



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**TESIS DONADA POR
D. G. B. - UNAM**

**PARTES PRINCIPALES QUE COMPONEN
A UN SISTEMA DE FUSION DE METALES
POR INDUCCION**

TRABAJO MONOGRAFICO

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
PRESENTA**

GUSTAVO SALINAS HERNANDEZ

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**TRABAJO MONOGRAFICO: PARTES PRINCIPALES QUE COMPONEN
A UN SISTEMA DE FUSION DE METALES POR INDUCCION.**

INDICE GENERAL.

		Páginas.
CAPITULO I	INTRODUCCION.	
CAPITULO II	FUNDAMENTOS TEORICOS.	
II.1	Tipos de Hornos.	6
	II.1.1 Clasificación de Acuerdo a su Construcción.	6
	II.1.2 Clasificación Segun su Frecuen- cia.	10
II.2	Aplicaciones de los Hornos.	16
II.3	Ventajas y Desventajas.	19
	II.3.1 Ventajas del Horno Tipo Canal.	19
	II.3.2 Desventajas del Horno tipo Canal.	19
	II.3.3 Ventajas del Horno Sin Núcleo.	20
	II.3.4 Desventajas del Horno Sin Núcleo.	21
	II.3.5 Costos de Materias Primas.	21
	II.3.6 Control de la Temperatura.	22
	II.3.7 Control de Aleación.	22
II.4	Fundamentos Basicos de la Fundición por Inducción.	23
	II.4.1 El Efecto "SKIN" o Piel.	30
	II.4.2 Cuales son las Causas por las que Ocurran el Efecto "SKIN".	31
	II.4.3 Efectos que Causan la Agitación en el Horno de Inducción.	35
	II.4.4 Refractarios y su Eficiencia.	36
CAPITULO III	SISTEMA ELECTRICO.	
III.1	Suministro Eléctrico.	39
	III.1.1 Transformador Reductor.	40
	III.1.2 Cables.	41
	III.1.3 Interconexión entre Fuente de Potencia y el Horno.	41

INDICE GENERAL.
(continuación)

III.2	Controles del Sistema.	44
	III.2.1 Interruptor Principal.	44
	III.2.2 Contacto Principal.	44
	III.2.3 Resistencia de Arranque.	44
	III.2.4 Sistema de Balanceo de Fases.	44
	III.2.5 Banco de Capacitores para Corrección del Factor de Potencia.	45
III.3	Bobina.	46
CAPITULO IV	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	
IV.1	Conceptos Basicos.	49
	IV.1.1 Operaciones Unitarias.	49
IV.2	Terminos Empleados.	51
IV.3	Clasificación de los Sistemas de Enfriamiento Segun se Uso.	53
	IV.3.1 Sistema Abierto.	59
	IV.3.2 Sistema Abierto con Tratamiento de Agua.	59
	IV.3.3 Circuito Semi - Cerrado.	60
	IV.3.4 Circuito Semi - Cerrado con Torre de Enfriamiento.	60
IV.4	Variaciones de los Sistemas de Enfriamiento.	61
	IV.4.1 Torre de Tiro Mecanico.	61
	IV.4.2 Torre Atmosferica.	62
	IV.4.3 Torre de Tiro Natural.	64
	IV.4.4 Torre de Tiro Inducido.	64
IV.5	Indicaciones del Tratamiento de Agua Para los Sistemas de Enfriamiento.	65
	IV.5.1 Corrosión.	68
	IV.5.2 Depositos.	70
	IV.5.3 Agua de Repuesto.	73
CAPITULO V	REFRACTARIOS.	
V.1	Refractarios Usados en la Fundición.	76
	V.1.1 Clasificación.	77
	V.1.2 Materias Primas Empleadas	80

INDICE GENERAL.
(continuación)

	V.I.3	Formas de Presentación Comercial.	81
	V.I.4	Estructuras de los Refractarios.	91
	V.I.5	Consideraciones Generales de los Refractarios Acidos.	94
	V.I.6	Refractarios de Arcilla y de Alúmina - Sílice.	95
	V.I.7	Refractarios de Sílice.	98
	V.I.8	Consideraciones Generales de los Refractarios Básicos y Neutros.	101
V.2		Refractarios Usados en las Diferentes Zonas del Horno de Inducción.	107
	V.2.1	Anillo de Concreto.	107
	V.2.2	Recubrimiento de la Bobina.	110
	V.2.3	Recubrimiento de Asbesto.	110
	V.2.4	Pico de Colada.	113
	V.2.5	Recubrimiento del Horno (Crisol).	114
CAPITULO VI		ARRANQUE DEL SISTEMA DE FUSION.	
	VI.1	Preparación para el Arranque.	118
	VI.2	Como Eliminar el Agua a los Refractarios.	119
	VI.2.1	Sinterizado del Crisol.	119
	VI.2.2	Metodos de Sinterizado.	122
	VI.2.3	Sinterizado por Inducción.	123
	VI.2.4	Sinterizado con Combustible Natural.	126
	VI.3	Operación del Horno.	129
CAPITULO VII		RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.	
	VII.1	El Cuidado del Sistema del Horno.	133
	VII.1.1	Bobina.	133
	VII.1.2	Sistema de Agua de Enfriamiento.	134
	VII.1.3	Recubrimiento.	134
	VII.1.4	Mantenimiento Diario.	137
	VII.1.5	Recomendaciones para su Reparación.	138
	VII.2	Conclusiones..	141

I. INTRODUCCION.

El primer horno de inducción fue inventado y patentado por Ferranti en Italia en el año de 1877. Este fue un horno de baja frecuencia y no tuvo aplicación comercial hasta que K. Jellin instaló y operó uno en Suecia. La primera instalación grande de este tipo se hizo en - - Pennsylvania, Estados Unidos, en el año de 1914 pero no tuvo éxito. Sin embargo, algunos otros hornos de baja-frecuencia fueron instalados con éxito especialmente - para la fusión de acero.

Posteriormente se desarrollaron los hornos sin Núcleo de alta frecuencia a raíz de los experimentos del Dr. - E. F. Northrup en New Jersey en el año de 1915. El Dr. Northrup trataba de aumentar las pérdidas por corrientes parásitas existentes en los aparatos electromagneti_ cos. Como resultado de su experimento, fundió en nú_ cleo del transformador produciendo así uno de los pri_ meros hornos de inducción en el mundo. El trabajo del Dr. Northrup floreció y sus hornos se hicieron popula_ res en todo el mundo. Al principio se fabricaron en - tamaños pequeños y para aplicaciones especiales debido al alto costo de los motogeneradores utilizados para - suministrar las altas frecuencias requeridas.

Casi simultáneamente en Milán, Italia, Francesco Spinelli investigaba como acentuar la tercera armónica de la corriente magnetizante (inherente en los transformadores) y suprimir completamente la armónica fundamental con objeto de producir una frecuencia tres veces mayor a la frecuencia de la línea de la entrada. Al hacer esto-
desarrolló el transformador triplicador de frecuencia.

Entre 1960 y 1962, Inductotherm Corp., desarrolló transformadores triplicadores de frecuencia con núcleo toroidal de acero de grano orientado y con embobinado especiales para lograr una eficiencia de operación hasta de 95 % comparado con el 80 % de eficiencia de los - - transformadores de núcleo laminado. El factor de potencia pudo así corregirse prácticamente hasta la unidad. Esto hizo posible el uso comercial de los hornos de inducción a frecuencia media.

I.I IMPORTANCIA.

- a) El costo del material producido, en relación a la -
materia prima, resulta más barato que en otro sistema
de fusión.
- b) La energía eléctrica es una de las formas más limpias
para fundir metales.

- c) Los refractarios se pueden cambiar más fácilmente - que en otros hornos. Esto sucede en el caso de hornos de inducción sin núcleo.

I.2 CALIDAD DEL MATERIAL OBTENIDO.

Los hornos de inducción nos dan una buena calidad de metales y aleaciones.

El horno de inducción nos proporciona una perfecta homogeneidad en composiciones y de una calidad superior a otro tipo de sistemas de fusión industriales y se puede ajustar fácilmente su composición.

La temperatura se puede mantener y controlar más adecuadamente que en otros tipos de hornos.

I.3 OBJETIVO.

Este trabajo bibliográfico es el de proporcionar al alumno de la carrera de Ingeniero Químico Metalúrgico o persona que tenga relación con la fundición de metales por inducción y viendo que en la biblioteca de la-

Facultad de Química hay poca información acerca de los hornos de inducción.

Ya que en los laboratorios del edificio D de la Facultad de Química se está instalando un horno de inducción, este trabajo nos podrá permitir darnos un criterio para conocer el funcionamiento y sus partes y los problemas que se enfrenta las personas que van a trabajar con este tipo de horno. Aprenderemos que un buen uso y un buen mantenimiento de todas las partes del horno de inducción son importantes para un correcto funcionamiento de éste.

Empezando por la energía eléctrica, esta juega un papel muy importante. La energía se suministrara al horno y será transformada debido al circuito inductivo en calor, esta transformación se lleva acabo debido a la resistencia que opone el metal al flujo de los campos electromagnéticos. De esta forma se efectua la fusión de los metales.

Otra parte importante para el funcionamiento del horno es el sistema de enfriamiento, que dependera del suministro de agua que nos pueda proporcionar la zona donde este instalado el proceso. Lo principal del sistema

de enfriamiento es el agua que se introdujera al horno este libre de impurezas tales como sales, grasas y que tengan un pH. determinado. El no observar estas precauciones ocasionara a la bobina problemas tales como, - incrustaciones, corrosión, etc. que disminuira la eficiencia del horno.

Los refractarios son importantes para cual quier tipo de horno, se escogeran de acuerdo al sistema de fusión que se este utilizando y el tipo de metal que se este fundiendo. Por lo tanto se debe de tomar en cuenta sus propiedades fisicas, quimicas y mecanicas, ya que esto dependera la vida util del refractario.

El chequeo de todas las partes componentes del sistema de fusión debe ser fundamental para el arranque del - horno y para prevenir fallas de este.

Implantar un programa de mantenimiento preventivo evita ra problemas, graves de nuestro horno de inducción.

CAPITULO II. FUNDAMENTOS TEORICOS.

II.I TIPOS DE HORNOS.

II.I.I CLASIFICACION DE ACUERDO A SU CONSTRUCCION.

Se encuentran basicamente dos tipos de hornos de inducción conocidos respectivamente como hornos sin núcleo y horno de tipo canal o con núcleo. Estos hornos difieren en algunos detalles de construcción y su aplicación, pero en la forma que se genera calor en la carga es exactamente igual en ambos casos.

a) HORNOS SIN NUCLEO.

Este tipo de hornos, como se puede apreciar constan esencialmente de un crisol de material refractario rodeado de una bobina helicoidal. Por esta bobina circula una corriente alterna suministrada por una fuente de poder. Dicha corriente genera ondas electromagnéticas en el horno que interfieren con la carga que se encuentra dentro del crisol, induciendo una corriente secundaria. Debido a la resistencia del metal al flujo de esta corriente se produce calor realizandose de esta manera la fusión.

El Dr. E. F. Northrup, diseñador de este tipo de hornos -

los denomino originalmente de alta frecuencia debido a - que la unidad de potencia utilizada en este primer horno era frecuencia elevada. En la actualidad esto se llama - horno sin núcleo.

Aunque los hornos pequeños para laboratorios y para baja producciones, ciertamente, requieren altas frecuencias - para su operación, los hornos sin núcleo operan hoy en - día con frecuencia desde 60 Hz.(baja frecuencia) hasta - 10,000 Hz.(alta frecuencia), dependiendo tan solo de su - tamaño y su aplicación particular.

Considerese las figuras (I) y (2).

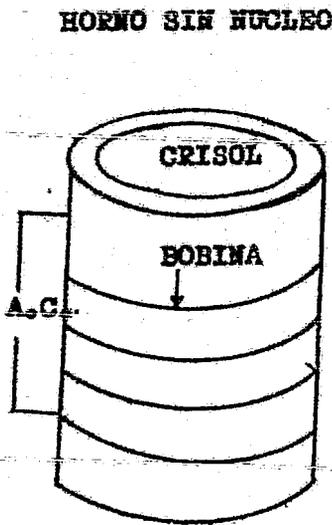


FIGURA # I

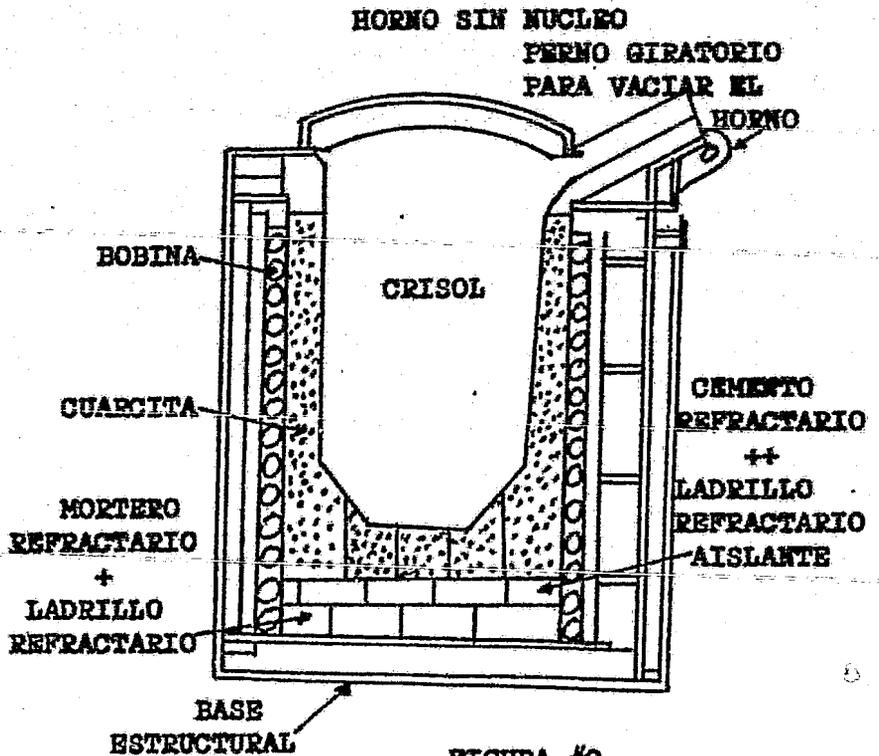


FIGURA #2

b) HORNOS DE TIPO CANAL O CON NUCLEO.

Estos hornos, tienen la misma acción del transformador - que constituye el principio de operación de este tipo - de horno cuyos elementos básicos son una bobina primaria o inductor devanado alrededor de una barra de un núcleo de hierro laminado tipo transformador y un ducto o canal que rodea la misma barra del núcleo. Este canal contiene metal fundido y está conectado en superficie superior - al metal contenido en la cámara principal del horno y - constituye la trayectoria por la cual fluye corriente - inducida. En este caso el núcleo se utiliza para mejorar el acoplamiento magnético entre la bobina primaria y el canal. Figura # (3).

Para poner en marcha este tipo de horno, se necesita - tener metal fundido en el canal, siendo preciso además - mantener el equipo encendido día y noche para evitar que se solidifique el metal dentro del canal. Esto último - representa una desventaja para estos hornos en compara_ ción con hornos sin núcleo, pero también cuenta con algu_ nas ventajas que lo hacen preferibles en ciertas aplica_ ciones.

Estos hornos funcionan con fuentes de potencia a la fre_ cuencia de línea (50/60 Hz.). Considerando que esta es_ frecuencia básica de los sistemas eléctricos actuales, - y que representa el límite inferior al cual trabaja los hornos, podemos decir que los hornos de tipo canal son

de baja frecuencia. Este horno deriva su nombre del canal o espira en corto circuito de metal fundido contenido en el canal y que rodean al núcleo.

La necesidad de un revestimiento refractario entre la carga de metal fundido y la bobina resulta en un factor de potencia bajo. El horno de canal tiene un factor de potencia más elevado que los hornos sin núcleo, pero - ambos casos es necesario suministrar equipo para la corrección del factor de potencia, para subirlo a un valor aceptable. Como se menciona antes, los hornos de canal - trabajan invariablemente a la frecuencia de las redes de suministro eléctrico común encontrándose hornos diferentes tan solo en su construcción, la forma de localizar - los canales con respecto al cuerpo del horno y la manera en que los hornos mantienen y vacían el metal.

Considerese las siguientes figuras # (3) y (4).

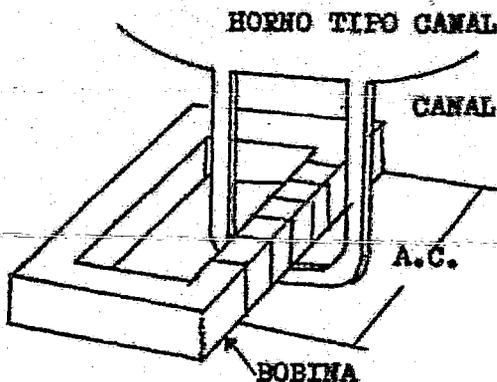


FIGURA # 3

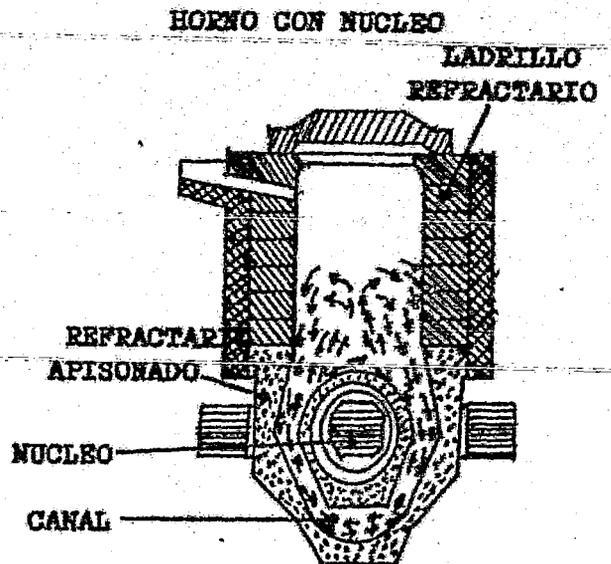


FIGURA # 4

II.1.2 CLASIFICADOS SEGUN SE FRECUENCIA.

Mientras que las fuentes eléctricas que alimentan a los hornos de canal son transformadores de potencia comunes de corrientes a la frecuencia de línea, los hornos sin núcleo pueden operar a otras frecuencias y por lo tanto se clasifican atendiendo a las fuentes de potencia utilizadas como sigue;

<u>HORNO</u>	<u>FUENTES DE POTENCIA</u>
a) Baja frecuencia	Transformador de potencia a la frecuencia de la red, (60/50 Hz.).
b) Frecuencia media	Transformadores multiplicadores de frecuencia para 180 y 540 Hz.
c) Alta frecuencia	<p>1) Motogeneradores, - para frecuencias del orden de 1,000, 2,000, 4,200 y 10,000, Hz.</p> <p>2) Invertidores estáticos y transformadores para frecuencias variables de 900/1,200 Hz. y 2,500/3,000 Hz.</p>

Volviendi ahora a los hornos sin núcleo, hay poca variación en forma y diseño básicos entre los hornos pequeños y los grandes. Las diferencias que existen, están dictadas principalmente por consideraciones mecánicas. La sección transversal de la figura # (5), que es típica para hornos pequeños no difiere mucho de la Figura # (6), que ilustra hornos medianos de los hornos de la Figura # (2).

HORNO PEQUEÑO SIN NUCLEO

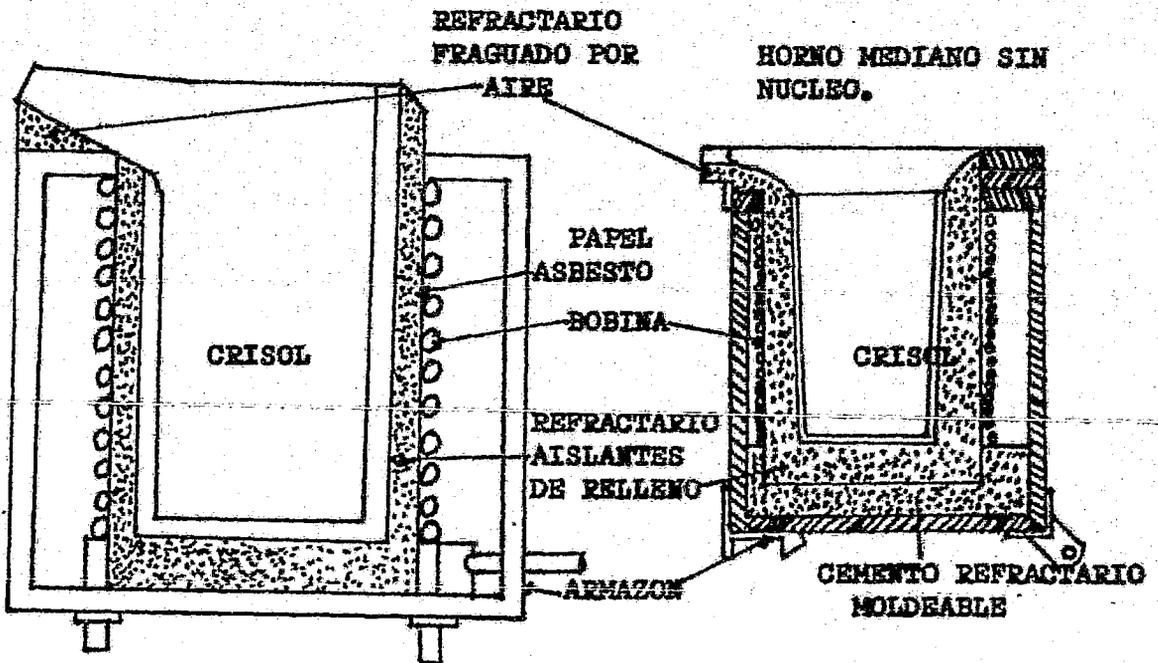


FIGURA # 5

FIGURA # 6

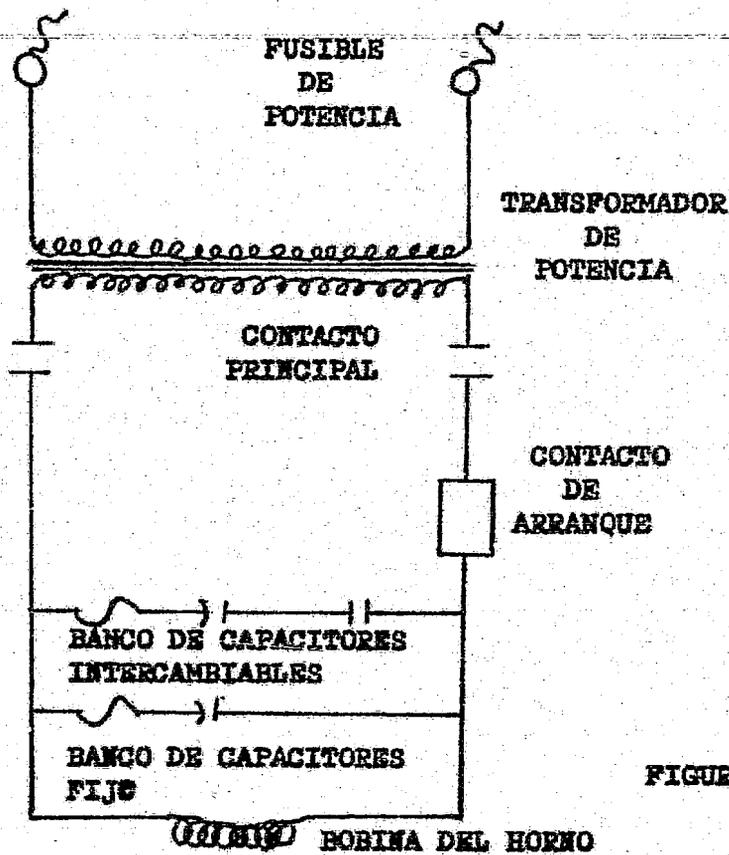


FIGURA # 7

DIAGRAMA ELECTRICO TIPICO DE UN EQUIPO DE INDUCCION DE BAJA FRECUENCIA MONOFASICO.

La Figura # (7) muestra un diagrama eléctrico típico del equipo de inducción de 60 Hz. todas las bobinas del horno de inducción son monofasicos. Las unidades de potencia - para los hornos de 60 Hz. son generalmente monofasicos, - a menos que la compañía eléctrica requieran cargas - - - balanceadas en algunas áreas de su sistema de distribu_ ción. En este caso se puede suministrar un sistema de - balanceo de fase con el equipo Figura # (8). El sistema monofasico es preferible debido al costo más elevado del equipo con balanceo de fases que requiere más mantemimi_ ento y tiene una eficiencia de fusión poca más baja.

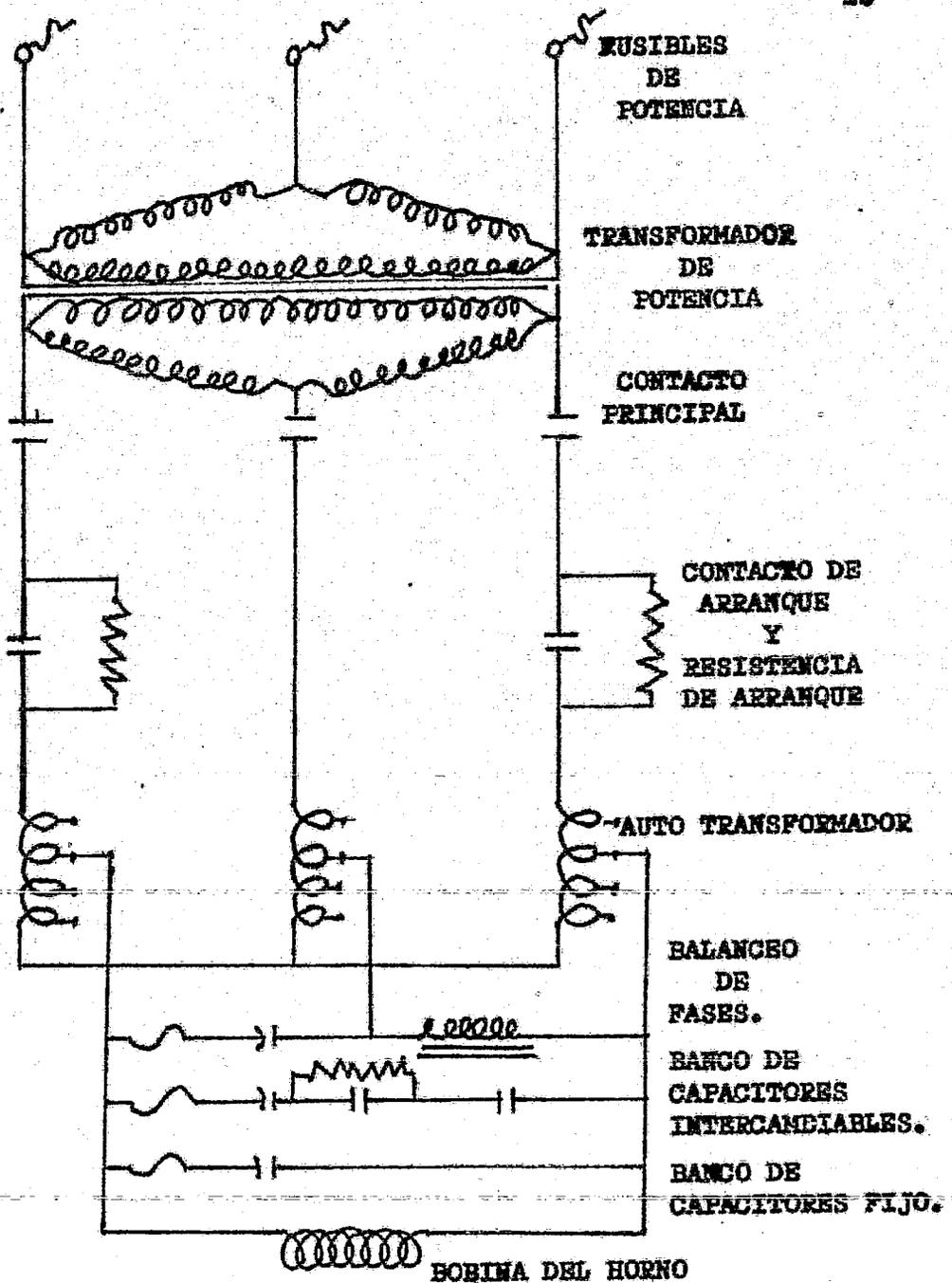


DIAGRAMA ELECTRICO TIPICO DE UN EQUIPO DE INDUCCION DE BAJA FRECUENCIA TRIFASICO.

