de todos los residuos de escoria. Será colocada una forma de apisonado igual en diámetro a la parte plana del fondo.

El fondo plano de la forma es sellado con refractario o algun material plástico. Como se ve en la figura 4.3.2.

La masa de sílice para el apisonado se llena continuamente y al mismo tiempo es compactada con la herramienta de apisonar.

#### 4.3.3. PARCHES DE SÍLICE A LO LARGO DEL CRISOL

Si se hace necesario efectuar una reparación al mismo -- tiempo en las partes alta y baja del crisol, toda la pared -- será descargada. Esto se hará con un martillo de aire comprimido y un cincel agudo.

El cincel debere ser siempre colocado lo más verticalmente posible para evitar cualquier daño a la bobina.

Descascare el crisol y quite todos los residuos hasta dejar una superficie limpia, coloque y centre la forma de apisonado, selle el fondo con refractarios plasticos.

El espacio que queda entre la superficie descargada y la forma se va llenando y al mismo tiempo se compacta con pisones planos.

Luego se vibra sobre la forma de apisonado con un martillo neumático siguiendo una trayectoria en espiral empezando en la forma de la misma.

El paso por vuelta es aproximadamente 5 cm. , el tiempo de martilleo por metro cuadrado es alrededor de 8 a 10 minutos.

Este parche se muestra en la figura 4.3.3.

#### 4.3.4. PARCHES DE SILICE EN EL FONDO DEL CRISOL

En el caso de una reparación del fondo el espesor de la nueva capa debere ser por lo menos  $2/3$  del espesor de un fondo nuevo para el crisol, en este caso 26 cm. La superficie del fondo nuevo puede quedar algo arriba de la del crisol original.

Descascare y limpie el fondo vacie la nueva masa y compactela manualmente con espatula, herramienta de apisonado o un vibrador eléctrico.

Cargue la masa con un block de arranque de fondo limpio -- sin agujero central, ejerciendo una presión uniforme sobre toda la superficie, durante el periodo de sinterizado hasta el estado de fusión.

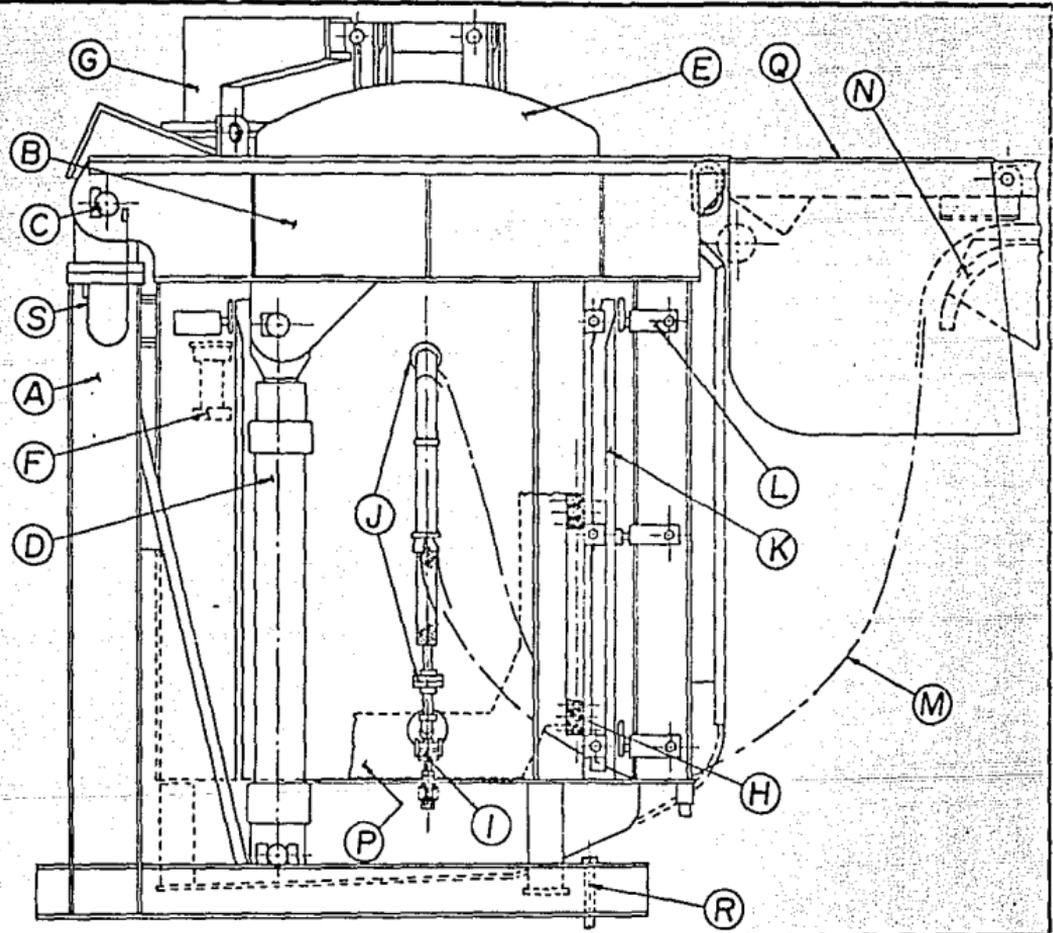
Esto se ve en la figura 4.3.4.

## COMENTARIOS

El objetivo de parchar un crisol antes de que este se erosione demasiado es el de que la vida de este puede extenderse en forma económica.

Sin embargo los parches no deben usarse como un sustituto y extender excesiva e indebidamente la vida del crisol refractario ya que pueden dañarse intempestivamente causando desperfectos mayores no programados a las instalaciones o al horno mismo.

ENSAMBLE DEL HORNO



DESCRIPCION DE LA FIGURA 4.1.7.

- A) ARMAZON DE VOLTEO
- B) CUERPO DE HORNO
- C) CHUMACERAS DE VOLTEO
- D) CILINDRO DE VOLTEO
- E) TAPA DEL HORNO
- F) CILINDRO DE LA TAPA
- G) BRAZO DE LA TAPA
- H) BOBINA
- I) SOPORTE DE LA BOBINA
- J) TERMINALES DE LA BOBINA
- K) YUGOS MAGNETICOS
- L) PERNOS DE LOS YUGOS
- M) CABLE DE POTENCIA ENFRIADO POR AGUA
- N) SOPORTE DEL CABLE
- P) CRISOL
- Q) PLATAFORMA TRASERA GIRATORIA
- R) PERNO DE ANCLAJE
- S) CABLE DE TIERRA ( DEL CUERPO AL ARMAZON DE VOLTEO )

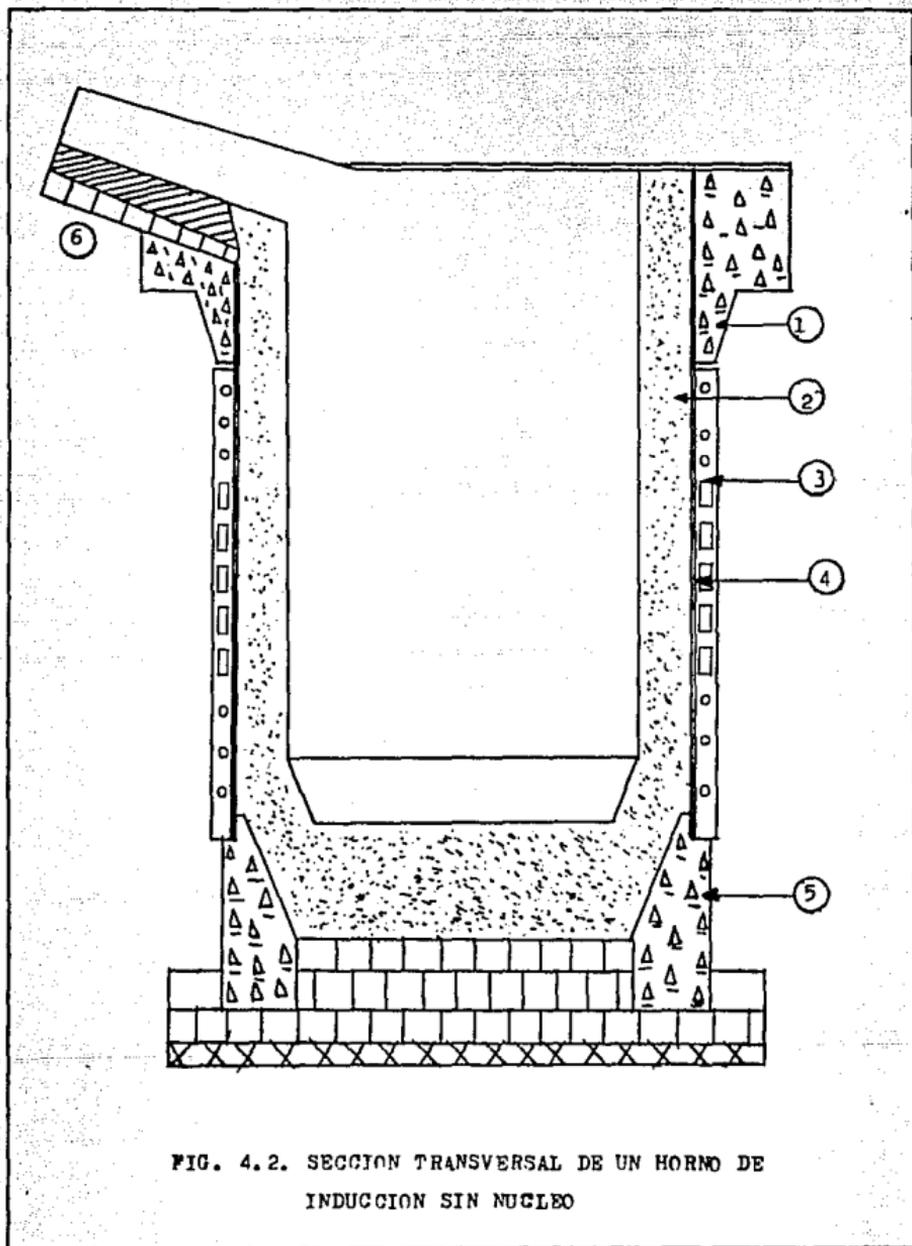


FIG. 4.2. SECCION TRANSVERSAL DE UN HORNO DE INDUCCION SIN NUCLEO

DESCRIPCION DE LA FIG. 4.2.1.

- 1.- Corona Superior refractario de 95.5% de alúmina  
 $Al_2 O_3$ .
- 2.- Crisol refractario silice  $Si O_2$ .
- 3.- Bobina de cobre
- 4.- Láminas de asbesto
- 5.- Corona inferior refractario de 95.5% de alúmina  
 $Al_2 O_3$ .
- 6.- Pico de colada, refractario de alúmina plastica.

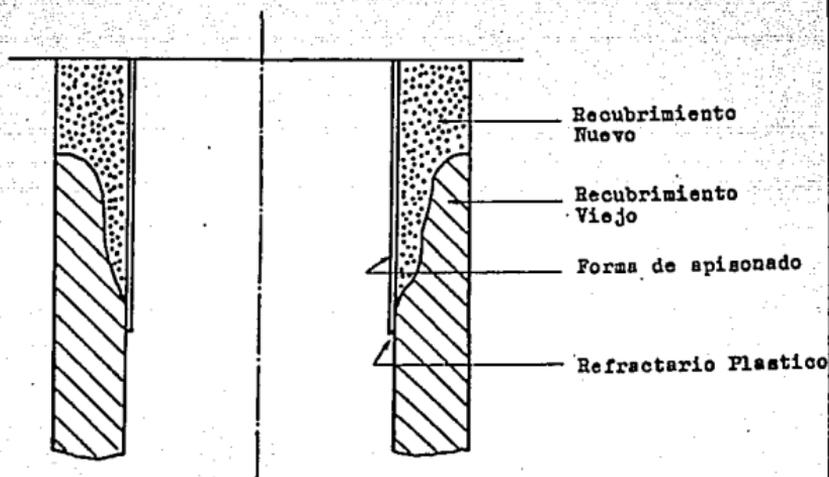


FIG. 4.3.1-REPARACION DE LA PARTE SUPERIOR  
DEL CRISOL

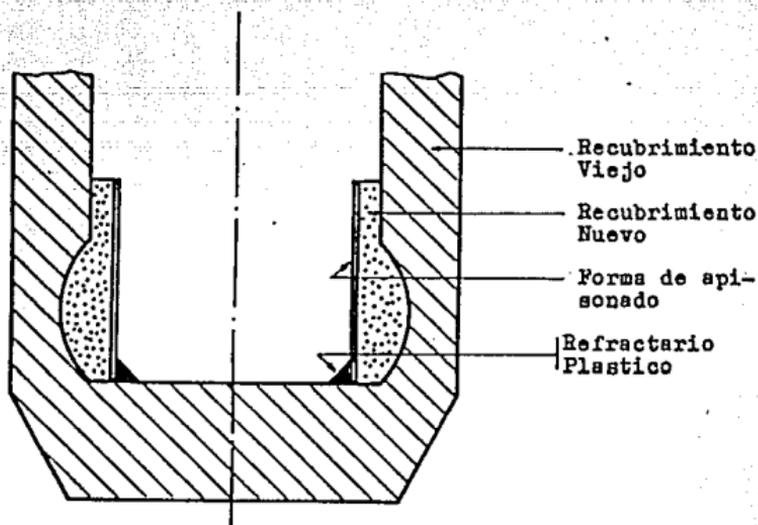


FIG. 4.3.2.

REPARACION DEL CRISOL PAREDES DEL FONDO

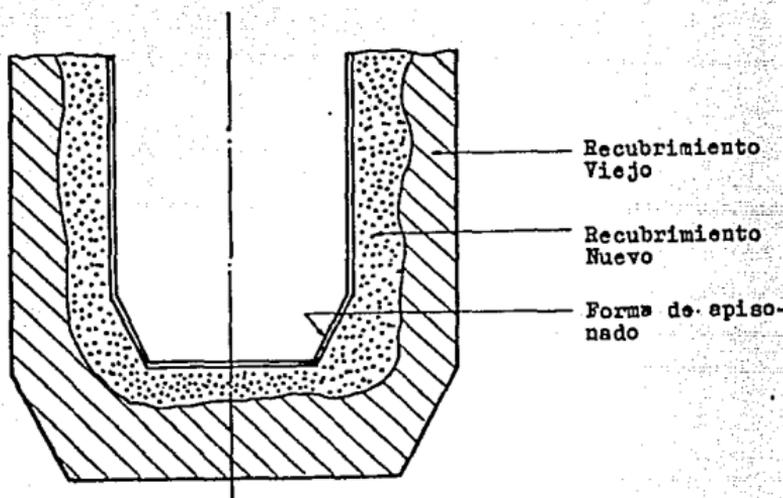


FIG. 4.3.3.

