

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



DISEÑO, CONSTRUCCION Y OPERACION DE UN
HORNO DE CRISOL PARA LABORATORIO

431

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Ingeniero Químico Metalúrgico
P R E S E N T A

JOSE LUIS SOTO GUERRERO



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.

CLAS Tesi
AÑO 1972
FECHA _____
PRRC H+
1 _____

~~40~~ 406



QUIMICA

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE ING. MANUEL F. GUERRERO FERNANDEZ
VOCAL M. en C. FERNANDO MALDONADO MENDOZA
SECRETARIO ING. HUMBERTO MALAGON ROMERO
1er. SUPLENTE ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO
2° SUPLENTE M. en C. MA. EUGENIA NOGUEZ AMAYA

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA : LABORATORIO DE METALURGIA DE LA FACULTAD DE QUIMICA

SUSTENTANTE : JOSE LUIS SOTO GUERRERO

ASESOR DEL TEMA : I.Q.M. HUMBERTO MALAGON ROMERO

A MI PADRE CON TODO CARIÑO

A MI MADRE EN SU MEMORIA

A MIS HERMANOS :

MARIA TERESA

ROBERTO

JUAN CARLOS

ANA MARIA

LUZ MARIA

FLORINA

CON RESPETO Y ADMIRACION A MI ASESOR Y AMIGO
INGENIERO HUMBERTO MALAGON ROMERO. MUCHAS GRACIAS

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DEL LABORATORIO DE
METALURGIA.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE HICIERON POSIBLE
LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION -----	1
I Hornos de crisol -----	3
1.1.- Hornos de foso -----	3
1.2.- Hornos estacionarios -----	6
1.3.- Horno de crisol de resistencia electrica -----	7
1.4.- Horno de Inducción -----	11
II Selección y diseño del Horno -----	19
III Refractarios y Crisol -----	36
3.1.- Definición y clasificación -----	36
3.2.- Descripción de los materiales refractarios seleccionados -----	38
3.3.- Metodos de fabricación de Crisoles ---	47
IV Construcción y Operación -----	60
4.1.- Construcción -----	60
4.2.- Operación -----	69
Conclusiones -----	72
Bibliografia -----	73

Introducción

Debido a los acontecimientos y al apoyo que ha tenido la carrera de Ingeniero Químico Metalúrgico a partir de 1973, se ha logrado incrementar el nivel de conocimientos tanto teóricos como prácticos.

Dentro de la teoría se ha alcanzado ya una posición adecuada. Y por lo que respecta a la parte práctica, es de vital importancia, y no debe perderse de vista pues si se hiciera se estaría cometiendo un grave error.

Sentimos la necesidad de enfocarnos un poco en el área de fundición, por tal motivo se vio la posibilidad de diseñar y construir un horno como primer paso para la fusión de metales y aleaciones con puntos de fusión inferiores a 1200°C ya que, ésta clase de equipo no se encontraba en el laboratorio.

Para el estudio de estas aleaciones y metales puros, se diseñó un horno para cubrir parte de las necesidades de nuestro laboratorio.

La tesis cuyo título es "Diseño, construcción y Operación de un Horno de Crisol para Laboratorio" es debido a la idea de contar con un horno y esto implica -- desde el diseño hasta la operación.

Teniendo en cuenta que el diseño presenta dificultades, sin embargo, consideramos que la parte de la construcción requiere del conocimiento y uso de materiales y equipo tales como: El torno, soldadura, remaches, y el manejo de herramientas y a todo esto podemos agregar -- una cierta habilidad manual.

Los problemas de diseño, construcción, selección de materiales, la instalación y la operación se resolvieron íntegramente en el laboratorio.

Aún careciendo de la experiencia que se requiere para la fabricación de este tipo de hornos se llegó a la de terminación de enfrentarse al problema.

CAPITULO I HORNOS DE CRISOL

Los hornos de crisol varían considerablemente en diseño y capacidad, desde los hornos de laboratorio -- que funden unos cuantos kilogramos hasta las unidades industriales de varias toneladas. Los crisoles más pequeños se calientan generalmente en hornos estacionarios de foso, los cuales se extraen para vaciar, mientras que los crisoles más grandes generalmente se construyen en una cámara de horno inclinable, oscilando la unidad completa para vaciar la carga.

1.1.- Hornos de foso

Son aquellos que se colocan abajo del nivel de -- trabajo, para que el crisol pueda retirarse ya sea manualmente o por medio de un polipasto.

Estos hornos pueden ser calentados por coque, gas o petróleo. Los hornos que consumen coque son generalmente de sección cuadrada (tal como se indica en la figura 1) con una parrilla en el fondo. Sobre esta parrilla se coloca una cama de coque que actúa como base para el crisol, de manera que si se desea puede cubrirse totalmente con coque.

En las instalaciones viejas se usaba el tiro natural, que aún es popular; pero en muchos hornos modernos que consumen coque, se utiliza el tiro forzado.