FIGURA # 8

Para discutir la importancia de la frecuencia en un horno de inducción sin núcleo, será necesario en primer lugar discutir el fenómeno de la agitación electromagnética. Esta agitación se presenta tanto en los hornos de canal como en los hornos sin núcleo y es una de las ventajas más importantes del equipo de inducción contra cualquier otro método de fusión. Es un hecho bien conocido que si dos conductores eléctricos que conducen corriente se sitúan uno al lado del otro, existe una fuerza repulsiva entre ellos si las corrientes fluyen en direcciones opuestas. En los hornos de inducción tenemos esta situación y, puesto que el secundario es metal fundido, la fuerza resultante da origen al movimiento del metal. Este efecto es mucho más notable en los hornos sin núcleo, según se indica en la Figura # (9). El movimiento es en dos circulaciones toroidales coaxiales y el modelo depende únicamente de la geometría del horno.

La intensidad de la agitación también depende de la capacidad del horno y de la potencia aplicada. El grado de turbulencia es proporcional a la potencia aplicada e inversamente proporcional al tamaño del horno, esta agitación es también inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia a la cual se suministra la potencia. En un horno dado, la capacidad del mismo se determinará tomando en cuenta las necesidades del vaciado y la potencia aplicada estará dictada por

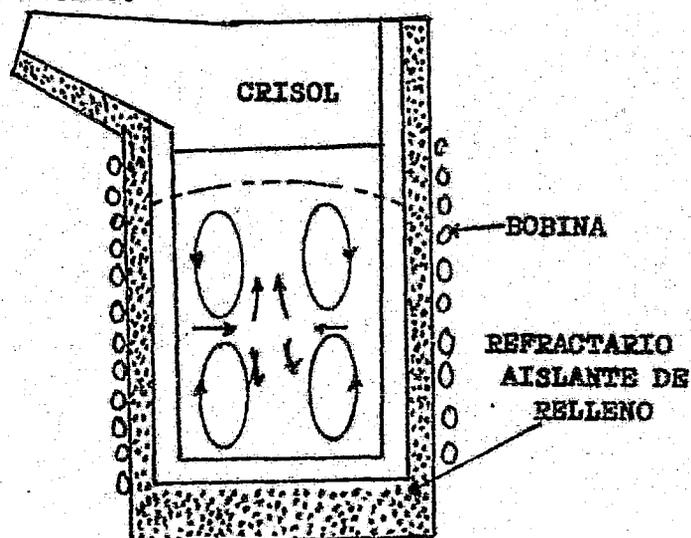


FIGURA # 9

la velocidad de fusión necesaria, siendo la frecuencia -
la única variable bajo control. En general, para un hor -
no con una capacidad y potencia, a menor frecuencia co -
rresponde una menor agitación e inversamente. La agita -
ción o turbulencia que se presenta en los hornos de in -
ducción es deseable en diversos grados según el tamaño -
del horno y la aleaciones por producción; algunos facto -
res importantes que resultan afectados por la agitación
del metal son la erosión del refractarios y la inclusión
del mismo o de escorias en el metal fundido. Por otro -
lado, además de la agitación, la frecuencia determina -
las características del arranque en frío de los hornos ,
siendo muy difíciles arrancar un horno de baja frecuen -
cia con carga sólida.

II.2 APLICACIONES DE LOS HORNOS.

a) HORNOS DE CANAL.

Los hornos de canal son generalmente asociados con una carga grande de metal fundido y una unidad de potencia relativamente pequeña. Se usan principalmente para la producción de metales en proceso continuo. Originalmente se aplicó a la fusión de bronce y latón, siendo mejorado posteriormente para aplicarlo a la fusión de hierro. En la actualidad se han construido hornos con capacidades hasta de 200 toneladas.

Los hornos de 60 Hz. requieren grandes bloques de metal para su arranque en frío. Este arranque en frío requiere de 6 a 8 horas por lo tanto es práctica usual arrancarlo una vez por mes o por semana y mantenerlo con metal fundido durante el tiempo de que no se necesite reparar o cambiar el refractario. Además es necesario que el horno tenga cuando menos $\frac{2}{3}$ de su capacidad de metal fundido para que el equipo suministre su potencia de placa y pueda cumplir con su velocidad de fusión.

El horno de 60 Hz. se aplica en plantas que funden dos o tres turnos diarios y que no tienen metal líquido para arrancar un horno de canal o que pueden amortizar el - -

costo más elevado del equipo al contar con mayor versatilidad.

En resumen el horno de canal es un equipo eficiente, de bajo costo y con excelente versatilidad en volumen de producción ideal para la fusión de una aleación o aleaciones compatibles similares.

b) HORNOS SIN NUCLEO.

Los hornos sin núcleo se encuentran en tamaños desde 1/2 Kg. hasta 100 toneladas y son ideales para fundir desde metales preciosos hasta hierro y acero. Pueden arrancar se con carga solida y trabajar se con caracter intermitente o continuo en base a cualquier programa proporcionando por esto una flexibilidad que los hace preferibles para muchas aplicaciones en comparación con los hornos de canal.

Para la fundición de hierro se utilizan principalmente hornos de 60 y 180 Hz. de frecuencia. En muy pocos y solo donde se requieren muy pequeñas cantidades de hierro, utilizan hornos de alta frecuencia.

~~El horno sin núcleo es más caro que el de canal pero~~ proporciona mayor flexibilidad en las aleaciones con - -

la posibilidad de vaciarlo totalmente y volverlo a -- 18
arrancar con otra aleación si esto fuera necesario. Adem
más y debido a que la agitación del metal llega hasta
la parte superior del horno, será más fácil utilizar
rebabas y carga ligera. Aunque el costo de energía eléct
trica para la fusión es más elevada que un horno de --
canal debido a menos eficiencia el-ectrica, esto se --
compensa con un costo menor en refractarios.

El horno de 180 Hz. tiene las siguientes ventajas de --
operación con respecto al de 60 Hz.

I. El arranque en frío no precisa de bloque grandes --
de metal y se puede muy bien utilizar chatarra normal
tal como coladas y retornos.

II. Se pueden utilizar hornos mucho más pequeños sin--
los problemas de agitación excesiva del metal de los --
hornos de 60 Hz.

III. Debido a la facilidad de arranque en frío que norm
almente no excede de 3 horas, nunca se precisará dejar
el horno encendido.

II.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

II.3.1 VENTAJAS DEL HORNO TIPO CANAL.

- I. Carga grandes de metal fundido con bajos requerimientos de potencia.
- II. Eficiencia más elevada para convertir la energía eléctrica en calor y metal fundido.
- III. Excelente para pequeñas fundiciones que se especializan en vaciar piezas muy grandes.
- IV. Mayor efecto de inercia en procesos duplex debido a su gran capacidad para mantener metal fundido en relación a la potencia requerida.

II.3.2 DESVENTAJAS DEL HORNO TIPO CANAL.

- I. Falta de flexibilidad para el cambio de aleaciones.
- II. Costos más elevados de refractarios.
- III. Tiempo muy largos para cambiar refractarios.

IV. El horno debe permanecer encendido día y noche sin -
interrupción.

V. Los apagones eléctricos pueden causar que el canal de
metal fundido se solidifique, haciendo necesario apagar-
el horno para cambiar refractarios en dicho canal.

II.3.3 VENTAJAS DEL HORNO SIN NUCLEO.

I. Flexibilidad para cambiar aleaciones.

II. Utilización de chatarra ligera.

III. La agitación del metal fundido asegura homogeneidad
perfecta en las aleaciones producidas.

IV. Bajo costo de refractarios y rapidez en su cambio.

V. Posibilidad de arranque en carga fría.

VI. Los hornos pueden ser más pequeños de acuerdo con -
las necesidades de producción.

VII. Tiempo rápido de respuesta debido a la posibilidad
de aplicar potencias elevadas sobre cargas relativamente
pequeñas.

II.3.4 DESVENTAJAS DEL HORNO SIN NUCLEO.

I. Eficiencia ligeramente inferior a la del horno tipo canal.

II. Flexibilidad reducida en volumen.

II.3.5 COSTO DE MATERIAS PRIMAS.

El bajo costo de la carga para hornos eléctricos debe considerarse en primer lugar ya que representa la mayor recuperación posible de la inversión.

En la industria de los metales ferrosos, por ejem. el costo de los materiales que tienen como base el cobre, particularmente en formas de aleaciones certificadas, representan la mayor parte del costo de la operación en una fundición. Con la facilidad para obtener las aleaciones deseadas en un horno de inducción.

Las mermas tan bajas del orden del 1 % en el horno de inducción, comparadas con el 5 % o 6 % en hornos de combustible, energía, calidad del metal, son suficientes para justificar la compra de equipo de inducción.

Una de las mejores perspectivas para los hornos de inducción, es la posibilidad de usar hasta el 100 % de chatarra barata de acero para producir hierro dúctil, maleable o gris. Algunas fundiciones están tomando ventajas de la disponibilidad de pacas de lámina, rebabas y otros desperdicios de maquinado que con técnicas adecuadas pueden procesarse en grandes cantidades en hornos de inducción.

II.3.6 EL CONTROL DE LA TEMPERATURA.

Tener un control adecuado y capaz es vital para cualquier fundición y la habilidad de gente capacitada en el horno de inducción para poder corregir y mantener la temperatura dentro de los límites deseados en el metal fundido.

II.3.7 CONTROL DE ALEACION.

El horno de inducción proporciona la habilidad para producir el análisis exacto de metal fundido. Siempre y cuando se cuente con un laboratorio bien adaptado para hacer los análisis rápidos y con personal competente.

II.4 LOS FUNDAMENTOS BASICOS DE LA FUNDICION POR INDUCCION.

Se tiene una secuencia que se lleva de acuerdo en varias etapas indican que el flujo de corriente que provoca el calentamiento de la carga de metal es el resultado de acción de campo magnéticos pasado a través de la carga de metal. Los campos magnéticos que causan el flujo de corriente a través de una bobina de alambre. Son cuatro etapas básicas en la fundición de carga fría en el horno de inducción y estas son.

- a) Flujo de corriente en la bobina.
- b) Aparición del campo magnético.
- c) Flujo de corriente en el metal.
- d) Calentamiento en el metal.

En las dos últimas etapas (c),(d) comienza el calentamiento real de la carga de metal, esto ocurre debido a un flujo de corriente en el metal.

La Figura # (10) muestra las cuatro etapas básicas en la fusión de la carga fría en un horno de inducción.

Así vemos que una corriente eléctrica nos produce calentamiento en un metal y podemos describir el método más importante de la fusión, porque conocemos que el

LAS CUATRO ETAPAS BASICAS EN LA FUSION DE
LA CARGA FRIA EN UN HORNO DE INDUCCION.

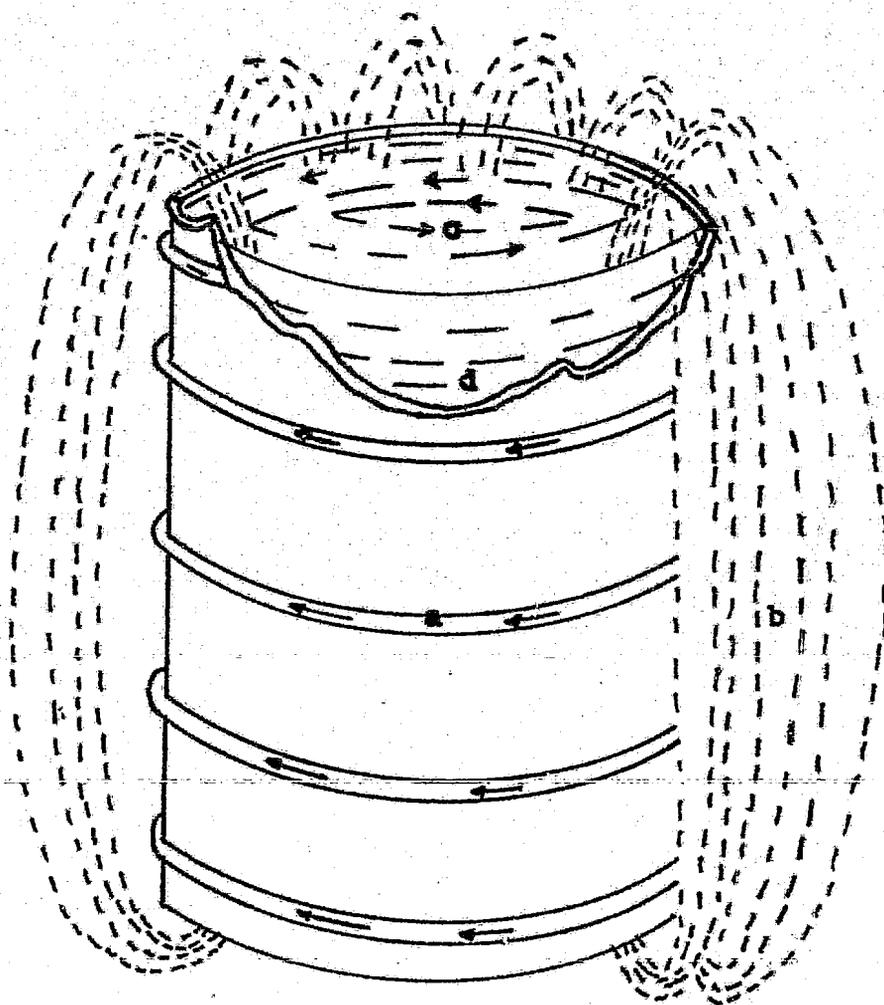


FIGURA # 10

Flujo de corriente esté relacionado con el movimiento de electrones en el metal. Durante el movimiento a través del metal los electrones (corriente) pierden parte de su energía cediéndola a los átomos del metal.

Cuando la corriente electronegativa fluye en la carga del metal, los átomos empiezan a vibrar y la energía de esa vibración aparece como calor. El flujo de corriente electronegativa por consiguiente, que causa que aparezca calor en el metal.

Si no hubiera colisiones de electrones con átomos de metal, no habría resistencia al flujo de corriente en el metal. Los efectos de calentamiento, por consiguiente, deben producirse cuando el metal ofrece alguna resistencia al flujo de corriente. Por lo tanto una carga de metal será calentada en un horno de inducción debido a que el metal ofrece cierta resistencia al flujo de corriente. Los campos magnéticos de un horno de inducción no producen directamente el flujo de corriente.

En un horno de inducción, los campos magnéticos que pasan a través de la carga del metal causan que un voltaje sea desarrollado en la carga. Cuando campo magnético -- produce un voltaje en la carga, tiene lugar de flujo de corriente. Entonces el metal se calienta debido a que ofrece resistencia al flujo de corriente.

Las Figuras # (II) y (I2) muestran la forma en que los campos magnéticos pueden pasar a través de la carga de metal en dos de los principales hornos de inducción.

En la Figura # (II) , los ,campos magneticos pasan a -
través del cuerpo central del horno.

En la figura # (I2), los campos magnéticos pasan a tra-
vés del metal en un canal en forma se U en la parte infe-
rior del horno.

En los hornos de inducción que tienen un canal en forma de U en la parte inferior, el calentamiento efectivo de la carga total ocurre en parte debido a que se generan muy altas corrientes en el canal y el calor generado es entonces conducido por todo el metal. Además, los campos magnéticos de un horno de inducción, realmente ejercen una fuente acción de mezclado en el metal fundido, ayudando a parte de la carga todavía en estado sólido.

Los campos magnéticos no calentarán la carga a menos -
que pasen a través de, al menos, parte de la carga de -
metal. Aunque los campos magnéticos consisten de líneas de fuerza pasando a través de la carga de metal, no es fácil proporcionar una descripción verbal de como - --

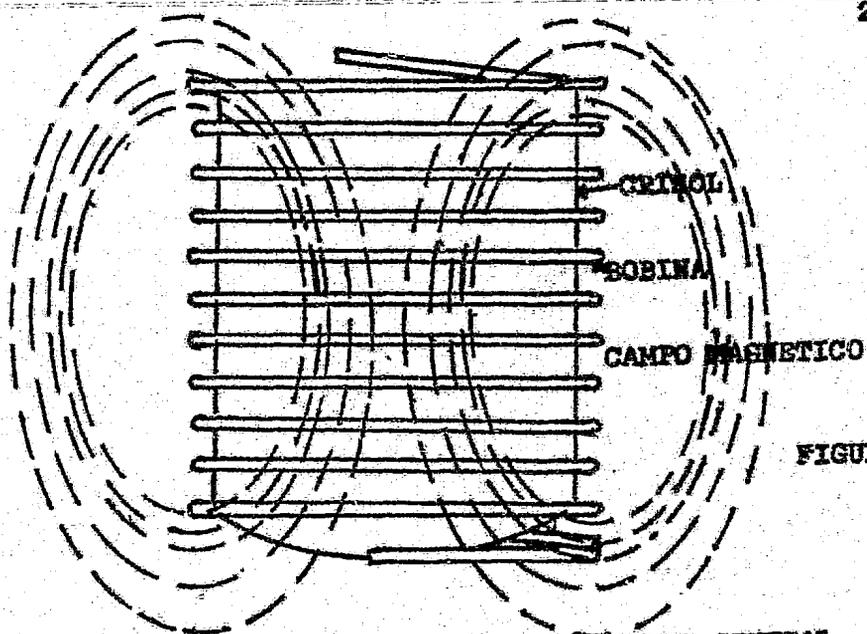
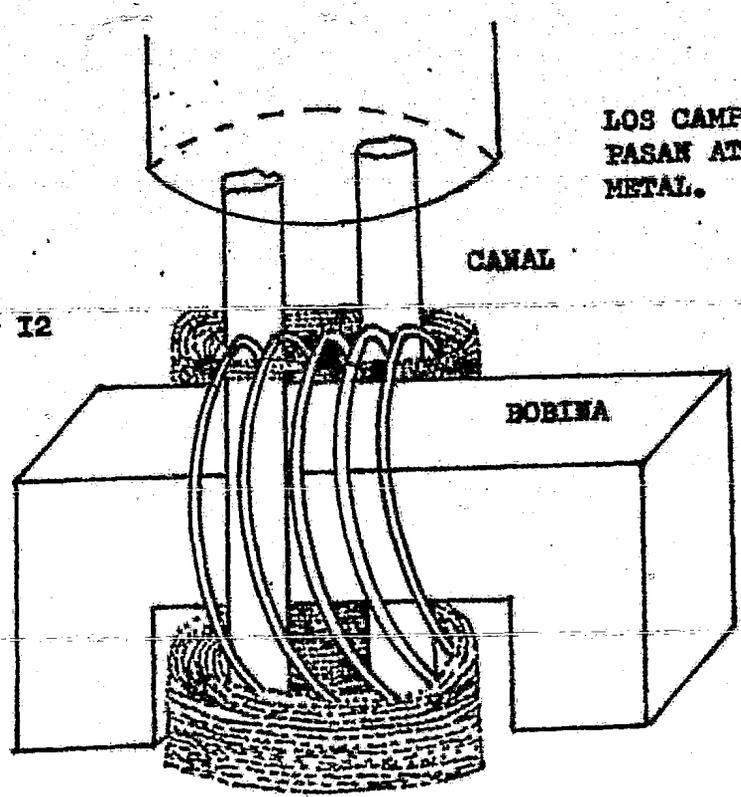


FIGURA # II

LOS CAMPOS MAGNETICOS PASAN ATRAVES DEL CUERPO CENTRAL DEL HORNO



LOS CAMPOS MAGNETICAS PASAN ATRAVES DEL METAL.

FIGURA # I2

éstas líneas generan un voltaje en el metal. Lo importante es que lo hacen y por lo tanto, el metal se calienta y se funde. Los campos magnéticos en el horno de inducción se producen por una corriente que fluye en la bobina.

Las Figuras # (I3) y (I4), muestran las formas de los campos magnéticos generados por el flujo de corriente en un alambre recto y en una bobina de alambre, como la que se usa en los hornos de inducción .

Cuando una corriente fluye en una bobina, la forma del campo magnético resultante es un conjunto ovalado de líneas de fuerza que pasan a través de la parte interior de la bobina.

El campo magnético será más fuerte cuando haya más líneas de fuerza y cuando estén más de las otras . Figura # (I4).

La intensidad del campo magnético en la bobina es mayor que en un alambre recto. Si se usa bobina en lugar de un alambre recto para generar campos magnéticos, la intensidad del campo es mayor.

La intensidad del voltaje producido en la carga de metal al está relacionado directamente con la intensidad de los campos magnéticos. Usando bobinas pueden producirse campos magnéticos que generan voltajes relativamente altos.

En términos eléctricos se produce un campo magnético - cuando fluye una corriente en un alambre. Simplemente - el efecto se produce cada vez que la corriente éstos - efectos son extraordinariamente útiles.

Cuando fluye corriente en un alambre o bobina, siempre se forma un campo magnético alrededor del alambre o de la bobina. Si un metal que conducirá una corriente se coloca suficientemente cerca del campo magnético se - inducirá un voltaje en el metal, por consiguiente flui - rá corriente en el metal. Esta descripción indica que - la inducción es la generación de voltaje a partir de un campo magnético.



FIGURA # 13

FIGURA # 14

II.4.1 EL EFECTO "SKIN" O PIEL.

La Figura # (I5) y (I6) muestran los efectos de las diferentes densidades de un campo magnético en el flujo de corriente en un metal.

El mayor flujo de corriente se tiene donde la densidad de flujo magnético es mayor Figura # (I6).

La intensidad de campo magnético. Donde la densidad de líneas magnéticas es mayor, la intensidad de ese campo será mayor. A medida que el campo magnético en una área dada es mayor, el flujo de corriente será mayor.

La Figura # (II), muestra la intensidad de campo magnético en diferentes partes de un horno de inducción.

El campo magnético tiene mayor intensidad cerca de las paredes del horno.

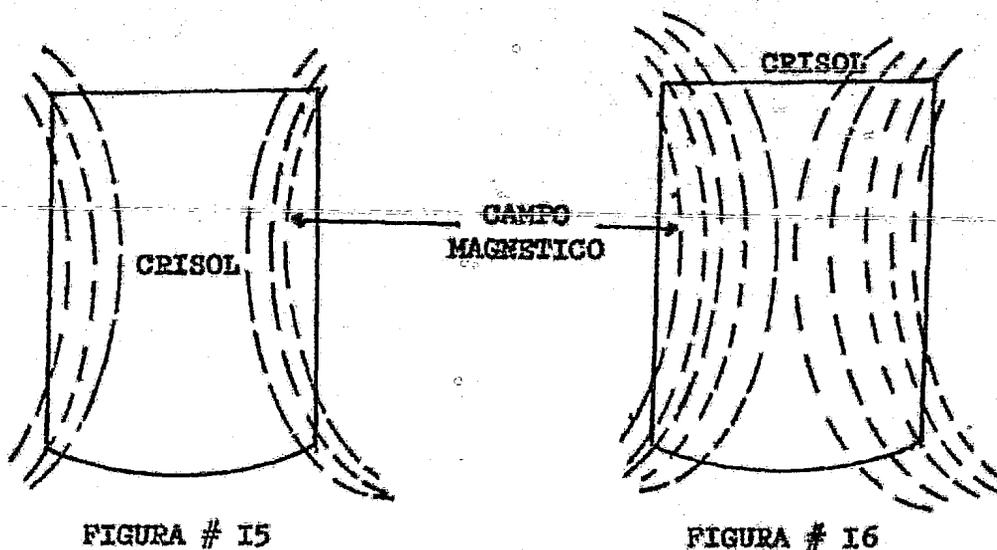


FIGURA # I5

FIGURA # I6

El campo magnético tiene mayor intensidad cerca de las paredes del horno de inducción.

El término efecto "skin" se usa para describir la mayor intensidad del campo magnético en ciertas partes del horno. Este consiste en un mayor intensidad del campo cerca de las paredes del horno la mayor parte de la carga que se encuentra cerca de las paredes del horno debido a la presencia del efecto "skin".

II.4.2 CUALES SON LAS CAUSAS POR LAS QUE OCURRE EL / EFECTO "SKIN".

Siempre que una corriente fluye en un metal, también aparece un campo magnético. Este sugiere que en un horno de inducción se genera un campo magnético debido tanto a la bobina como a la carga de metal.

Las Figuras # (17) y (16) muestran el campo magnético generado por la bobina alrededor del horno de inducción y el generado por la carga de metal.

La Figura # (18), indica que el efecto "skin" aparece cuando la orientación o dirección del campo magnético de la carga de metal es opuesto al campo de la bobina.

MEESTRA EL CAMPO MAGNETICO GENERADO POR LA BOBINA
AL REDEDOR DEL HORNO POR LA CARGA DE METAL.

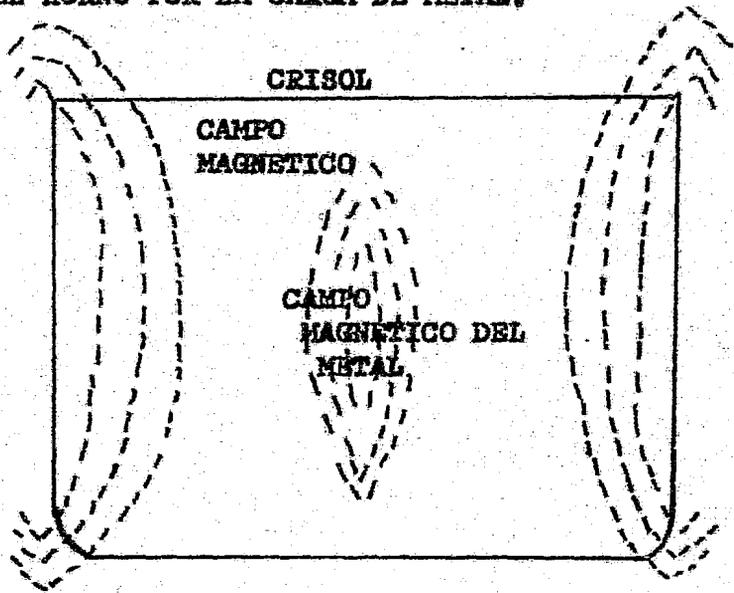


FIGURA # 17

MUESTRA EL EFECTO "SKIN"

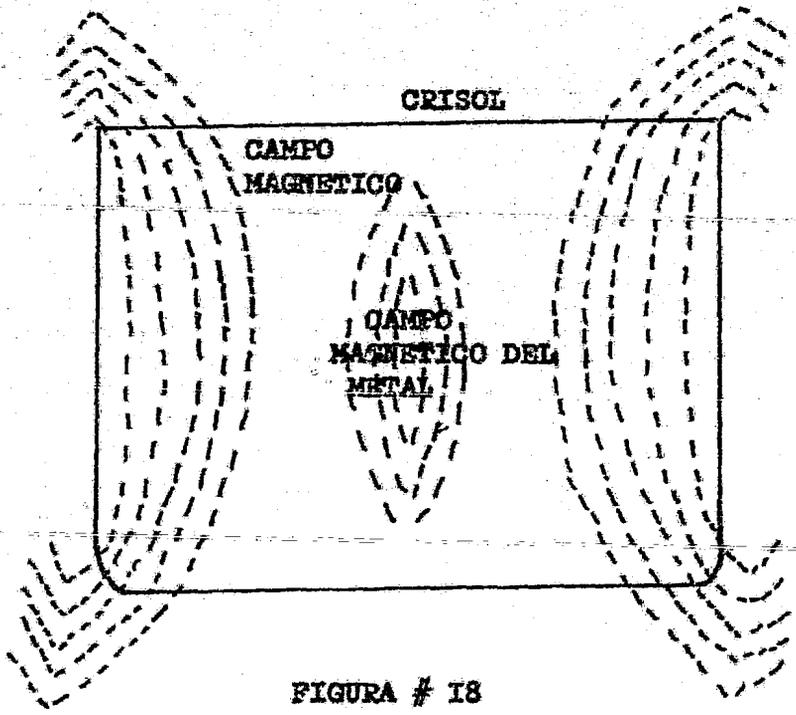


FIGURA # 18

En el efecto "Skin", parece como si el campo de la bobina ha sido empujado hacia afuera de la carga de metal, hacia los embobinados. De hecho, esto es lo que hace el campo magnético generado por el flujo de corriente en la carga de metal.

En otras palabras el campo magnético de la carga de metal tiende a evitar que el campo magnético de la bobina penetre profundamente en la carga.

El efecto "Skin", previene de la acción opuesta del campo magnético de la carga de metal.

Las Figuras # (19) y (20) muestran dos direcciones posibles para el flujo de corriente.

Cuando la dirección del flujo de corriente en la carga de metal es opuesta a la de la bobina, se genera un campo magnético opuesto.

Si el flujo de corriente en la bobina es en la dirección del giro de las manecillas del reloj, el efecto "Skin", se producirá el flujo de corriente en el metal porque tiene dirección contraria.

Dado que el flujo de corriente inducida en la carga de metal del horno tiene una orientación opuesta al flujo de corriente en la bobina, se produce el efecto "Skin".

MUESTRA UNA DIRECCION POSIBLE PARA EL FLUJO DE CORRIENTE.

FLUJO DE CORRIENTE EN EL METAL

CRISOL



CAMPO MAGNETICO

FIGURA # 19

MUESTRA OTRA DIRECCION POSIBLE PARA EL FLUJO DE CORRIENTE.