REPARACION DEL CRISOL COMPLETO

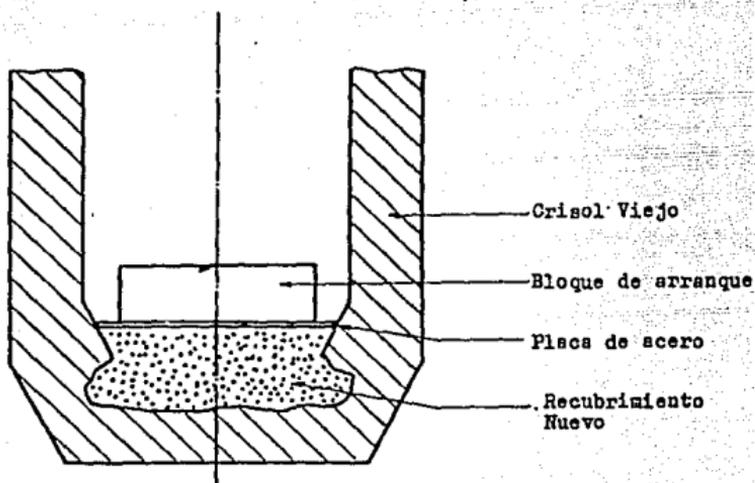


FIG. 4.3.4.  
REPARACION DEL FONDO DEL CRISOL

CAPITULO V.

PROCEDIMIENTOS PARA

CAMBIO DE BOBINA Y REFRACTARIOS

## 5.1. PROCEDIMIENTO DE PARO DEL HORNO

En el procedimiento de paro del horno es recomendable calentar el metal a 1550°C. cuando menos, para fundir toda la escoria que esta sobre las paredes.

Desescoriar el horno completamente y conectar los controles a poca potencia de mantenimiento.

Girar el horno a 95° cuando menos para vaciar completamente el horno. Las últimas toneladas deberen ser vaciadas tan rápido como sea posible, ya que solo puede aplicarse una muy pequeña potencia durante este tiempo, para evitar que se quede metal pegado en las paredes o el fondo del horno.

Tiempo de vaciado 4 horas promedio.

Cuando el horno está vacío, bajarlo y mantener completamente abierta la tapa.

Dejar enfriar el crisol completamente, ayudando con una asistencia adicional de ventiladores ó rocío de agua para disminuir el tiempo. Esto solo en caso de que vaya a ser cambiado el crisol y teniendo cuidado en la cantidad de agua ya que un exceso de ésta se trasminaría a la bobina y provocaría baja resistencia a tierra al arranque del horno. Además se introduce un tubo con barrenos, inyectándole aire a presión de 6 kg./cm<sup>2</sup>. por un tiempo de 9 horas. En caso de no haber reposición del crisol se recomienda su enfriamiento lento sin rocío de agua.

Una vez ya que esta frío se mide físicamente el radio del crisol, teniendo en cuenta que lo importante es el espesor de las paredes y no el diámetro del mismo.

Basandose en las medidas del crisol se puede predecir la vida probable de éste bajo un uso normal. El desgaste del crisol

varia linealmente pero al final de la vida del mismo lo hace hiperbólicamente, por está razón debiera establecerse como norma no exceder el desgaste de un tercio del espesor original de la pared y el fondo.

En este caso las medidas originales de este horno la pared es de 16 cm. de espesor, las medidas criticas son de 74 cm. -- midiendo con plomada al centro. La medida original del piso --- son 40 cm. y no se debe exceder el desgaste a más de 27.4 cm.

Es muy importante el tomar medidas al crisol antes de hacer el rompimiento de éste ya que estas medidas nos van a dar -- la guía para evitar problemas de desgaste excesivo del crisol y penetraciones de metal en el mismo y daños a la bobina, lo que -- repercute en el tiempo que el horno este fuera de servicio e implica mayor costo en producción y el costo directo del horno en si.

Tambien debe de tomarse en cuenta la comparación de lectu-- ras electricas hechas con el crisol lleno y carga líquida, que -- permite predecir aproximadamente las condiciones del crisol. De -- berán de tomarse en cuenta lecturas por lo menos de; Voltaje, -- amperaje, Kw, Kvars y pasos de capacitores dentro para evaluar -- las condiciones del crisol.

El agua de enfriamiento debe continuar fluyendo a través de la bobina hasta que el crisol haya alcanzado una temperatura de 60° C' o menos.

## 5.2. ROMPIMIENTO DEL CRISOL

Despues de 10 horas de enfriamiento con el tubo con barra-- nos con aire a presión y haberle tomado medidas al refractario-- se hace el rompimiento del crisol.

Para romper el crisol se usa un cincel neumático, se empieza ranurando el crisol aproximadamente 20 cm. de ancho en las direcciones de 90 y 360 grados tomando como 0 a el pico del horno y -- girando en sentido contrario a las manecillas del reloj. Estas ranuras se hacen hasta el fondo del horno, terminando de tirar -- con barreta el lado del pico. El lado opuesto se afloja con ba-- rreta, luego se bascula el horno a 95 grados cayendo por gravedad el refractario diseñado y se procede a sacar el escombros.

No se debe usar martillo neumático pesado, dado que las excep-- sivas vibraciones pueden dañar el cobre de la bobina, el aisla-- miento eléctrico adyacente o los aislamientos entre espiras.

Se debe tener particular cuidado en que el cincel sea coloca-- do tan verticalmente como sea posible, paralelo al eje del crisol y no contra la bobina para evitar el daño a esta.

Para la demolición del piso del crisol, se hace una perfora-- ción del lado del pico hasta llegar el piso de la corona inferior se rompe unicamente la mitad del piso, luego se bascula totalmen-- te y la otra mitad cae por gravedad ya que una parte del fondo -- del piso es de refractario puro que no está sinterizado y se en-- cuentra con polvo, lo que hace que se caiga facilmente. Se saca todo el escombros y se despegan las láminas de asbesto del refrac-- tario que cubre la bobina y de los anillos de concreto, si hay -- algun daño éstos deben ser reparados adecuadamente.

El tiempo empleado para éste trabajo es de 10 horas, utili-- zando 4 personas las primeras 8 horas y se encargan de terminarlo otras 4, al terminar se sopletea cuidadosamente para que no haya nada de polvo ni basura.

### 5.3. DEMOLICION DE CORONAS

#### 5.3.1. CORONA SUPERIOR

Se toman medidas antes de empezar la demolición, estas son de 28 cm. de ancho por 46 cm. de alto. Esta se debe tirar parte por parte debido al material de alta alúmina que es muy duro.

Se debe de tener mucho cuidado de que la bobina no sea dañada con el cincel de la pistola al hacer la demolición.

Al terminar de tirarla se observa lo siguiente;

Una protección metálica forrada de tela de asbesto que se encuentre protegiendo a los yugos y la estructura metálica del horno cubierta con lámina de asbesto de un cuarto de pulgada de espesor. El tiempo empleado es de 12 horas utilizando 4 personas las primeras 8 horas y las otras 4 las últimas 4 horas.

#### 5.3.2. CORONA INFERIOR

Se tiene el mismo cuidado de no golpear la bobina con el cincel. Aquí se observa que las porcelanas que esten en la base de la corona y que sirven para soporte y aislamiento de la bobina no tiene protección, sino que solo se le da forma a la cavidad de la porcelana. Al terminar la demolición se le toman medidas a las cavidades donde se encontraba la corona, para tener datos suficientes para hacerla nuevamente. Ver la figura 5.3.2.

## 5.4. COLOCACION DE BOBINA

### 5.4.1. EXTRACCION DE BOBINA A REPARAR

Primero se aflojan los tornillos calibradores de los yugos, aflojandose tambien estos para permitir que la bobina salga sin ningun problema. Esta maniobra no requiere de un soporte adicional ya que la bobina lo trae integrado, unicamente se usan dos cables de acero.

### 5.4.2. SE SACAN LOS YUGOS

Al tener ya flojos los tornillos calibradores de estos se deben numerar los yugos y la estructura de apoyo para después proceder a colocarlos en su lugar original, cuando hayan sido - revisados y reparados los que así lo requieran.

Cuando los yugos estan fuera se cambia lámina de asbesto - de la parte frontal de los yugos, además la isómica, la cual se sujeta con pijas que van a los costados de los yugos.

Cuando estén listos los yugos se colocan en su lugar correspondiente de acuerdo a la numeración hecha con anterioridad.

Cuando esten colocados los yugos se coloca la bobina nueva esta ya trae la protección de refractario integrada. Se centra perfectamente utilizando los puntos de la plataforma para sacar el centro del horno. Se hace la nivelación con nivel de gota - de un metro, se aprietan los yugos utilizando los tornillos calibradores de cada uno de éstos. Este trabajo se realiza en un tiempo de 36 horas, que incluye desde desmontar yugos, colocar láminas de asbesto y colocación de bobina nueva.

## 5.5. COLOCADO DE PISO Y CORONAS

Se debe tener cuidado con el ladrillo refractario del piso ya que este es muy poroso y se fractura fácilmente, por lo que se deben de tomar medidas para evitar que esto ocurra.

Para colocar el piso primero se obtiene el centro con nivel y plomada para luego centrar el arillo, una vez hecho esto se empieza el colado, se mezcla en la revolvedora eléctrica, -- esta operación debe ser rápida ya que el refractario fragua rápidamente. Las medidas del piso de este horno son 125 cm. de diámetro y 6.5 cm. de altura. Se usan 7 bultos de refractario de 95.5% de alúmina, total 317.8 Kg. y 35 litros de agua. El tiempo utilizado es de 40 minutos y 3 personas. Durante este período de tiempo se deben tener a la mano las formas para -- colar las coronas superior e inferior las cuales deben estar -- limpias.

### 5.5.1. COLADO DE CORONA INFERIOR

Se utiliza un molde metálico para el colado de la corona, antes de poner ésta se colocan protecciones para la porcelana, yugo y balancín.

Estas protecciones son de asbesto comprimido y se cortan sobre medida según lo requiera cada porcelana y yugo. Se cortan 10 piezas y sus medidas son;

- 1.- 2 piezas de 20x19.5 cm.
- 2.- 1 pieza de 20x19.4 cm.
- 3.- 1 pieza de 20x18 cm.
- 4.- 1 pieza de 20x15 cm.

- 5.- 1 pieza de 20x17 cm.
- 6.- 1 pieza de 20x21.7 cm.
- 7.- 1 pieza de 20x21.9 cm.
- 8.- 1 pieza de 20x21.6 cm.
- 9.- 1 pieza de 20x20.2 cm.

Al terminar de colocar las protecciones, se centra el molde en el piso y se fija con cuñas. Se debe hacer notar que entre yugo y balancín quedan unos huecos pequeños los cuales se tapan con tela de asbesto. Además en el centrado del molde se saca el centro con plomada.

En el colado de la corona se utilizan 21 bultos de refractario de 95.5% de alúmina y temperatura de servicio máxima de 1800° C. cada bulto pesa 45.4 Kg.

Se hacen cargas de 4 bultos con un tiempo de mezclado de 5 minutos por carga, se agregan 5 litros de agua por cada bulto refractario usado 953.5 Kg. y 105 litros de agua con un tiempo de colado de 75 minutos empleando 6 personas.

Se usa una revolvedora eléctrica de 3 hp de potencia, 60 ciclos, 1730 RPM. 220/240 volts. Además dos carretillas de mano, 3 cuñas para picar ó un vibrador para concreto y una cuchara de albañil.

#### 5.5.2. COLADO DE LA CORONA SUPERIOR

Al colocar la protección metálica a los yugos se debe verificarse que en las aristas y entre protección se ponga cinta de asbesto para evitar que al hacer el colado el refractario se filtre.

Se cortan láminas de asbesto de un cuarto de pulgada de espesor y de 23x45 cm. se usa un pegamento de contacto para pegarlas, se van colocando golpeándolas con un mazo de goma para que queden bien alineadas y se pone tela de asbesto a los huecos que quedan entre la estructura y las protecciones metálicas, entre bobina y protecciones se cubre cinta de asbesto.

Terminando de hacer esto se centra la forma utilizando un cable de acero y un polipasto de carga, antes se revisa que este bien limpie e impregnada de separador.

Cuando está colocada se nivela bien utilizando un nivel de goma. Despues se cierran los huecos que quedan entre la forma o molde y el refractario protector de la bobina, abriendo la forma con sus tres tornillos tensores, estos deben de quedar a una misma distancia para que el colado quede a plomo.

Se debe de tener cuidado de que para cerrar mejor los huecos que quedan entre el refractario de la bobina y el molde, después de haber abierto los tornillos tensores, se pueden colocar cuñas de madera para que no se mueva el molde.

La nivelación ademas se hace colocando calzas en los soportes del molde que asi lo requieran y que sirven para sostener el mismo, terminando de centrarlo se limpia la parte a colar humedeciendola con agua.

Luego de esto se empieza a colar teniendo el cuidado de antes de iniciar el lugar cercano a el horno o plataforma esté completamente limpio.

Se deben colocar tablas entre el pico y la parte de la corona para que la hechura del pico se haga por separado.

En el colado se preparan cargas de 4 bultos con 21 litros de agua con un tiempo de mezclado de 5 minutos por carga.

En total son 43 bultos de refractario de 95.5% de alúmina, cada vez que se agregue refractario preparado y mezclado se usa un vibrador para concreto o en su defecto de picar con cuñas ó tablas para sacar el aire y que no quede la corona con porosidades.

Son once cargas en total 1952 Kg. y 230 litros de agua empleando 8 personas distribuidas de la siguiente manera; 2 con las carretillas, una operando la revoladora, una vaciando bultos a la revoladora, una agregando litros medidos de agua y tres picando al refractario que se va colando.

Después de una hora de fraguada la corona se quitan las tablas separadoras del pico se hace éste utilizando el mismo molde de la corona para ahorrar tiempo. Se ocupa refractario plástico de 90% de alúmina con liga fosfórica, por lo que las personas que lo manejan ó apliquen deben de usar guantes de hule para protegerse de posibles quemaduras. Este refractario se aplica desmoronandolo con las manos y luego se apisona perfectamente con un pisón neumático.

Para darle la forma e inclinación adecuada se utiliza una forma metálica ó de madera, se debe de dejar el canal 20 cm. -- abajo del nivel superior de la corona. En la hechura del pico y parte de la corona se usan 17 cajas de 45.4 Kg. de refractario plástico total 871.8 Kg. A falta de este material se puede usar otro similar.