Figura 1 Horno de crisol de foso calentado por coque con tiro natural

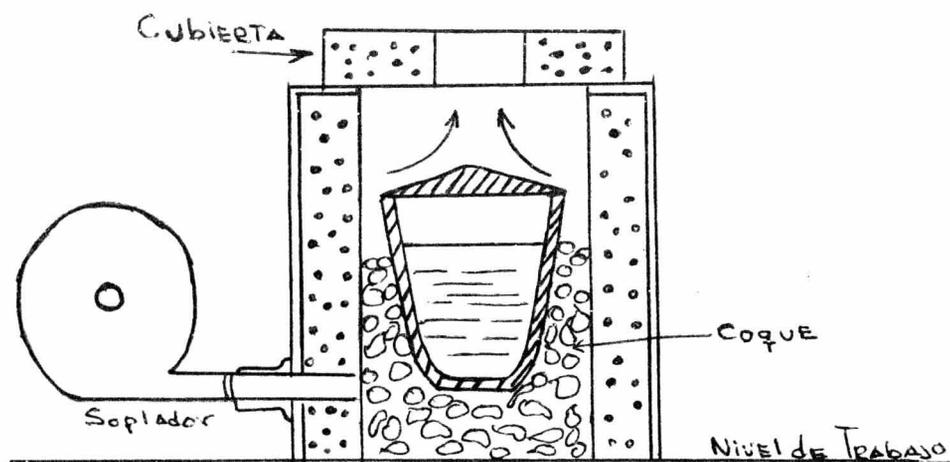
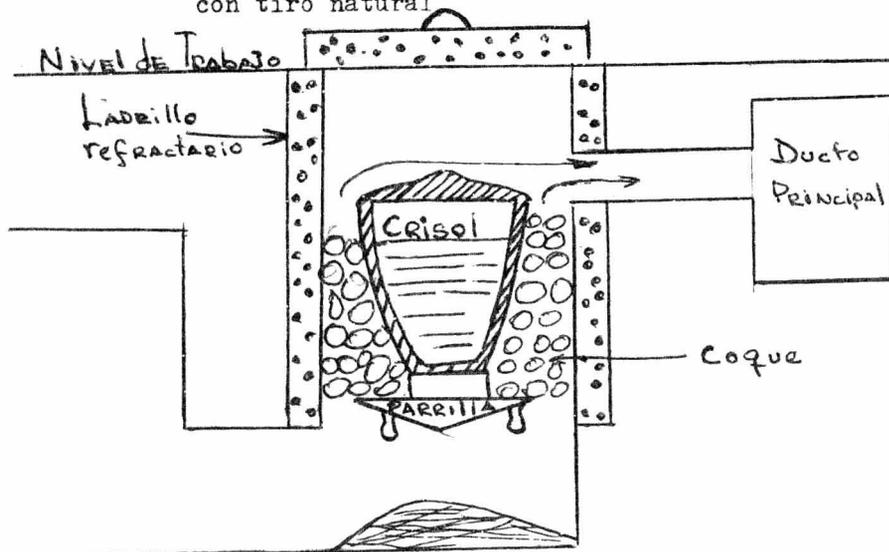


Figura 2 Horno de crisol de foso calentado por coque con tiro forzado.

En la figura 2 se puede observar un horno de foso calentado por coque y con tiro forzado.

Los hornos que queman gas o liquido, no están provistos de la parrilla y por lo general son de sección circular.

El tiro forzado se utiliza naturalmente, entrando la flama del quemador a la camara del horno en forma tangencial, de manera que circunde al crisol para formar una trayectoria espiral.

Los hornos estacionarios de este tipo son utilizados en la fundición de acero, laton y bronce y la capacidad del crisol varia generalmente entre los 50 y 100 kilogramos, un horno de este tipo es como el que se muestra en la figura 3 :

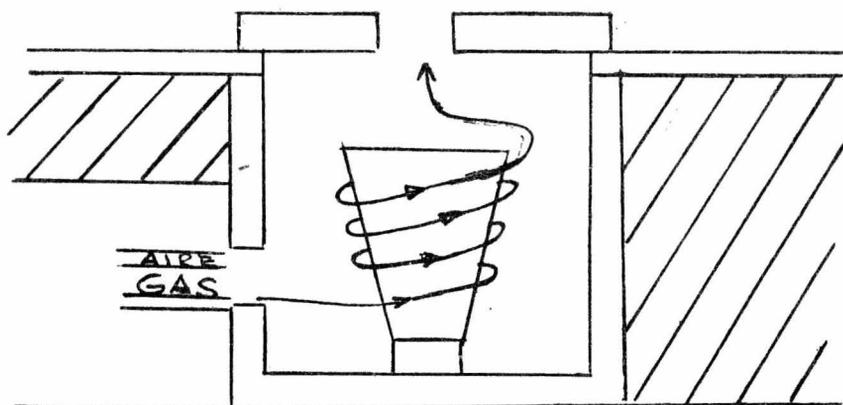


figura 3 Horno de crisol de foso calentado por gas.