FLUJO DE CORRIENTE EN EL METAL

CRISOL

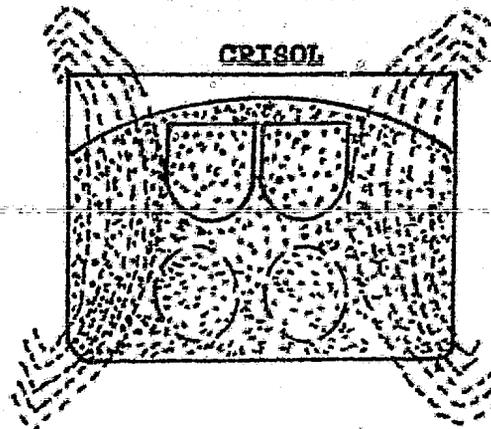


CAMPO MAGNETICO

FIGURA # 20

MUESTRA LA DIRECCION GENERAL DEL MOVIMIENTO DE AGITACION.

FIGURA # 21



CRISOL

CAMPO MAGNETICO

METAL FUNDIDO

II.4.3 EFECTOS QUE CAUSAN LA AGITACION EN EL HORNO DE INDUCCION.

El campo magnético de un horno de inducción no solamente funde la carga, sino que también ejerce una fuerza sobre el metal, lo que produce un movimiento o agitación del metal fundido.

En el horno de inducción el metal fundido experimenta un movimiento de agitación cuya dirección es diferente de la dirección del flujo de corriente y de las líneas del campo magnético.

La Figura # (21), muestra la dirección general del movimiento de agitación.

La acción de agitar el metal fundido provoca que su superficie tenga una apariencia particular. En la Fig. # (22) se muestra la superficie que adopta el metal fundido.

La forma convexa de la superficie del metal fundido en un horno de inducción se debe al movimiento de agitación creado por el campo magnético.

Aunque las líneas del campo magnético representan líneas de fuerza de agitación, la fuerza de agitación real se encuentra, siempre formando ángulo recto con las líneas de campo magnético. Para esto no existe una explicación fácil. Es simplemente lo que siempre ocurre.

Nuevamente, este efecto es altamente útil, a pesar de la dificultad de imaginar como las líneas de el campo magnético producen este tipo de fuerza sobre el metal.

A manera de revisión, si el flujo de corriente en la bobina de un horno de inducción está en sentido contrario al movimiento de las manecillas del reloj, entonces la orientación de la corriente inducida en la carga de metal estara en sentido contrario.

Con esto se puede decir que la fuerza de agitación que actúan en el metal fundido tienen una orientación tal, que, forman ángulos rectos con las líneas de el campo magnético.

II.4.4 REFRACTARIOS Y SU EFICIENCIA.

Recuerdese que el mayor grado de calentamiento de la carga ocurre cerca de sus extremos exteriores. En otras palabras el mayor calentamiento ocurre cerca de las paredes refractarias del horno.



FIGURA # 22

La Figura # (23), muestra la dirección real de las fuerzas que agitan al metal en diferentes partes del horno.

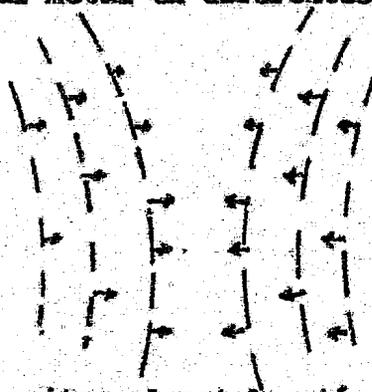


FIGURA # 23

Las fuerzas que agitan el metal están orientadas a ángulos rectos con respecto a las líneas del campo magnético. Figuras # (24) y (25).

En la Figura # (25), se tiene que a través de la pared - pasan más líneas del patron del campo magnético que en la Figura # (24).

Algunas de las líneas del patron de campo magnético serán "Desperdiciadas" al paso a través del material de recubrimiento refractario, si este es demasiado grueso.

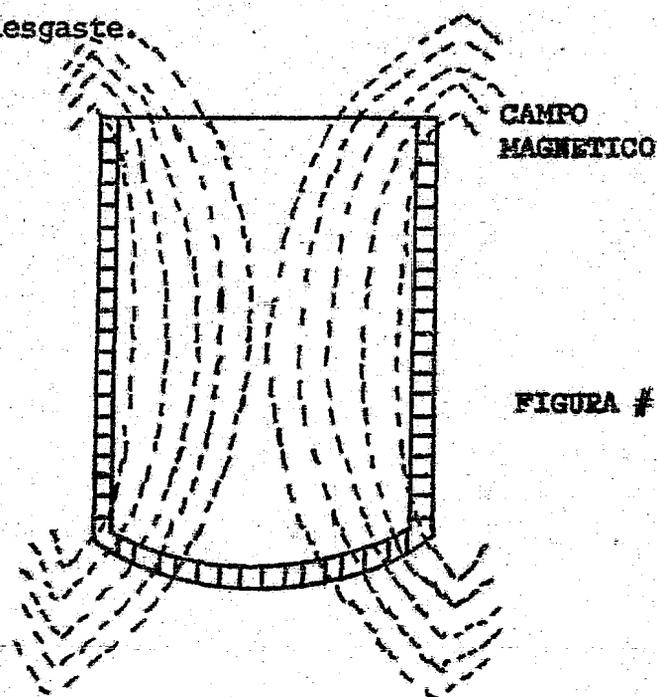
Si el grueso del material refractario se reduce con el propósito de aumentar el calentamiento de la carga, el recubrimiento se gasta más pronto. Si este es muy delgado, tenderá a gastarse más rápidamente.

Considerando estos efectos, la mejor aproximación para decidir el grueso óptimo del revestimiento refractario será un balance entre ambos extremos.

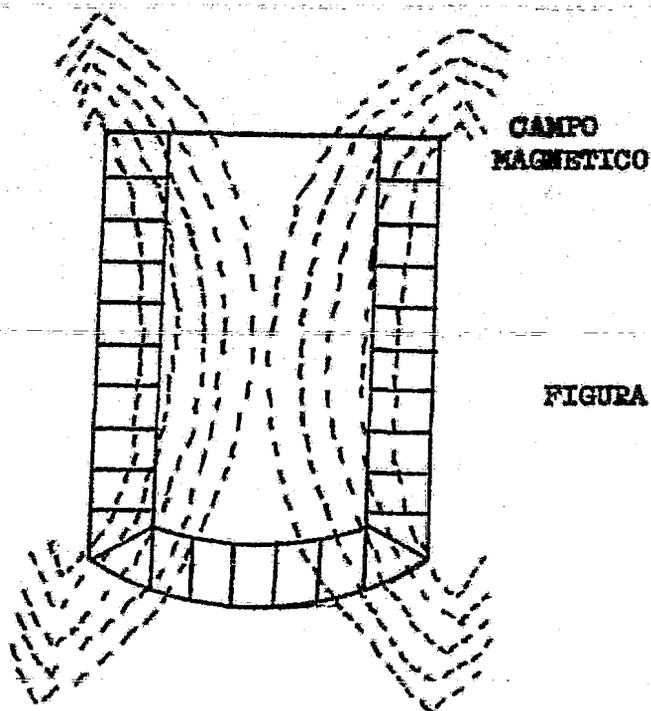
Un recubrimiento refractario muy grueso puede inteferir con el buén calentamiento de la carga.

Un recubrimiento refractario muy delgado puede causar más perdidas y desgaste.

REFRACTARIO
DELGADO



REFRACTARIO
GRUESO



CAPITULO III. SISTEMA ELECTRICO.

III.I SUMINISTRO ELECTRICO.

El sistema de suministro de energía al horno comprende los dispositivos eléctricos, instrumentación cables y — barras de alimentación desde la compañía suministradora de energía, hasta las terminales de bobina del horno. Dependiendo de las normas de la compañía suministradora, el sistema puede ser monofasico o trifasico. Los componentes básicos de potencia son los mismos para ambas ejecuciones, con la única excepción de que para la alternativa trifásica, se agregan reactores de fases y un banco de capacitores.

El suministro de potencia al horno consiste de un transformador reductor, contactos principales y de puenteo — resistencia de arranque, reactores autotransformadores — con cambiador derivaciones motorizado y capacitores de acciones fijas y variables para mantener automáticamente al factor de potencia lo más cerca posible del valor de uno de acuerdo con las diferentes condiciones del baño.

Los controles del baño incluyen. Control de fusión, corrección del factor de potencia y control durante los periodos de mantenimiento de temperatura. Por medio del contador de energía, el control de ciclo de fusión en trega —

los KWH, necesarios para la fusión de cargas predeterminadas a la temperatura requerida. Una vez proporcionada al horno la cantidad de energía para una carga de metal el operador será advertido por una alarma audible, la energía se interrumpe automáticamente. El sistema de corrección del factor de potencia consta de un regulador de carga reactiva, el cual supervisa continuamente el factor de potencia de operación del horno. Las variaciones del factor de potencia son compensadas y controladas automáticamente hasta la unidad, conectando y desconectando capacitores del circuito reactivo según se requiera.

El sistema automático de mantenimiento de temperatura provee de la cantidad de energía requerida con respecto al tiempo para sostener una temperatura previamente determinada.

Los controles de presión y temperatura se montan en la salida de agua de la bobina del horno. Esta prevista también de una conexión automática a un suministro de agua de emergencia en caso de fallas del sistema principal de agua.

III.I.I TRANSFORMADOR REDUCTOR.

El lado primario nos permite acoplar el sistema desde el voltaje de alta tensión hasta la tensión de alimentación.

III.I.2 CABLES.

El horno cuenta también con cables alimentadores de corriente eléctrica, son huecos con el objeto de conducir el agua de enfriamiento de la bobina y es flexible para permitir el volteo del horno. Estos cables están diseñados para soportar la presión del agua de enfriamiento.

Todo sistema electromagnético cuenta con dispositivos de protección cuya función puede ser la de proteger el equipo.

III.I.3 INTERCONEXION ENTRE FUENTE DE POTENCIA Y EL HORNO.

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

La Figura # (26), nos muestra el diagrama eléctrico elemental del horno de inducción

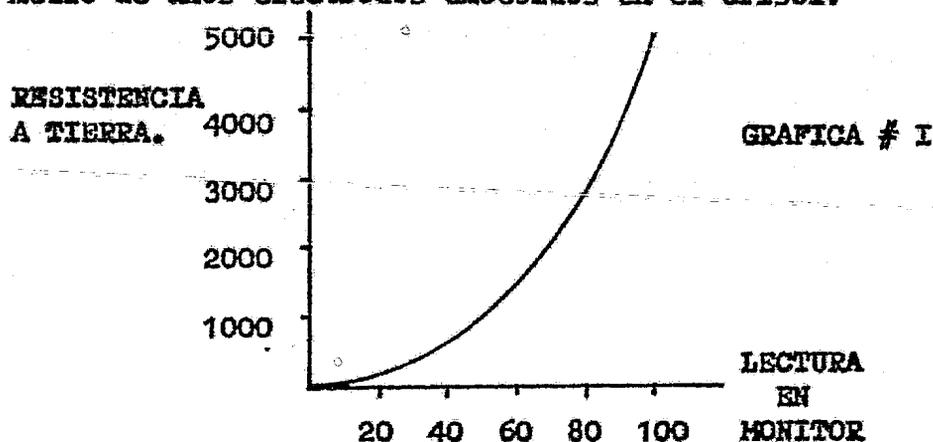
Medidor de resistencia a tierra. Este instrumento supervisa la resistencia entre el sistema de potencia del horno y tierra. La lectura del instrumento puede ser referido a su correspondiente valor en ohms por medio de la Gráfica # (I).

El medidor de resistencia a tierra se encuentran conectadas a un panel del monitor de resistencia a tierra - el cual estan acoplados en alta tensión a las fases, por medio de una bobina de reactancia de acoplamiento supervisa constantemente la resistencia entre el sistema y tierra.

El monitor de resistencia a tierra mide el aislamiento - que se tiene entre la bobina del horno y tierra del sistema.

Las resistencias en paralelo sirven para protección del monitor actuando como limitadores de corriente, esta resistencia se encuentran conectadas en serie con la bobina de choque siendo se función de aislar el sistema del de alta tensión ya que dicha bobina de choque presentan una impedancia muy alta para la corriente alterna 60 Hz. pero para la corriente continua no presenta resistencia pudiendo fluir a través de ella con facilidad.

La resistencia a medirse esta entre la bobina y el baño de metal liquido que se encuentra conectado a tierra por medio de unos electrodos embebidos en el crisol.



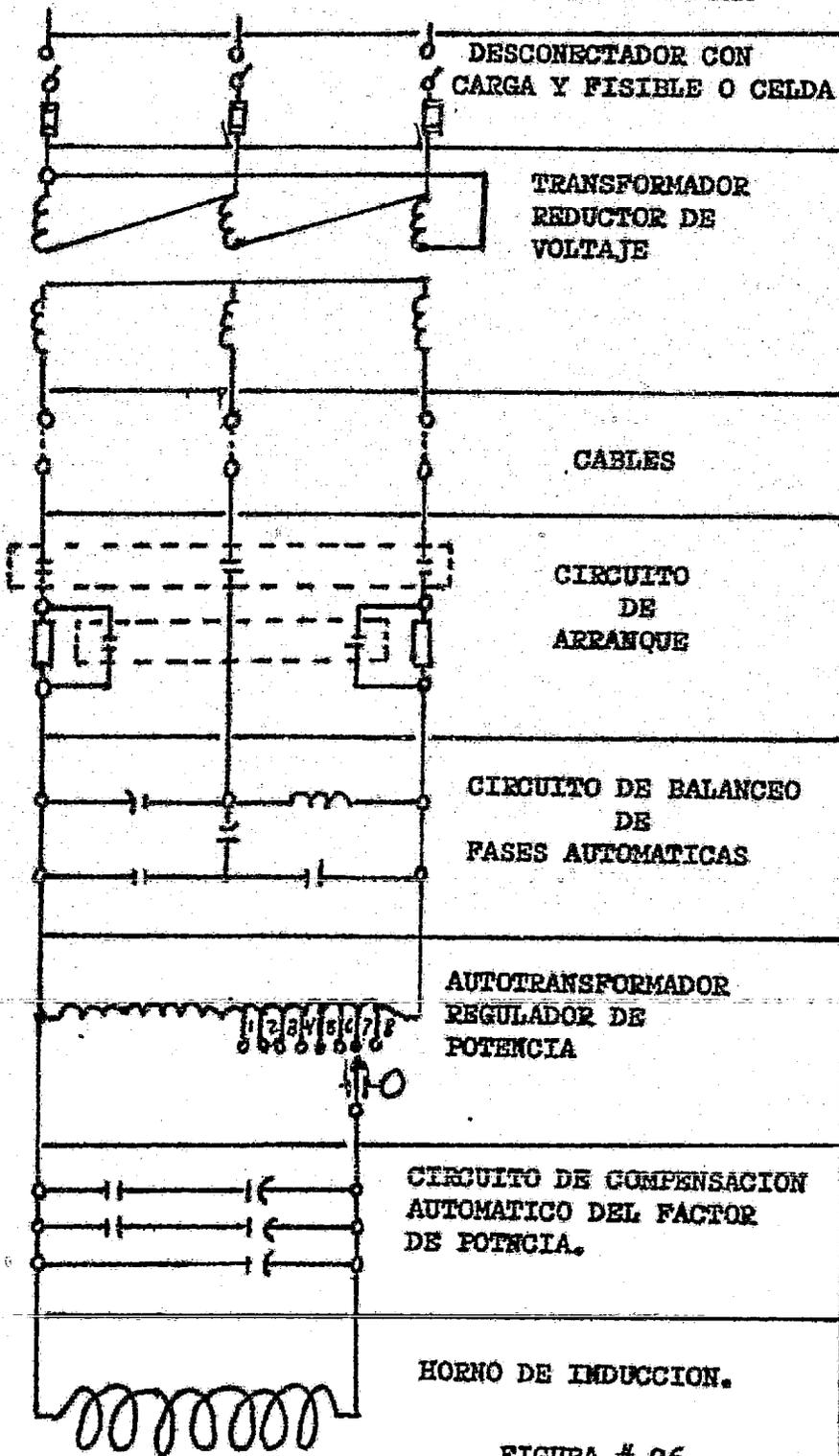


FIGURA # 26

III.2 CONTROLES DEL SISTEMA.

III.2.1 INTERRUPTOR PRINCIPAL.

Este interruptor tiene dos propósitos.

Protección contra corto circuito.

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

III.2.2 CONTACTO PRINCIPAL.

El lado secundario del transformador está conectada al -
contacto principal del horno, este contacto es el disposi
tivo que conecta y desconecta la alimentación del horno.

III.2.3 RESISTENCIAS DE ARRANQUE.

Limitan la corriente inicial de arranque para evitar daños
a los capacitores y también a la bobina.

III.2.4 SISTEMA DE BALANCEO DE FASES.

En tanto que la alimentación es un circuito trifásico, en
el horno en cambio representa una carga monofásica por -
lo tanto se requiere un sistema para interconectar estos

dos circuitos. Para este efecto, se emplea un sistema de balanceo de fases, consiste en reactores y un banco de capacitores. Su efecto eléctrico es el de dividir la carga del horno simétricamente entre las tres fases.

III.2.5 BANCO DE CAPACITORES PARA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA.

La bobina del horno representa una carga reactiva la cual varia.

a) Con la cantidad de metal en el horno.

b) Con las condiciones del recubrimiento.

Para compensar corregir esto, se provee al horno de un banco de capacitores, esto está conectada en paralelo con la bobina del horno para compensar la reactancia inductiva de la bobina. La totalidad de este banco de capacitores, no está conectado permanentemente, sino que la mayor parte de él está dividido en secciones, las cuales se conectan al circuito por medio de contactos especiales. En esta forma es posible conectar exactamente la cantidad correcta de capacidad (KVA) requerida para mantener el factor de potencia cercano a la unidad. Esta se efectúa automáticamente durante la operación del horno, aunque puede-

En la instalaciones, algunos capacitores son cambiados - bajo carga y algunos sin carga.

El banco de capacitores contienen todo el equipo necesario para compensación del factor potencial y balanceo de fases.

El banco de capacitores consta de una sección fija y otra variable, por medio de contactos especiales para manejar corriente reactivas, que incorpora capacitores enfriados por aire. Cada capacitor esta protegido por fusibles tipo indicador y equipo con resistencia de descarga. El aire - de enfriamiento forzado es prevsto por el sistema de ventilación.

La capacitancia del banco se ajusta automaticamente (y tambien manualmente), para compensar la variación de la impedancia en el horno durante el ciclo de fusión propiciada por el desgaste sufrido por el crisol y por el nivel del baño metalico.

El suministro de los KVA. a la bobina para la corriente - del factor de potencia es por medio de barras colectoras tubos y cables de potencia enfriados por agua.

III.3 BOBINA.

La bobina del crisol es el elemento que recibe la energía

eléctrica de alta frecuencia del generador. Esta bobina - está formada por un devanado alrededor de la cubeta del - crisol en su parte exterior, hecho con tubo de cobre de - acción circular, cuya parte interior sirve para la conduc - ción del agua de enfriamiento.

Este elemento junto con el material que se pone a calen - tar dentro del crisol (pedazos de acero, chatarra u otro tipo de materiales que pueden ser objeto de trabajo de - calentamiento, simple reciclado u su fundición), forman la impedancia del circuito externo del generador o su carga eléctrica.

Por la bobina se hace pasar la corriente de salida del - generador yes de intensidad variable.

La función de la bobina es transformar la mayor parte de la energía en campo magnético. Estas líneas de campo de - bido a la disposición de la bobina con respecto al crisol pasan todas através del área de la carga donde se encuentra el metal que se va a calentar. Figura # (27).

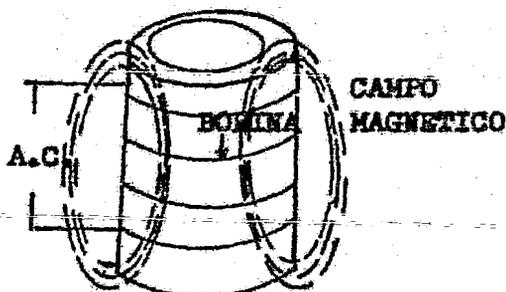


FIGURA # 27

El campo magnético producido por la bobina será un campo de intensidad variable ya que la corriente que circula es alterna.

Este campo de intensidad variable inducirá corriente en el material almacenado en el crisol, que será tanto más intensa cuando más intenso sea el campo magnético generado por la bobina y cuando menos sea la resistencia del material almacenado (el tipo de material), y su posición con respecto a las magnéticas.

En general es difícil calcular con exactitud la magnitud de las corrientes que circulan en el material almacenado en el crisol, ya que éste depende de muchos factores como son dimensiones del material, tipo de material colocación, etc.

CAPITULO IV. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.**IV. I CONCEPTOS BASICOS.****IV. I. I OPERACIONES UNITARIAS.****a) ENERGIA TERMICA.**

Se puede definir como la parte de la energía interna de - las moléculas que se puede transferir bajo la influencia de un gradiente de temperatura disponible.

Se define como calor la energía térmica que se encuentra en proceso de transferencia.

La medida de la energía térmica en sistemas de una fase - se conoce como temperatura.

b) TRANSFERENCIA DE CALOR.

Se define como el estudio de las velocidades de intercam bio de calor entre cuerpos calientes y fríos.

c) LA TRANSFERENCIA DE MASA.

Agrupar las operaciones unitarias en las cuales se presentan

cambios de concentraciones en soluciones y mezclas sin -
que necesariamente existan reacciones químicas..

d) HUMIDIFICACION.

Es una operación unitaria en la que se presentan simultáneamente la transferencia de calor y transferencia de masa. En ella sólo intervienen dos fases y dos componentes. Uno de los componentes es el agua fase líquida, el otro componente en fase gaseosa, en donde el vapor de la fase-líquida se halla presente.

La humidificación puede ser usada para controlar la humedad de un lugar o más, generalmente, para enfriar y recuperar agua por contacto con aire seco. El término humedad está generalmente restringido a la mezcla de vapor de - agua en aire y se define como el paso de agua por unidad de aire seco.

Por humedad de saturación se entienden las libras de vapor contenida en una libra de aire seco, cuando el aire-se encuentra en equilibrio con el agua.

El porcentaje de saturación es la relación entre el paso de vapor por unidad de aire seco presente, y el peso de vapor por unidad de aire seco de que la mezcla es tuviera saturada, a la presión y temperatura ambiente. Al porcenta

taje de humedad, en las relaciones aire - agua.

e) TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO.

Es la temperatura a la cual el agua evapora estando en equilibrio con aire y se manifiesta cuando el aire se saturase, pasa por una borla de húmedad produciéndose una evaporación queda como resultado un enfriamiento hasta que se establece un equilibrio dinámico en donde el calor transferido del gas a la borla de húmedad, es igual al aumento de entalpia del líquido que se evapora. A la temperatura del aire en donde se efectúa esta evaporación y que es la mayor se le denomina temperatura de bulbo seco y se mide poniendo el termómetro en contacto con el aire y dejando que se establezca el equilibrio.

IV.2 TERMINOS EMPLEADOS.

El sistema de enfriamiento es un equipo en donde se abate la temperatura del agua por intercambio de calor sensible y latente, al mismo tiempo que se transfiere una masa de vapor de agua, a una corriente de aire seco, relativamente frío.

a) RANGO.

Rango de enfriamiento del agua, es el número de grados de temperatura que el agua es enfriada en el sistema de enfriamiento, o también la diferencia de temperatura entre el agua caliente y el agua fría.

b) LA APROXIMACION.

O aproximación al bulbo húmedo; es la diferencia en temperatura entre el agua fría que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente.

c) CARGA TERMICA.

Se entiende la cantidad de calor que va a ser disipada por el sistema de enfriamiento, expresada generalmente Kcal.por hora. Equivale a la masa de agua que circula, multiplicada por el rango de enfriamiento.

d) COMO ARRASTRE.

Se entiende la cantidad de agua es llevada por el aire al salir del sistema de enfriamiento, y se expresa en por ciento del agua circulante..

Se denomina como purga, la cantidad que se separa del -
agua circulante, con el objeto de evitar un aumento en la
concentración de sólidos disueltos en el agua, debido a -
la evaporación.

e) AGUA DE REFUESTO.

Es el agua necesaria para reponer las pérdidas por evapo-
ración, arrastre, purgas y fugas en el sistema de enfria-
miento.

f) RECIRCULACION.

Es una condición en la cual parte de la descarga de aire
húmedo caliente vuelve a entrar en el sistema de enfria-
miento originando una disminución en la capacidad de la -
misma.

IV.3 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO SEGUN SU USO.

Clasificación de los sistemas de enfriamiento de agua. -
Existen varios factores que hacen que el agua sea una ex-
celente refrigerante. Es abundante, disponible y barato,
de fácil manejo, puede transportar grandes cantidades de

calor por unidad de volumen, no se dilata ni se comprime notablemente dentro de la escala de temperatura normalmente utilizadas y no se descompone.

existen dos tipos básicos y comunes de sistemas de enfriamiento; recirculantes y de un paso. Los sistemas recirculantes pueden ser abiertos o cerrados. En sistemas abiertos el agua está expuesta al aire y a la evaporación. Figuras # (28), (29); (30), (31).

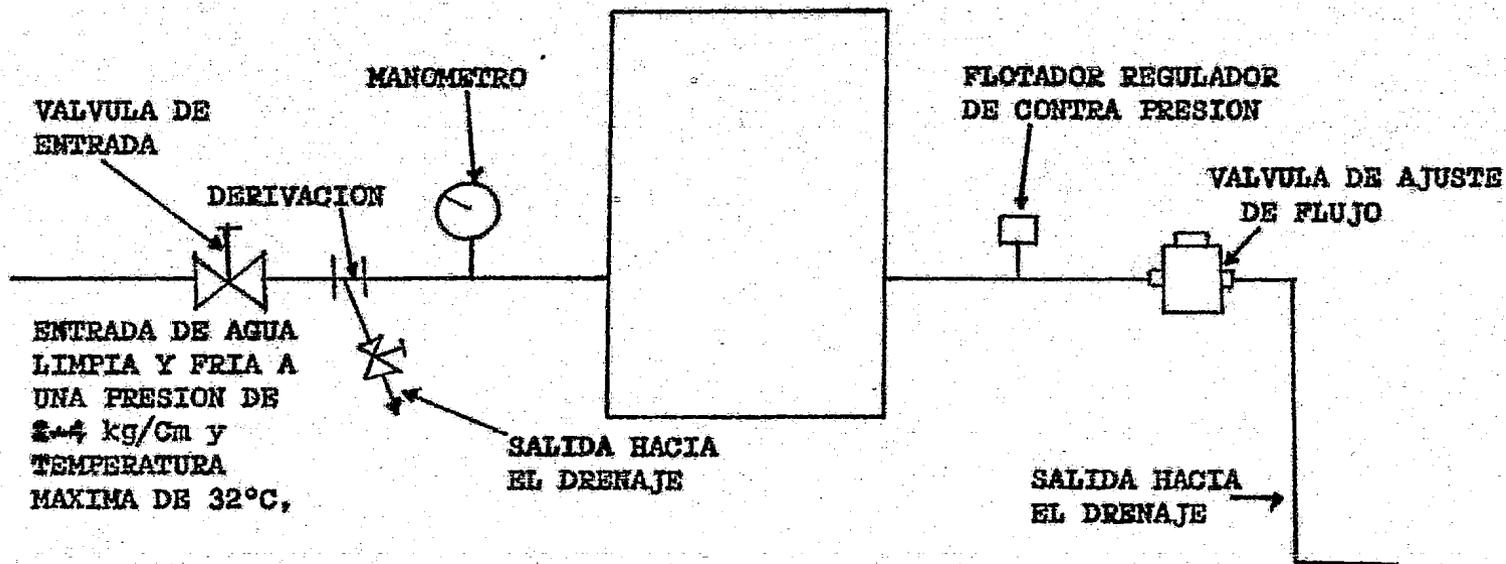
Las principales diferencias que existen entre los sistemas, recirculantes y los de un paso, son que en los sistemas de un paso Figura # (28) y (29), el agua de enfriamiento pasa a través del equipo de cambio de calor una sola vez. Al emplear grandes volúmenes de agua, el aumento de temperatura en el afluente es pequeño. El contenido mineral queda prácticamente sin cambio.

En sistemas recirculantes, como se muestra en la Figura # (30), y (31), el agua vuelve a utilizarse en forma continua. También tiene lugar una aeración continua.

Los sistemas recirculantes cerrados, tienen poca pérdida de agua. El contenido mineral es por lo general constante no hay ninguna aeración. El enfriamiento de agua tiene lugar en cambiador de calor.