Las ventajas de formar el pico con éste material plástico de alta alúmina son;

- 1.- Reduce el riesgo de perforaciones ó penetración de -- metal en la corona del horno.

- 2.- Un refractario con mayor resistencia a la temperatura alta y choques térmicos.

3.- Poca presencia de humedad por carecer de agua y menor temperatura de curado.

Tiempo de la hechura del pico 5 horas, el total para hacer la corona inferior, superior y pico es de 29 horas.

## 5.6. DESCIMBRADO DE CORONAS

### 5.6.1. CORONA INFERIOR

Se utiliza un polipasto de carga y dos cables de acero de 3 metros de largo, se sostiene de sus 4 orejas de la forma se presiona suave y si se resiste se golpea un poco en la forma -- para que afloje. Si al hacer esto se observa que está poroso -- se resana con refractario de alta alúmina cernido. Estos huecos son provocados por falta de vibrado en el momento de colar la corona.

### 5.6.2. CORONA SUPERIOR

Se sujete con los dos cables de acero de los 4 soportes se aflojan los tornillos tensores y se cierra la unión de la forma -- hasta que afloje todo alrededor de la corona y se saca con el polipasto de carga.

Si llegase a quedar porosa se resana de la misma forma de la corona inferior.

## 5.7. SECADO DE CORONAS

Después de colar, todas las superficies expuestas del colado deben de cubrirse con trapos mojados o con una película plástica para que se mantengan húmedas el asentamiento inicial tardara entre una y 4 horas según el contenido de humedad, métodos de instalación y el tipo de refractario colado. El asentamiento final -- tardara entre tres y 6 horas. Las hormas o formas pueden quitarse en cualquier momento después del asentamiento final, pero todas las superficies expuestas del cemento refractario deben mantenerse húmedas por 24 horas después de haberse colado para que el material desarrolle su máxima resistencia. Transcurrido este tiempo se retiran las franelas y se deja secar a temperatura ambiente.

Se puede colocar una estrella con focos infrarrojos a medio -- horno conectados en serie para empezar a sacar la humedad, en -- cuanto empiecen a vaporizar las coronas se apagan los focos. No deben de vaporizar ya que esto indica que hay un ascenso muy rápido de la temperatura lo que puede provocar resistencias heterogéneas del refractario.

La estrella con focos infrarrojos permanece durante un tiempo de 72 horas después de los cuales se meten al horno 2 blocks de -- arranque poniendo como base 8 ladrillos en forma de cuadro, dos piezas por lado con la finalidad de que al calentarse los blocks no se agriete el piso por la humedad que contiene.

En caso de no contar con termopares para tomar la temperatura de las coronas se puede usar un pirometro de radiación digital.

Cuando se tienen los bloques ya dentro se procede a energizar el horno en el tap más bajo L-7 teniendo cuidado de no elevar

la temperatura a más de 900°C. Para verificar esto se usa el pi  
rometro de radiación y registrando las temperaturas en la bits--  
cora para llevar un control de estas.

Se debe de suspender el calentamiento de los blocks cuando  
estos empiecen a ponerse rojos.

Este calentamiento se debe de mantener durante 72 horas, SA  
después de las cuales se deja enfriar los bloques durante 8 horas  
luego se sacan los bloques, se barre y queda listo para la hechu  
ra del crisol.

#### 5.8. RECUBRIMIENTO DE ASBESTO

El proposito del recubrimiento de asbesto, colocado entre -  
el recubrimiento de la bobina y el crisol, es lograr un buen - -  
aislamiento térmico y procurar espacio para las expansiones del  
crisol.

Se colocan láminas de un 1/4 de pulgada de espesor, la cali  
dad del asbesto debe ser por lo menos de 50% puro, el 50% restan  
te puede constar de 47% de relleno inorgánico y 3% de orgánico.

Estas láminas van sobrepuestas a la pared dandoles la forma  
del horno con un martillo de hule o goma.

Las capas deben instalarse apretándolas de manera que no --  
quede espacio libre en la parte de unión. La capa interior de  
asbesto se instala de modo que su orilla este escalonada para cu  
brir la orilla de la otra lámina. Si las capas estan deteriora-  
das, solo se aceptaran las que tengan las orillas ligeramente des  
gastadas.

Es muy importante no usar pegamento para las láminas pues están conformadas para sonortarse entre si por medio del efecto del arco.

La última capa de ajuste debe instalarse a la medida de modo que quede bien colocada.

Para llevar a cabo esto se siguen las instrucciones siguientes;

1.- Hacer presión sobre las láminas ya instaladas de izquierda a derecha de modo que estas se junten entre si, se necesitan 3 hombres para hacer este trabajo.

2.- Medir el ancho de la capa de ajuste.

3.- Cortar la capa 5 mm. mayor que la medida tomada.

4.- Presionar la capa de ajuste contra los extremos de las capas puestas hasta que se haga cóncavo hacia el centro del horno. Luego se presiona o golpea suavemente con el martillo de hule hasta que quede en su lugar completando el arco.

## 5.9. INSTALACION DE ELECTRODOS DE TIERRA

Se recomienda usar alambre nicrotal v, níquel cromo en proporción de 80-20% con  $\phi$  de .204 pulgadas y temperatura de fusión de 1500°C.

El alambre se inserta en el piso del horno, hecho para este propósito, la parte inferior va conectada a una terminal de tierra común, la cual va soldada al cuerpo del horno.

La terminal superior del alambre queda vertical y deberá cortarse a la longitud adecuada.

Los espacios entre el alambre y agujero deberan sellarse bien con refractario plástico de 59-61% de alúmina donde entra el piso de concreto.

Esto evita que la sílice escape a lo largo del alambre -- insertado.

El alambre de tierra que va hacia el horno debera cortarse a 1/4 pulgada debajo de lo que va hacer la parte interior del fondo del crisol, las puntas de los electrodos no deberán sobresalir, pues al colocar el fondo de la forma de apisonado las puntas se doblarán y al apisonar se perderian.

Las puntas de los electrodos tampoco deberán enterrarse -- demasiado, pues entonces no pueden hacer contacto con el baño, sobre todo durante los primeros dias de operación, cuando este contacto se necesita más.

Esto se debe a que entonces todavía no se ha formado un puente conductor con salpicaduras de hierro fundido entre la plataforma de acero que está conectada a tierra y el nivel del baño.

Despues de varios días se debe formar en la parte superior de la línea de baño un recubrimiento debido a salpicaduras de metal fundido, que causa que el baño se ponga a tierra a través de la plataforma de acero.

Además estos electrodos sirven para detectar un acercamiento de metal a la bobina y como protección de los operadores a una posible descarga de corriente.

## 5.10. APISONADO

### INTRODUCCION

Es muy importante que el area de apisonado (plataforma del horno) esté absolutamente limpia para evitar impurezas en la sílice. Todos los trabajadores que vayan a tomar parte en el --

apisonado deben de vaciar las bolsas de sus prendas de vestir, antes de iniciar el trabajo.

Durante el proceso esta prohibido fumar ya que podrian caer colillas al material de apisonado. El personal ajeno al trabajo debe mantenerse alejado. Se debe evitar en lo posible la formación de polvo mientras se trabaja con la masa de apisonado.

#### a) APISONADO MECANICO

Este procedimiento esta basado en el uso de un vibrador eléctrico marca Bosch, aunque tambien se puede hacer en forma manual introduciendo las correcciones necesarias, los vibradores operados con aire no se deben usar debido a que producen gran cantidad de polvo.

#### b) INSTALACION DEL PISO

Se agregan 3 bultos de cuarzita sin ácido bórico u óxido de boro a nivelar perfectamente con una cuchara de albañil.

Agregar 16 bultos de cuarzita con ácido bórico u óxido de boro, se distribuyen en todo el piso para hacer la primera capa.

Se apisona con el equipo Bosch partiendo del centro en forma de espiral, esto se hace con dos personas durante 6 vueltas.

Quando está primera capa está apisonada se cortan las antenas hasta donde indique el escantillón que se tiene para este efecto y que mide 260 cm. desde la parte alta en caso de un horno de 25 tons. de capacidad.

La superficie del refractario apisonado se pica con una espátula plana para asegurar un buen anclaje con la siguiente capa.

Agregar 16 bultos de cuarzita para hacer la 2ª capa del piso la cual debe estar bien nivelada. Se apisona de la misma forma ya descrita que la primera capa.

Se nivela el piso con un nivel de gota de un metro de longitud a un cuarto de pulgada arriba de las antenas.

#### c) COLOCACION DE LA FORMA DE APISONADO

La forma que se usa se debe de limpiar del óxido que puede tener por la parte exterior con pulidora con carda, se deben de sellar los barrenos con cinta adhesiva, se le coloca un cable de acero para sostener la forma que debe apretarse con 3 nudos perros, debe de tener dos marcos colocados con soldadura para el vibrado de las paredes.

Se procede a colocar la forma y se centra lo mejor posible con las 4 guías de tal manera que el espesor de la pared este entre 15 y 16 cm. se colocan las cuñas en triángulo para que no se mueva la forma y se secan las 4 guías.

#### d) LLENADO DE LAS PAREDES

Se va agregando la cuarzita por medio de un embudo con extensión de tubo de 2 pulgadas de diámetro y simultáneamente se va sacando el aire con 3 espátulas planas girando alrededor de la forma hasta llenar las paredes

#### e) VIBRADO DE LAS PAREDES

Terminando de llenar las paredes se coloca el vibrador martin en el marco inferior de la forma a 0-180-90 y 360 grados (en cuatro posiciones) vibrar durante 3 minutos en las primera 3 posiciones con una presión de 2.5 Kg./cm<sup>2</sup> de aire para verificar que se acomode el material de apisonado con 3200 R.P.M. mínimo y en la cuarta posición (360 grados) se vibra durante 13 minutos con 6.5 Kg./cm<sup>2</sup> de presión de aire y con 3500 R.P.M. mínimas. Luego se vibran por 10 minutos las 3 posiciones faltantes (90-0-180) con la misma presión de aire.

La posición de 0 grados corresponde al pico del horno y se gira en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Las revoluciones por minuto se chequean con un vibratak.

En el marco superior se vibra por 3 minutos por lado a una presión de  $6.5 \text{ Kg/cm}^2$  de aire en las posiciones antes mencionadas de tal manera que cuando se empiezan a separar los granos gruesos de los finos en las paredes se suspende el vibrado.

Tiempo empleado desde poner láminas hasta este punto 10 horas en promedio emoleando 8 gentes. Se utilizan 4449.2 Kg. de cuarzita en esta zona, total con el piso 6038.2 Kg.

#### f) RECARGUE DEL HORNO

Se cortan los marcos de la forma, se tarda 60 minutos el soldador en hacerlo, se barre bien el fondo de la forma. Si ésta sílice no se quite el operador no podrá determinar si estos residuos cayeron o se debe a que el crisol nuevo los ha soltado.

Se meten los blocks que deben estar bien limpios y a una distancia de 6 a 7 cm. de la forma de apisonado para evitar que se haga contacto creando un arco eléctrico lo que provocaría huecos por los cuales se escaparía el refractario, además su apilamiento debe estar bien balanceado y bien centradas dichas piezas. Ver figura 5.10.1.

### 5.11. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

#### 5.11.11. UN NIVEL DE AGUA

Uso; Nivelar el fondo de apisonado de sílice de tal manera que quede el crisol nivelado.

Tamaño; Con una longitud similar al diámetro del crisol.

## 5.11.2. EQUIPO DE SEGURIDAD

### MASCARA CONTRA POLVO

Uso; Se recomienda que los trabajadores lo usen dentro del crisol, cuando se maneje la sílice o asbesto.

Tamaño; Para cubrir la boca y nariz sin usar lentes.

### 5.11.3 TABLAS

Cantidad; 4 por horno para apisonar simultáneamente.

Uso; Para mantener cilíndrico el crisol desde el centro, durante el apisonado, primero use las tablas y después las cuñas.

Dimensiones; La longitud de la tabla debe ser igual a la longitud del espesor del crisol, e igual al espesor del recubrimiento de la pared menos 5 cm. para claros.

Ancho; Aproximadamente 5 cm.

### 5.11.4. CUÑAS

Dimensiones; De la parte inferior 2.5 cm. menos que el espesor de la pared del recubrimiento de sílice.

En la parte superior 2.5 cm. más que el espesor del recubrimiento de sílice, para cuñas con un espesor de pared comprendido entre 5 y 7.5 cm.

Longitud; Aproximadamente 30-37.5 cm. fabricadas con madera dura. Apisonador de espátula.

Cantidad; 3 para hornos con capacidad de crisol mayores de 8 toneladas.

### 5.11.5. FORMA DE APISONADO

Cantidad; Una para recubrimiento del horno.

Uso; Formar el modelo del interior del crisol.

Tamaño; Ver dibujo forma de apisonado. No 5.11.5.

Descripción; Para hornos con capacidad de crisol de hasta de 25 tons. se pueden hacer formas de apisonado de una sola pieza.

Los hornos con mayor capacidad de crisol requieren de más -- de una sección, debido a que al vaciar la sílice a mayor altura por medio de un embudo puede producir polvo excesivo causando -- pérdidas de óxido bórico y sílice. Se recomienda hacerlos 2 o 3 secciones con objeto de tener un apisonado más eficiente.

El espesor de las paredes del apisonado bajo ninguna cir-- cunstancia debe ser diferentes a lo especificado en el dibujo.

Las paredes gruesas registran una carga eléctrica excesiva durante el ciclo de sinterizado eléctrico cuando la temperatura de las paredes está abajo del punto de curie (588-697° C.). Para facilitar el escape de vapor se pueden distribuir agujeros de -- 2.5 mm. cada 15 cm. no considere esto como un requerimiento.

Para hacer reparaciones de la forma de apisonado respé apro-- ximadamente 1.25 cm. sobre dicha horma.

#### SOLDADURA DE LA FORMA DE APISONADO

Haga una soldadura en forma de "V" del mismo espesor de la capa. Si el espesor de la soldadura es menor que el indicado, -- se abrirá cuando haya gran intensidad de corriente.

La fusión de la costura soldada puede descubrirse durante -- el sinterizado eléctrico, cuando la forma ha alcanzado una tempe-- ratura de 698° C. a 1028° C., debido a un chisporroteo que sube en la costura, dejando un espacio entre los extremos de la forma.

Este espacio influye en el flujo de la corriente eléctrica inducida, haciendo que el calor necesario para el sinterizado se interrumpa.

Si se continua enfriando se contraen los extremos causando chisporroteo semejante a la soldadura electrica.

Este arco daña la superficie del recubrimiento y deja una marca sobre el.

La costura de la soldadura debe estar limpia de escoria en el lado de la silice para evitar la contaminacion de este último y bajar su punto de fusión. La escoria en el lado exterior de la silice no produce efectos negativos.