1.2.- Hornos Estacionarios

Este tipo de hornos es similar a los anteriores - solo que se encuentra trabajando a nivel del piso.

En los hornos estacionarios que queman gas o liquido - tal como se puede apreciar en la figura 4 y en los cuales el crisol se construye dentro de la camara de fu-sion, se usan comunmente para fundir aleaciones de aluminio.

Estos hornos se hunden solo parcialmente en el piso, de manera que pueden retirarse pequenas cantidades de metal segun se requiera, para hacer vaciados pequenos en arena o en molde permanente.

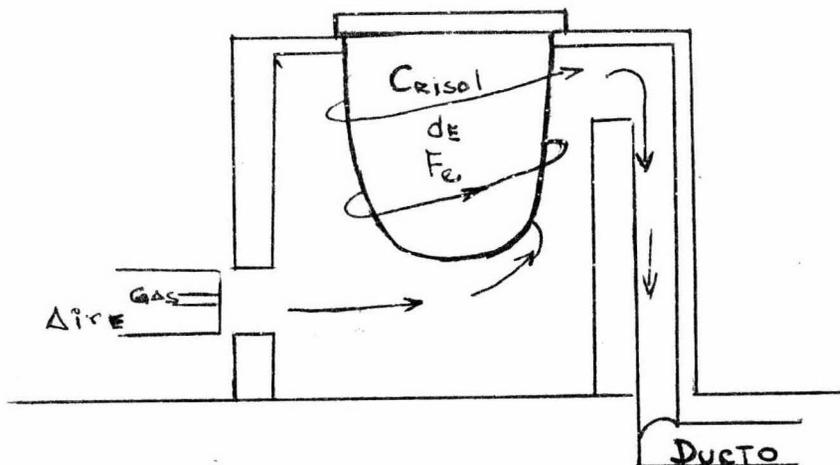


Fig. 4 Horno estacionario de crisol,
calentado por gas.

Tabla 1

PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES DE LOS ELEMENTOS CALEFACTORES

Metal	Composición	Tmax.	Tde fusión
60Ni-15Cr	60Ni-16Cr-24Fe	950°C	
80Ni-20Cr	80Ni-20Cr	1150	
Kanthal	25Cr-6.2Al-1.9 Co y Fe el resto	1250-1300	
Aleación 10	37Cr-7.5Al-55Fe	1250-1300	
Platino			1773°C
Molibdeno			2625
Tantalio			3000
Volframio			3400

Los hornos pequeños de crisol, aún con ciertas dificultades, pueden construirse en el laboratorio, pero al desearse de mayor tamaño es preferible obtenerlos - de alguna firma comercial.

La aleación de 80% de Niquel y 20% de cromo es muy utilizada porque es barata y puede obtenerse en varios calibres (con esta aleación se obtienen Temperaturas hasta de 1100°C)

Una ventaja particular de éste tipo de horno para fundir aleaciones de aluminio consiste en que la superficie del metal no se encuentra en contacto con los gases de la combustión, de los cuales podría disolver hidrogeno, que ocasionaria fallas en la calidad.

1.3.- Horno de Crisol de Resistencia Electrica

Aunque en los metodos en los que interviene en quemado de algún combustible debido a su bajo precio, en el laboratorio se utiliza por lo general el calentamiento por resistencia electrica, no solo por la limpieza con que se trabaja, sino también por la facilidad en el control.

Para temperaturas hasta de 1100°C es muy común el empleo de hornos calentados por resistencias formadas por una aleación de níquel-cromo y con ciertas aleaciones especiales, se pueden alcanzar temperaturas hasta de 1200°C . Para poder alcanzar hasta los 2000°C se emplean elementos de platino, molibdeno, carburo de silicio y grafito.

A continuación en la tabla 1 se dan las propiedades de las aleaciones de algunos elementos calefactores :

Esta aleación se puede obtener ya sea como alambre o como cinta, posee una resistencia eléctrica elevada y tiene una gran duración si no se le sobrecalienta.

Para utilizar a temperaturas más bajas se le emplea en forma de alambre enrollado directamente sobre un tubo refractario o en forma de espiras o insertado en ranuras sobre un material también refractario que lo sostiene.

La utilidad de la aleación níquel-cromo proviene más de su resistencia a la oxidación que de su punto de fusión elevado que se debe a la formación de una capa de óxido adherente que se forma a una alta temperatura y que sirve como protección.