SISTEMA QUE ES APROBLECHABLE CUANDO EXISTE UNA FUENTE ABUNDANTE DE AGUA FRIA Y LIMPIA

LA UNIDAD MOTOGENERADORA Y EL CRISOL.



ENTRADA Y SALIDA LIBRE (TODA EL AGUA USADA SE DESPERDICIA).

FIGURA # 28

SISTEMA QUE SE USA CUANDO EXISTE FUENTE DE AGUA
ABUNDANTE PERO NO CUMPLE CON TODOS LOS REQUISITOS.

LA UNIDAD MOTOGENERADORA Y EL CRISOL.

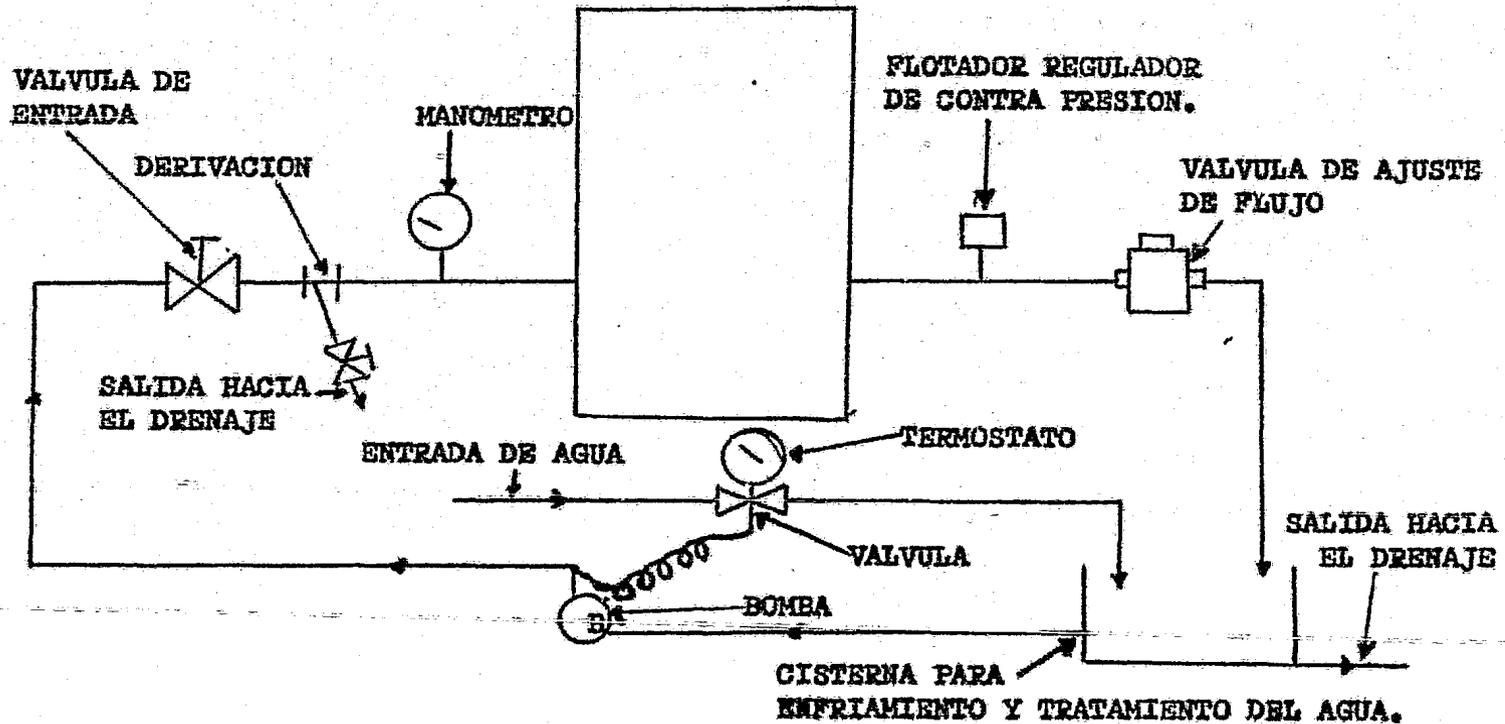
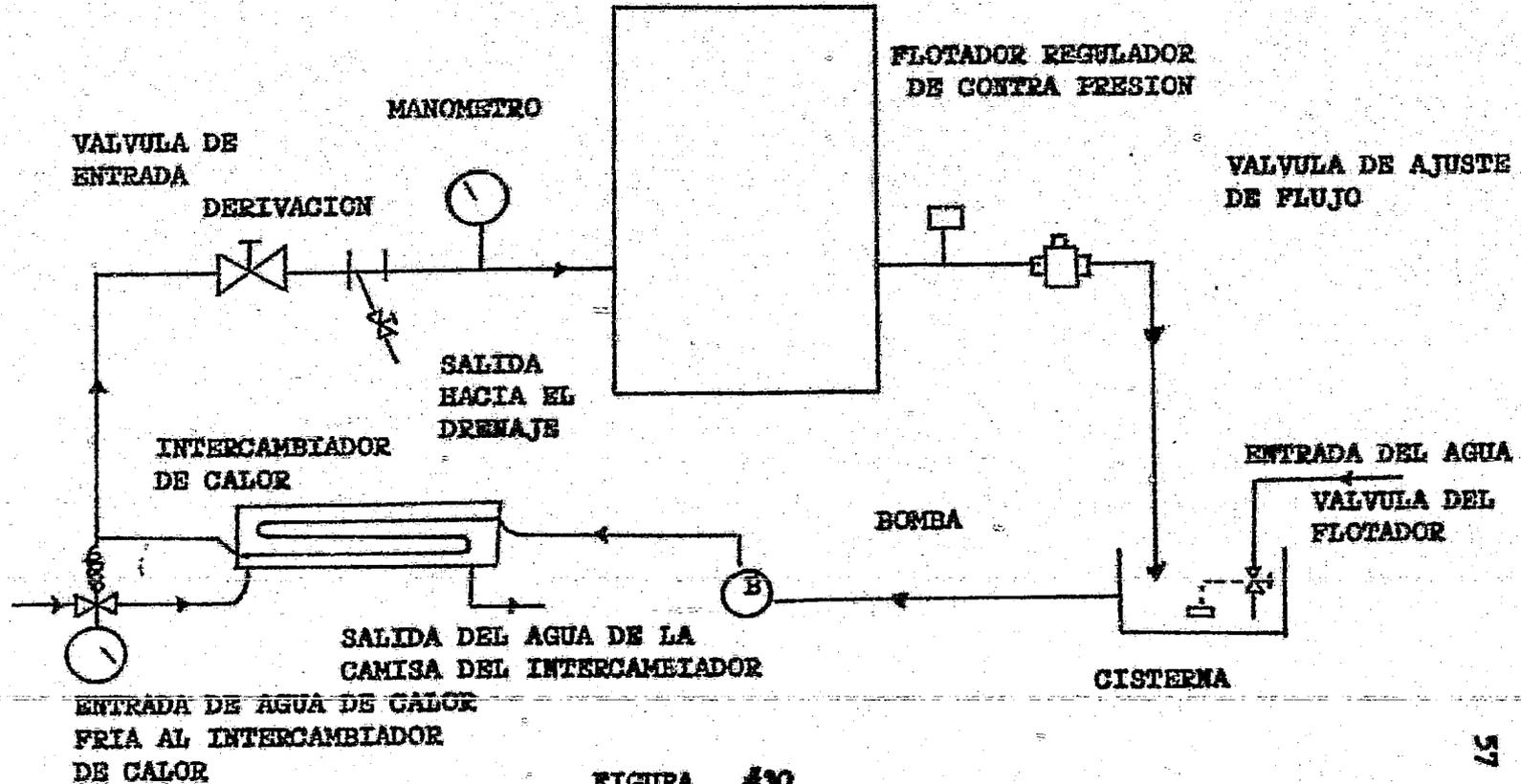


FIGURA # 29

CIRCUITO SEMI - CERRADO:

UNIDAD MOTOGENERADORA Y EL CRISOL



CIRCUITO SEMI - CERRADO CON TORRE DE ENFRIAMIENTO.

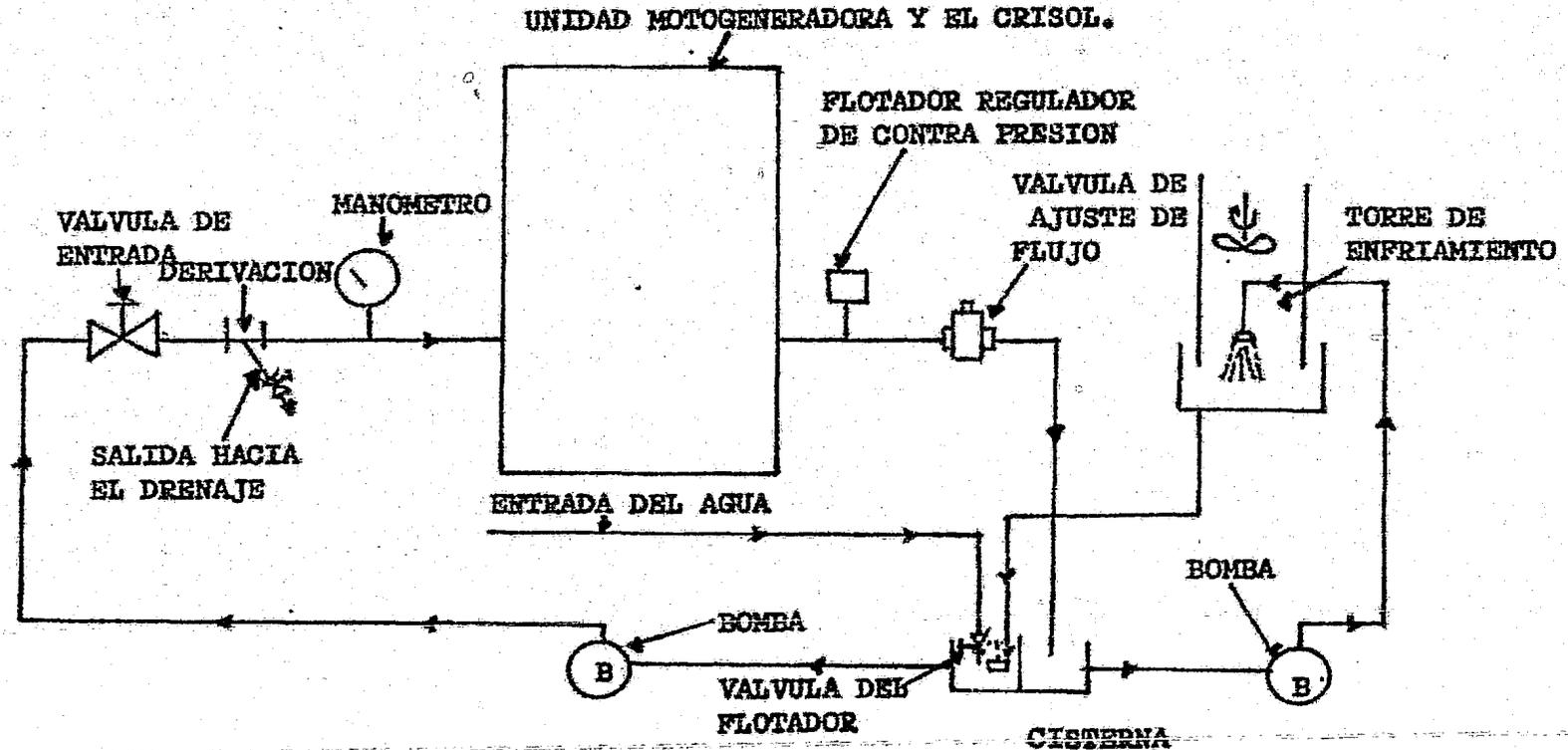


FIGURA # 31

IV.3.1 SISTEMA ABIERTO.

Consta generalmente de una tubería es la que conduce el agua por todo el proceso, está asu vez está auxiliada por otros instrumentos que controlan el paso del agua. La bomba que es la que la introduce el agua con una presión y un flujo, ya que también se tiene una válvula de entrada que es la que controla la presión y el flujo del proceso, después se tiene una salida hacia el drenaje, también se tiene instalado un manómetro que nos mude la presión de entrada hacia la bobina ya a la salida del proceso, se tiene un flotador regulador de contra presión y una válvula de ajuste de flujo ya que estos instrumentos nos proporcionan seguridad que se mantenga una presión y un flujo dentro del proceso esto es vital para un buen funcionamiento del proceso y por último-se tiene la salida hacia el drenaje. Figura # (28).

IV.3.2 SISTEMA ABIERTO CON TRATAMIENTO DE AGUA.

Este sistema es igual al sistema abierto en todas sus funciones de los instrumentos tienen su válvula de entrada, su salida hacia el drenaje, su manómetro de medición de presión, su flotador regulador de contra presión, su válvula de ajuste de flujo pero estos instrumentos están sujetos según las necesidades del proceso.

Se diferencia porque tiene una cisterna para tratamiento de agua, también cuentan con un termostato que se encuentra en la tubería para medir temperaturas con que sale el agua de la cisterna hacia el proceso. Figura # (29).

IV.3.3 CIRCUITO SEMI - CERRADO.

Este sistema es igual al sistema abierto con tratamiento de agua en sus funciones y sus instrumentos, con su salida a la cisterna donde se le da el tratamiento de agua y de allí se introduce al proceso.

Su diferencia es que tiene un intercambiador de calor que es enfriado con agua a la salida del intercambiador se tiene un termostato para que se mida la temperatura del agua. Figura # (30).

IV.3.4 CIRCUITO SEMI - CERRADO CON TORRE DE ENFRIAMIENTO.

Este sistema es parecido al sistema Circuito semi - cerrado ejecuta las mismas funciones y sus instrumentos son iguales con las mismas funciones, con su salida a la cisterna.

Su diferencia es que en la cisterna esta dividida en dos compartimientos uno para el agua fría y otro para el agua caliente, el agua caliente es conducida através de la

tubería por una bomba hasta una torre de enfriamiento allí el agua es enfriada por un intercambiador de calor que es un ventilador y una vez ya enfriada el agua es conducida al compartimiento de la cisterna donde se encuentra el agua fría y de allí se recircula de nuevo al sistema.

Figura # (31):

IV.4 VARIACIONES EN LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.

Por lo general hay principalmente dos tipos de torres de enfriamiento, que son las torres de circulación natural y las torres de tiro mecánico. En el primer tipo la denominación de torres es inexacta, ya que el diseño de la misma semeja una estrecha fuente de espaldas encajonadas y con rejillas de ventilación en dos de sus lados a bastante altura. Generalmente se contruyen con espaldas que dejan caer el agua desde lo alto se estructura.

IV.4.1 TORRE DE TIRO MECANICO.

Son las que utilizan ventiladores para forzar el paso de aire a través de la torre, siendo los ventiladores parte integrante de está. Las torres de este tipo presentan la gran ventaja de que permiten regular el volumen de aire necesario, su velocidad y su distribución. El tiro de estas torres se consigue con sopletes que inyectan el aire, fresco, o con extractores que aspiran el aire saturado; de ésta manera es posible poner en intím contacto una -

determinada cantidad de aire, de velocidad, con agua en condiciones de franca turbulencia. Estas torres son de menor tamaño que las de circulación natural y necesitan menos energía para el bombeo de los líquidos. Estas ventajas económicas, sin embargo, resultan disminuidas por los gastos de los sopletes y extractores (en general llamados ventiladores) y por la energía necesaria para su accionamiento.

IV.4.2 TORRES ATMOSFERICAS.

Estas torres dependen del viento atmosférico que sopla horizontalmente hacia la torre. Estas torres deben estar en áreas relativamente abiertas, para recibir y aprovechar el viento en cualquier dirección. La torre opera a flujo cruzado de el viento a la caída del agua y un rango de treinta y cinco por ciento de eficiencia. No son capaces de predecir agua a una temperatura más cercana de 4°f a la de la temperatura de bulbo húmedo de aire en la entrada. No requieren ventiladores, pero consumen energía el bombear el agua a la cima de la torre. Requieren áreas superficiales muy grandes. En esta torre, el agua se bombea a sus parte superior de donde se derrama por sistema de distribución; cuando el agua empieza a descender es dividida y distribuida; cuando el agua empieza a decender es dividida y redistribuida por las cubiertas que contienen el relleno de la torre, esto descubre continuamente nuevas superficies de enfriamiento al aire que en cuenta. Figura # (32).

TORRE ATMOSFERICA

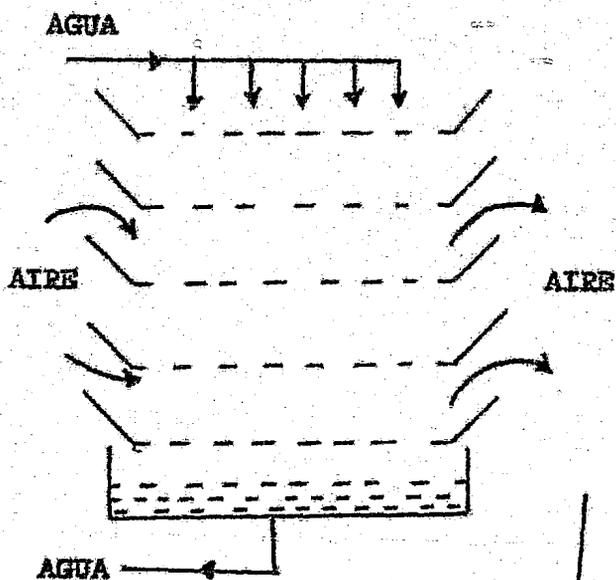
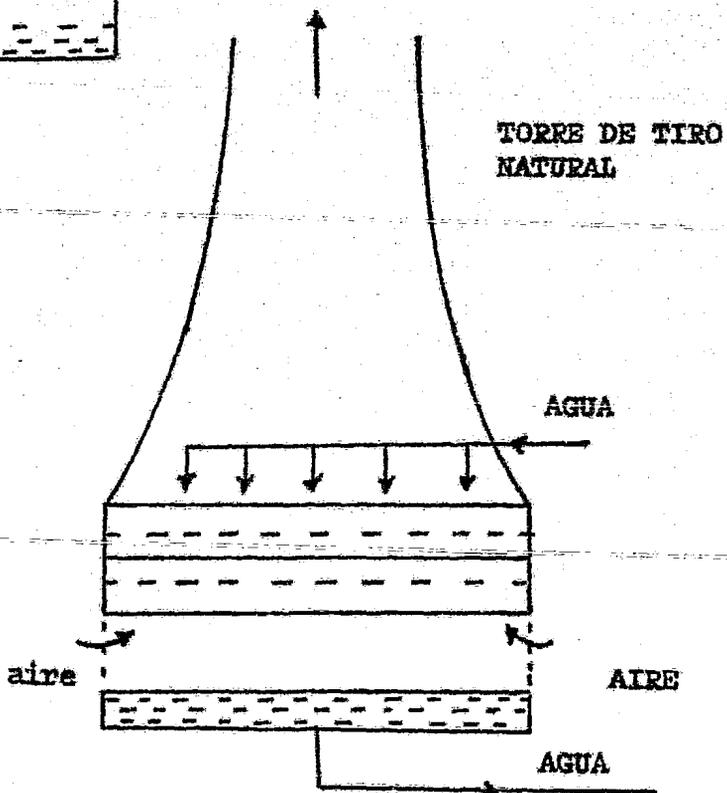


FIGURA # 32

FIGURA # 33



TORRE DE TIRO NATURAL

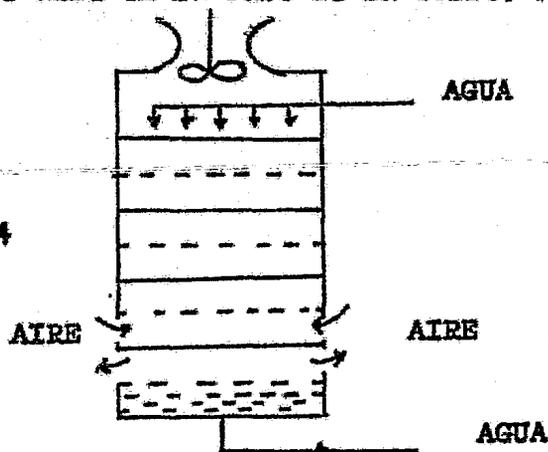
IV.4.3 TORRE DE TIRO NATURAL.

Estas torres dependen de la acción del tiro natural (como una chimenea para atraer aire frío al fondo de la torre y expulsarlo en la cima como una mezcla de aire caliente. La acción de la torre depende de la temperatura atmosférica, por lo tanto, en un día caliente la acción de la torre puede ser menos que en un día frío. Estas torres son realmente grandes y requieren energía para el bombeo del agua. Figura # (33).

IV.4.4 TORRE DE TIRO INDUCIDO.

En estas torres los ventiladores están localizados en la corriente de aire húmedo de salida en la cima de la torre. El aire entra por los lados de la torre a baja velocidad y es extraído a la cima de la torre por el ventilador. En este tipo de torre de tiro mecánico, la mezcla de aire caliente es descargada verticalmente a la atmósfera con una velocidad tal, para eliminar la posibilidad de recirculación de éste aire en la base de la torre. Fig. # (34).

FIGURA # 34



IV.5 INDICACIONES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.

La mayoría de las aguas de pozo son estables en el pozo, sin embargo, un aumento de temperatura o aeración pueden con frecuencia basta para que se forme incrustaciones o se vuelvan corrosivas. Generalmente las aguas de superficie son también inestables en el uso. Son usualmente corrosivas, pero pueden formar incrustaciones bajo cierta condiciones.

Para determinar la estabilidad del agua existen dos indicadores comúnmente aceptados que son el índice de Saturación de Langelier y el índice de Estabilidad de Ryznar. Estos índices predicen la corrosividad o potencial de incrustaciones de una agua determinada y pueden ser calculados a partir de su dureza, contenido mineral, pH y temperatura.

El índice de Saturación de Langelier es el valor de pH actual del agua menor el pH de saturación del carbonato de calcio para la misma agua ($pH - pHS$). Un valor positivo indica tendencia a formar incrustaciones. Un valor negativo indica tendencia a producir corrosión.

El índice de Estabilidad de Ryznar de un agua es igual a dos veces el pH de saturación del carbonato de calcio

menos el valor pH actual del agua ($2pH_s - pH_0$). Este -- es más exacto y muestra hasta que punto un agua puede causar incrustaciones o corrosión bajo condiciones es pecíficas. La Formación de depositos tenderá a ocurrir en un agua con un índice de estabilidad inferior a 6pH. Esta tendencia aumenta rápidamente conforme se acerca a un índice de estabilidad de 4pH. Un agua es corrosiva con un índice de estabilidad superior a 6pH, aumentado su intensidad al incrementarse su valor.

El valor de pH_s del carbonato de calcio se obtiene de la siguiente relación;

$$pH_s = (A + B) - (C + D)$$

donde; A = Factor de sólidos tales en ppm.

B = Factor de temperatura en °F

C = Factor de dureza de calcio expresada como ppm. de carbonato de calcio.

D = Factor de alcalinidad expresada como ppm. de carbonato de calcio.

Nota; A, B, C, y D se obtienen de la tabla # (I).

Los principales problemas ocasionados por las impurezas del agua en un sistema de enfriamiento por recirculación son;

TABLA # 1

FACTORES PARA CALCULAR EL pHs. DEL CARBONATO DE CALCIO

SOLIDOS TOTALES		DUREZA DE CALCIO		ALCALINIDAD	
ppm.	A	ppm. CaCO ₃	C	ppm. CaCO ₃	D
50 - 300	0.1	10 - 11	0.6	10 - 11	1.0
400 - 1000	0.2	12 - 13	0.7	12 - 13	1.1
		14 - 17	0.8	14 - 17	1.2
		18 - 22	0.9	18 - 22	1.3
Temperatura.		23 - 27	1.0	23 - 27	1.4
°F	B	28 - 34	1.1	28 - 34	1.5
32 - 34	2.6	35 - 43	1.2	35 - 43	1.6
36 - 42	2.5	44 - 55	1.3	44 - 55	1.7
44 - 48	2.4	56 - 69	1.4	56 - 69	1.8
50 - 56	2.3	70 - 87	1.5	70 - 87	1.9
58 - 62	2.2	88 - 110	1.6	88 - 110	2.0
64 - 70	2.1	111 - 138	1.7	111 - 138	2.1
72 - 80	2.0	139 - 174	1.8	139 - 174	2.2
82 - 88	1.9	175 - 220	1.9	175 - 220	2.3
90 - 98	1.8	230 - 270	2.0	230 - 270	2.4
100 - 110	1.7	280 - 340	2.1	280 - 340	2.5
112 - 122	1.6	350 - 430	2.2	350 - 430	2.6
124 - 132	1.5	440 - 550	2.3	440 - 550	2.7
134 - 146	1.4	560 - 690	2.4	560 - 690	2.8
148 - 160	1.3	700 - 870	2.5	700 - 870	2.9
162 - 178	1.2	880 - 1000	2.6	880 - 1000	3.0

1.- Corrosión en equipo y tuberías. Lo anterior ocasiona reparaciones costosas, pérdidas de producción y - en un caso extremo el cambio total del equipo.

2.- Depositos (incrustaciones o lodos) que restringen el flujo del agua y pueden ocasionar una pérdida seria de eficiencia e incluso la falla del equipo de cambio-de calor.

IV.5.I CORROSION.

La corrosión se ha definido como la tendencia que tiene los metales a reaccionar con el medio que lo rodea para convertirse en una forma estable, que normalmente es de óxidos. De hecho, los factores que influyen sobre la - corrosión en un sistema de enfriamiento por recirculación son;

- a.- Temperatura.
- b.- Concentración de oxígeno.
- c.- Velocidad de flujo sobre las superficies metálicas.
- d.- Bajo pH.
- e.- Presencia de cloruros y sulfuros.
- f.- Concentración de áreas anódico - catódica por aereación diferencial.
- g.- Condiciones diferenciales de temperatura.
- h.- Presencia de metales distintos que ocasionan la acción galvánica.

En los sistemas de enfriamiento, se recurre al uso de inhibidores tales como cromatos, ortofosfatos, ferrocianuro, bicarbonatos, polifosfatos, aceites solubles, aminas cuaternarias y otras materias orgánicas.

Los inhibidores químicos reducen o detienen la corrosión interfiriendo con el mecanismo de ésta.

Los tratamientos combinados de cromatos y polifosfatos son sin duda los más efectivos, ya que con dosis relativamente pequeñas proporcionan protección efectiva.

La dosificación es variable y depende de la velocidad del agua, el tipo de sistema y el grado de corrosión - permisible.

Una dosificación típica para sistemas cerrados con recirculación es de 20 a 30 ppm. para sistemas de un solo paso basta con 5 a 15 ppm.

Es importante el rango de pH de aplicación para el inhibidor.

Para el cálculo de la cantidad de inhibidor se tiene la siguiente ecuación;

$$I = \text{ppm.} / I20X$$

donde; I = cantidad de inhibidor en lb/1000 gal de agua de repuesto.

ppm. = Dosis de inhibidor.

X = Ciclos de concentración.

donde; $X = Cl_R / Cl_W$

Cl_R = Concentración de cloruros del agua circulante.

Cl_W = Concentración de cloruro del agua de repuesto.

IV.5.2 DEPOSITOS.

En los sistemas de agua de enfriamiento los depósitos pueden clasificarse en dos grupos principales;

Como ejemplo de obstrucciones comunes;

- a.- Suciedad y lodos.
- b.- Arena.
- c.- Productos de corrosión.
- d.- Orgánicos naturales.
- e.- Masas microbiológicas.
- f.- Desechos en general;
- g.- Alúmina?
- h.- Fosfatos de aluminio.
- i.- Fosfato de hierro.

La obstrucción, ensuciamiento o taponamiento es la acumulación de materiales sólidos diferentes a los incrustantes, de tal manera que estorban la operación del equipo o contribuyen a su deterioro.

En sistemas abiertos recirculantes, existen principalmente suciedad y sedimentos, arena y productos corrosivos, - alúmina, fosfatos de aluminio o hierro, orgánicos naturales masas microbiológicas y desechos en general.

En sistemas recirculantes cerrados principalmente producto de corrosión y orgánico.

En sistemas de paso, suciedad, sedimentos, masas microbiológicas y desechos en general.

Hay cuatro factores principales que determinan la tendencia incrustante del agua; La temperatura, la alcalinidad o acidéz (pH), la cantidad de elementos incrustantes presentes y la influencia otras materias disueltas que pueden formar incrustaciones o no. La evaporación y cambios de temperatura son las causas mayores de la precipitación de sólidos.

Los principales métodos para impedir la incrustación son;

a.- El tratamiento externo que puede ser por suavización con cal en frío o por medio de intercambio iónico, proporciona estabilidad dentro de límites estrechos y para ampliar estos límites se hace seguir de la adición de polifosfatos o de otros agentes secuestrantes.

b.- Algunos materiales orgánicos sólo o como complemento los polifosfatos, ayudan también al control de la incrustación, acondicionando los cristales de materias incrustantes para hacerlos no adherentes.

c.- El llamado tratamiento químico, evita la formación de incrustantes de calcio y de magnesio mediante la adición de ácido sulfúrico al agua para controlar el pH.- Al cambiar el índice de estabilidad del agua por la reducción en el pH, el agua se vuelve corrosiva.