Las secciones de la forma de apisonado se soldan por puntos uniendolos solo del lado externo. Los puntos de soldadura deben estar igualmente distribuidos en la circunferencia.

Las formas de apisonado deben estar tan redondas como sea posible. Despues de haber soldado la forma, es conveniente tratar de redondearla lo mejor posible.

Para transportar las formas de apisonado, solde con puntos barras en cruz para evitar que se produzcan ovalamientos. Una forma de apisonado ovalada produce desigualdad de espesor en el crisol del horno.

Se debe recordar que la calidad de un recubrimiento depende de su punto de cedencia.

Las formas para apisonado que estan torcidas, de manera -- que el espesor de la pared del recubrimiento se reduzca en  $1/8$  de la dimension teórica, deben ser rechazados.

Por ejemplo una forma para apisonado que esta ovalada con 2.5 cm. o sea que exista esa medida entre el diámetro minimo y maximo, reduce teoricamente el espesor de la pared de 10 a 8.75 cms. en dos puntos. Las formas que se encuentran en estado descrito, causan una serie reduccion y se pueden aceptar solo con ciertas reservas.

#### 5.11.6. EMBUDO PARA VACIAR

Cantidad: Uno por horno.

Uso: Para vaciar la sílice en el espacio para el apisonado formando las paredes.

Tamaño: Ver dibujo. Hecho con metal galvanizado.

#### 5.11.7. LAMPARA COLGANTE

Cantidad: Dos.

Uso: Sirve para inspeccionar el espacio que se va a apisonar y para poder localizar objetos extraños que hayan caído dentro, tales como cigarros, plumas, lápices, etc. Se logra un mejor sistema de alumbrado si se montan 4 lámparas sobre el centro del horno, de este modo el haz luminoso no producira sombras en el espacio para apisonar.

#### 5.11.8. CINTA METRICA

Cantidad: Una.

Uso: Para determinar el centro y la profundidad de la forma de apisonado.

Tamaño: 300 cm.

#### 5.11.9. HERRAMIENTAS PARA RECUPERAR

Cantidad: Una

Uso: Para recuperar impurezas tales como cigarros, plumas lápices etc. que caen dentro del espacio para apisonar.

Tamaño: El bastón debe ser del tamaño de la profundidad del crisol con una cuchara de 3.75 x 7.5 cm. soldada en el extremo a 90 grados.

#### 5.11.10 CONTACTOS ELECTRICOS

Cantidad: Suficientes para poder operar simultaneamente  
Lámparas colgantes  
Vibrador eléctrico  
Revolvedor eléctrico

#### 5.11.11. MEZCLADOR DE CONCRETO

Cantidad: Uno (debe tener almacenado uno debido a que se usa frecuentemente)

Uso: Para mezclar el refractario alto en alúmina para colado de las coronas. No debe usarse para cualquier otro material tal como concreto mojado etc., debido a que cause dificultades en la limpieza.

Tamaño: Dependiendo del tamaño del horno el mezclador debe tener la capacidad para mezclar de 1 a 4 bolsas de 45 Kg. cada una en ciclos de 5 minutos.

Comercialmente se encuentren barriles mezcladores de 250 litros de capacidad que pueden usarse para cualquier capacidad de los hornos.

Descripción: Es preferible usar motores eléctricos o de gas.

La velocidad del tambor no debe exceder a 30 RPM. se recomienda el tipo de tambor, porque este tipo cuenta con una entrada que sella fácilmente. Generalmente tiene tapa de plástico con

banda de hule, asegurando que el contenido del tambor no se selga.

### 5.11.12 VIBRADORES ELECTRICOS

Cantidad: Uno para hornos hasta de 10 tons. de capacidad de crisol.

Dos para hornos grandes. El apisonado simultaneo de dos hornos requieren el múltiple de vibradores.

Uso: Para mecanizar el apisonado del crisol. Este es preferible principalmente para hornos de capacidad de crisol superiores a 8 tons. El apisonado mecanizado no dura más que un apisonado hecho totalmente en forma manual.

No obstante, es preferible hacer el apisonado mecanizado, ya que se obtiene un considerable ahorro de tiempo y mano de obra.

Por ejemplo: Un horno de 16 tons. de capacidad de crisol requiere para un apisonado manual 16 horas y emplea 5 hombres, mientras que para un apisonado mecanizado, se necesita solo un vibrador, 4 hombres y de 6-8 horas de trabajo.

Descripción: Marca Bosch, tipo 18900, 240/340 volts. 280 W. 50 Hz, 3 fases con conexión delta o estrella intercambiables.

Mantenimiento: Este vibrador no lo necesita. Los baleros están lubricados por vida. El cable de hule que cubre los conductores electricos debe revisarse periodicamente, ya que está sometido a trabajo rudo.

Cambio de voltajes: Antes de operar el vibrador es conveniente tener un enchufe para conectar un cable de 4 conductores.

Al mismo tiempo se debe determinar a que voltaje va a trabajar el vibrador. Las unidades generalmente se entregan con conexiones segun el voltaje deseado, haciendo los cambios en la tablilla del motor como se muestra.

## 5.12. REQUERIMIENTOS IMPORTANTES QUE DEBEN DE OBSERVARSE.

1.- Asegurarse que la línea de aire este libre de exceso de polvo y humedad, soprándolo antes de conectarlo al filtro-regulador-lubricador.

2.- Usar mangueras de aire con diámetro interno de 3/4 de pulgada en todo el sistema. Diámetros menores restringen el volumen de aire que se necesita para operar el vibrador adecuadamente.

3.- Asegúrese que el lubricador este ajustado adecuadamente. Demasiadas gotas del lubricante por minuto puede acumular coque en el motor de aire y ocasionar R.P.M. erráticos o reducirlos abajo de lo deseado.

4.- Opere el vibrador a una presión de aire arriba de la mínima recomendada. El regulador se usa para este propósito.

5.- Use vibratax para checar la vibración. Esto es imprescindible. Lecturas de 3500 R.P.M. mínimas deben obtenerse a 80 P.S.I. mínimo.

6.- Sacar el aire del refractario adecuadamente.

7.- Para el mantenimiento del vibrador se siguen las instrucciones del fabricante.

8.- No siga operando el vibrador si alguna parte del sistema se afloja. Esta condición se manifiesta por si sola por una baja en R.P.M. y operación errática, se puede dañar el vibrador, parelo, resprieto al armazón, luego continúe, resnando el tiempo a partir del paro.

9.- No considere usted que tiene una buena instalación -- si obtiene menos de 3500 R.P.M. a 80 P.S.I. o mayor, en hornos de 10 toneladas o mayores. Hay algo malo en el sistema entonces y se debe investigar la causa.

Puesto que los problemas surgen algunas veces con el propio vibrador, se recomienda tener a mano un motor de aire de repuesto. Es aconsejable checar el vibrador con varios días de anticipación antes de cada instalación de revestimiento para asegurarse de que esté en buenas condiciones.

### 5.13. SINTERIZADO

#### INTRODUCCION GENERAL

La cuarzita es un refractario especial diseñado para formar revestimientos monolíticos (Es decir sin uniones ni grietas como se ve en la fig. No. 4.2.). Dentro de hornos de inducción eléctrica sin núcleo para fundir hierro gris, hierro maleable, hierro nodular y hierro blanco y algunos aceros al carbón y metales no ferrosos.

Los factores que caracterizan este material refractario como especial son múltiples y se enumeran a continuación;

5.13.1. Composición química y transformación de estructura cristalina.

5.13.2. Bajísimo contenido de contaminantes.

5.13.3. Disponibilidad exclusiva debida a factores geológicos.

5.13.4. Granulometría.

5.13.5. Propiedades exclusivas que incluyen;

- a) Estabilidad dimensional
- b) Resistencia al ataque químico
- c) Alta resistencia dieléctrica
- d) Densidad uniforme y baja permeabilidad
- e) Aislamiento térmico y eléctrico

5.13.6. Instalación usando métodos especiales de vibración y compactación

5.13.7. Sinterización siguiendo programas especiales de calentamiento.

En los párrafos que siguen se dan mayores detalles de cada uno de los factores enumerados arriba.

5.13.1. Este refractario está compuesto casi en su totalidad de cuarzita de alta pureza (99.2%) y tiene una estructura cristalina excepcional la que permite transformaciones. Bajo el calor del horno de fusión la estructura cristalina de la cuarzita sufre dos cambios.

Primero los granos de la cuarzita se transforman lentamente en tridimita a una temperatura de 870°C. y después a cristobalita a una temperatura de 1470°C. Los cambios de la estructura cristalina se hacen con un aumento considerable de volumen y son reversibles al dejar enfriar el horno.

Las transformaciones de la cuarzita a tridimita y a cristobalita son esenciales para la formación de tres zonas dentro del revestimiento refractario durante la sinterización del mismo.

5.13.2. Bajísimo contenido de contaminantes minrosil tiene bajísimas cantidades de óxidos metálicos ( $Fe_2O_3$  0.1%  $Al_2O_3$  0.5%, otros 0.2%) que pueden contaminar la cuarzita y distribuirle sus propiedades especiales durante su uso en el horno de inducción eléctrica sin núcleo.

5.13.3. Disponibilidad exclusiva debido a factores geológicos.

La disponibilidad de una cuarzita de pureza mayor de 99%, libre de contaminantes y con debida estructura cristalina se --

debe unice y exclusivamente a factores de tipo geológico los que han formado este tipo especial de cuarzita durante muchos períodos de muchos millones de años. Se conocen muy pocos yacimientos de este tipo especial de cuarzita y todos aquellos existen en países al extremo norte del globo. Uno de estos yacimientos es el llamado "Sharon conglomerante" en el estado de Ohio, U.S.A.

#### 5.13.4. Granulometria.

La cuarzita tiene un control sumamente cuidadoso de la distribución de los tamaños de grano, el cual sería imposible alcanzar una compactación de alto grado que es absolutamente necesaria para formar el revestimiento monolitico que se aprecia en la fig. 4.2.

#### 5.13.5. Propiedades especiales.

Es de anotarse que las condiciones bajo las cuales debe trabajar la cuarzita como revestimiento refractario dentro de un horno de inducción sin nucleo son sumamente rigurosas.

Por lo tanto la cuarzita tiene propiedades extraordinarias tales como:

##### 1.- Una estabilidad dimensional

A todas temperaturas alcanzadas durante operaciones efectuadas con un metal determinado. No debe agrietarse durante ciclos de temperaturas que varían desde la temperatura a la cual se derrite el metal hasta la temperatura máxima de vaciado (1650° C.).

##### 2.- Resistencia química

Al metal, las escorias y los aditivos que se ponen dentro del horno de inducción eléctrica sin núcleo.

### 3.- Alta resistencia dieléctrica.

Es decir no cambiar bajo los efectos del campo de inducción eléctrica, cuya potencia en hornos grandes puede superar los - - 10 000 Kilovatios.

4.- Una densidad uniforme con una permeabilidad lo suficientemente baja para no permitir al metal o a las escorias de infiltrarse dentro del revestimiento. Cabe señalar que una infiltración a través del revestimiento refractario de un horno de inducción eléctrica sin núcleo puede causar graves daños materiales y humanos con posibles pérdidas de vida.

5.- Actuar como aislamiento térmico y eléctrico. El revestimiento refractario junto con el aislamiento de asbestos y el empastado de la bobina deben proteger los componentes del horno del calor del metal fundido y al mismo tiempo evitar contacto - con él.

### 5.13.6. INSTALACION

El refractario de cuarzita se instala en los hornos de inducción eléctrica sin núcleo mediante métodos especiales de compactación que utilizan vibradores bien sea eléctrico del tipo - Bosch o neumáticos del tipo Martin para alcanzar altos grados de compactación los que llegan a dar a la cuarzita una densidad de 2.65 Kilos por decímetro cúbico.

La compactación lograda por vibración, el aumento de volumen al transformarse la cuarzita a tridimita y a la cristobalita y el diseño especial del horno de inducción bajo alta compresión lo que asegura una operación muy segura de los hornos de inducción eléctrica sin núcleo revestidos con este refractario.

Este material se suministra granulado y seco, premezclado con ácido bórico u óxido de boro en las proporciones deseadas.

Viene listo para su uso inmediato y siendo un producto --premezclado.

- a) Elimina una operación polvosa de mezclado en su planta
- b) Simplifica el inventario y la programación de operaciones de revestimiento.
- c) Ahorra tiempo y trabajo.

### 5.13.7. Sinterización

El óxido de boro (ácido bórico anhidro) provoca la sinterización de los revestimientos de cuarzita, es un aglomerante fuerte y la cantidad que se agrega debe ser cuidadosamente medida y distribuida uniformemente en toda la mezcla de refractario apisonable. En la elaboración del refractario el ácido bórico se criba para eliminar grumos, se pesa con exactitud y se mezcla en grandes cantidades a la vez. La cuarzita viene debidamente empacada y no se debe mezclar antes de instalarlo.

### TRANSFORMACIONES DE CRISTALES

ESTRUCTURA CRISTALINA	Cuarzo	←---870°C.---	→Tridimita
		←---1470°C.---	→Cristobalita.
DENSIDAD g/cc.	2.65	←---→230	←---→2.21

Este material consiste de cuarzo de alta pureza. Durante su uso los granos se transforman muy lentamente en tridimita y cristobalita con un aumento considerable de volumen.

Esto pone al revestimiento contenido por las paredes y el piso del horno bajo alta compresión, obligando a que las partículas se compacten más estrechamente haciendo que los revestimientos -- minro-sil sean:

- a) Densos
- b) Fuertes
- c) Resistentes al ataque metálico
- d) Resistentes al choque térmico

Los cambios ascendentes de temperatura ( $\alpha \rightarrow \beta$ ) de cuarzo a tridimita y a cristobalita se efectúan rápidamente.

Sobre 573°C. El volumen de todas las formas de sílice permanece relativamente constante. Es por esto que los revestimientos de cuarzita muestran gran resistencia al astillamiento o agrietamiento térmico a temperaturas más altas de las señaladas.

Cuando se forma un alto porcentaje de tridimita y cristobalita en el revestimiento sinterizado, el horno puede ser vaciado y enfriado para una cuidadosa inspección sin ninguna dificultad.

Después de instalarse dentro de un horno de inducción eléctrica sin núcleo, la cuarzita debe sinterizarse de acuerdo con un programa cuidadoso de calentamiento antes de fundir el metal.