Un método simple para seleccionar la potencia adecuada es compararla con un horno ya construido, que reúna características de operación iguales a las que deseamos. Si no se dispone de tal horno, una regla buena, aunque no muy exacta para computar la potencia calorífica (W), es la dada por la expresión :

$$W = 100 \frac{LD}{T}$$

donde L es la longitud del alambre, D el diámetro interno del horno, y T el espesor del aislamiento, en pulgadas. Esto se aplica a hornos con devanado interno que operan entre 1000 y 1100°C empleando como aislante tierra de diatomeas. Con devanado externo al soporte -

-refractario, debe aumentarse esta potencia, de un 10 a un 20 %. De la misma manera para hornos cortos (de longitud menor de 10 veces el diametro interior del tubo) con gran cantidad de perdidas de calor en los extremos, debe aumentarse la potencia de un 10 a un 20 %. Por ejemplo, se deseamos hacer un horno con un tubo de 30 cms de longitud, 2.5 cms de diametro, devanado exterior y con 5 cms. de forro aislante en el tubo, la potencia debera ser de 650 a 700 watts.

Como no existen gases combustibles en la atmosfera de un horno de resistencia electrica, la atmosfera de fusión parece ser mejor que un horno de crisol como los descritos anteriormente, donde los productos de la combustión barren las paredes del crisol. Sin Embargo, la atmosfera humeda del aire puede causar problemas - aunque no se presenten otros gases.

En la figura 5 se muestra un horno de este tipo. El alambre de resistencia de 80cromo-20niquel es el elemento calefactor más comunmente usado, pero como se dijo anteriormente se dispone de otros elementos para obtener temperaturas más elevadas. Los elementos calefactores más refractarios tales como el platino, aleación 10, kanthal y global se emplean generalmente para realizar tratamientos termicos y no para fusión.

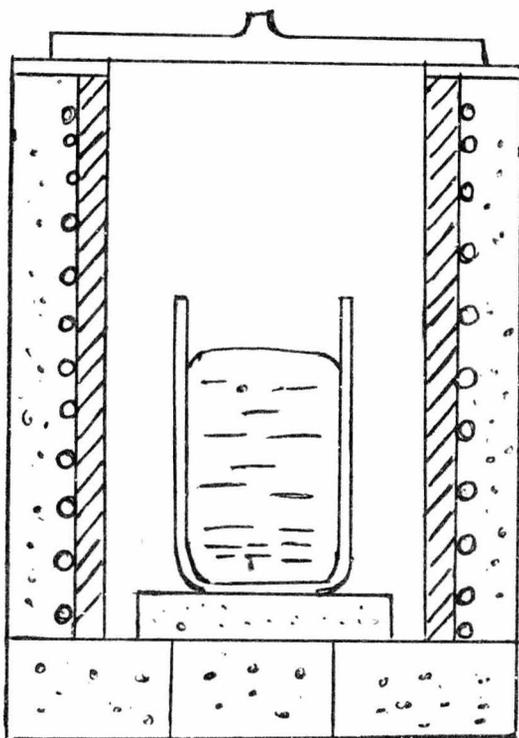


Figura 5 Horno de crisol, de resistencia eléctrica

1.4.- Horno de Inducción

Cualquier material conductor eléctrico puede calentarse induciéndole una corriente eléctrica, con una espiral que lo rodee y permita el paso de una corriente alterna de frecuencia adecuada. La temperatura alcanzada es función de la energía disipada en la carga y de las pérdidas por conducción y radiación, tiene las siguientes ventajas : el calentamiento es rápido ya que solamente la carga o el calentador se calientan, se -

nueden alcanzar temperaturas muy elevadas, el fundido se agita por corrientes inducidas y es particularmente util para calentar cargas contenidas en el interior de sistemas con atmosfera inerte o en vacio. Las principales desventajas son :

El equipo utilizado para generar altas frecuencias es caro resultando dificil controlar temperaturas elevadas -- con presición durante periodos largos de tiempo.

Un conductor electrico puede calentarse por induc--ción de una corriente dentro del mismo, y como cualquier otro calentamiento por resistencia, la alimentación del calor W , está dada por la relación :

$$W = I^2 R$$

donde I es la corriente inducida y R es la resistencia -- de la parte del conductor en el cuál fluye la corriente. La corriente alterna de alta frecuencia que produce el -- calentamiento fluye preferentemente sobre la superficie del conductor.

Equipo generador de alta frecuencia

Existen varias clases de equipo adecuado para la generación de corriente de alta frecuencia, necesaria en el calentamiento por inducción. En la tabla 2 se presentan sus principales caracterizticas :

Tabla 2

CARACTERIZTICAS DEL EQUIPO GENERADOR DE ALTA FRECUENCIA

Equipo	Frecuencia (cps)	Voltaje de op.	Potencia de salida
Motor-generador	1000-10 000	220-440	7.5-500 kw
De chispa	20-100 kc	10 000	3-40
Electrónico	100-500 kc	10 000	1-50

Cualquiera de estos equipos puede usarse para la mayoría de las operaciones del laboratorio, si el montaje es el adecuado.