El método anterior aplicado a un sistema por recirculación requieren un control del número de concentraciones en el sistema. En la determinación de la relación de concentración adecuada siempre es necesario considerar el no exceder los límites de solubilidad de los componentes del agua en particular.

El ácido sulfúrico que es necesario agregar se puede cal

cular por la siguiente fórmula;

$$Ac. = 1.06 \left[b_1 - (b_2 / X) \right]$$

donde; Ac. = ppm de ácido sulfúrico, 66° Be, que se debe agregar en base al agua de repuesto.

b_1 = Alcalinidad al anaranjado de metilo en ppm. de carbonato de calcio en el agua de repuesto.

b_2 = Alcalinidad al anaranjado de metilo en ppm. de carbonato de calcio en el agua de recirculación al pH. que se desea llegar Grafica # (2).

X = Ciclos de concentración.

La misma fórmula expresada en libras de ácido por 1000 galones queda;

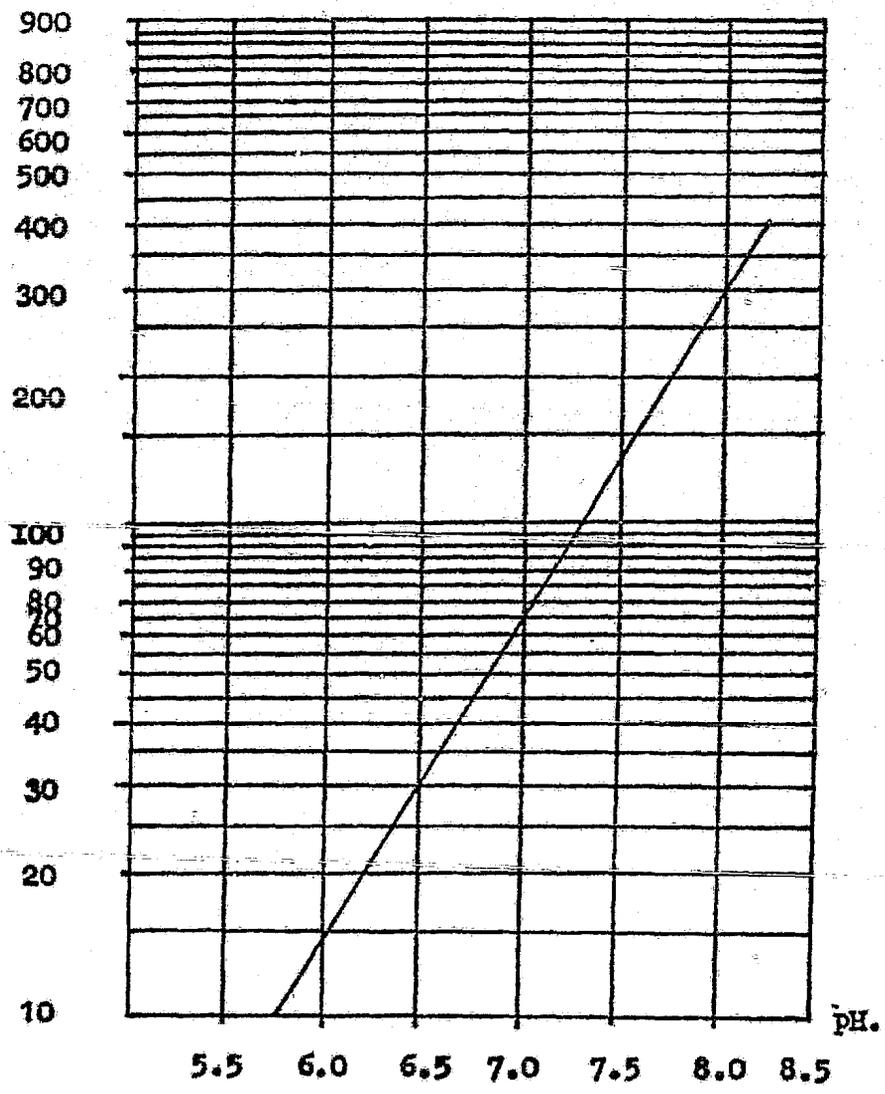
$$Ac. = b_1 - \left[(b_2 / X) \right] / 114. ;$$

donde; Ac. = Libras de ácido sulfúrico, 66° Be, por cada 1000.

IV.5.3 AGUA DE REPUESTO.

El valor de la alcalinidad al anaranjado de metilo deberá estar dada por el análisis del agua de repuesto y es la característica más importante del agua para conocer su tendencia incrustante.

ALCALINIDAD
ppm. (HCO₃)



GRAFICA # 2

La alcalinidad puede ser dividida en dos clases con respecto al pH.

a.- Alcalinidad de la fenoftaleína (F),- Es una medida de los iones $\text{CO}_3^{=}$ y OH^- ; se determina por titulación ácido a un pH de 8.3 y fenoftaleína como indicador.

°Generalmente no se encuentra en aguas natural.

b.- Alcalinidad al anaranjado de metilo o total (M),- Es una medida de la alcalinidad total incluyendo la anterior. Se determina por titulación a un pH de 4.3 con anaranjado de metilo como indicador.

La diferencia entre las clases de alcalinidad la concentración de iones bicarbonato. La relación entre las alcalinidades puede expresarse con las ecuaciones, — siguientes;

a.- Si $\text{Alk} (F) = 0$

$$\text{Alk} (M) = \text{HCO}_3^-$$

b.- Si $2 \text{Alk} (F) \leq \text{Alk} (M)$

$$\text{Alk} (M) = \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$$

c.- Si $2 \text{Alk} (F) \geq \text{Alk} (M)$

$$\text{Alk} (M) = \text{CO}_3^{=} + \text{OH}^-$$

CAPITULO V. REFRACTARIOS.

V.I REFRACTARIOS USADOS EN LA FUNDICION.

Los refractarios son comunes a todos los procesos metalurgicos conducidos a temperaturas elevadas. En el taller de fundición se forman los crisoles y revestimientos - hornos para la fusión del metal, y las cucharas y moldes para el manejo y solidificación del metal. Se dispone de materiales refractarios de muchas formas para llenar necesidades especiales, éstas incluyen formas prefabricadas, morteros, recubrimientos, mezclas plásticas y colables. La mayoría de los hornos se construyen con formas prefabricadas (ladrillos), aunque algunos se revisten únicamente con mezclas plástica - - - apisonada.

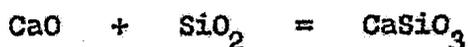
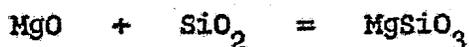
Las demandas de los fundidores de hierro y de acero en cuanto a una mayor vida y más elevada temperatura de servicio han conducido a nuevos allasgos de materiales y a un control considerablemente mayor en la manufactura de refractarios. Lo que es más importante las - - - crecientes necesidades de un mejor servicio, del conocimiento de los refractarios en la escala microscópica (de la fuerzas físicas y químicas fundamentales que hacen los materiales sean buenos refractarios). Los mejores y más conocidos de estos es la magnesia procedente del agua de mar y la zirconita.

Es propósito presentar los refractarios tal como se usan hoy día en la industria de la fundición.

V.I.I CLASIFICACION.

Una clasificación de refractarios para uso de la fundición tiene por base la composición química, por ejemplo refractarios ácidos, básicos y neutros. Los refractarios ácidos son óxidos de metaloides, tales como el SiO_2 y el P_2O_5 y los refractarios básicos son óxidos de metales el MgO y el CaO . En el taller de fundición el material refractario ácido más conocido es la sílice (SiO_2) y el más conocido de los refractarios básicos es el magnesia (MgO).

Tal como en la química los ácidos y las bases reaccionan para formar sales, así refractarios ácidos y básicos reaccionan para formar compuestos.



En muchos casos, los compuestos formados se traducen en un líquido de punto de fusión relativamente bajo o escoria. Por ejemplo, el punto de fusión de la MgO es 2800°C , el punto de fusión de la SiO es 1720°C , pero -

el compuesto formado, Mg_2SiO_3 , es una escoria líquida -- arriba de $1560^{\circ}C$. A causa de que tienden a formarse -- tales escorias, erosionando y debilitando una estructura refractaria, los refractarios ácidos no se usan en contacto con los refractarios básicos a temperaturas -- elevadas. En lugar de ello, se usan refractarios neutros para separar ácidos y bases. Los refractarios neutros -- son materiales que reaccionan en forma suficientemente -- lenta como para que puedan usarse a una temperatura -- elevada en contacto ya de refractarios ácidos ya de -- básicos. El mineral de cromo y el carbón son los refrac -- tarios más importantes usados en la práctica. La disti -- ncción entre refractarios neutros y básicos no es tan pre -- cisa como se pudiera creer. El cromo, por ejemplo puede ser considerado propiamente como un material básico, -- tabla # (2), aunque cumpla los requisitos de un refrac -- tario neutro en las aplicaciones metalúrgicas ordina -- rias. También, muchos ladrillos refractarios se hacen hoy día de mezclas de minerales de cromo y de magnesia (MgO), su grado de "basicidad" depende de la cantidad de (MgO), en el ladrillo.

Las escorias son una características esenciales en la -- fusión y refinado de muchos metales. Estas escorias son -- ácidas o básicas, dependiendo del contenido relativo -- de óxidos, ácidos o básicos. En las fundiciones de hie -- rro y de acero, la distinción es la mayor inpotancia. -- Las escorias ácidas pueden usarse cuando la eliminaci -- ón de azufre y de fósforo (del metal fundido) no es nece --

TABLA # 2.

COMPOSICIONES TÍPICAS DE LADRILLOS DE SILICE Y BÁSICOS
PORCIENTO.

Tipo de ladrillo	Sílice (SiO ₂)	Alumina (Al ₂ O ₃)	Cal (CaO)	Mag nesia (MgO)	Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	Oxido cromo mico (Cr ₂ O ₃)	Otros óxidos
Sílice convencional y de servicio rudo (gama gene ral)	95-97	0.20-1.2	1.8-3.5	-	0.3-0.9	-	0.05-0.3
Básico							
Cromo	3-6	15-33	-	14-10	11-17	30-45	1-2
Forsterita	33-39	-	-	47-55	9-11	-	3-4
Magnesita	3-6	0.4-2.0	1-5	85-95	0.5-4	-	0.5-1.0

saria, pero cuando estas impurezas deben ser eliminadas, son esenciales las escorias básicas. Las escorias básicas reaccionan con los refractarios ácidos de la misma manera que lo hacen los refractarios básicos, erosionando y debilitando la estructura del horno. Por lo tanto, las escorias básicas se usan comúnmente sólo con refractarios básicos y las escorias ácidas con refractarios ácidos. Existen excepciones a esta regla general pero, cuando se encuentra un contacto prolongado entre escorias y refractarios, como en los hornos de hogar abierto, tanto la escoria como el refractario deberán ser o ácidos o básicos.

V.I.2 MATERIAS PRIMAS APLICADAS.

La mayoría de los materiales refractarios se obtienen de yacimientos de pureza razonablemente elevada, ya que ~~generalmente no se emplean una purificación química.~~ Más de la mitad de los refractarios usados se obtienen de minerales de sílice esencialmente pura (cuarcita), o de minerales que sean predominantemente compuestos de sílice y de alúmina (arcillas refractarias y otras similares). Anteriormente, la magnesia (MgO), se obtenía calcinando (quemando) magnesita, $MgCO_3$. En los tiempos actuales se obtienen también grandes tonelajes de MgO por tratamiento químico del magnesio que porta la salmuera. El cromo (Cr_2O_3) se obtiene de minerales de cro

mo de pureza ampliamente variable, y se usa en forma - impura.

Algunos refractarios se producen ahora químicamente, a partiendo de elementos de compuestos esencialmente puros. El carburo de silicio (SiC), por ejemplo, se producen - por la reacción a alta temperatura de sílice con carbón. Varios refractarios especiales, o "super -refractarios" tales como la toria, la berilia, etc., se producen para objetos específicos por otros métodos especiales de - disolución, Químicos y térmicos.

V.I.3 FORMA DE PRESENTACION COMERCIAL.

Después de la explotación de la producción química y - del calcinado si fuera necesario, las materias primas - refractarias se trituran muelen, y clasifican. Luego - se mezclan con otros materiales como se desee.

El fundidor usa refractarios de muchas formas que se - adaptan a sus necesidades especiales; las formas de - que se dispone incluyen formas prefabricadas, morteros recubrimientos, mezclas plásticas y cables.

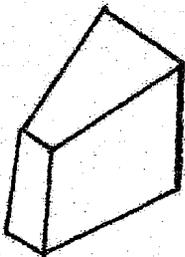
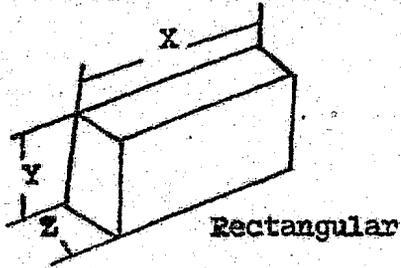
La mayoría de los hornos de fusión y otros requieren - una construcción de ladrillo (mampostería), y se cons - truyen o existen con formas prefabricadas. Tales ladri

llos se obtienen comercialmente en una amplia variedad de tamaños y formas que varían desde bloques cuadrados a donelas, circula, punta, y canto Figura # (35). Se obtienen fácilmente ladrillos, ácidos, básicos, o neutros de propiedades físicas y químicas que varían ampliamente. Algunas de las composiciones típicas en los ladrillos refractarios se en listan en la tabla # (2), y (3), y en la tabla # (4), se tabulan algunas propiedades características de los ladrillos.

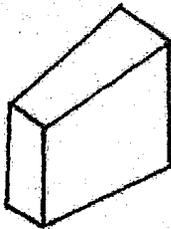
En la construcción de ladrillos se usa generalmente un mortero refractario para pegar o ligar el trabajo para formar una unidad sólida al quemarse o cocerse, y que proporcione un cojin entre las superficies irregulares de los ladrillos. Unos de los mejores morteros es una combinación de una arcilla plastica con un volumen constante de grog (arcilla calcinada), pero se dispone de muchas composiciones especiales de morteros en que se emplean el cromo, el carburo de silicio, la sílice y la alumina, usualmente deberá consultarse al fabricante de un tipo de ladrillo para seleccionar un mortero. Despues de completar la construcción de ladrillos y mortero, se hace una lechada con agua y mortero y se usa como recubrimiento para la cara de las paredes refractarias que selle mejor las juntas a la pared de los elementos destructores en el horno.

Los refractarios plásticos (mezclas para apisonar) son

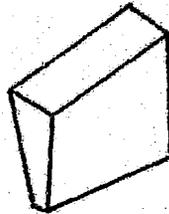
FORMAS NORMALES DE LADRILLOS REFRACTARIOS.



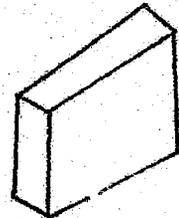
Dovela punta



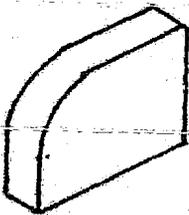
Dovela círculo



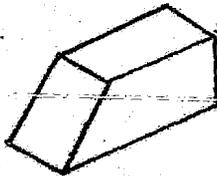
Dovela canto



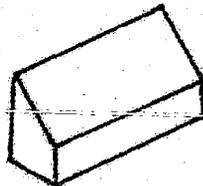
Teja



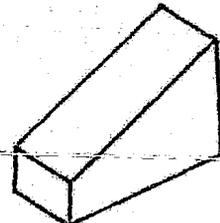
Jamba



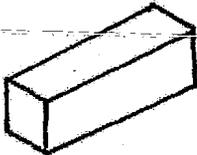
Salmer punta



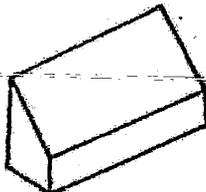
Salmer canto



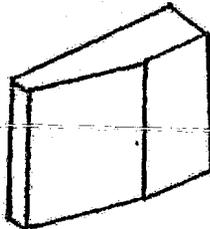
Salmer curfa



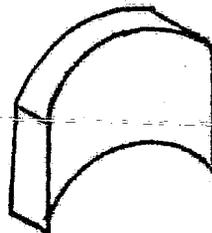
Rectangular chico



Dovela canto#4



Guello



Ladrillo círculo

Figura # 35

materiales refractarios que se apisonan o colocan a pistola en su lugar, como se muestra en la Fig. # (36). Los refractarios plásticos se usan a veces en lugar de la construcción de ladrillos; toda una pared de horno puede ser apisonada para producir una estructura monolítica (de una sola pieza). El éxito con los plásticos en estructuras monolíticas grandes dependen de la habilidad de aplicación, y por lo tanto los hornos grandes no se construyen generalmente de esta manera. Sin embargo, las cucharas se revisten a menudo únicamente con una mezcla apisonada. El uso más extenso quizá de las mezclas apisonadas es para el parchado de revestimiento gastados de cubilotes y de otros hornos.

Una mezcla plástica ácida satisfactoria para muchos usos es la arcilla refractaria con un porcentaje de grog suficientemente elevado para impedir una contracción apreciable durante el secado. También se emplean las mezclas de apisonado a base de sílice (hechas con cuarcita triturada aglomerada con arcilla). Las mezclas básicas para apisonado consiste usualmente de magnesita calcinada con un aglomerante orgánico tal como la brea o la dextrina. Las mezclas plásticas para las soleras de horno u otros lugares en que el material descansa en el lugar bajo la fuerza de gravedad no requieren un aglomerante de secamiento o fraguado a la temperatura ambiente, y usualmente se mezclan solamente con agua.

Los refractarios colables son mezclas de grog de arcilla refractaria, cemento de alto contenido de alúmina, y barro. Puedan colarse a la forma deseada. A veces se hacen adiciones bastante grandes de materias orgánicas, para dar al concreto una característica aislante-mejor. Los concretos solamente son buenos para uso en temperaturas relativamente bajas y por lo tanto no se emplean con amplitud en el taller de fundición.

COLOCACION A PISTOLA DE
UN REFRACTARIO PLASTICO
SOBRE LA PARED DE UN
HORNO.

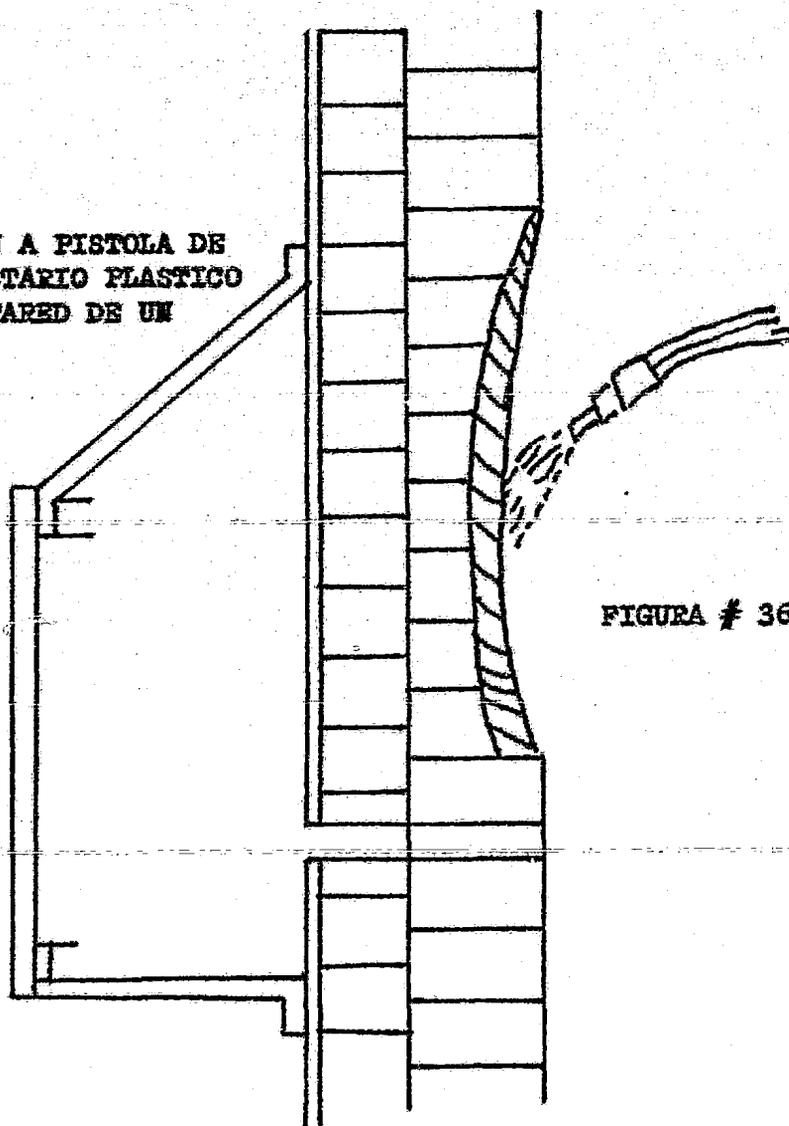


FIGURA # 36

COMPOSICIONES TÍPICAS DE ARCILLA Y DE ALTO CONTENIDO DE ALUMINA.

PORCENTAJE.

Tipo de ladrillo	Sílice (SiO ₂)	Alumina (Al ₂ O ₃)	Titania (TiO ₂)	Otros Oxidos
Arcilla				
Servicio tipo rudo supremo	49-53	40-44	2.0-2.5	3-4
Servicio rudo alumina	51-60	35-40	1.7-3.3	3-6
Semi-sílice Servicio mediano corriente	72-80	18-24	1.0-1.5	1.5-2.5
Alto contenido de alumina.	57-70	25-36	1.3-2.1	4-7
50% de alumina.	60-70	22-33	1.0-2.0	5-8
60% de alumina.	41-47	47.5-52.5	2.0-2.8	3-4
70% de alumina.	31-37	57.5-62.5	2.0-3.3	3-4
80% de alumina.	20-26	67.5-72.5	3.0-4.0	3-4
90% de alumina.	11-15	77.5-82.5	3.0-4.0	3-4
99% de alumina.	8-9	89-91	0.4-0.8	1-2
	0.5-1.0	98-99	algo	0.6

PROPIEDADES CARACTERISTICAS DE LOS LADRILLOS REFRACTARIOS.

TIPO	CLASE	CARACTERISTICAS
Alto contenido de alumina.	99% de alumina	Alta refractabilidad que aumenta con el contenido de alumina. Alta resistencia mecánica al disgregamiento entre excelente y buena y mayor resistencia que el ladrillo de barro refractario a la corrosión bajo la acción de la mayoría de las escorias básicas y de los fundentes.
	90% de alumina	
	85% de alumina	
	80% de alumina	
	70% de alumina	
	60% de alumina	
50% de alumina		
Arcilla refractaria.	Servicio rudo	Estabilidad de volumen y alta resistencia mecánica a temperatura elevadas. Excelente resistencia al disgregamiento térmico. Mediana resistencia a la escorias básicas.
Arcilla refractaria.	Servicio rudo Servicio mediano Servicio corriente	Las propiedades físicas y químicas de las arcillas refractarios varían dentro de amplios límites; por lo tanto, el ladrillo de arcilla refractaria puede conseguirse con combinaciones que varían ampliamente. Este hecho contribuye a la variedad de aplicaciones de servicio bajo condiciones de operación ampliamente diferentes. La mayoría de los ladrillos de arcilla refractaria tienen una resistencia al disgregamiento relativamente buena.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS DE LOS LADRILLOS REFRACTARIOS

TIPO	CLASE	CARACTERISTICAS
Arcilla refractaria.	Semi-silice	Rigidez bajo carga a temperaturas. Resistencia al disgregamiento estructural. Estabilidad de volumen. Resistencia a la penetración y al ataque de alcalis o vapores volatiles. Alta temperatura de vitrificación incipiente.
Sílice	Servicio rudo convencional.	Alta refractividad y resistencia a la abrasión. Alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas conductividad termica o alta temperatura apreciablemente mayor que la mayoría de los ladrillos refractarios de servicio rudo. Alta resistencia a la corrosión bajo la acción escorias-ácidas. Mediana resistencia al ataque de los óxidos de calcio, magnesio y hierro. Las escorias básicas y flour la atacan - - rápidamente no esta sujeta a disgregamiento térmico arriba de 65°C, poca resistencia al disgregamiento térmico a temperatura bajas.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS DE LOS LADRILLOS REFRACTA
RIOS.

TIPO	CLASE	CARACTERISTICAS
Magnesita	Calcinada 88-90% de magnesia más del 90% de mag nesia, aglomerada químicamente con caja metálica.	Refractabilidad estrenada mente elevada y alta con ductividad térmica. Gran re sistencia a la corrosión bajo la acción de escorias básicas, poca resistencia a la acción de escorias que contengan altos porcentajes de sílice. El ladrillo aglomerado químicamente y con caja de metal tiene - una gran resistencia al - disgregamiento.
Cromo	Calcinado	Alta resistencia a la corro sión bajo las escorias y fun dente básico y moderadaente ácidos, En general, las esco rias básicas no se adhieren - al ladrillo de cromo bajo cier tas condiciones poco comunes , el óxido de hierro es absor bido y causa una expansión - dañina. La conductividad - térmica es más baja que la del ladrillo de magnesia - pero mayor que la del ladri llo de arcilla refractaria.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS DE LOS LADRILLOS REFRACTARIOS.

TIPO	CLASE	CARACTERISTICAS
Magnesita-Cromo	Aglomerado químicamente Aglomerado químicamente caja de metal calcinado.	Resistencia mecánica y estabilidad de volumen a temperaturas elevadas. Excelente resistencia al disgregamiento. alta resistencia a la corrosión bajo la acción de escorias básicas.
Cromo-Magnesita	Aglomerado químicamente calcinado.	Resistencia mecánica y estabilidad de volumen a temperaturas elevadas. Resistencia al disgregamiento entre excelente y buena. Alta resistencia a la corrosión bajo la acción de las escorias básicas.
Forsterita (silicato de Magnesita).	Calcinado	Alta refractabilidad. Excelente resistencia a altas temperaturas. Gran resistencia a la corrosión bajo la acción de compuestos alcalinos. Mediana resistencia a la mayoría de las escorias básicas, es atacado por escorias ácidas.

Puesto que los refractarios básicos son menos resistentes al choque térmico que los refractarios de arcilla-refractaria y de alto contenido de aluminio, los términos empleados para expresar la resistencia relativa al disgregamiento del grupo básico denotan meramente una comparación entre ese grupo, y no con los demás refractarios.

V.I.4 ESTRUCTURAS DE LOS REFRACTARIOS.

La estructura de los refractarios no metálicos se parece en muchos aspectos a la de los metales. Los refractarios son generalmente cristalinos (aunque el enfriamiento rápido puede producir una estructura amorfa vítrea). Los óxidos refractarios puros y algunos compuestos funden a una misma temperatura, tal como los metales puros. Los refractarios se combinan entre sí en el estado sólido formando soluciones sólidas, mezclas mecánicas, o compuestos. La Grafica # (3), muestra el diagrama de fases del importante sistema $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$. Este diagrama nos muestra la composición y zonas de temperaturas (en equilibrio), para las diversas fases del $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$, cristobalita, mullita, corundum.

La Grafica # (4), muestra un diagrama bastante diferente y más sencillo para el sistema $\text{CaO} - \text{MgO}$. Estos compuestos forman un eutéctico simple.