La sinterización significa que la sílice o cuarzita tiene la propiedad especial de formar una capa dura y altamente resistente para hacer contacto con el metal fundido, mientras que detrás de esta capa permanece una zona no sinterizada de material suelto la que actúa de pared de apoyo como se puede ver en la figura. 5.15

## ANALISIS QUIMICO SIN AGLOMERANTE

SiO <sub>2</sub>	99.2%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5%	Otros	0.2%

Fusión: Sinterizar a 100°C/hora mantener a 1600°C. (2900°F) por una hora minimo.

Temperatura maxima recomendada 1650°C. (3000°F).

Material requerido 2.15 Kg./dm<sup>3</sup>. 134 libras/Pie<sup>3</sup>.

Metodo de instalación: Apisonado seco o vibración.

Tamaño del grano: Malla 6 (4mm.) ó más fino.

EMPAQUE y almacenamiento: 100 libras (45.4 Kgs.) en bolsas de papel de capas multiples.

30 bolsas apiladas (3000 libras) en tarimas de madera de 42"x42", protegidas con pelicula plastica contractil.

Almacenar en un sitio seco para evitar la absorción de humedad.

Se debe de tener cuidado con estos productos que contienen sílice. Por tanto, el polvo que desprenden tales productos no deben introducirse en el organismo por via respiratoria, ya que pueden causar alguna enfermedad, particularmente la silicosis.

Consiguientemente se recomienda el uso invariable de la mascarilla adecuada al manejar tales productos.

La presente advertencia es aplicable a los procesos de utilización, remoción y desecho de estos productos que no son materiales peligrosos si quienes los utilizan están debidamente protegidos.

Para los efectos de la sinterización es indispensable agregar al material una pequeña cantidad de óxido bórico (1.5 a 2.5%) o bien ácido bórico anhidro u óxido bórico (.9 a 1.8%) ya que la proporción de ácido bórico y óxido de boro es muy crítica, el refractario se proporcionará ya premezclado en las proporciones precisas requeridas por los fundidores.

Sinterización de apisonables nuevos de cuarzita.

Aquí se describe la forma de controlar y sinterizar un apisonable nuevo de cuarzita y asegurarse de que esté listo para operar.

1.- Procedimiento empleando metal frío.

a) Utilice bloques de arranque cuyo diámetro es de 6 pulgadas menos que el diámetro de la forma metálica y que al fundirse llenen el horno no menos de 1/3 del nivel de operación normal.

b) Se requiere un control de temperatura hasta (1093° C.) - - 2000°F. Use termopares en la base, en el medio y en la parte alta de la forma metálica.

c) Use la potencia del horno para calentar los bloques de arranque teniendo cuidado que ninguno de los termopares indique aumento de temperatura mayor de 93° C/Hora. Hornos mayores de 15 toneladas requieren calentamiento a 55-83° C/Hora.

d) Mantenga la temperatura entre 871° C y 1093° C. (1600° y - - 2000°F) por dos horas para permitir que la temperatura sea uniforme.

e) Utilizando la potencia del horno caliente hasta que se funda el 90% de los bloques de arranque.

f) Agregue cargas frías poco a poco mientras se mantiene la temperatura del metal fundido alrededor de 1315° C. (2400° F) hasta que el horno se llene a su nivel normal de operación.

- g) Caliente hasta  $1600^{\circ}\text{C}$  a no más de  $204^{\circ}\text{C./Hora}$ .
- h) Mantenga por una hora.
- i) Enfrie a la temperatura normal de operación sin potencia.
- j) Vacie metal, vuelva a cargar e inicie la operación normal.

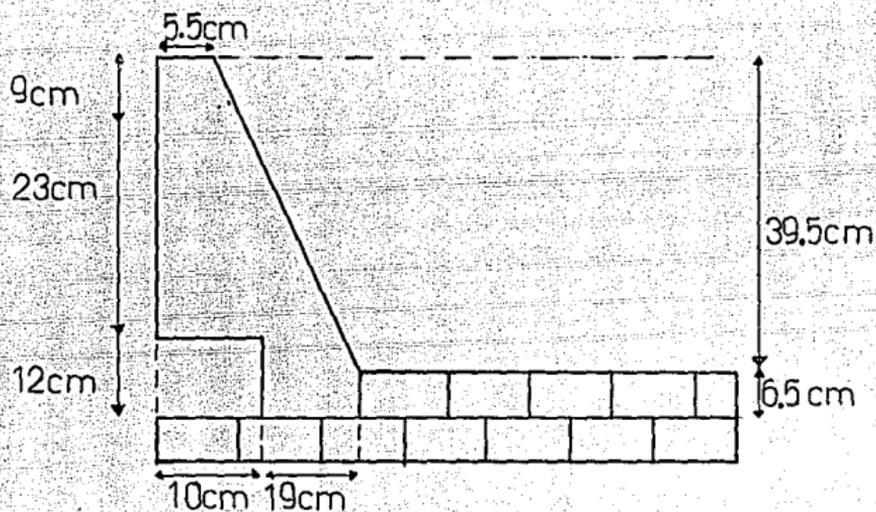
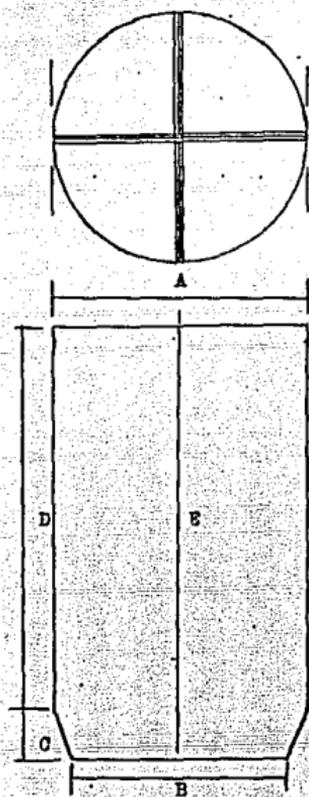


FIG. 5.3.2.

MEDIDAS DE CORONA INFERIOR

Dimensiones y características de formas de apisonado de hornos de inducción sin núcleo.



Dimensiones	Forma horno 8.5 tons.	Forma horno 13.5 tons.	Forma horno 25 tons.
A	0.99 m	1.165 m	1.35 m
B	0.819 m	0.99 m	1.20 m
C	0.24 m	1.406 m	0.35 m
D	1.63 m	1.724 m	2.25 m
E	1.87 m	2.13 m	2.25 m

Nota 1: Las dimensiones son todas exteriores

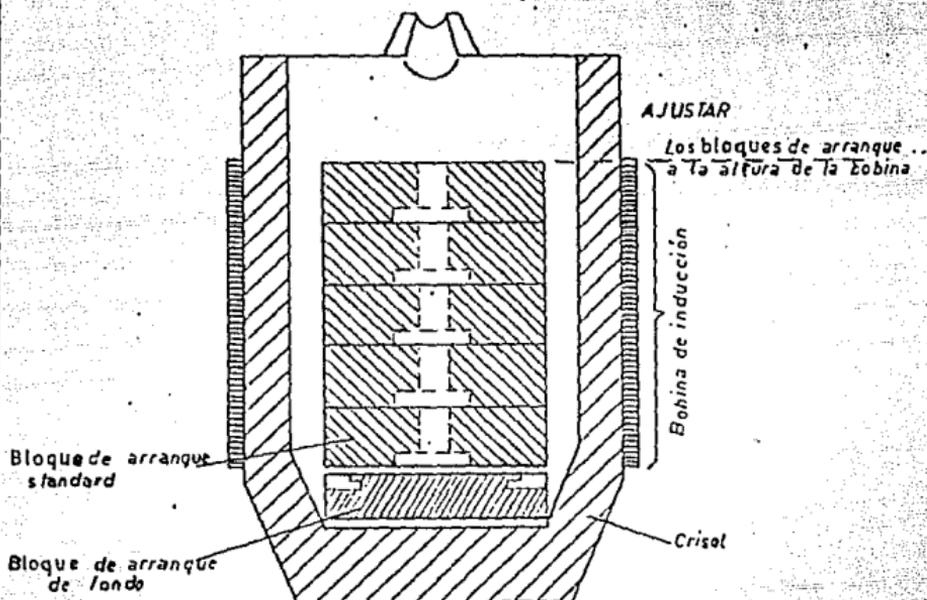
Nota 2: Lámina de acero 1010 ó 1020 SAE.

Nota 3: Todas las tolerancias son de 35 mm.

FIG. 5.11.5.

### SINTERIZADO INDUCTIVO CON BLOQUES DE ARRANQUE

Los bloques de arranque pueden substituirse con ruedas de ferrocarril que tengan dimensiones similares.  
La misma disposición se puede aplicar para el arranque en frío con crisol sinterizado.



**Importante**

Una colocación bien centrada de los bloques, manteniendo una distancia igual de aprox. 2" a 6", dará como resultado una temperatura uniforme en toda la circunferencia.

FIG. 5.12.4.

FORMA DE COLOCAR LOS BLOQUES

capacidad horno	A cm	B cm
85	103	186.2
135	121	230.5
25	155	290.1

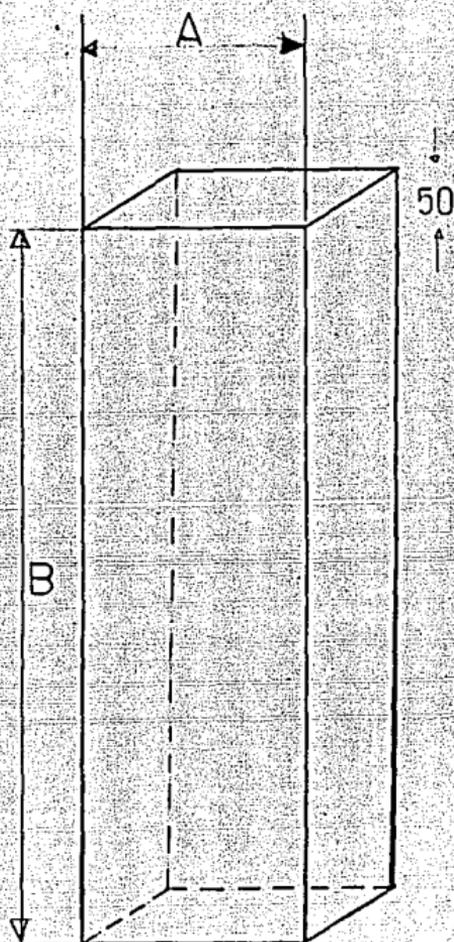
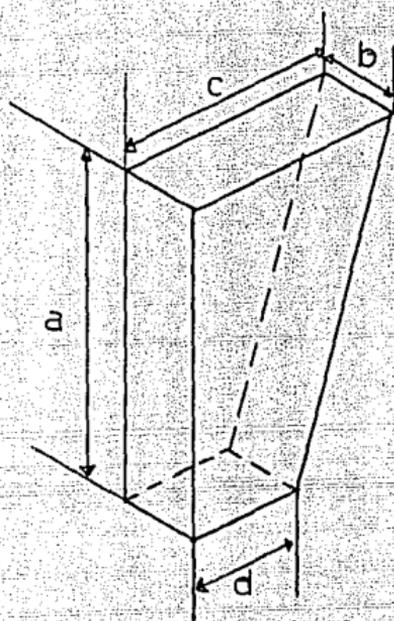


FIG. 5.13.3.1.

tablones para el centrado de la forma de  
apisonado



capa cidad	a cm	b cm	c cm	d cm
85	60	7.6	135	8.5
135	60	10.1	152	10.2
25	70	11	162	11.5

FIG. 5.13.3.2.

cuña de centrado de la forma de apisonado.  
se requieren 4 piezas por horno

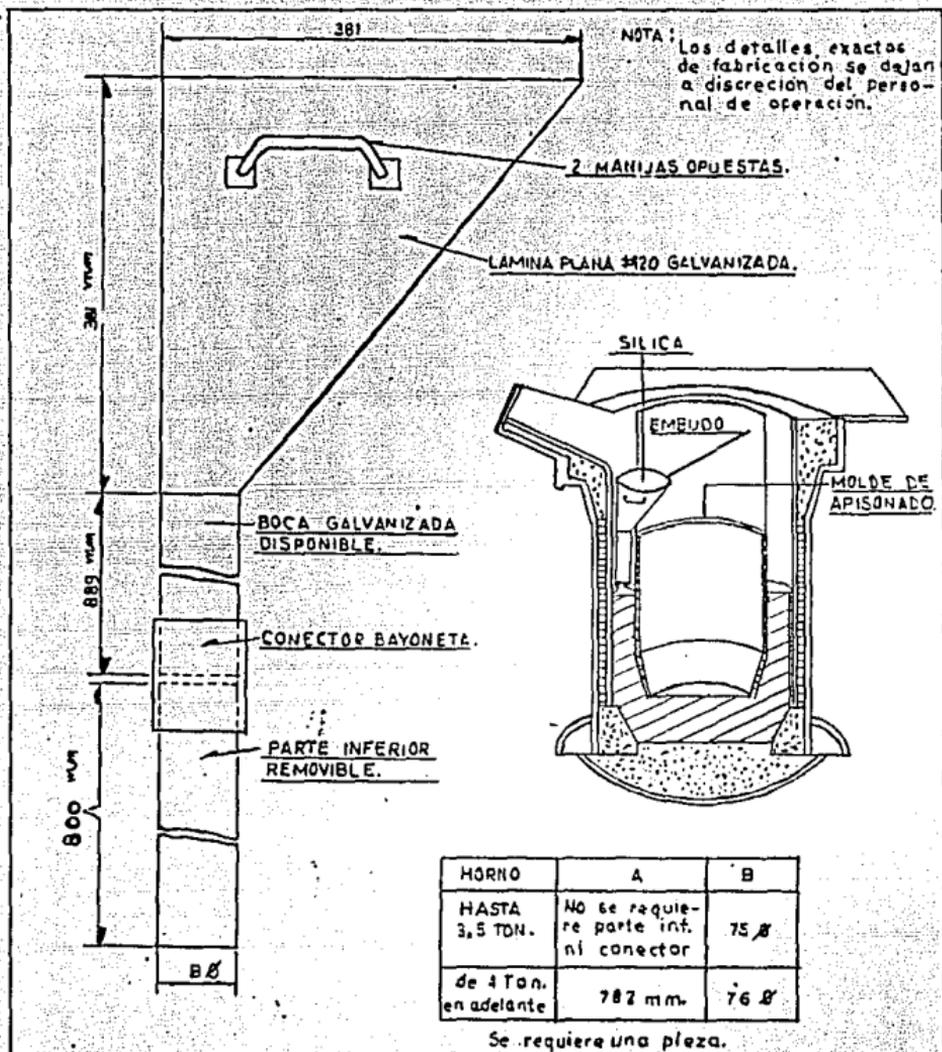


FIG. 5.13.5.