EQUIPOS DE MOTOR/GENERADOR

Estos equipos producen corriente de alta frecuencia y bajo voltaje y consisten en un acoplamiento directo entre motor y generador que pueden enfriarse con agua o aire, siendo más comunes los primeros, se complementan con un capacitor, para ajustar el capacitor a que nos de el factor optimo de potencia de salida. Y un transformador variable que tiene por objeto igualar la impedancia de la espiral y del generador. Si la impedancia de la espiral y la carga no se igualan a la

de la maquina, no será posible trabajar a capacidad completa de amperaje y voltaje.

En muchos casos, el horno de inducción se utiliza muy cerca de la maquina. si se requiere una operación remota, debe instalarse el capacitor en derivación entre 60 y 120 cm de la estación de calentamiento para que éste pueda ser eficiente. Al hacer esto, se debe tener una protección segura, ya que durante la operación se almacenan en el capacitor cantidades letales de electricidad.

CONVERTIDORES DE CHISPA

Este se encuentra formado por un conductor, cargado por un transformador de alto voltaje, alimentado por una corriente alterna de 60 ciclos, se descarga a través de un entreplano de chispa, para producir una corriente alterna de alta frecuencia en la espiral de trabajo. Hay dos clases de equipo de chispa de uso común. E uno de ellos, la chispa pasa desde un electrodo especial a una piletta de mercurio dentro de una atmósfera de hidrogeno. La potencia se controla ajustando el nivel del mercurio y, por consiguiente, el espaciamiento del entreplano. El otro tipo usa un gran numero de entreplanos paralelos que pasan a través de un espacio de aire entre placas de wolframio paralelas y espaciadas cuidadosamente.

A continuación damos los esquemas de los equipos generadores de alta frecuencia del motor generador(fig. 6) y el convertidor de chispa(fig.7) :

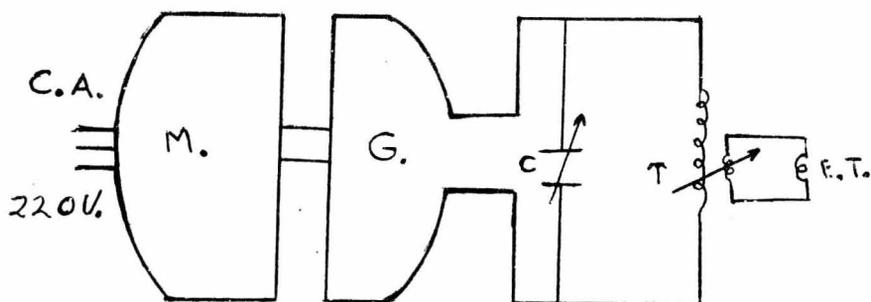


Figura 6 Esquema de un generador de corriente de alta frecuencia. La potencia para el motor-generador M.G. está dada por la corriente de la línea ; la espiral de trabajo y la carga E.T. se unen al generador a través de un capacitor variable C y del transformador T variable o fijo.

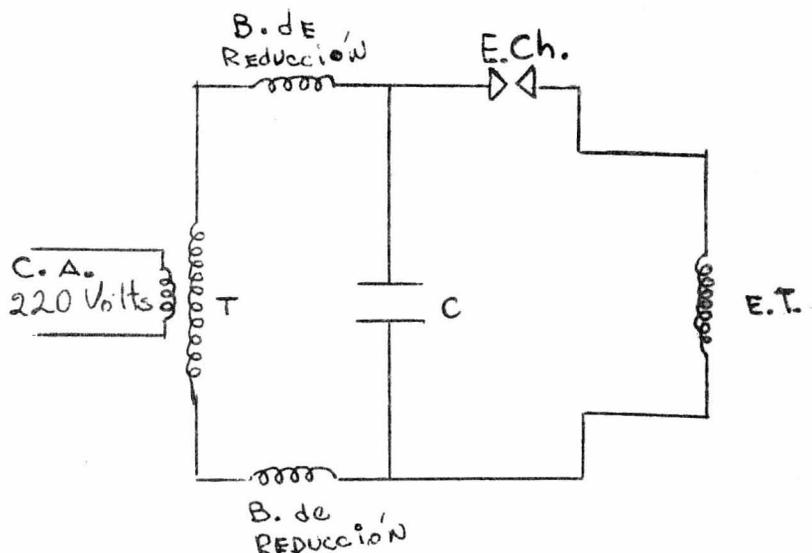


Figura 7 Esquema de la unidad calefactora de inducción del tipo de chispa. T es un transformador elevador, C un capacitor, E.Ch. el entreplano de chispa y E.T. la espiral de trabajo

GENERADORES ELECTRONICOS DE ALTA FRECUENCIA

En la figura 8 se muestra el esquema de un oscilador de alta frecuencia de tubo de vacío. Que consiste esencialmente, en un transmisor de radio de fuerte potencia. Las potencias obtenidas van desde 100 kc hasta un megaciclo o más. La igualación de la espiral suele ir acompañada de un ajuste de la inductancia de la espiral de almacenaje. La impedancia de la espiral de trabajo puede ser igualada a la del generador, por medio de un transformador de igualación o por ajuste del

numero de vueltas de la espiral. La frecuencia de salida depende en cierto grado, de las caracterizticas del circuito externo, de tal manera que este tipo de generador autocompensa, en parte, los cambios en las caracterizticas de la carga durante el calentamiento.