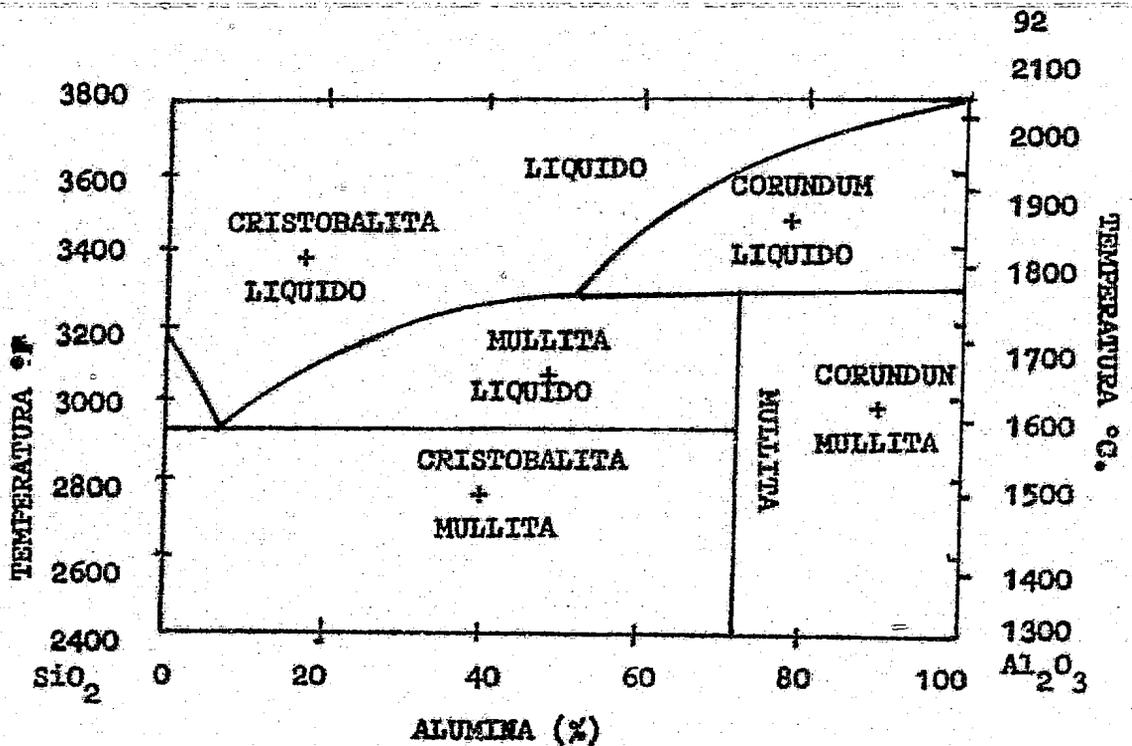


DIAGRAMA DE FASES PARA EL SISTEMA SILICE - ALUMINA

GRAFICA # 3

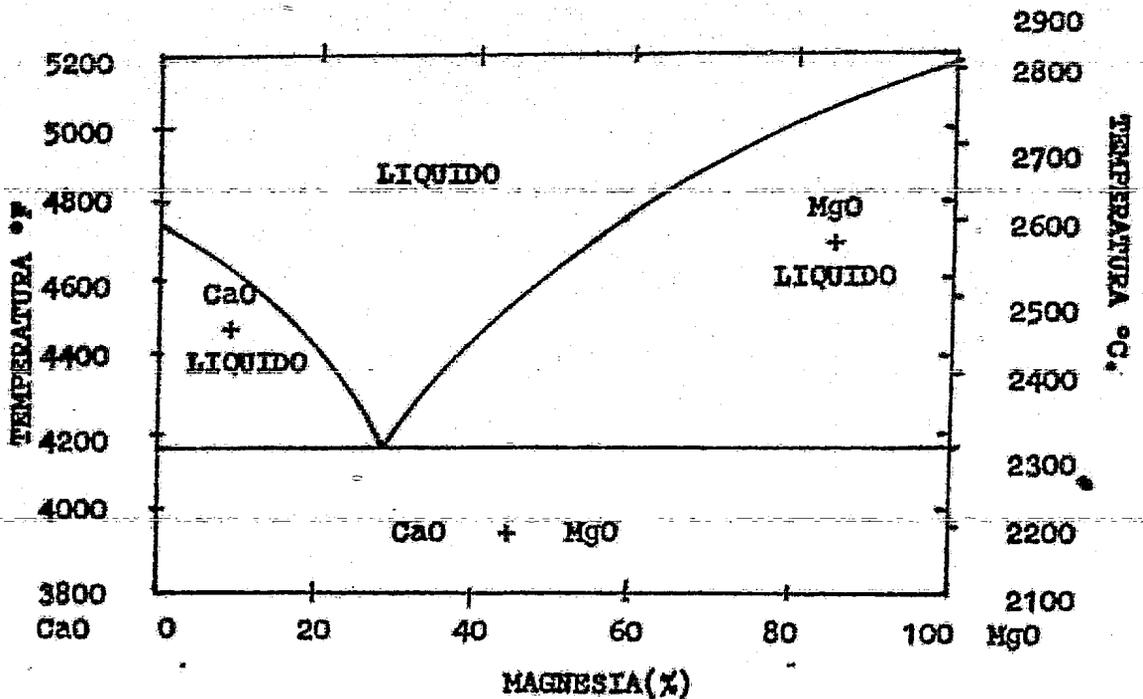


DIAGRAMA DE FASES PARA EL SISTEMA OXIDO DE CALCIO-MAGNESIA

GRAFICA # 4

La ligazón entre los átomos en los cristales no metálicos es muy diferente de la de los cristales metálicos. En los metales, cuando menos el electrón exterior de cada átomo deja a su átomo madre originalmente y queda libre para vagar por el enrejado, o retícula. Los electrones libres, o "nube de electrones" de los metales, contribuyen a la mayor de las propiedades metálicas que conocemos por ejemplo el brillo, la ductilidad, la conductividad eléctrica y térmica elevadas, etc. Los refractarios, por el contrario, no tienen electrones libres. Su carácter aglutinante está un tanto entre lo iónico y lo covalente y como resultado los refractarios son generalmente quebradizos (frágiles), poseen una conductividad térmica y eléctrica relativamente baja, y puntos de fusión intermedios y muy elevados.

Una diferencia un tanto más práctica entre refractarios y metales es que los refractarios dan a menudo un mejor servicio mecánico cuando están parcialmente fundidos. Los refractarios de sílice pueden ser capaces de soportar cargas apreciables cuando ya son líquidos en un 30 %. Generalmente es cierto que la mayoría de los refractarios contienen, en sus más elevadas temperaturas de operación, cuando menos una pequeña cantidad de fase líquida.

V.1.5 CONSIDERACIONES GENERALMENTE DE LOS REFRACTARIOS ACIDOS.

Después del oxígeno, el sílice es el elemento más abundante en la corteza terrestre, los dos elementos juntos suman el 75 % de todos los materiales fácilmente disponibles por el hombre. En la mayoría de las localidades se dispone de depósitos de sílice (SiO_2), de calidad relativamente alta. Los minerales arcillosos, que contienen predominantemente silicio, aluminio y oxígeno, son aún más comunes. Todos estos minerales se moldean fácilmente para tomar formas apropiadas, y poseen una refractabilidad adecuada para la mayoría de los usos a temperatura elevadas. No debe extrañarse que la sílice y la arcilla refractaria, (ácida) se empleen como refractarios ampliamente en la industria.

Los refractarios de arcilla, cocidos apropiadamente, se expanden y son por lo tanto, muy resistentes al disgregamiento (desintegración al calor). Dependiendo de su composición, pueden poseer una resistencia adecuada para la mayoría de los usos hasta 1590°C , y son los menos costosos de todos los refractarios comunes. Se usan para objetos tales como el revestimiento de cubilotes, Cambiadores de calor para hornos de hogar abierto, la drillos, aislantes, y para muchas otras aplicaciones.- Constituyen más de la mitad del volumen de refractarios consumidos.

La mayor ventaja de los refractarios de sílice sobre los de arcilla es que poseen los primeros una resistencia superior en comparación con los segundos a temperatura elevadas (hasta unos 1650°C.). Los refractarios de sílice por lo tanto, encuentran uso extenso en aplicaciones tales como bóvedas de hornos, especialmente de los de hogar abierto. Los ladrillos de sílice, bien - hechos no experimentan practicamente ninguna contracción o expansión térmica a elevadas temperaturas, pero aun el mejor experimenta inversiones con el correspondiente cambio de volumen a temperaturas bajas (abajo - de 315°C.). Debe tenerse un cuidado extremo al calentamiento de los refractarios dentro de esta zona de temperaturas. El calentamiento repetidos de los ladrillos de sílice a temperatura de operación elevadas, asi como una bóveda de un horno y el enfriamiento a la temperatura ambiente causa un disgregamiento excesivo y acortaria seriamente la vida útil.

V.I.6 REFRACTARIOS DE ARCILLA Y DE ALUMINA - SILICE.

Los refractarios que consisten predominantemente de sílice (SiO_2), y de alúmina (Al_2O_3), se obtienen en una gran variedad de composiciones, que van desde la sílice esencialmente pura hasta la alúmina esencialmente pura Tabla # (4).

Los que contienen aproximadamente de 20 a 40 % de alúmina se obtienen de arcillas, siendo la caolinita (caolin) el miembro más importante de este grupo. Los refractarios que contienen de 50 a 70 % de alúmina son usualmente arcillas plásticas cocidas y los refractarios de contenidos de alúmina aún más elevados se obtienen de minerales tales como la gibsita, la silimanita y la bauxita. La tabla # (4), enlista las composiciones típicas de ladrillos hechos de arcilla refractaria y de refractarios de alto contenido de alúmina.

Al hacer ladrillos de arcilla y otras formas, a menudo se mezcla arcillas de varios tipos para obtener la composición apropiada al cocer, y para facilitar la propia operación de manufactura. El "grog" (un material arcilloso precocido) se añade generalmente en cantidades hasta de un 30 % para reducir la contracción al cocer. Después de triturar y mezclar las materias primas, éstas se atemperan con agua, moldean a la forma deseada y secan en aire o en estufas a baja temperatura. Los ladrillos u otras formas se cuecen luego a temperaturas que varían usualmente entre 1260 y 1430°C, por periodos hasta de una semana. El cocido extrae el agua combinada químicamente y hace que los ladrillos se contraigan (para hacer mínimo el cambio de volumen en servicio), y vitrifica parcialmente la arcilla para obtener una baja porocidad y una alta resistencia mecánica. Las propiedades de un ladrillo de arcilla varían ampliamente,-----

dependiendo del tratamiento térmico, pero para el uso metalúrgico el cocido es usualmente a baja temperatura por periodos prolongados, para obtener ladrillos densos de alta resistencia.

Los refractarios de alto contenido de alúmina son más caros que los refractarios de arcilla ya descritos. Los refractarios de alúmina-sílice que contienen de 70 a 80 % alúmina se conocen como mullitas. Los ladrillos— de este análisis desarrollan la composición teórica de la mullita después de un cocimiento apropiado, como se muestra en el diagrama de fases de la Grafica # (3). - resiten ciclos de calentamiento y enfriamiento rápidos y poseen una mejor resistencia a temperaturas elevadas que las arcillas ordinarias. Según se eumenta el conte nido de alúmina del ladrillo arriba de la composición de la mullita, la resistencia a la temperatura alta con tinúa mejorando y estos ladrillos encuentran uso en - aplicaciones tales como bóvedas de hornos de arco indi recto, en los que son esenciales la alta refractabilidad, la buena resistencia al disgregamiento y la alta-resistencia mecánica a las temperaturas elevadas.

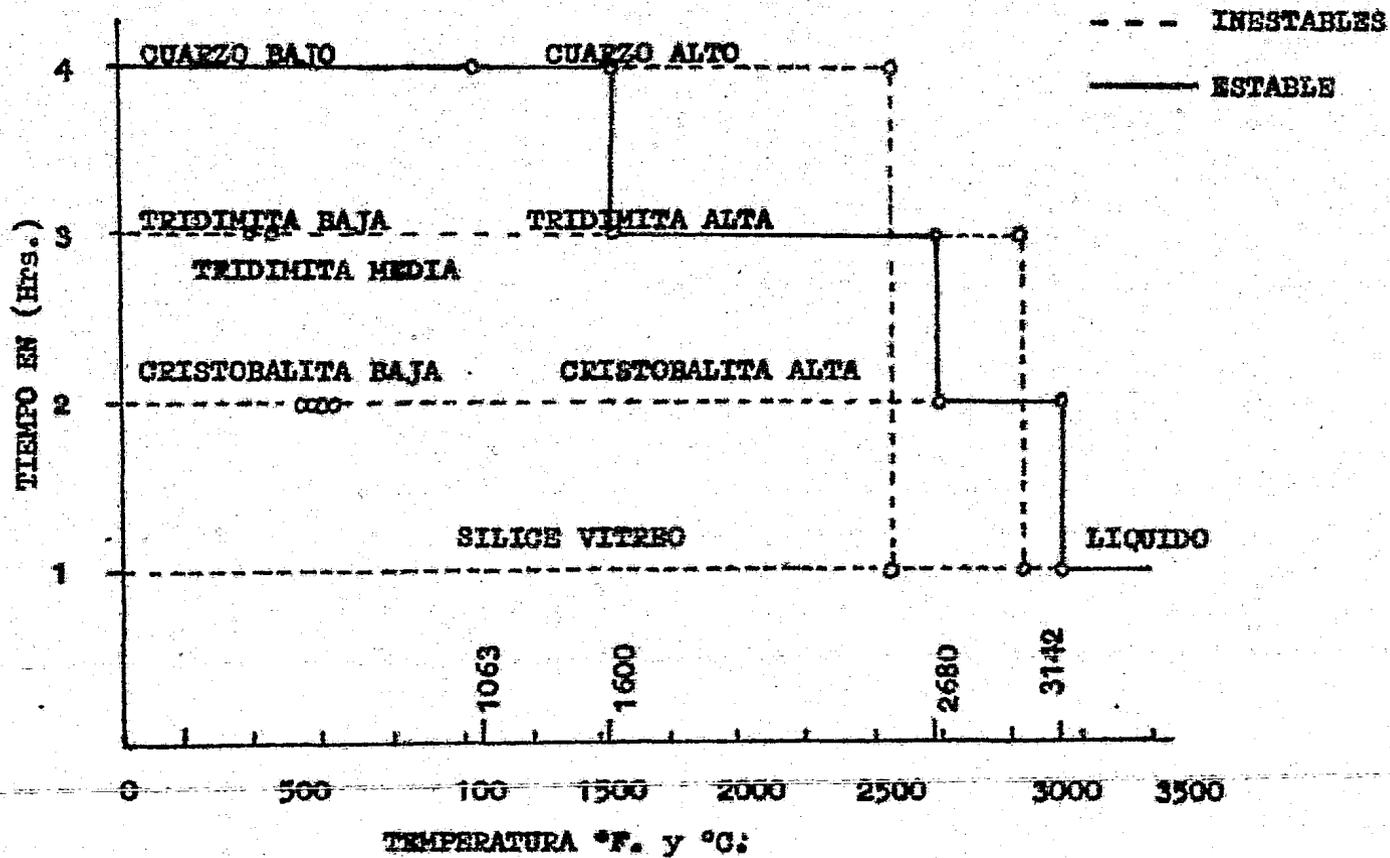
V.I.7 REFRACTARIOS DE SILICE.

Los refractarios de sílice esencialmente pura encuentran amplio uso, particularmente por su capacidad de soportar carga a temperaturas elevadas. Como otros refractarios, pueden ser usados en la forma de ladrillo precocido o apisonado. El ladrillo normal de sílice contiene aproximadamente el 95 % de SiO_2 consistiendo el resto principalmente de cal. La alúmina es particularmente nociva en cuanto que reduce el punto de fusión del ladrillo de sílice, como puede verse por el diagrama de fase de la Grafica # (3). Ahora es posible obtener un ladrillo de sílice para servicio extraordinariamente rudo que contiene menos que la cantidad normal de alúmina y de otras impurezas, y por lo tanto, tiene un límite de uso un tanto más alto que el ladrillo normal de sílice. La Tabla # (3) enlista la gama de composiciones de los ladrillos de sílice.

La sílice puede existir en seis formas cristalinas cuando menos, sin contar el estado vítreo. Las tres formas principales son el cuarzo, la tridimita y la cristobalita. El cuarzo se transforma lentamente a tridimita cuando se le calienta por periodos largos a temperaturas de más de 870°C ., transformándose en cambio la última a cristobalita a temperaturas de más de 1470°C . Estas reacciones son muy lentas y son irrever-

sibles. A la temperatura ambiente, las tres formas - son muy estables. Existen, sin embargo, cuando menos - otras tres transformaciones que son reversibles y que producen rápidamente al calentar. Estas formas incluyen la transformación de cuarzo bajo a cuarzo alto y las otras transformaciones que se indican en la grafica # (5).

La transformación de cuarzo bajo a cuarzo alto es particularmente engorrosa. Ocurre con un crecimiento substancial en volumen a 573°C . Para evitar la transformación y resultantes disgregamiento, los ladrillos de sílice se cuecen para eliminar todo el cuarzo y transformar la estructura a tridimita, cristobalita. Desgraciadamente, estas estructuras cristalinas experimentan también expansiones reversibles Grafica # (5), pero las expansiones ocurren dentro de una gama de temperaturas y son menos serias desde el punto de vista del disgregamiento (o desintegración). Sin embargo, debe tenerse un gran cuidado al calentar o enfriar estos ladrillos a temperaturas bajas de unos 315°C . A temperaturas más altas, la expansión reversible de todas las formas de sílice es prácticamente nula, siendo éste uno de los grandes valores del ladrillo de sílice para la bóveda del horno de hogar abierto, en donde la temperatura fluctúa ampliamente, pero nunca se deja bajar de unos 315°C ., aun para reparaciones.



TRANSFORMACIONES Y COMPORTAMIENTO REVERSIBLE DE LA SILICE PURA (SiO₂)

Grafica # 5

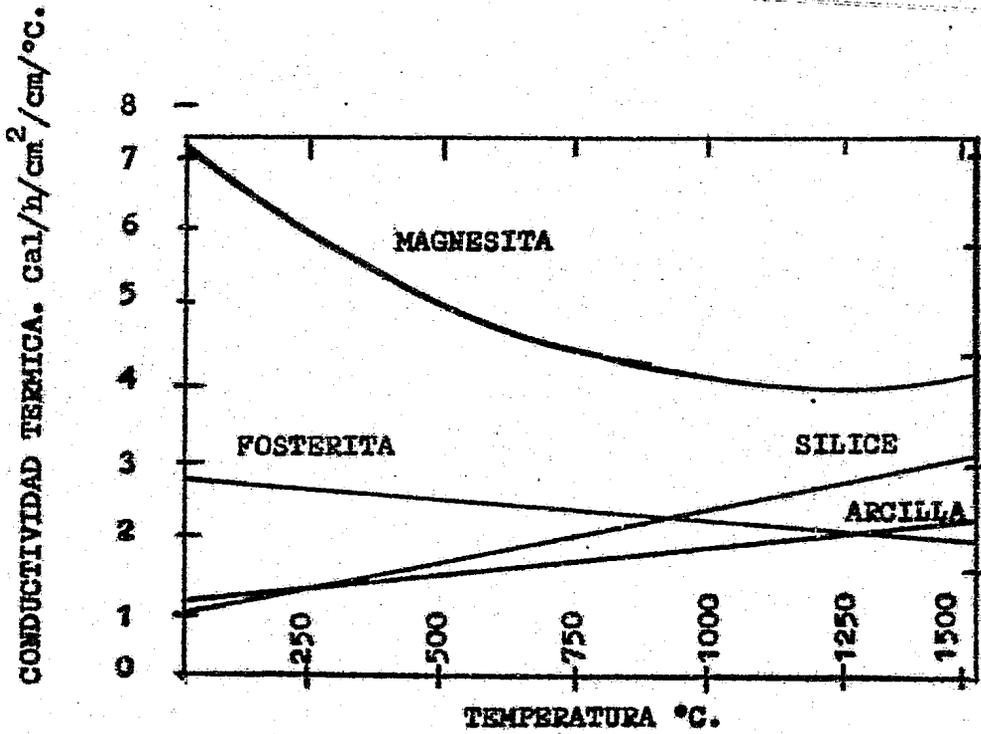
V.I.8 CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS REFRACTARIOS BASICOS Y NEUTROS.

Los refractarios básicos de uso general en el taller - de fundición incluyen la magnesita- cromo y la dolomita calcinada. También se usa en ciertas aplicaciones la - fosterita, pero usualmente no en contacto directo con los metales fundidos. Los refractarios básicos de uso- general que tienen características casi neutrales son-- la cromo - magnesita y el cromo.

Los ladrillos de magnesita y de magnesita - cromo se u san cocidos, aglomerados químicamente o con caja metálica. Los ladrillos cocidos se calientan a una temperatura elevada durante el proceso de manu factura para obtener una liga sinterizada. Los ladrillos aglomerados químicamente se ligan con un adhesivo químico a baja temperatura y la sinterización tienen lugar en servicio. Los ladrillos con caja metálica pueden ser ladrillos cocidos o aglomerados químicamente, que están contenidos - parcialmente en una lamina de acero blando; en servicio el acero (esencialmente hierro) es disuelto por el refractario y se forma una estructura monolitica. La dolomita calcinada (Mg, Ca, O) se usó originalmente sólo como mezcla de apisonado, para aplicaciones tales como soleras de horno de hogar abierto, puesto que un simple ladrillo de dolomita calcinada se deteriora rápidamente cuando se expone a la atmosfera a la temperatura am

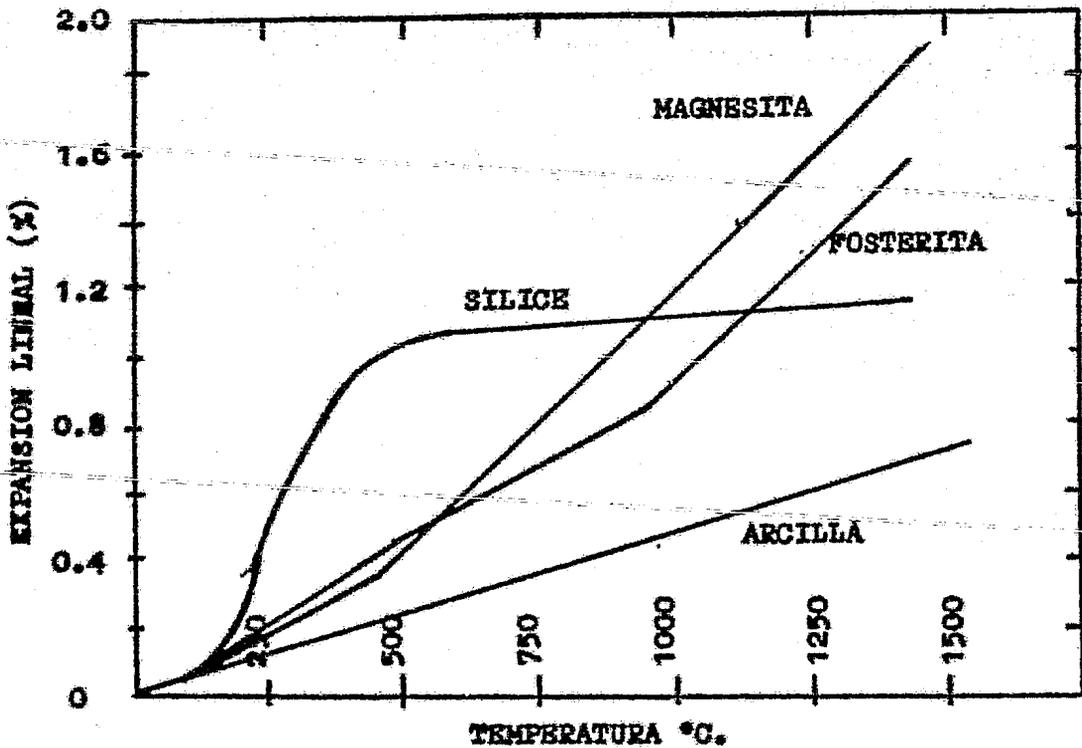
biente; el CaO del ladrillo reacciona con la humedad del aire. Sin embargo, se ha encontrado posible estabilizar el óxido de calcio con pequeñas adiciones de sílice o de óxido de hierro al ladrillo, y a veces se usan ladrillos de dolomita estabilizada en zonas en que hay una ventaja en costo sobre los ladrillos de magnesita. Un ladrillo básico conocido como ladrillo de forsterita tiene, aproximadamente, la composición de la forsterita mineral (2MgO SiO_2). Su principal ventaja en comparación con otros ladrillos básicos es su conductividad térmica relativamente baja Grafica # (6). La Tabla # (2) enlista composiciones típicas de ladrillos básicos, y la Tabla # (4) enlista algunas de sus propiedades características.

Comparados con los de sílice y los de arcilla, todos los refractarios básicos padecen la desventaja de la elevada expansión térmica. La Grafica # (7), compara las características de expansión de diversos ladrillos ácidos u básicos. Los coeficientes de expansión, más elevados (a las temperaturas de operación del horno) de los ladrillos básicos se traducen en una mayor tendencia de estos materiales a agrietarse y disgregarse en servicio.



CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE ALGUNOS LADRILLOS REFRACTARIOS NORMALES.

GRAFICA # 6



EXPANSIONES TERMICAS DE ALGUNOS LADRILLOS REFRACTARIOS NORMALES.

GRAFICA # 7

Puesto que los refractarios que son fuertemente ácidos (tales como los de sílice), reaccionan a temperaturas elevadas con refractarios fuertemente básicos (tales como los de magnesita), los ladrillos de estos materiales no pueden ponerse en contacto entre sí, en servicio a temperaturas elevadas. En su lugar, entre los ladrillos de sílice y magnesita deberán colocarse de un refractario con características más bien neutras.

Los ladrillos de mineral de cromo son los que más se han usado para este objeto.

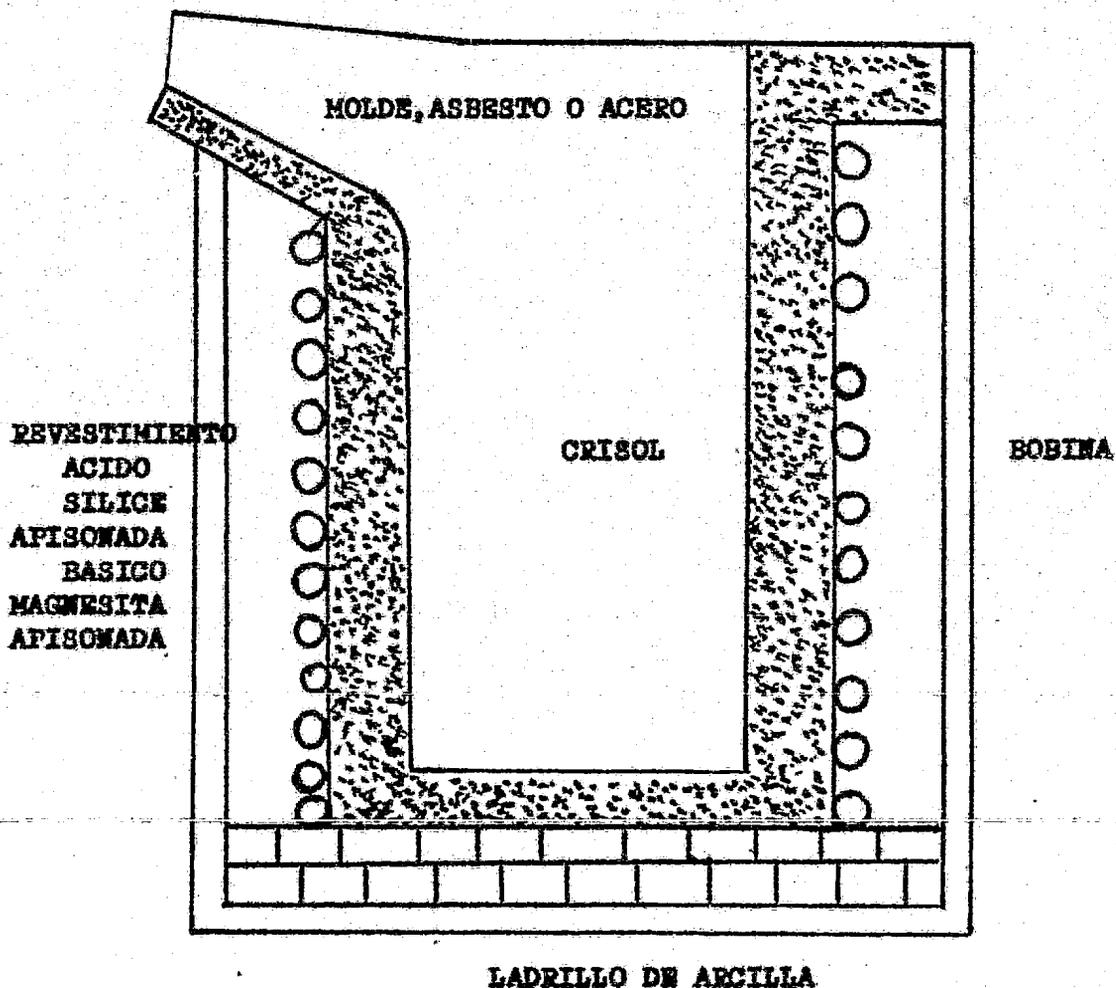
El mineral usado es una forma altamente impura de óxido de cromo, que contiene sólo un 30 % de Cr_2O_3 . Originalmente, el mineral de cromo se usa esencialmente tal como era extraído, se apisona en el lugar de usarlo con un aglutinante apropiado, o se calcinaba para formar ladrillos de cromita. Estos ladrillos poseían características relativamente bajas para soportar una carga a la temperatura superior de servicio y apenas hasta hace unos 20 años se ha sabido la causa de ellos es el alto contenido de hierro del mineral.