EMBUDO HERRAMIENTA DE APISONADO

UNO PARA TODOS LOS TAMAÑOS DE HORNO

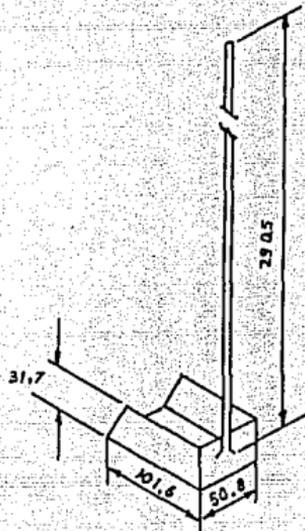
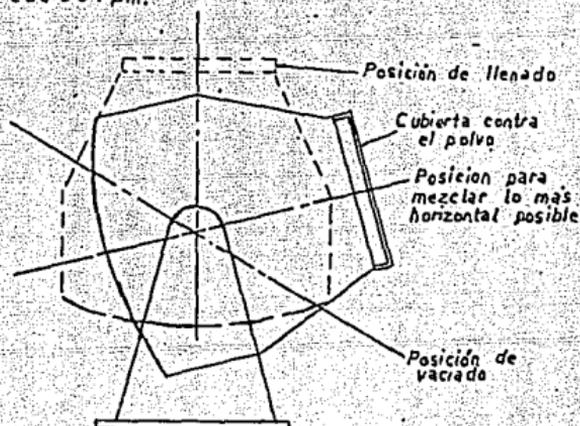


FIG. 5.13.8.

PALA DE MANO PARA REMOVER OBJETOS  
EXTRANOS DURANTE EL APISONADO

Mezclador de concreto 20 a 30 r.p.m.

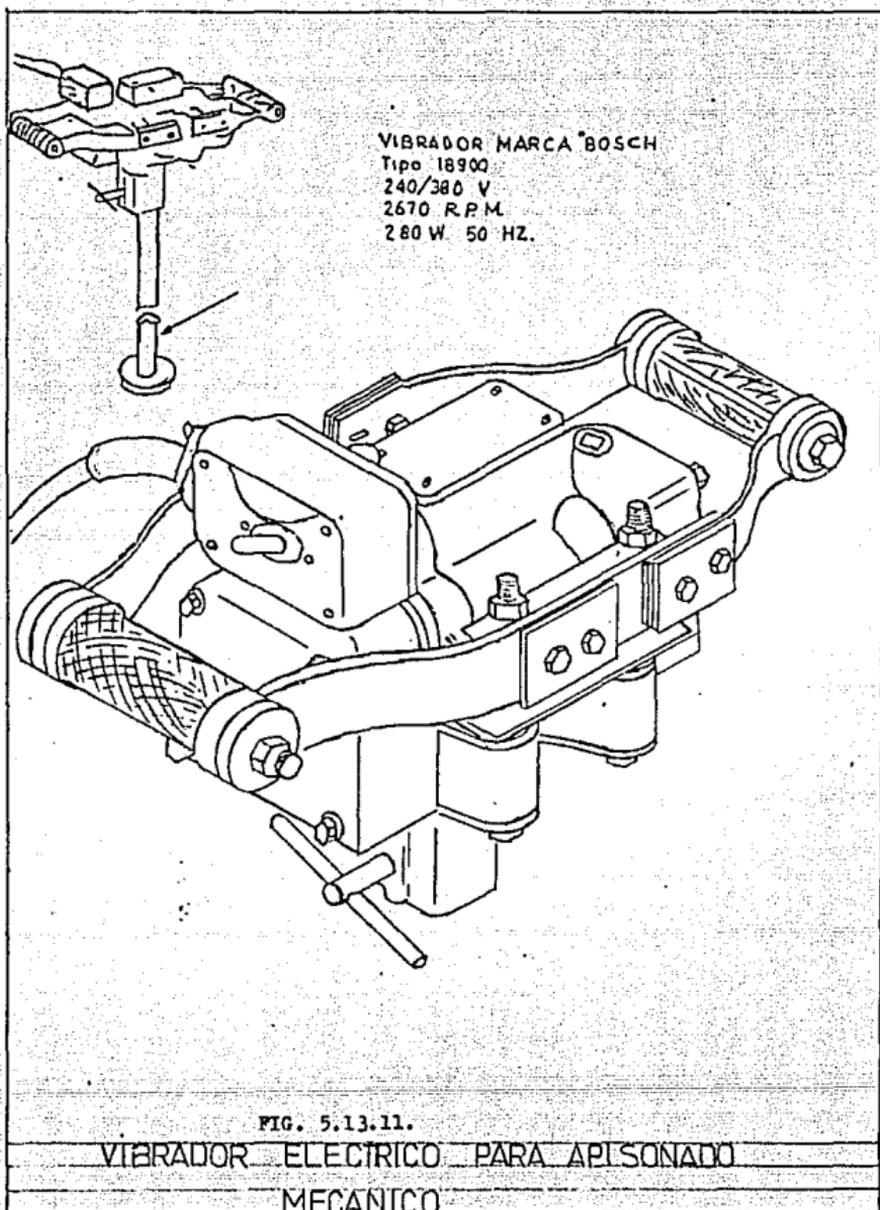


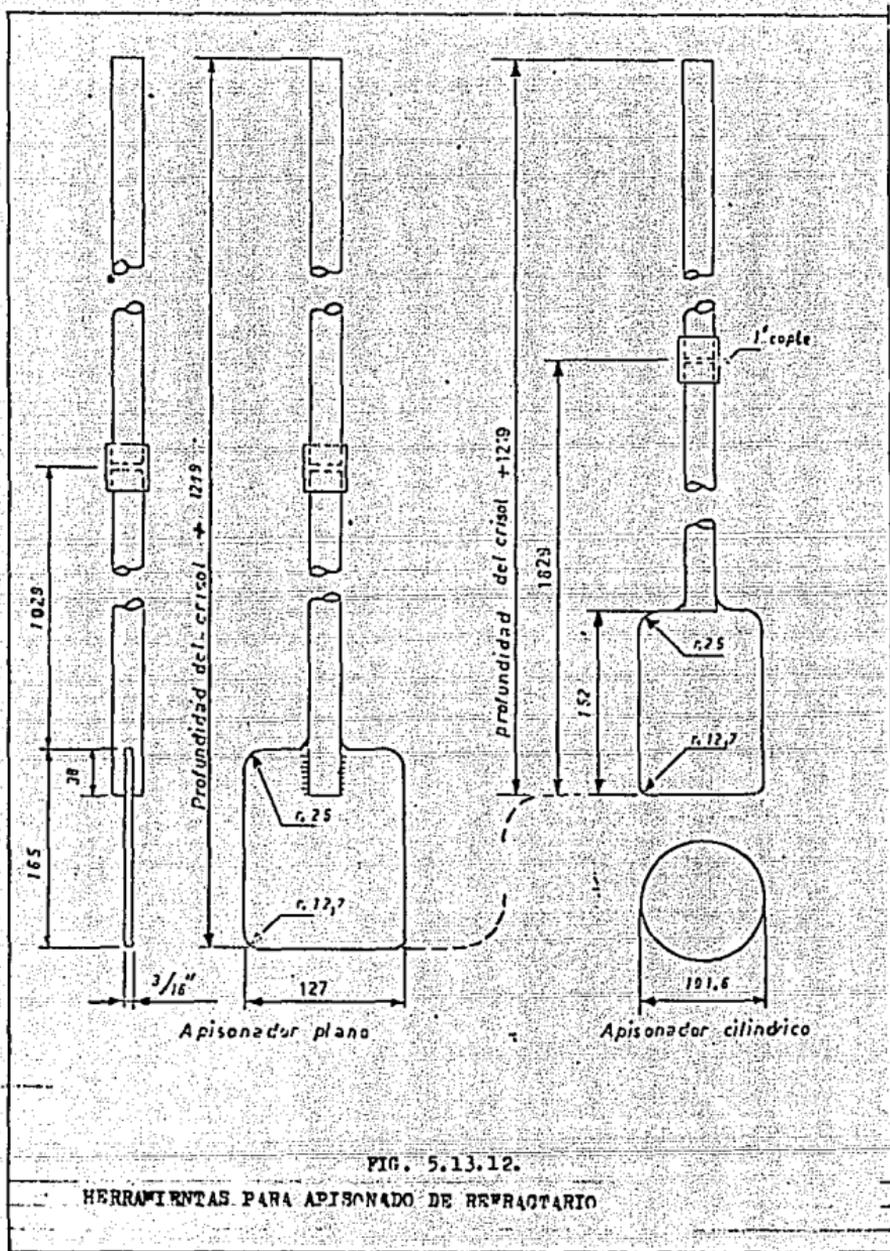
HORNO	Mezclador recomendado	Capacidad útil aproximada	
I.T.P.	Pies cúbicos	Nº de costales	dm <sup>3</sup> aprox.
	3 1/2"	2	60
2	↑	2	↑
		2	
4		2	
5		2	
	↓	2	↓
6	3 1/2"	2	60
7	9	4	180
	↑	4	↑
		4	
	↓	4	↓
	9	4	180

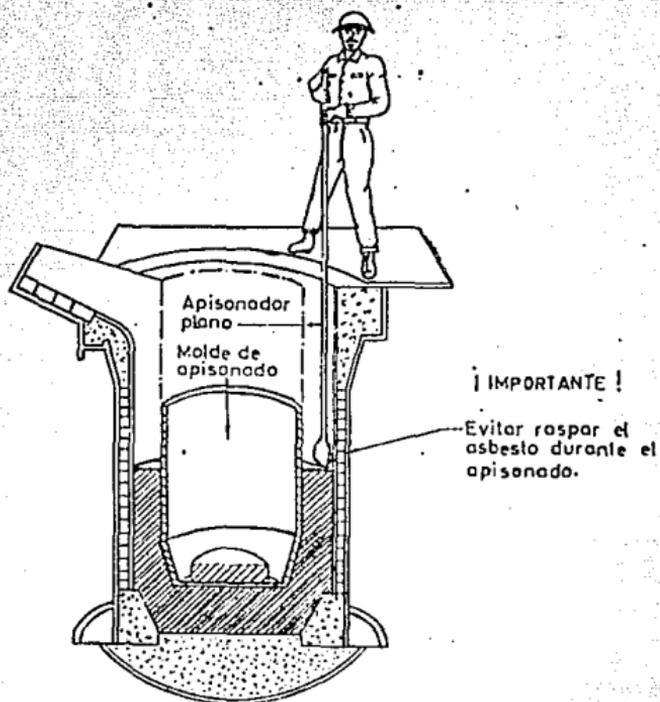
Nota: Se pueden usar mezcladores de más costales si son disponibles.

FIG. 5.13.10.

MEZCLADOR DE CONCRETO







Apisonado Manual.

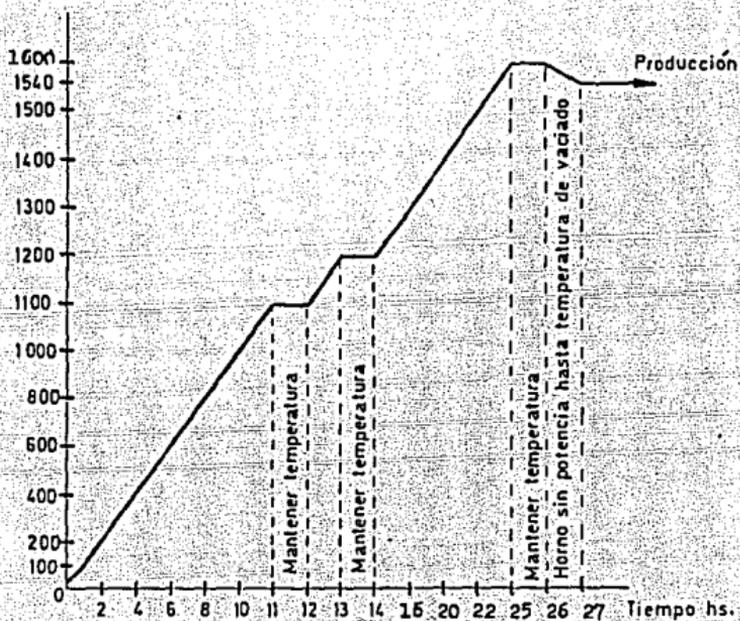
Aplicador del apisonador plano.

FIG. 5.13.13.

HERRAMIENTAS PARA APISONADO DE REFRACTARIO



Temperatura (°C)



### CICLO TÍPICO DE SINTERIZADO

FIG. 5.15.1.

## C A P I T U L O VI.

### CONTROL Y OPERACION

## 6.1. OPERACION DEL HORNO

Suministro de potencia como una función de la altura del baño metálico.

El departamento de fusión tiene que proporcionar metal al departamento de moldeo, con la temperatura y análisis químicos adecuados. Debido a que el metal es vaciado de una olla de colada en el molde, una operación de vaciado continuo es lo ideal.

Como el horno de inducción normalmente opera con cierto nivel de metal líquido, el tap y las cargas de chatarra deberán ser seleccionadas en función de este nivel del baño el cual no deberá de bajarse de la parte superior de la bobina del horno.

Esto representa aproximadamente el 80% de altura total del baño. Cuando el nivel del baño se baja más del 80% de su altura, la potencia absorbida y la velocidad de fusión se verán afectadas. La figura 6.1. nos muestra que un horno con metal al 50% de su capacidad tiene solamente un 75% de eficiencia en la absorción de potencia.

La figura 6.1. muestra la velocidad de fusión como una función de la cantidad de metal que se tenga en el horno. Cuando se carga un horno con un nivel de baño de alrededor de 70% de su capacidad, el horno no debe absorber toda la potencia porque la carga elevará el nivel del baño hasta el punto donde la bobina no puede aprovecharse en su totalidad.

Conociendo estos detalles un apropiado ciclo de fusión puede ser determinado, lo cual repercutiría en una buena coordinación entre los departamentos de fusión y moldeo.

Para hacer los cálculos para estimar la velocidad de fusión es necesario considerar las pérdidas por radiación que se tienen en el horno, esta energía perdida debe reducir los Kw disponibles. Las pérdidas de calor para este tipo de hornos son de 110 Kw a 1500°C. aproximadamente. Si es que la tapa del horno está abierta debemos considerar que las pérdidas por la radiación son mucho más grandes que las que tenemos por las paredes del crisol, así tendremos que si por ejemplo la tapa del horno tuviera que permanecer abierta por una hora las pérdidas de calor serán de 385 Kw. considerando un mínimo de tiempo para abrir y cerrar la tapa durante el cargado, desescoriado, ajuste químico y la medición de temperatura se pueden considerar algunas pérdidas por la tapa de aproximadamente 50 Kw.