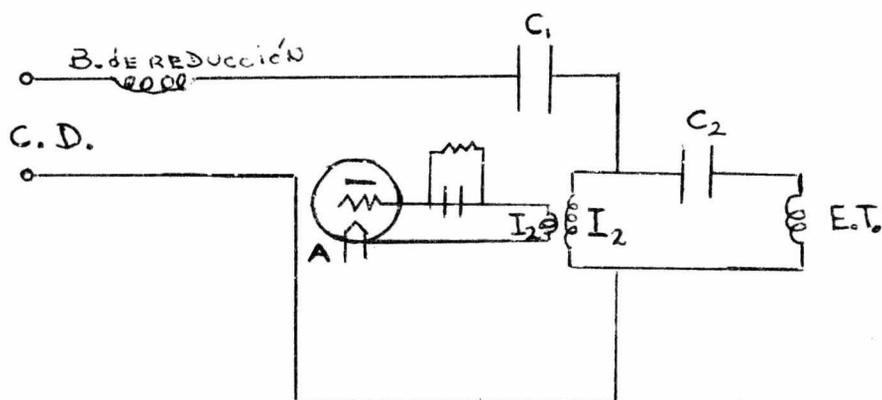


Figura 8 Esquema del generador electrónico de alta frecuencia. Se alimenta el equipo con una corriente directa de voltaje elevado. C_1 es un condensador de bloqueo, C_2 es el condensador de deposito, A es un triodo en tubo de vacio, I_1 es la espiral del acumulador de rejillas e I_2 es la espiral de deposito.

En el calentamiento por inducción, pueden hacerse una gran variedad de montajes, en la figura 9 se muestra un armado típico. Consisten todos ellos en una espiral inductora, un crisol para el material a calentar y algún aislamiento o cubierta de radiación entre la espiral y la carga.

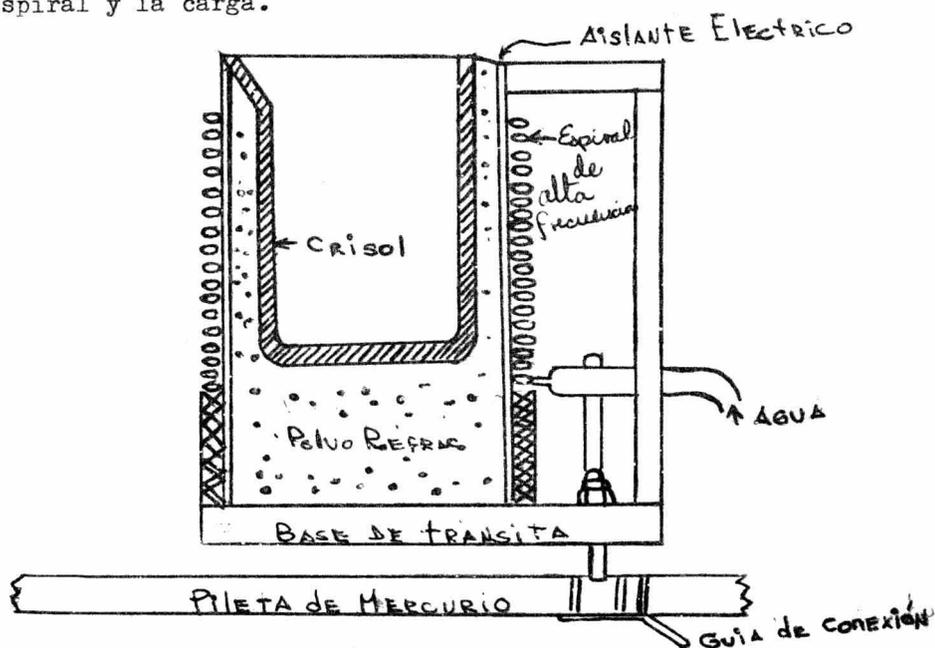


Figura 9 Conjunto de espiral de alta frecuencia y crisol

CAPITULO II SELECCION Y DISEÑO DEL HORNO

Una vez conociendo los diferentes tipos de hornos de crisol que pueden ser usados y construidos en el laboratorio, nos decidimos por seleccionar el horno de crisol calentado por gas, por varios motivos :

1.- El primer motivo y quizas el más poderoso es el hecho de que contamos con gas en el laboratorio, este gas constituye el medio de energia para el funcionamiento de dicho horno.