Ahora se añade magnesia a la mayoría de los minerales de cromo, para neutralizar el óxido de hierro. Los ladrillos "estabilizados" de cromita se conocen como ladrillos de cromo- magnesita han llegado a tener un uso creciente en la fundición de acero, tanto como un refractario "separados" neutro y como un subtítulo de ambos ladrillos (ácido y básico) en aplicaciones tales como las paredes verticales de los hornos de hogar abierto.

Otro refractarios de características esencialmente neutras es el carbón; se usa en aplicaciones de fundición ya sea en la forma apisonada (con aglutinante) o como ladrillos cocidos. Los refractarios de carbón gozan de una vida extremadamente larga cuando las condiciones no son demasiado oxidantes, y están siendo favorecidos en el uso como revestimiento en el cubilote básico.

Para la fusión de metales ferrosos en el horno de inducción, los refractarios se apisonan generalmente en el lugar Figura # (37). El revestimiento deberá ser tan delgado como sea posible, para obtener la eficiencia de fusión más alta. Un revestimiento ácido satisfactorio es el ganistar apisonado (SiO_2), aglutinado con una poca de arcilla o de silicato de sodio. Para un revestimiento básico se emplea la magnesita calcinada, con un aglutinante orgánico; bien el revestimiento puede cocerse ligeramente en el lugar, sin aglutinante alguno, apisonado contra una camisa metálica. Cuando se

FIGURA # 37



REFRACTARIOS QUE SE EMPLEAN EN EL HORNO DE INDUCCION.

emplea tal camisa, ésta no se retira; durante la operación de fusión la magnesita se sinteriza en el lugar y la camisa se funde.

V.2 REFRACTARIOS UTILIZADOS EN LAS DIFERENTES ZONAS DE UN HORNO DE INDUCCION.

Sobre el fondo de acero del cuerpo del horno se coloca un piso adecuado para sostener el peso. Figura # (38) de refractarios y aislamiento. El piso de concreto es más fuerte, durable y resistente que el de ladrillo.

El peso total del refractario, del crisol y de la carga del horno será soportada por el piso mencionado, el cual dura varios años, amenos que sea dañado por metal--escurrido del fondo del horno.

Antes de colar el concreto refractario del fondo, se pone una barra redonda de acero de 16 mm. de diametro, en grasada, despues se cuela el concreto y una vez fraguado se retira la barra quedando el barrenado de 16mm. para que por ahí se introduzcan o se inserten los electrodos de tierra.

V.2.I ANILLOS DE CONCRETO.

a) Anillo inferior de concreto

Soportado el crisol entre el extremo inferior de la bobina y el fondo, está el anillo inferior de concreto. Dependiendo de la operación del horno este anillo deberá ser reemplazado cada uno o dos años.

REFRACTARIOS UTILIZADOS EN LAS DIFERENTES ZONAS DE UN HORNO DE INDUCCION .

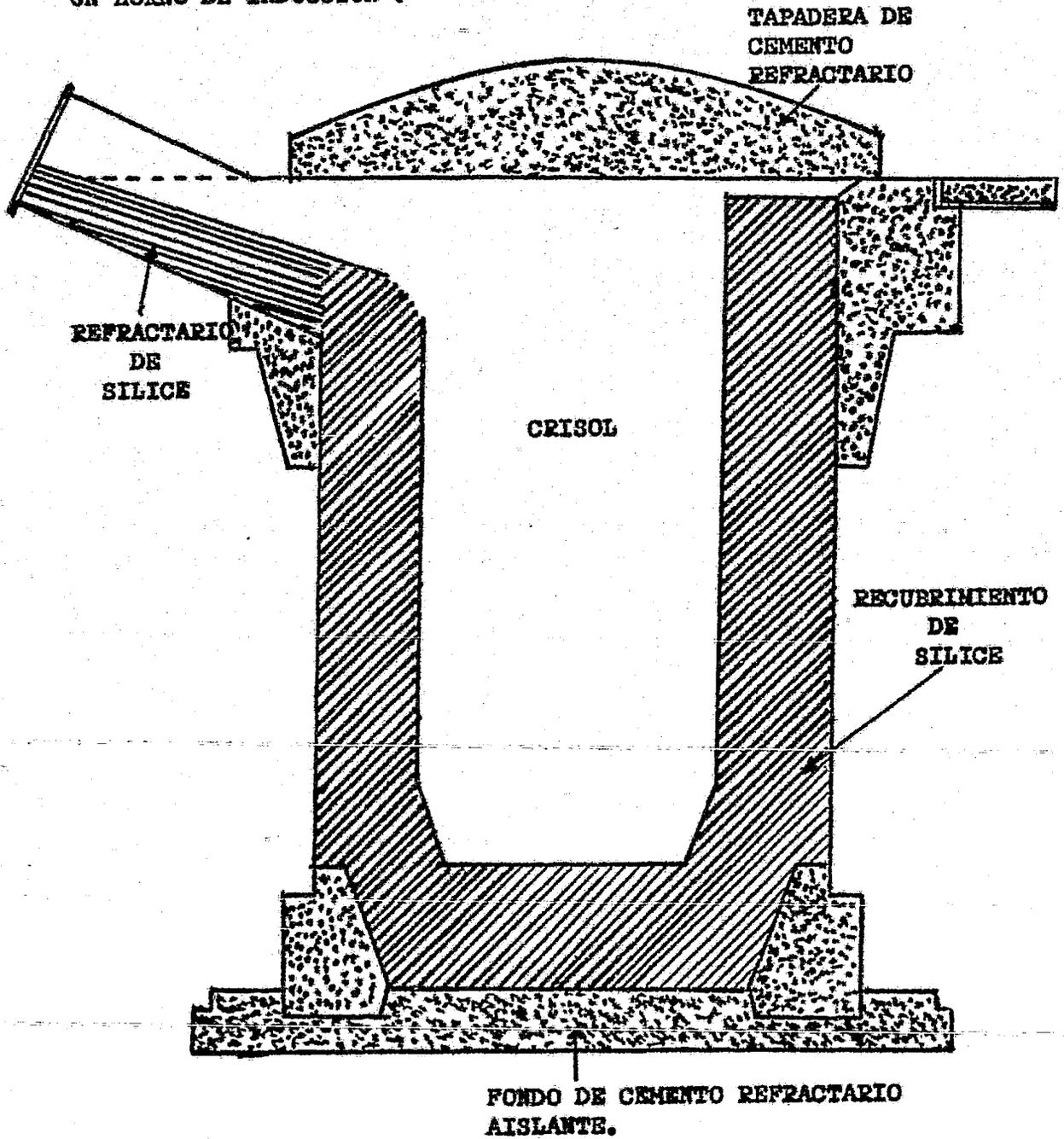


FIGURA # 38

b) Anillo superior de concreto.

Soportando el crisol entre el extremo superior de la bobina y la plataforma del horno incluyendo el pico de colada, está el anillo superior de concreto. Este anillo además de proporcionar un soporte radial al crisol ayuda a mantener verticalmente la bobina en su lugar.- Si éste está desgastado la bobina será empujada hacia arriba cada vez que la temperatura se eleve.

c) El desgaste del anillo es causado por;

1.- Olla de carga que golpee demasiado fuerte en la superficie del anillo.

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

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

V.2.2 RECUBRIMIENTO DE LA BOBINA.

El recubrimiento de la bobina sirve para protegerla del calor proveniente del crisol.

Dependiendo de la operación del horno y de los cambios de temperatura puede suceder que al cabo de un año de vida, ésta requiera una reparación.

El material con que se hace el recubrimiento 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, esperejando la superficie con una regla de aluminio del tamaño conveniente.

V.2.3 RECUBRIMIENTO DE ASBESTO.

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

Debe adherirse bien la parte inferior del recubrimiento a la parte baja del anillo para evitar que la sílice se deslice del crisol por la parte baja del anillo y la bobina. Si a pesar de esto, ocurre el escape del material del crisol, se formara una cavidad en el crisol. Una vez que el material del crisol haya empezado a escaparse, esto continuara hasta despues de haber sinterizado

el crisol, incrementado así cavidad.

Esto puede explicarse por el hecho que el sinterizado - del crisol tiene lugar solamente a $1/3$ del espesor de - la pared cerca al metal. Otrs zonas de las paredes del - crisol no alcanzan temperaturas mayores de 900°C ., debi_ do a esto no sufre transformaciones y aún se encuentran en polvo.

Las fugas del material del crisol descubiertas durante - el proceso de apisonado deben ser detenidas taponiando - los lugares indicados.

Si las fugas son detenidas con oportunidad, se pueden - prevenir las cavidades.

Las fugas que se desarrollan después de haber terminado el apisonado son más serias, porque una vez que empie_ zan su flujo, continúa debido a los movimientos del - - horno. Los crisoles con cavidad grandes deben ser rea_ plazados.

Para lograr una protección adicional contra fugas en - esta área, se recomienda pegar tiras de asbesto que - cubran la orilla de la parte inferior de las vueltas de la bobina.

La calidad del asbesto deberá ser por lo menos 50 % -
restante puede consistir de 47 % de relleno inorgánico-
y 3 % de orgánico.

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 -
esté escalonada para cubrir toda la orilla de la otra -
capa. Las capas de asbesto deben manejarse cuidadosamen
te. Si las capas están deterioradas, sólo se aceptarán-
las que tengan las orillas ligeramente desgastadas. Un-
deterioro mayor no es conveniente. Este tipo de Instala
ción requiere destreza.

No hay necesidad de pegar las capas pues están conforma
das para soportarse entre sí por medio del efecto del -
arco. La última capa, la de ajuste, debe instalarse co
locándola muy justa de modo que quede bien apretada. -
Para llevar a cabo esto se deben seguir las instruccio
nes siguientes.

- 1.- Hacer presión sobre las capas al insertarlas contra la pared moviéndolas de izquierda a derecha hasta hacer que se reduzca la distancia entre los extremos de dos - tiras consecutivas.
- 2.- Medir el ancho requerido para la caja de ajuste.
- 3.- Cortar la caja de ajuste con unancho de 6.35 mm.
- 4.- Presionar la capa maestra contra los extremos de - las capas puestas hasta hacer que se haga cóncava hacia el centro del horno.

V.2.4 PICO DE COLADA:

Se puede obtener una cierta variedad de refractarios pa - ra altas temperaturas y con resistencia física bastante aceptables.

Es preferible usar un refractario plástico ya que su - aplicación es más fácil.

Si se usa un secado para el plástico con calor, se debe - rá secar antes el apisonado del recubrimiento del horno.

V.2.5 RECUBRIMIENTO DEL HORNO (CRISOL).

El recubrimiento de sílice se usa para casi todas las - clases de metales ferrosos que se producen comercialmente.

Las ventajas del sílice - cuarzita para recubrimientos-
son;

- 1.- Material económico.
- 2.- Soporta cambios de temperatura.
- 3.- Proceso simple de apisonado.
- 4.- Ciclos de sinterización corto al apisonado seco.
- 5.- Lenta transformación, permitiendo expansión vertical ~~sin esfuerzos en el recubrimiento.~~
- 6.- Efecto auto - cicatrizante, que reduce fugas de metal que se producen en las hendiduras menores.

Los granos de sílice forman una masa monolítica debido- a la acción de sinterización que tiene lugar entre el - ácido bórico y la cuarzita fina.

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

La sílice tiene una curva de expansión única. Esta característica permite dejar enfriar el crisol y recalentar lo después con la seguridad de que las grietas de contracción se cerrarán antes de que el hierro alcance su temperatura de fusión. La curva de expansión lineal de varios refractarios está ilustrada en la Grafica # (6) .-

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

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

Habría una solidificación gradual si solo las partículas pequeñas de sílice se fusionan. Un aumento de temperatura

ra ocasionará la formación de una estructura con la partículas de la sílice más grandes.

Dicha estructura no permite movimiento individual de los granos.

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

Durante el proceso de sinterizado, el ácido Bórico actúa como un agente catalizador el cual promueve un rápido cambio en la cuarzita en varias fases cristalinas polimorfos.

~~Los materiales usados en el sinterizado tienen una considerable influencia en el cambio de la fase cristalina; por lo tanto, deberá ser correctamente seleccionados.~~

Selección del tipo de revestimiento.

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

Los refractarios usados en los hornos de inducción son óxidos de minerales como silicio, magnesio o aluminio.

Dependiendo del tipo de óxido el refractario será a base de sílice (SiO_2), Aluminio (Al_2O_3) o magnesita (MgO), desde el punto de vista químico estos refractarios son clasificados como ácidos, neutros y básicos respectivamente.

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

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

CAPITULO VI. ARRANQUE DEL SISTEMA DE FUSIÓN.**VI.1 PREPARACION PARA EL ARRANQUE.**

Antes de iniciar el arranque deberá seguirse los siguientes pasos.

a) Revisar la secuencia de fases.

Revisar que el contacto principal tenga la fase adelantada.

Verificar la secuencia de entrada y salida de contactos.

Revisar que el cambiador de taps del autotransformador esté ajustado y funcione adecuadamente.

Los fusibles de los apacitores así como los de más deberán estar en buenas condiciones. Los rielés de sobrecorriente deberán estar ajustadas correctamente.

Verificar la secuencia de programadores y la secuencia automática de balanceo de simetría (lado trifásico).

Todas las protecciones eléctricas y las alarmas deberán funcionar correctamente.

b) Revisar el circuito de agua de enfriamiento.

Limpieza de filtro, revisión de detectores de flujo y del manómetro. Ambas bombas deberán estar en buenas condiciones.

Deben tenerse suficiente agua de emergencia y verificar el buen funcionamiento de la válvula de emergencia.

- c) Revisar el ventilador y filtro de aire de enfriamiento de capacitores.
- d) Para la limpieza del equipo eléctrico se recomienda usar una aspiradora. El aire a presión introduce polvo al equipo.

VI.2 COMO ELIMINAR EL AGUA A LOS REFRACTARIOS.

VI.2.1 SINTERIZADO DEL CRISOL.

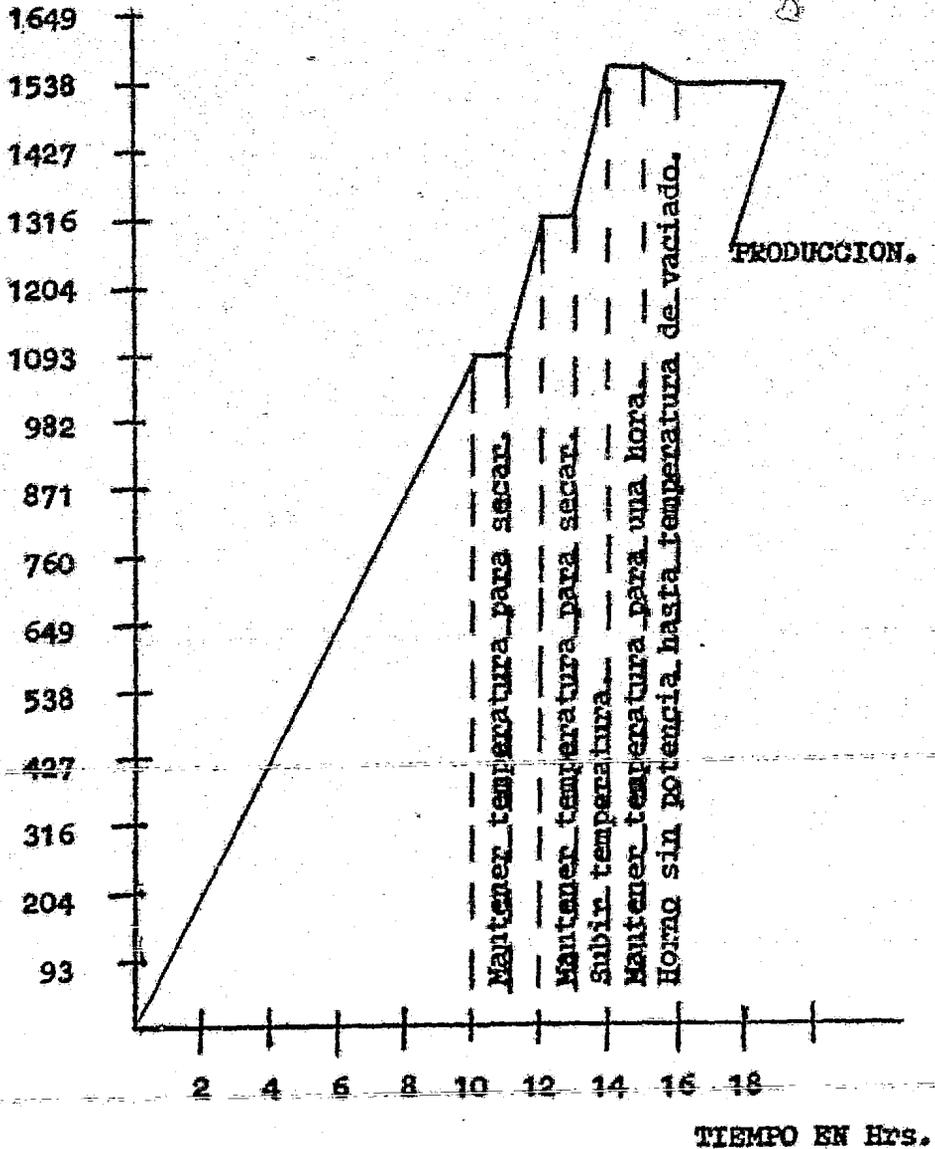
Se requiere una elevación gradual de temperatura de 50°C. a 100°C., por hora. La forma de apisonado y la carga inicial se funden juntas gradualmente mientras que la temperatura aumenta a un mínimo de 1500°C. Gráfica # (8)..

El aumento gradual de temperatura ayuda a evitar:
Esfuerzos excesivos debido a transformaciones rápidas - choques térmicos.

Presión del vapor causado por el agua en la sílice, el ácido bórico y el refractario.

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

TEMPERATURA (°C.)



CICLO TIPICO DE SINTERIZADO.

GRAFICA # 8

a) LA ELIMINACION DE AGUA EN HORNOS GRANDES.

Los hornos grandes disipan varios litros de agua requiriendo de un lento aumento de temperatura, para retardar el aumento de temperatura se mantiene ésta igual durante varias horas y luego se eleva. Las horas de retardo o receso de la temperatura se determina por la reducción o evaporación del agua.

Cuando el agua se evapora excesivamente, hay que volver a hacer que la temperatura entre en receso.

El vapor de agua escapa entre las vueltas de la bobina. Cuando esto sucede, el vapor se condensa entre los tubos formando gotas que se acumulan en la vuelta más baja debilitando así la resistencia dieléctrica del vapor de agua mantenga el agua de enfriamiento de la bobina a una temperatura ligeramente superior a la temperatura del cuarto.

Para determinar si el agua acumulada es excesiva, corte el suministro de potencia del horno y presione con los dedos la envoltura exterior de la bobina; dicha envoltura se puede ver entre los yugos magnéticos y la última vuelta de la bobina. Si la envoltura se siente húmeda y suelta agua de manera que ésta se haya acumulada debajo de la estructura de acero del cuerpo del horno, la elevación de la temperatura deberá detenerse.

A fin de alcanzar una condición estable y uniforme en la temperatura, el primer receso se recomienda a 1080°C . se evapora el agua. Tan pronto como la carga se funde, el crisol deberá volverse a cargar hasta que se llene con hierro fundido.

El segundo receso ocurre más fácil a aproximadamente 1530°C . Un poco después se aumenta el calor a la temperatura final del sinterizado o a un mínimo de 1570°C .

Esta temperatura de sinterizado se mantiene constante por una hora con objeto de asegurar condiciones de temperatura uniforme en el crisol. Se desconecta la potencia del horno y la carga líquida se enfría hasta la temperatura de operación o de vaciado. El horno está así listo para su producción.

En hornos grandes se pueden presentar goteos de agua por 2 o 3 días después de haber alcanzado 1500°C . Durante este tiempo el voltaje aplicado a la bobina del horno deberá exceder de 1500 volts.

VI.2.2 METODOS DE SINTERIZADO.

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

Para sinterizar con combustible naturales, se requiere un bloque de arranque de fondo, una cantidad suficiente de quemadores para llevar la temperatura a 1100°C ., el hierro líquido de otro horno con el cual será llenado el crisol precalentado y un registrador de temperatura.

Si cualquiera de los artículos mencionados faltara, se recomienda entonces el procedimiento de sinterizado por inducción.

VI.2.3 SINTERIZADO POR INDUCCION.

a) Limpiar de partículas de sílice la forma de apisonado. El bloque de arranque de fondo es un cilindro sin perforación en el centro, usado como peso durante el apisonado, permanece centrado en la forma. figura # (39).

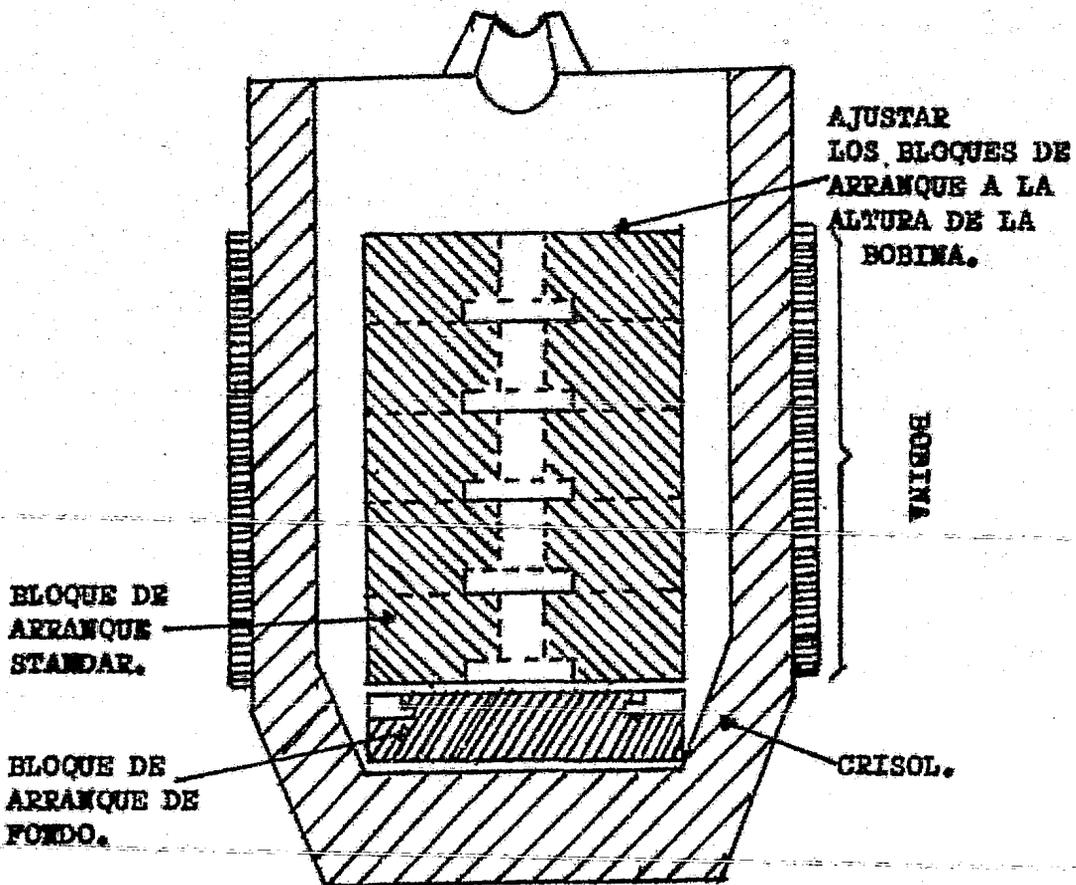
b) Bajar y centrar los bloques normales adicionales de arranque hasta alcanzar la altura total de la bobina.

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

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

Ajuste a obtener un aumento de temperatura hasta 100°C . por hora en forma de apisonado.

SINTERIZADO INDUCTIVO CON BLOCS DE ARRANQUE.
 LOS BLOCS DE ARRANQUE PUEDEN SUBSTITUIRSE CON RUEDAS
 DE FERROCAKREL QUE TENGAN DIMENCIONES SIMILARES.
 LA MISMA DISPOSICION SE PUEDE APLICAR PARA EL ARRANQUE
 EN FRIJO CON CRISOL SINTERIZADO.



IMPORTANTE:
 UNA COLOCACION BIEN CENTRADA DE LOS BLOQUES
 MANTENIENDO UNA DISTANCIA IGUAL DE APOX.
 2" a 6", DARA COMO RESULTADO UNA TEMPERATURA
 UNIFORME EN TODA LA CIRCUNFERENCIA.

FIGURA # 39

La cantidad de energía requerida depende del tamaño del horno y del espesor de la pared de la forma de apisonado. Por ejemplo, hornos de aproximadamente 3 a 10 tons. de capacidad del crisol, requieren cerca de 20 KWH. en la segunda hora, 60 KWH. en la tercera hora y así sucesivamente. Hornos con capacidades del crisol de 25 tons — requieren de 50 a 100 KWH. en la primera hora y un incremento de 30 a 50 KWH. en las horas siguientes.

e) Mantener la temperatura del agua de enfriamiento de la del horno arriba de la temperatura ambiente.

f) recargar con material sólido poco antes de que se fundan los bloques superiores. Continue cargando para mantener baja la temperatura del baño hasta que esté lleno.

g) Remover la escoria cuando el horno este lleno.

h) Eleve la temperatura del baño no excediendo aproximadamente $1/2$ del voltaje de operación del horno, hasta la temperatura mínima de sinterizado que es de 1500°C . Si el horno ha sido equipado con monitor de tierra, deberá observarse éste mientras se eleva la temperatura, ~~si la temperatura de operación, es más alta que 1500°C .~~ el sinterizado se hace a la temperatura de operación.

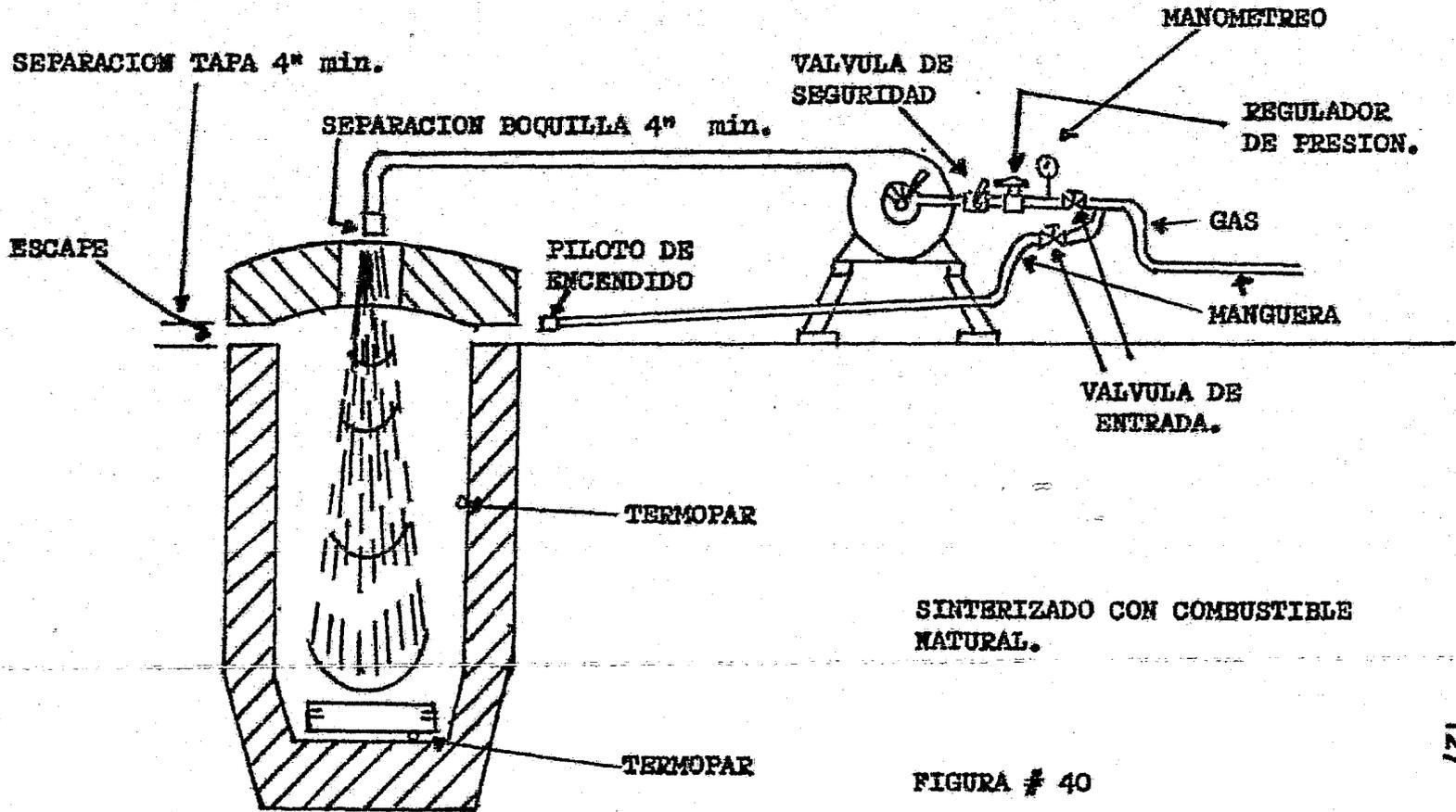
- i) Mantener la temperatura de sinterizado por una hora.
- j) Los hornos grandes pueden disipar agua durante 2 días después del sinterizado. Mientras el horno está húmedo el volteo debe permanecer a la mitad del rango. Si la humedad es también indicada en el monitor de tierra, - deberán seguirse las instrucciones para éste.