Otro factor importante es la utilización del suministro de potencia. Se sabe que la potencia no puede estar aplicada indefinidamente, puesto que se tiene que cargar el horno, desescoriar, chequear la temperatura y vaciar el metal a las ollas de colada.

Todo lo anterior deberá hacerse con el horno sin potencia.

Un factor promedio de utilización es 70%, es decir que en una hora el horno estará 42 minutos con potencia y 18 minutos sin potencia. Una buena operación deberá alcanzar un factor de utilización del 80%.

Tomando en cuenta todos estos factores se puede calcular la velocidad de fusión real;

Para hornos de 8.5 tons. de capacidad;

Potencia máxima = 2200 Kw.  
Eficiencia = 80.5 %  
Perdidas de calor = 110 Kw. a 1500°C.  
Perdidas por tapa abierta = 385 Kw.  
Entalpia del hierro = 385 Kw-hora/ton.  
Velocidad de fusión =  $\frac{\text{Kw reales}}{\text{Entalpia}}$   
 $2200 \times .805 = 1770 \text{ Kw.}$

- 110  
1660 Kw. tapa cerrada  
- 385  
1275 Kw. tapa abierta

$\frac{1660}{385} = 4.31 \text{ ton/Hr} = \text{velocidad de fusión para tapa cerrada}$

Consumo de Kw-hora/tonelada

$\frac{2200}{4.31} = 5.10 \text{ Kw-hora/tonelada tapa cerrada}$

$\frac{1275}{385} = 3.31 \text{ ton/hora para tapa abierta}$

$\frac{2200}{3.31} = 664 \text{ Kw-hora/tonelada tapa abierta}$   
3.31

Para horno de 13.5 toneladas de capacidad:

Potencia máxima	= 4000 Kw.
Eficiencia	= 81 %
Perdidas de calor	= 142 Kw. a 1550°C.
Perdidas por tapa abierta	= 530 Kw.
Entalpia del hierro	= 385 Kw-hora/tonelada
Velocidad de fusión	= $\frac{\text{Kw reales}}{\text{Entalpia}}$

$$4000 \times 0.81 = 3240 \text{ Kw.}$$

$$- 142$$

$$\underline{3098} \text{ Kw. Tapa cerrada}$$

$$- 530$$

$$2568 \text{ Kw. Tapa abierta}$$

$$\frac{3098}{385} = 8.05 \text{ toneladas/hora para tapa cerrada}$$

$$\frac{4000}{8.05} = 497 \text{ Kw-hora/tonelada Tapa cerrada}$$

$$\frac{2568}{385} = 6.67 \text{ Tonelada/hora para tapa abierta}$$

$$\frac{4000}{6.67} = 599.7 \text{ Kw-hora/tonelada Tapa abierta}$$

Para horno de 25 toneladas de capacidad;

Potencia máxima	= 4500 Kw.
Eficiencia	= 81.7 %
Perdidas de calor	= 175 Kw
Perdidas por tapa abierta	= 750 Kw
Entalpia del hierro	= 385 Kw-hora/tonelada
Velocidad de fusión	= <u>Kw reales</u> Entalpia

$$\begin{array}{r} 4500 \times 0.817 = 3676 \text{ Kw.} \\ - 175 \\ \hline 3501 \text{ Kw. Tapa cerrada} \\ - 750 \\ \hline 2751 \text{ Kw. Tapa abierta} \end{array}$$

$$\frac{3501}{385} = 9.09 \text{ Tonelada/hora para tapa cerrada}$$

$$\frac{4500}{9.09} = 495 \text{ Kw-hora/ tonelada Tapa cerrada}$$

$$\frac{2751}{385} = 7.14 \text{ Tonelada/hora para tapa abierta}$$

$$\frac{4500}{7.14} = 630 \text{ Kw-hora/tonelada Tapa abierta}$$

## 6.2. CONSIDERACIONES PARA EL CALCULO DE CARGA

6.2.1. Aditivo.- Se define como el elemento que está combinado con hierro, en este caso, el contenido de hierro es menos de 3%, ejemplo: Gráfico y carbocoke.

6.2.2. Ferrosaleación.- Se define como la combinación de dos elementos, en la que el hierro es el elemento base y se considera hasta 97% de hierro como ferrosaleación.

La función de las ferrosaleaciones y aditivos es básicamente ajustar los análisis requeridos a impartir propiedades físicas y mecánicas a los hierros gráficos.

A continuación se nota en la tabla de características de cada uno de los aditivos y ferrosaleaciones especificando la eficiencia y contenido del elemento de cada una de ellas.

MATERIAL DE AJUSTE	CONTENIDO DEL ELEMENTO		EFICIENCIA
Carbón gráfico	%C	70%	0.75
Carbón coque	%C	95%	0.80
Carburo de silicio	%C	30%	0.90
	%Si	60%	0.90
Ferrosilicio	%Si	75%	0.90
Fierro	%Fe	25%	
Ferrocromo	%Cr	70%	0.90
Fierro	%Fe	30%	
Ferromanganeso	%Mn	70%	0.90
Fierro	%Fe	30%	
Cobre	%Cu	100%	0.90

6.2.3. Contenido del elemento.- Se define como el porcentaje total que especifica el proveedor del elemento en cuestión.

6.2.4. Eficiencia.- Se define como el porcentaje del elemento que se fija en el metal menos las pérdidas por oxidación, volatización y formación de escorias etc.

Ejemplo.- Tenemos 100 Kgs. de ferromanganeso al 70%, esto quiere decir que 70 Kilogramos son de manganeso y 30 de hierro, por lo tanto el contenido del elemento es del 70%. Si una cantidad de 70 kilogramos para ajustar el análisis que necesitamos, debemos de agregar el 10% más debido a las pérdidas por oxidación.

### 6.3. CÁLCULO DE CARGA

El cálculo de carga es uno de los puntos más importantes del proceso y tiene por objeto minimizar los ajustes finales al baño y por lo tanto operaciones extras.

Cálculo de ferrosiciones y aditivos para una tonelada de paca de acero:

MEDIA DEL ANALISIS REQUERIDO		ANALISIS DE PACA	DIFERENCIA PARA AJUSTAR
Carbono	3.45%	0.10%	3.35%
Silicio	1.85%	0.20%	1.65%
Manganeso	.65%	0.25%	0.40%
Cobre	0.15%	0	.15%
Cromo	0.20%	0.01%	.019%

Formula empleada:

$$\text{Kg.} = \frac{(\text{Ar} - \text{Ao}) \cdot \text{w}}{\text{Cn}}$$

Donde:

Kg. = Kg. a agregar de material

Ar. = Analisis requerido

Ao. = Analisis de la paca o elemento a ajustar

w. = Cantidad en Kg. a ajustar

C. = Contenido del elemento

n. = Eficiencia

Ejemplo: N° 1 base 1000 Kg. de paca de 1 $\frac{1}{2}$ "

Para silicio:

$$\text{Kg.} = \frac{(1.85 - 0.20) \cdot 1000}{60 \times .90} = 30 \text{ Kg. de SiC/Tonelada de paca}$$

Para carbono:

$$\text{Kg.} = \frac{(3.45 - 0.1) \cdot 1000}{70 \times .75} = 64 \text{ Kg. de carbón gráfico/Tonelada de paca}$$

Para ferromanganeso:

$$\text{Kg.} = \frac{(.65 - .25) \cdot 1000}{70 \times .90} = 6 \text{ Kg. de FeMn/Tonelada de paca}$$

Para ferrocromo:

$$\text{Kg.} = \frac{(.20 - .01) \cdot 1000}{70 \times 0.90} = 3 \text{ Kg. de FeCr/Tonelada de paca}$$

Para cobre:

$$\text{Kg.} = \frac{(.15) \cdot 1000}{100 \times 0.90} = 2 \text{ Kg. de Cu/Tonelada de paca}$$

## 6.4. INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION SOBRE LOS HIERROS GRAFITICOS

6.4.1. Carbón.- Es el principal componente y determina las propiedades del hierro en la formación de carbono libre y esta se ve favorecida por elevados porcentajes de silicio y una velocidad de enfriamiento relativamente lenta.

6.4.2. Silicio.- Influye especialmente en la estructura de la fundición, intensificando la grafitización y enrosandolo, - el efecto que produce sobre la matriz es ablandarla y favorece la formación de ferrita.

6.4.3. Manganeso.- A diferencia del silicio, dificulta la grafitización y favorece la formación de hierro blanco, refina la perlita y da dureza.

6.4.4. Azufre.- También favorece la formación de fundición blanca, pero al mismo tiempo empeora las cualidades de fusión y colada, disminuyendo la fluidez del hierro líquido, de ahí que se limite su uso a 0.12= máximo.

6.4.5. Fósforo.- No influye en el proceso de grafitización sin embargo es un elemento de adición útil a la fundición, ya que favorece la fluidez del hierro debido a que forme un fosforo de hierro en una matriz de ferrita llamado esteadita que tiene bajo punto de fusión. (980° C.).

6.4.6. Cromo.- Se opone a la grafitización, estabilizando los carburos de hierro y cromo a altas temperaturas, refina ligeramente el tamaño de grano, aumenta el carbón combinado, refina la perlita y da dureza.

6.4.7. Cobre.- Se utiliza para asegurar la formación de perlita, así como aumenta la dureza del hierro, mejora la resistencia al desgaste al choque térmico de las fundiciones, a la corrosión atmosférica y a la acción de agentes corrosivos relativamente débiles.

## 6.5. CARGADO

Una buena programación es de gran importancia en el departamento de fusión, una demora repercute en pérdidas de calor, por lo que la carga debiera ser introducida al horno a la mayor brevedad posible. Algunas pérdidas de calor repercuten en requerimientos adicionales de FWH para la carga.

Después de que se ha vaciado el horno es regresado a su posición, la tapa del horno debe ser abierta, particularmente con el objeto de cargar adiciones (C, FeSi, FeMn, etc.). Debe suministrarse potencia al horno con el objeto de que las adiciones reaccionen con el baño metálico y la tapa debe permanecer cerrada todo el tiempo posible. Entonces la olla de carga deberá colocarse de tal forma que cuando se abra la tapa del horno, inmediatamente puede ser colocada en la boca del horno y pueda cargarse a la mayor brevedad; al retirarse la olla de carga del horno, inmediatamente debe cerrarse la tapa del horno. Al estar la tapa abierta, esta irradia calor el cual tendrá que ser recuperado cuando la tapa sea cerrada de nuevo, así que con una abertura de la tapa las pérdidas por radiación son casi el doble.

## 6.6. FUSIÓN

Un horno con una fuente de potencia. La secuencia para operar el horno durante la fusión es seleccionar primeramente el tap del transformador, un horno con revestimiento nuevo debe absorber toda su potencia en el tap de máxima potencia, si el refractario está desgastado a un grado tal que la absorción de la potencia exceda un 7% de la potencia nominal un tap más bajo —

debe seleccionarse , en caso de que tenga un cambiador de taps bajo carga, la selección del tap correcto se hace automáticamente.

El siguiente paso es programar los contadores. Cuando los recargues en el horno sean los mismos todo el tiempo los impulsos seleccionados en los contadores serán siempre los mismos excepto si por alguna razón se varía la temperatura de vaciado y/o los recargues.

Cuando el horno se energize, el contador de impulsos empezara a registrar, a condición de que el horno esté trabajando en un tap adecuado para producir. Cuando el contador ya no registre ningún impulso el horno debe desconectarse automáticamente y una alarma audible se dejara escuchar para indicar que el ciclo de fusión ha terminado.

## 6.7. TIEMPO DE FUSIÓN

Ejemplo No 2 Base 8 toneladas

Tiempo de fusión en este caso:

Particular = 115 Minutos  
Kilowatts empleados = 522  
Toneladas vaciadas = 8  
Por lo tanto = 65.25 Kw/ton.

Cargas agregadas:

Paca = 4000 Kg.  
Retorno = 8000 Kg.  
Gráfico = 310 Kg.  
FeSi = 20 Kg.  
Carburo de silicio = 100 Kg.

Con estos datos se obtiene hierro gris, con análisis deseado:

% C = 3.45 - 3.48  
% Si = 1.85 - 1.88  
% Cr = .20 - .25  
% Mn = .65 - .70

Análisis preliminar: o inicial

C = 3.43 Si = 1.81 Cr = .19 Mn = .62

Análisis final:

C = 3.47 Si = 1.88 Cr = .22 Mn = .70

Con este análisis se pasa una olla de vaciado con;

Capacidad de	400 - 450 Kg.
Se inocula con FeSi al	75 %
Con una cantidad de	.20 a .30 %
Se inocula con	1.100 Kg. de FeSi al 75%

#### RENDIMIENTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION

Ejemplo N° 3 base 8 toneladas

Resultado preliminar o inicial

Cr = .21    Mn = .70    Cu = .10

Análisis requeridos

Cr = .24    Mn = .95    Cu = .46

Por medio del cálculo de carga se obtiene;

Kilogramos a agregar

Kg. =        10 de FeCr

Kg. =        95 de FeMn

Kg. =        96 de Cu

## 6.8. INOCULACION

Se define como el procedimiento en el cual se adicionen ciertos elementos durante el vaciado, con el proposito de modificar la micro-estructura del hierro, aumentando sus propiedades físicas y mecánicas.

El proposito del inoculante es;

Reducir la tendencia al blanqueo en secciones delgadas y esquinas, aumentar la resistencia a la tensión y eliminar gráfitos indeseables tipo D y E.

La inoculación consiste en añadir al metal fundido en el momento de colar, ciertas aleaciones grafitizantes y desoxidantes como son ferrosilicio, calcio-silicio, graphidox, etc.

Los mejores resultados se obtienen cuando el inoculante se agrega en el chorro de metal, debe ser a una temperatura de entre 1450 - 1550° C. y en porcentaje de 0.15 al 0.30%.

## 6.9. DESESCORIADO

Despues de que la fusión a terminado, el horno deberá ser desescoriado, la temperatura verificada y se debe de tomar una muestra para su análisis. El trabajo más pesado es desescoriar el horno.

Para realizar está operación se hace uso de material escorificante para aglomerar la escoria y con una pala se realiza la limpieza del metal.

Con objeto de mejorar la producción sera necesario hacer esto en el menor tiempo posible. El recipiente donde se juntara la escoria, debe ser capaz de desplazarse hacia el horno o alejarse de el dependiendo de las necesidades.

Una manera más fácil de desescoriar es utilizando una pala pendiendo de un brazo giratorio, con esto se consigue hacer más práctico y más rápido el desescoriado además de que con esto se mantiene más alejado de la radiación de calor del operador.