2.- Además de que la fundición en un horno de gas tiene la ventaja de que es rapida y requiere de un equipo muy barato para el trabajo en pequeña escala, aunque en la fundición con gas no se pueden producir temperaturas tan elevadas como en los hornos de inducción de alta frecuencia, ni es tan convenientemente adaptable a la fusión en atmosfera inerte o en vacio, tiene la ventaja de que es mucho más economica que ésta y en condiciones especiales como el utilizar aire enriquecido con oxigeno es posible alcanzar temperaturas cercanas a los 2000°C , no siendo posible alcanzar dichas temperaturas con una mezcla simple de gas-aire (el limite en la practica para este horno es de 1200°C lo cual es suficiente para fundir aleaciones de metales como el aluminio y el cobre)

En éste tipo de horno la carga se encuentra aislada tanto del combustible como de los productos de la -- combustión, éste horno cuenta con dos partes fundamentales que son :

1.- El Quemador y

2.- El Horno

El Quemador.- Este tiene por objeto proporcionarnos la energía calorífica necesaria para poder alcanzar las -- temperaturas de fusión y colado de un metal, éste quemador fué diseñado y construido totalmente en el laboratorio y se encuentra constituido de las siguiente partes:

A.- El ventilador o soplador y accesorios

B.- El tubo inyector

C.- El tubo mezclador

El ventilador.- su objetivo fundamental es el de - proveernos de la cantidad de aire necesaria y poder con ello alcanzar una combustión adecuada, el ventilador és ta diseñado de 2 partes que son : La camara de aire y - las aspas.

La camara de aire tiene una forma y dimensiones de terminadas que tienen por objeto delimitar y dirigir el flujo de aire en dirección al tubo inyector.

Esta camara se encuentra formada de dos tapas laterales que tienen un diametro de 31 cm unidas por medio de una banda metalica. Una de las tapas tiene un orificio de 6 cm de diametro por donde se une al sistema de transmisi3n. La otra tapa tiene una entrada de 28 cm que tiene por objeto facilitar la entrada e inataleci3n de l sistema de aspas, sobre ella va una cubierta circular de 30 cm de diametro, en 3sta se encuentran 4 aberturas que nos sirven para la admisi3n y control del aire, lo cual se lleva a cabo por medio de una contracubierta que tiene tambi3n cuatro aberturas(dicha cubierta tiene un diametro de 16.5 cm).

En la boca de salida de la camara lleva cuatro alerones para una mejor direcci3n del aire hacia el tubo inyector en la figura 10 se puede observar 3ste conjunto.

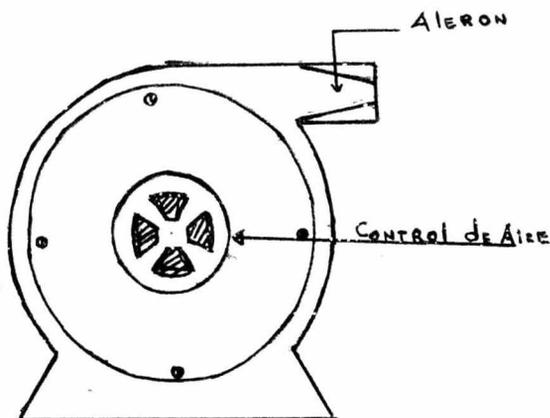


Figura 10 El ventilador(camara de aire)

Aspas.- Las aspas son el sistema de inyección del aire, es en si un sistema formado por 8 placas rectangulares de 9 x 7 cm y con pestañas de 1.5 cm que se encuentran montadas sobre discos paralelos que tienen un diametro de 26 cm cada uno.

El numero de aspas como anteriormente se dijo es de 8 y se encuentran dispuestas en angulos de 45° entre si - dejando una figura central de un octagono (tal como se puede apreciar en la figura 11).

Por uno de los discos se sujeta el conjunto a la flecha de transmisión y por el otro es la admisión de aire.

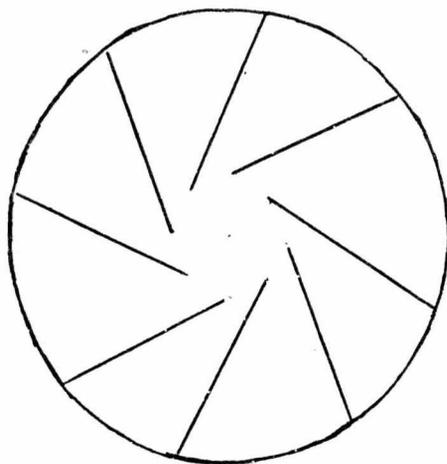


Figura 11 Las aspas dispuestas en angulos de 45° entre si.