Durante los siguientes cuatro días el horno no deberá - ser retirado de operación ni enfriado abajo de 1000°C.

VI.2.4 SINTERIZADO CON COMBUSTIBLE NATURAL.

- a) El bloque de arranque del fondo, usado como peso - durante el apisonado, permanece en su lugar no deberán - agregarse bloques adicionales ni cargas sólidas.
- b) Para un mejor control de temperatura, se recomienda - que un termopar sea adherido al block de arranque y otro a la mitad de la pared de la forma de apisonado. Conéctese a un registrador de temperatura y pruebe el funcionamiento.
- c) Cerrar la tapa del horno dejandola aproximadamente - 10 cm. abierta.

INSTALACION TIPICA CON GAS



SINTERIZADO CON COMBUSTIBLE NATURAL.

FIGURA # 40

d) Central la boquilla del quemador de 10 a 30 cms., -
arriba de la apertura de inspección en la tapa del horno.
Ver figura # (40).

e) Los hornos con capacidad de crisol hasta de 23 tons.
deberán calentarse hasta alrededor de $1000^{\circ}\text{C}.$, en 10 hrs.
Se quita el quemador de gas y llene el crisol hasta aba
jo del pico de colada con hierro fundido de entre 1300 y
 $1400^{\circ}\text{C}.$, con un mínimo de interrupción la escoria.

f) Conectar la potencia del horno más bajo posible. Rev
ise los instrumentos eléctricos, así como el mónitor de
tierra, eleve el voltaje a un medio del voltaje de operaci
ón. Leva la temperatura del hierro fundido a la tempe
ratura de sinterizado.

g) Mantener la temperatura del agua de enfriamiento de
la bobina del horno arriba de la temperatura ambiente.

h) Si la temperatura de operación es superior a $1500^{\circ}\text{C}.$,
el sinterizado se hará a la temperatura de operación.

i) Mantener la temperatura de sinterizado por una hora.

j) Los hornos grandes pueden disipar agua durante dos -
días después del sinterizado. Mientras el horno está -
húmedo, su voltaje deberá permanecer a la mitad del rang
o.

k) Procedimiento de mantener temperatura.

para prevenir las pérdidas de carbón en el metal o las pérdidas de sílice en el recubrimiento, es muy importante en caso de mantener el metal por un período largo - (noche o fin de semana), seleccionar el mantenimiento de temperatura apropiada.

VI.3 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 en el momento, con la temperatura y análisis químico 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 un nivel de baño, y las cargas de chatarra deberán ser seleccionados en función de ese nivel el cual no deberá de bajar de la parte superior de la bobina del horno. Esto representa aproximadamente 80 % de la altura total del baño. Cuando el nivel del baño baja más del 80 % de su altura, la potencia absorbida y consecuentemente la velocidad de fusión se verán afectadas. La Grafica # (9), nos muestra que un horno con metal al 50 % de su capacidad tiene solamente un 75 % de eficiencia en la absorción de potencia.

POTENCIA DE ENTRADA AL HORNO EN % POTENCIA NOMINAL.

GRAFICA # 9

VOLTAJE NOMINAL

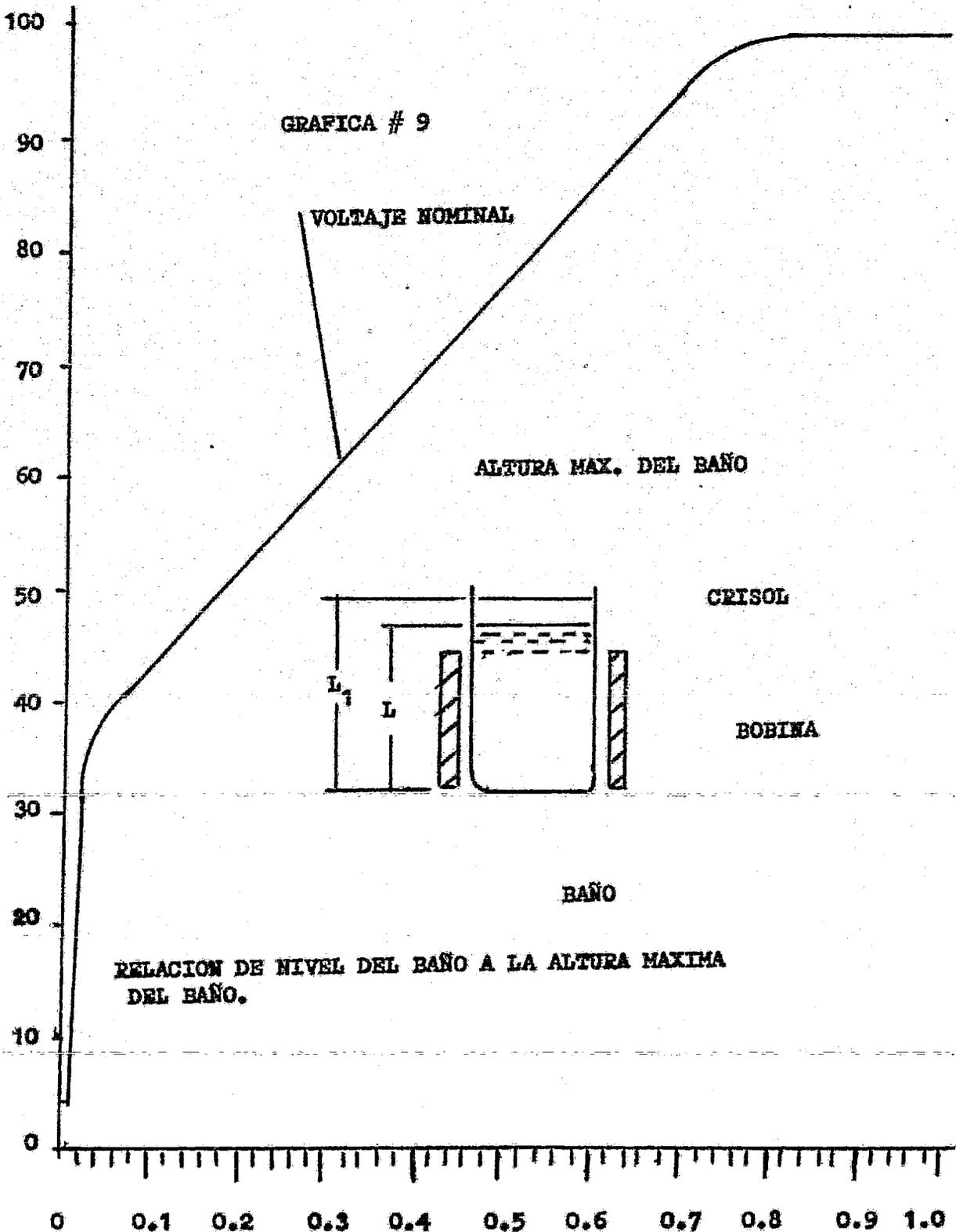
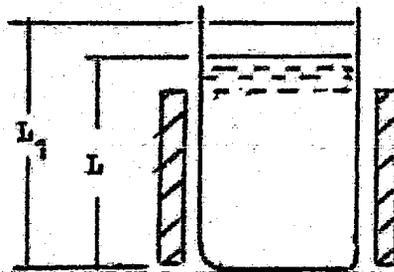
ALTURA MAX. DEL BAÑO

CRISOL

BOBINA

BAÑO

RELACION DE NIVEL DEL BAÑO A LA ALTURA MAXIMA DEL BAÑO.



POTENCIA DE ENTRADA AL HORNO EN FUNCION DE LA ALTURA DEL BAÑO.

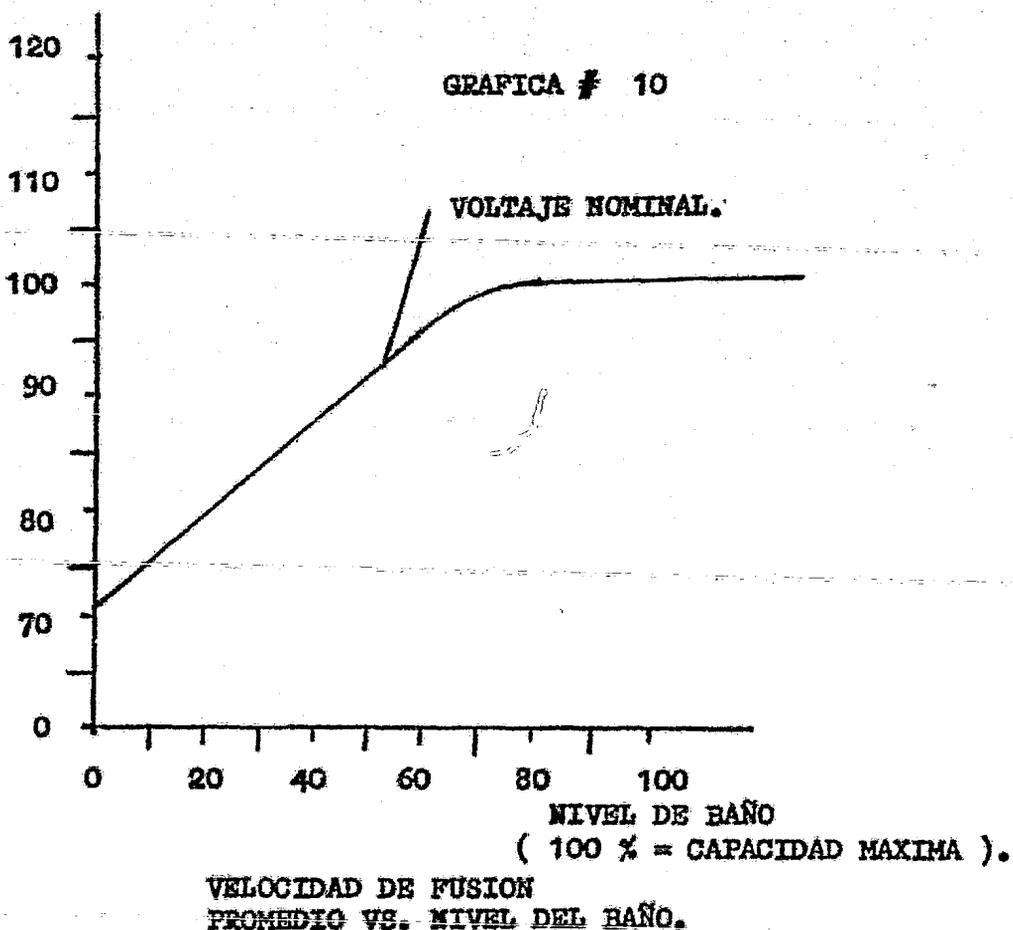
La Grafica # (10) muestra la velocidad de fusión como una función de la cantidad de metal que se tenga en el horno, -
Teniendo en cuenta que cuando se carga un horno con un -
nivel del baño de ~~al~~ rededor del 70 % de su capacidad, el horno no debe absorber toda la potencia porque la carga elevará 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 repercutirá en una buena cordinación entre los departamentos de fusión y moldeo.

Otro factor importante en la utilización del suministro -
de potencia. Nosotros sabemos que la potencia no puede --
estar "dentro" indefinidamente puesto que tenemos que cargar el horno, desescoriañ, mantener la temperatura y vaciar el metal en 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 min. con potencia y 18 min. sin potencia. Una buena operación deberá alcanzar un factor de--
utilización del 80 %.

Trabajando con dos hornos y una fuente de potencia en -
~~forma alternada se tiene un mejor factor de utilización--~~
es decir que mientras se carga, desescorifica, se ajusta químicamente el baño, se checa temperatura y se vacía el horno, la potencia es aplicada al segundo horno. El tiempo en que quede la potencia fuera es cuando se hace la

transferencia, de la potencia de un horno a otro por medio del switch de transferencia. La utilización se irá hasta un 90 %, pero tenemos que agregar las pérdidas de calor por las paredes del crisol.

Cuando se opere el horno en toda su potencia ya que con menos potencia el tiempo que se utilice para alcanzar la temperatura de vaciado será mayor lo cual ocasiona que las pérdidas térmicas sean mayores. Cuando todos los impulsos seleccionados en el contador de fusión hayan sido introducidos en el horno, se debe de entender que la energía requerida ya fue absorbida por la carga.



CAPITULO VII. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

VII.I EL CUIDADO DEL SISTEMA DEL HORNO.

Se recomienda llevar un registro de; Horas de operación, composición de la carga, peso, temperatura del baño, condiciones del crisol, vida del crisol, lecturas eléctricas, reparaciones y mantenimiento. Dichos registros deben describir las condiciones que prevalecen en el equipo cada turno de trabajo. El espesor de la pared del crisol debe ser verificada, así como el diámetro y la altura, - se deberá llevar un registro de estos datos valorando la información concerniente a la operación del horno, - se puede obtener después de cierto tiempo, un promedio de vida del refractario. Estos datos deberán servir para conocer las necesidades de mantenimiento y con determinadas condiciones de producción. Si se llevan estos registros, se logrará operar el horno sin problema.

VII.I.I BOBINA.

Para prevenir fallas en la bobina se recomienda seguir los siguientes puntos.

Los yugos laminados del cuerpo del horno deben estar firmemente sujetos contra la bobina.

Después de la primera semana se operación con una nueva

bobina, vuelve a apretar los ladrillos si es necesario- los sujetadores de la bobina también deben verificarse. Si después de cierto tiempo estando el horno operando, se escucha un ruido molesto en él dicho ruido se puede localizar fácilmente ya que seguramente será un tornillo que sujeta los yugos, el que se habrá aflojado.

El cuerpo del horno y las partes exteriores de la bobina debe mantenerse limpia, libre de polvo y de carbón, salpicaduras de metal, gotas de metal fundido, fugas de agua debidas a conexiones de las mangueras sueltas. Se deben usar un limpiador de vacío y no aire forzado.

VII.1.2 SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Conserve el agua limpia, libre de impurezas, tener refacciones tales como: selladores, mangueras, cables de potencia etc.

VII.1.3 RECUBRIMIENTO.

Si es necesario la reparación o renovación del crisol, el método más confiable para determinar esto, es por medio de una inspección física. Lo cual es hecho generalmente durante los fines de semana, mientras el crisol esta vacío y frío. Se deberá llevar un registro del - -

radio del crisol en todos los niveles y si la forma -- geométrica del crisol permanece más o menos constante, -- esto es, si presenta ovalamiento o desgaste irregular -- a lo largo mismo. Los desperfectos visibles deben ser -- perfectamente inspeccionados. La medición del radio del crisol debe hacerse con el dispositivo de medición del -- crisol y centrado de la bobina.

Hasta $1/3$ del espesor de la pared es el máximo desgaste es igual alrededor y a lo largo, la potencia del horno -- debe aumentarse aproximadamente de un 10 a un 15 % . -- Esto es porque hay más metal dentro del área de acción -- de la bobina y la distancia entre ambos es más corta, -- por lo tanto, se requiere más potencia y se provoca mayor agitación. También los requerimientos de capacitores au -- mentan al aumentar la potencia.

Como resultado del aumento de la acción de agitación, -- se tiene un desgaste más rápido del recubrimiento, lo -- cual hace imposible una predicción de la vida del crisol. Con $1/3$ de desgaste en el fondo la potencia del horno -- aumenta aproximadamente 10 % y no deberá permitir se que este incremento sea mayor.

Considerando que el desgaste tiene lugar como se ha des -- crito arriba, en las paredes y fondo del crisol, la po -- tencia del horno al mismo voltaje de entrada podría in --

Incrementarse aproximadamente 20 % y causar un considerable desbalance de corriente en el sistema trifásico, - así como sobrecorriente y corte del suministro del horno. Para continuar se debe reducir la potencia por medio del cambiador de derivaciones del voltaje de entrada al horno.

Asumiendo que esta condición de operación se presentó gradualmente después de algunas semanas, se puede continuar aproximadamente un día con la potencia reducida de otra forma se recomienda el corte suministro del horno.

Debe disponerse se un libro de notas para registrar por lo menos dos lecturas eléctricas cada 8 horas, de manera de tener bases para controlar la vida del crisol. - Este método eléctrico para la predicción de la vida del crisol es muy conveniente pero no muy confiable, porque los pequeños orificios no incrementan la potencia del horno.

un repentino aumento del número de capacitores conectados en uso sin aumento de KW., no tiene nada que ver con las condiciones del crisol.

VII.I 4 MANTENIMIENTO DIARIO.

a) revisar la temperatura del agua y compare el valor - con los valores obtenidos cuando se arrancó el horno.

Si la temperatura se incrementó con la misma presión-- (presión normal), se deberá revisar el flujo de agua. - Si el flujo de agua ha decrecido con la misma presión, - es debido seguramente alguna obstrucción en la línea. - Algunos dispositivos o depositos de basura podrian ser- la causa de la obstrucción, siendo necesario que dichos depositos se eliminen. La bobina y la tubería quedarán- limpias abriendo la llave para drenar y aplicando agua a presión

b) Limpiar los conductores de corriente del horno, los- cables y los soportes de aislamiento teniendo cuidado- de desconectar el interruptor principal.

VII.1.5 RECOMENDACIONES PARA SU REPARACION.

El siguiente procedimiento de paro del horno es recomendable; calentar el metal a 1500°C., cuando menos, para fundir toda la escoria que está sobre las paredes.

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

Conservar la potencia de mantenimiento conectada hasta que el horno esté vacío.

Girar el horno a 95°., cuando menos para vaciar completamente el horno.

Cuando el horno esté vacío desconectar la potencia de mantenimiento pero dejando conectado el voltaje de control para mantener la supervisión del sistema de enfriamiento.

Los residuos de metal deberán ser vaciados tan rápido como sea posible ya que sólo puede aplicarse una muy pequeña potencia durante este tiempo.

a) Cuando el horno esté vacío, bajarlo y mantener completamente abierta la tapa.

b) Dejar enfriar el crisol completamente sin alguna asistencia adicional de ventiladores o rocío de agua. (Enfriamiento propio).

Para disminuir el tiempo de enfriamiento, pueden utilizarse ventiladores o rocíos de agua y así enfriar más rápidamente. Esto solo en caso de que se vaya a cambiar el recubrimiento.

El agua de enfriamiento debe continuar fluyendo a través de la bobina hasta que el recubrimiento haya alcanzado una temperatura de 60°C., al menos.

Usar un cincel para separar el recubrimiento del refractario del pico de colada antes de que se enfríe el crisol para evitar que se cuelgue el recubrimiento, lo que podría ocasionar grandes grietas horizontales en el crisol.

Basándose en las comparaciones, se puede predecir la vida probable del crisol bajo uso normal. El desgaste del recubrimiento varía linealmente pero hacia el final de la vida del mismo, lo hace hiperbólicamente, por esta razón deberá establecerse como norma, no exceder de $1/3$ del espesor original de la pared y el fondo.

Cualquier desgaste resulta en un incremento de KW., y -

requerimiento de más capacitores.

Una comparación de la lectura eléctrica tomadas con el crisol lleno y carga líquida, permite predecir aproximadamente las condiciones del crisol.

Deberán tenerse lecturas por menos de; Voltaje, KW, KVA, y pasos de capacitores en uso, evaluar las condiciones del crisol. Pequeñas cavidades no afectan las lecturas eléctricas, por lo que daña puede ocurrir antes del - - incremento de KW, y KVA.

Un desgaste parejo reducido el espesor de la pared $I/3$, incrementará la potencia de entrada en aproximadamente de 15 a 25 % dependiendo del tamaño del horno y la potencia nominal (KW)., tal incremento en el consumo de potencia puede operar la protección de sobrecorriente y desparar el horno, De ninguna manera deberá continuar operando el horno a potencia reducida más baja a la del transformador, a menos que se esté seguro de que el crisol lo permita....

VII.2 CONCLUSIONES.

- 1) El horno de inducción presenta un adelanto importante en la técnica de fusión de metales.
- 2) Se ha demostrado que es un método económico.
- 3) Se ha demostrado que en el horno de inducción se tienen menos pérdidas de metales por oxidación.
- 4) Transformación de corriente eléctrica a calor es de lo más eficiente.
- 5) El uso del agua como enfriamiento requiere eliminar impurezas tales como sales, grasas, etc.
- 6) Los refractarios deben tener ciertas especificaciones tales como su composición química, resistencia al desgaste, su expansión, contracción, etc.

- 7) Los refractarios utilizados en hornos de inducción -
"en su forma de presentación", son diferentes a los -
utilizados en otros hornos estos refractarios vienen -
en forma de polvo o mezcla plástica. Para que estas -
se puedan utilizar es necesario sinterizarlos ya sea -
por medio de quemadores o por el mismo calor que porporcion
ciona el horno en su arranque.
- 8) Para el inicio del funcionamiento es necesario revisar
todas las partes integrantes del sistema de enfriamiento
y sistema eléctrico y del crisol.

INDICE DE FIGURAS

		Página.
1	Horno sin núcleo.	7
2	Horno sin núcleo.	7
3	Horno tipo canal.	9
4	Horno con núcleo.	9
5	Horno pequeño sin núcleo.	11
6	Horno mediano sin núcleo.	11
7	Diagrama eléctrico típico de un equipo de inducción de baja frecuencia monofásica.	12
8	Diagrama eléctrico típico de un equipo de inducción de baja frecuencia trifásica.	13
9	Agitación del metal fundido en un horno de inducción sin núcleo.	15
10	Las cuatro etapas básicas en la fusión de la carga fría en un horno de inducción.	24
11	Los campos magnéticos pasan a través del cuerpo central del horno.	27
12	Los campos magnéticos pasan a través del metal en un horno con canal en forma de U en la parte inferior del horno.	27
13	Muestran las formas de los campos magnéticos en un alambre recto y en una bobina de alambre.	29
14	El campo magnético será más fuerte cuando haya más líneas de fuerza.	29
15	Muestra los efectos de las diferentes densidades de un campo magnético en el flujo de corriente en un metal.	30
16	El mayor flujo de corriente se tiene donde la densidad de flujo magnético es mayor.	30
17	Muestra el campo magnético generado por la bobina alrededor del horno por la carga de metal.	32
18	Muestra el efecto "SKIN"	
19	Muestra una dirección posible para el flujo de corriente.	34
20	Muestra otra dirección posible para el flujo de corriente.	34
21	Muestra la dirección general de movimiento de agitación.	34

INDICE DE FIGURAS.
(continuación)

22	Muestra la superficie que adopta el metal fundido.	36
23	Muestra la dirección real de las fuerzas que agitan al metal en diferentes partes del horno.	37
24	Muestra que através de la pared pasan menos líneas del campo magnético.	38
25	Muestra que através de la pared pasan mayor líneas del campo magnético.	38
26	Muestra el diagrama eléctrico elemental del horno de inducción.	43
27	La bobina del crisol.	47
28	Sistema abierto.	55
29	Sistema abierto con tratamiento de agua.	56
30	Sistema Circuito semi - cerrado.	57
31	Sistema Circuito semi-cerrado con torre de enfriamiento.	58
32	Torre atmosférica.	63
33	Torre de tiro natural.	63
34	Torre de tiro inducido a contracorriente.	64
35	Formas normales de ladrillos refractarios.	83
36	Colocación a pistola de un refractario plástico sobre la pared de un horno.	85
37	Refractarios que se emplean en el horno de inducción.	106
38	Refractarios utilizados en las diferentes zonas de un horno de inducción.	108
39	Sinterizado inductivo con bloks de arranque.	124
40	Sinterizado típico con gas.	127

INDICE DE TABLAS.

	Páginas.
1 Factores para calcular el p _{as} . del carbonato de calcio.	67
2 Composiciones típicas de ladrillos de sílice y básicos.	79
3 Composiciones típicas de arcilla y de alto contenido de alúmina.	86
4 Propiedades características de los ladrillos refractarios.	87

INDICE DE GRAFICAS.

1 Medición de resistencia a tierra.	42
2 Alcalinidad Vs pH.	74
3 Diagrama de fases para el sistema sílice-alúminio.	92
4 Diagrama de fases para el sistema óxido de calcio - magnesia.	92
5 Transformaciones y comportamiento reversible de la sílice pura (SiO ₂).	100
6 Conductividad térmica de algunos ladrillos refractarios normales.	103
7 Expansiones térmicas de algunos ladrillos refractarios normales.	105
8 Ciclo típico de sinterizado.	120
9 Potencia de entrada al horno en función de la altura del baño.	130
10 Velocidad de fusión promedio Vs nivel del baño.	132

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

- 1.- Flemings M.C.
Solidification Processing
1a. Ed. Mc. Graw Hill, 1974.
- 2.- American Foundrymen's Cast Metals Institute
Cast Metals Technology Series
Principles of Induction Melting, 1976.
- 3.- Araujo T.R.
Refractarios para Hornos de Inducción.
Harbison Walker Flir, S.A., 1972.
- 4.- Calamari Elio
Hornos Eléctricos de fusión
2a. Ed. Editecnia - Madrid, 1970.
- 5.- Eduardo Capello
Tecnología de la Fundición
Editorial Gustavo Gili, S.A., 1973
- 6.- W. Trinks - M.H. Mawhinney
Hornos Industriales Vol. 1 y 2
- 7.- Davis H.E.G.E. Troxel and C.T. Wiskocil
The Testing and Inspection of Engineering Materials
2a. Ed. Mc. Graw - Hill Book Company. Inc. New York
1968.
- 8.- Norton, F.H. y S. Spell
The Measurement of Particle Sizes in Clays
J. Am. Ceram. Soc. Ed. Mc. Graw Hill. 1968.
- 9.- Nicolás Vaganoff
Hornos Industriales, 1974.
- 10.- Heine H.G.
Induction Furnaces
Ist. AFS. Electric Ironmelting Conference, 1969.

B I B L I O G R A F I A
(continuación)

- 11.- Ing. Roberto Farias González
Seminario Sobre el Horno de Inducción y el Cabilote
Cia. Fundidora del Norte, S.A., 1972.
- 12.- Donald Q. Kern.
Procesos de Transferencia de Calor
1a. Ed. GECSA. , 1974.
- 13.- Rober E. Treybal
Operaciones con Transferencia de Masa
2a. Ed. HAMA. , 1973.
- 14.- John H. Perry
Chemical Engineers Handbook
3a. Ed. Mc. Graw Hill. , 1973.
- 15.- F. H. Pérez Mata
Tesis - Tratamientos Químicos de Agua Recirculantes
Fac. Ing. Química U.N.A.M , 1962
- 16.- Alejandro Anaya D. & Julio Landgrave E.
Determinación de las Condiciones Optimas de un
~~sistema de enfriamiento con agua en circuito~~
Cerrado. IMIQ. , 1973.
- 17.- Chemical Company
Introducción al Tratamiento de Agua para Enfriamiento
Boletín 34. WALCO 1974.
- 18.- Renato Fernández Maza
Tesis - Las Torres de Enfriamiento y el uso de
Instrumentos para Evaluar el Rendimiento de las
Mismas. Fac. Química. U.N.A.M , 1959.
- 19.- William H. Mc. Adams
Trasmisión de Calor
3a. Ed. Mc. Graw Hill, 1974.

B I B L I O G R A F I A.
(continuación)

- 20.- Hensler, J. R. y E. C. Henry
Eléctrical Resistence of Refractory Oxides
and Their Mixtures in Temperature Range 600 to 1500°C.
J. Am. Ceram. Soc. , 1974
- 21.- Chiochetti, V. E. J. y E. C. Henry
Eléctrical Conductivity of Commeccial Refractories
in the Temperature Range 600 to 1500°C. , 1972.
- 22.- Massengale, G. B. , L. E. Mong, y R. A. Heindl
Permeability and Some Other Properties of Variety
of Refractory Materials..
J. Am. Ceram. Soc. , 1976.
- 23.- Neuman V. F.
Metallurgische Schmelzfúhrung
Brown, Boveri & Cie. Germany. , 1972.
- 24.- V. Kondic, Ph. D.
Metallurgical Principles of Founding. , 1968.
- 25.- H. D. Merchant and Mitar Beiter
Solidification of Cast Iron
Ed. Verlag. New. York. . 1970.
- 26.- H. D. Pantke
Process Metallurgical
Thyssen Purofer, Dusseldorf. , 1967
- 27.- Heine H. G. y Hasler B. A.
Fusión por Inducción. Su comparación con otros
Métodos.
49. congreso de la Industria de la fundición.
Brown Boveri. U.S.A. , 1976.