Después de que la temperatura ha sido verificada y se ha comprobado el análisis químico, el metal debe de vaciarse en una o más ollas de colado. Es muy importante que siempre se tengan disponibles y precalentadas este tipo de ollas ya que la pérdida de tiempo y las ollas frías ocasionan una pérdida innecesaria de calor.

## 6.10. TIPOS DE EROSIONES Y CAUSAS

6.10.1. En el fondo o piso del horno se debe a;

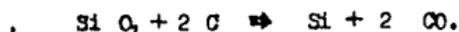
a) Densidad de apisonado insuficiente o incorrecto en la parte superior del fondo.

b) Daños mecánicos durante la carga

6.10.2. Desgaste del fondo y de la unión fondo-paredes, debido a:

a) Desgaste en forma de matraz.

La causa es que se trabaja con niveles bajos de baño metálico de 50% o menos. Erosión por el carbono debido al sobrecalentamiento de una pequeña cantidad del baño.



b) Al tener bajo el nivel del baño si se carga rebaba o recortes y se aumenta fuertemente la potencia el baño puede sobrecalentarse sin ser observado.

6.10.3. Parte superior , debido a:

a) Ataque de escorias

Exceso de  $\text{FeO}$  en el hierro, reaccionando con la sílice para formar ( $2\text{FeOSiO}_2$  ) con punto de fusión de ( $1205^\circ$ ) C., siendo fácilmente lavada de la superficie del revestimiento por la agitación del baño.

b) Debido a que la carga golpea al caer esta parte del refractario

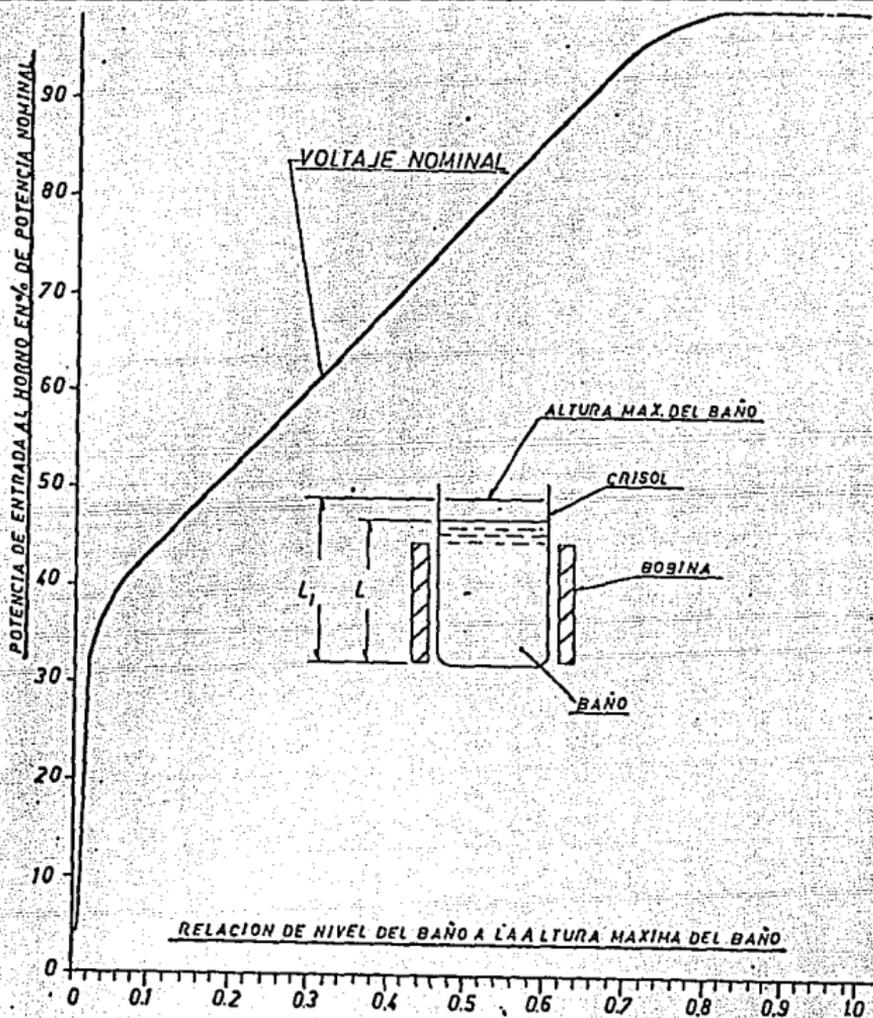


FIG. 6.1.

POTENCIA DE ENTRADA AL HORNO EN FUNCION  
DE LA ALTURA DEL BANO

## C A P I T U L O V I I .

### RESULTADOS

## 7. RESULTADOS

7.1. - El horno estudiado fue de 25 toneladas de capacidad en el crisol y funde 240 toneladas en promedio por cada semana de 5 días de trabajo sin problemas operativos.

A la quinta semana de operación y con 1125 toneladas fundidas y por desgaste del refractario se le hace un parche con sílice en la parte superior del crisol.

De acuerdo a los niveles de voltaje en el horno se trabaja para producción en Tap H-1 ó luego Tap-H2, así sucesivamente, - dependiendo si el amperaje consumido por el horno es igual o mayor de 1500 Amperes, por está razón al encontrarse en el nivel de Tap H-4 se vacía el horno para revisarlo en sus dimensiones teniendo 1695 toneladas fundidas y 7 semanas de trabajo.

Al hacer el arranque en frío y tener metal líquido de detecta que el amperaje tiene más de 1500 Amperes, por lo que se decide bajarlo de nivel al Tap H-5 y luego al Tap H-7, con consumo de 1400 a 1450 Amperes, se trabaja en estas condiciones -- hasta el fin de la semana con la condición de que el horno se -- vaciara en caso de que en este nivel de potencia el amperaje -- sea mayor de 1500 Amperes.

Al término de esta semana 8, se vacía para tirarlo y hacerlo nuevo, con 1920 toneladas fundidas.

HORNO DE 25 TONS. INSTALADO EN AUTOMANUFACTURAS S. A. DE C.V.

RESULTADOS DE SINTERIZADO

TAP	VOLTS	AMP	FASES AMP			VOLTS	VOLTS	RESIS- TENCIA A TIERRA	FACTOR POTEN- CIA.	CAP. DENTRO	HORA	FECHA	OBSER- VACIONES
			A	B	C								
L-7	750	800	360	180	380	350	375	100	100	2	11.00	1-04-89	
L-7	760	450	180	190	170	350	400	22	-35	2.3.3	4.00	2-04-89	
L-7	750	400	140	180	140	320	400	9	-95	3.1.A	16.00	2-04-89	
L-7	760	300	160	190	110	350	400	20	50	3.1.A 3.5	3.00	3-04-89	
L-2	900	400	140	220	120	425	450	33	100	2.A. 3.5	8.00	3-04-89	
M-7	1500	750	280	380	200	700	750	61	100	2.A. 3.5	10.00	3-04-89	
M-7	1500	750	260	380	220	700	750	96	100	2.A. 3.5	14.00	4-04-89	

## C A P I T U L O VIII.

### SUGERENCIAS.

## 8.- SUGERENCIAS

### 8.1. En la hechura del refractario

1.- No humedecer las láminas de asbesto ya que da como consecuencia que no se pueda meter el horno su máxima potencia.

2.- Antes de hacer el refractario poner primero el pico.

3.- Que de 10% a 15% del total del piso sea de refractario puro monolitico.

4.- El vibrador neumático no va a sacar el aire, por lo que se deben usar espátulas o tridentes antes de usar el vibrador eléctrico Bosch, la longitud de estas herramientas debe ser mayor que el piso de donde se va a sacar el aire, las espátulas deben ser de placa de acero, el tridente de varilla de acero con acoplador de tubo negro de 3/4 de pulgada.

5.- Los electrodos de resistencia a tierra deben estar a una distancia de 1/2 pulgada a 1 pulgada abajo del nivel del piso.

6.- Las formas para apisonado no deben de llevar barrenos grandes porque al quemarse la cinta que los tapa, pueden fugarse los granos finos de la sílice y hacer que el refractario quede cacarizo.

7.- No se deben dejar los electrodos de resistencia a tierra en contacto con el cilindro apisonador porque al vibrarlo se transmite la vibración por las varillas y aflojan el refractario alrededor.

8.- La placa del cilindro apisonador debe ser gruesa, ya que en el calentamiento del sinterizado el refractario debe ser mantenido en su lugar para que no quede fofo, la soldadura debe estar bien hecha.

La forma de apisonado no debe estar oxidada por el exterior ya que cuando el óxido se combina con el refractario baja su punto de fusión, haciéndolo más débil. Se debe limpiar con carda o con chorro de arena Sand blast.

9.- Los marcos no deben estar alineados.

10.- En el vibrado se debe de agregar el material en el momento de empezar a trabajar el vibrador.

11.- Usar tapa para la forma de apisonado para ahorro de refractario y seguridad del trabajador.

12.- Las paredes a partir de la parte cónica se debe hacer en capas de 5 pulgadas, aproximadamente 14 bultos por carga sacando el aire con 3 tridentes, 2 vueltas en un sentido y 2 en sentido contrario.

13.- La lámina de asbesto recortarla una pulgada mínimo en la zona de alrededor del pico para que haya unión entre refractario y refractario en esta zona y hacer que haya menor posibilidad de penetración de metal.

## 8.2. RECUBRIMIENTO DE BOBINA

En el recubrimiento de la bobina en vez de usar la mezcla de cemento de alúmina y sílice, usar refractarios de alto contenido de alúmina 95.5%. Que va hacer que el calor o temperatura del crisol salga más rápido, a trabajar más frío y el refractario a durar más.

### 8.3. EN EL SINTERIZADO

1.- En el sinterizado con coronas nuevas no darle doble tiempo en las primeras 8 horas, sino el normal y mantener la temperatura cuando empieza a evaporar el agua.

2.- En parches el sinterizado debe hacerse como si fuera refractario nuevo, es decir seguir la rutina de sinterizado nuevo.

### 8.4. EN LA OPERACION

1.- Se debe de tener una báscula para pesar la chatarra para que se pueda hacer un análisis lo más cercano a lo requerido.

2.- Auxiliares por el uso de un determinador de carbón equivalente.

## C A P I T U L O IX.

### CONCLUSIONES

## 9. CONCLUSIONES

### 9.1. Referente a la hechura

1.- Se debe tener mucho cuidado en la hechura del crisol y curado de coronas ya que un descuido aquí no puede provocar -- problemas de penetración de metal, el no curar bien las coronas antes de poner el crisol nos puede provocar problemas de corto circuito en las espiras de la bobina.

2.- La presentación de los refractarios debe ser en polvo apisonable para el crisol y concreto a base de agua para las -- coronas.

3.- La transformación de la corriente eléctrica a calor es de lo más eficiente, siempre y cuando no se vacíe el horno en -- más de 30% de metal.

4.- Los parches en cualquier zona del horno son recomendables solo en casos especiales como falta de refractario para hacer el crisol nuevo, algún desgaste en especial y lo demás dentro de las medidas normales.

5.- Al inicio del funcionamiento es necesario revisar el -- sistema eléctrico, de enfriamiento y la conexión de los electrodos de tierra al cuerpo del horno.

### 9.2. Referente al sinterizado

1.- Cuando el horno ya tenga metal líquido no parar el sinterizado por ningún motivo hasta que haya completado su ciclo y haber elevado temperatura a 1600°C.

2.- En el sinterizado del horno con coronas nuevas no es -- conveniente darle doble tiempo de sinterizado, en las 2 horas -- iniciales sino normal y cuando empiece a evaporar el agua mantener la temperatura hasta que la resistencia a tierra se eleva.

### 9.3 Con referencia a control y operación

1.- Es un método además de económica bastante simple en su control y operación y obtención del hierro gris como en este caso.

2.- Para un mejor control del horno con respecto a la seguridad del mismo y del personal es necesario la inspección física periódicamente además de revisar el tiempo de vida del refractario más el consumo de Kilowatts registrado, para poder determinar cuando hay que vaciar para cambiar refractario.

3.- Cuando se vacia más del 30% o 40% de la capacidad del horno disminuye la eficiencia de fusión y por tanto se va a tardar más tiempo para tener el metal listo en su análisis y temperatura.

4.- Teniendo las cargas preparadas y pesadas se va a eliminar mucho tiempo de reajuste.

## APENDICE

### NIVEL DE VOLTAJE DEL HORNO

TAP	BAJO (L) VOLTAJE	MEDIO (M) VOLTAJE	ALTO (H) VOLTAJE
7	750	1500	2250
6	800	1600	2400
5	833	1665	2500
4	865	1730	2600
3	900	1800	2700
2	932	1865	2800
1	965	1930	2900

## APENDICE

Programa de sinterizado para horno de 25 toneladas de capacidad:

Hora	Reloj Minutos	Impulsos	Kw	Tap de potencia
1	15	5	200	L-7
2	15	5	200	L-7
3	15	5	200	L-7
4	15	7	280	L-7
5	15	7	280	L-7
6	15	10	400	L-7
7	15	10	400	L-7
8	15	12	480	L-6
9	15	13	520	L-4
10	15	13	520	L-4
11	15	15	600	L-1
12	15	17	680	L-1
13	15	20	800	L-1
14	Continuo			L-1
15	Continuo			M-7

Despues de llenar el horno elevar la temperatura del metal a 1600°C. y mantenerla durante una hora, luego vaciar a temperatura de trabajo.

**C A P I T U L O X.**

**BIBLIOGRAFIA**

## X. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Hans J. Heine, Course Notes, APS-T&RI Courses.
- 2.- G. A. Tudbury BASICS DE INDUCTIOS HEATING, Vol. I.  
John F. Rifer Publisher, Inc., New York, 1960.
- 3.- G. E. Ed., ELECTRIC FURNACE STEELMAKING, Vol. 11.  
Intercienze Publishers, New York, 1963.
- 4.- A. G. E. Robiette, ELECTRIC MELTING PRACTICE, John Wiley  
& Sons, Inc., New York, 1972.
- 5.- H.G. Heine, "Coreless Induction Furnace", PROCEEDINGS,  
1st APS ELECTRIC IROMELTING CONFERENCE, APS., 1969.
- 6.- Sociedad Mexicana de fundidores A. C., Curso:  
Principios y operación de hornos de inducción, Ing. - -  
Joaquín Almeida C. 1977.
- 7.- Fundiciones, Ing. José Apraiz B. Edición 1981.
- 8.- Instructivo de operación de Brow Boveri, Horno de induc-  
ción sin núcleo, 1980.
- 9.- Instructivo de refractario Allied Mineral, 1985.