Accesorios

Los accesorios del ventilador son :

- a.- El motor
- b.- Sistema de transmisión

El motor es un motor de inducción trifásico con una conexión delta-estrella que admite una línea de corriente de 220/380 volts y 1/1.7 amperes y que tiene una potencia de 0.37 kw que equivale aproximadamente a 1/2 HP y que nos da 1680 rpm a una frecuencia de 60 cps.

Se encuentra dotado de un sistema de enfriamiento lo cual hace posible utilizarlo para trabajo continuo.

El sistema de transmisión consta de :

- a.- Dos chumaceras con baleros y
- b.- Una flecha con la siguiente forma(fig.12)

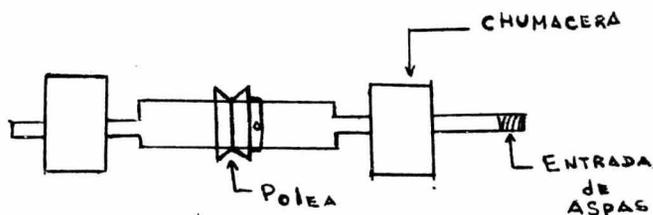
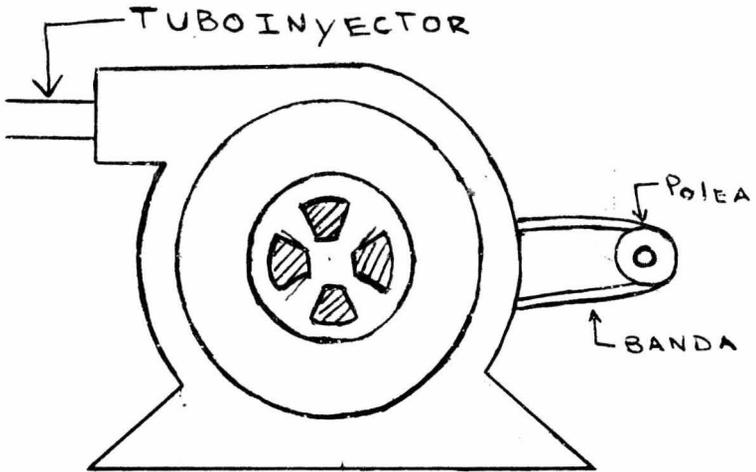


Figura 12 Sistema de transmisión del ventilador

En el siguiente dibujo se puede observar el sistema completo del quemador :



El Tubo Inyector

El tubo inyector tiene por objeto arrastrar y dirigir el flujo de aire hacia el tubo mezclador, este tubo inyector se recomienda que tenga la forma de Venturi para con ello asegurar el arrastre maximo con la minima presión de gas, aunque para fines practicos se puede utilizar un tubo común. El aire que es la parte más voluminosa de la mezcla pasa directo por la mezcladora que es una T (a través de esta T se hace pasar el gas), el gas se suministra a la presión de servicio publico, en la siguiente figura(fig. 12) se muestra el tubo inyector y mezclador junto con su orificio de salida.

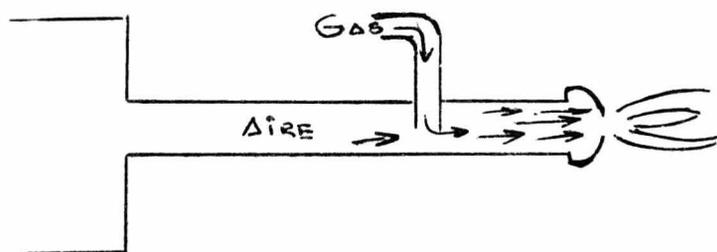


Fig. 12 Tubo inyector y mezclador del quemador.

Todo el diseño se basó en que nuestro horno fuera alimentado por gas, ya que podemos disponer de él en el laboratorio.

Diseño del quemador

El quemador aire-gas, puede ser utilizado también en la combustión de un combustible líquido (esto con una pequeña diferencia en el tubo mezclador, que consiste en poner un aspersor) .

Ventilador o Soplador

Fué dispuesto o diseñado de ésta forma en base al gasto de gas que podemos tener en el laboratorio y que es el de servicio público y es de $1.11 \text{ M}^3/\text{hr.}$, para lo cual necesitamos la cantidad de $60 \text{ M}^3/\text{hr}$ de aire (tomando en cuenta un 25% de exceso para poder tener una combustión adecuada).

Las dimensiones de las aspas y las rpm que nos da el motor nos permite tener aproximadamente $200 \text{ m}^3/\text{hr}$ de aire (teóricamente) lo cual nos permite tener un margen de seguridad.

Este es uno de los sistemas de combustión más simple que consiste en una tubería de aire y una de gas -- que son controladas independientemente y que se reúnen en una T mezcladora, la mezcla íntima del gas y el aire antes de entrar en el horno nos posibilita para poder alcanzar una elevada temperatura, cuando la mezcla es

soplada contra lechos de material refractario, debera colocarse este a una distancia de 12 a 30 cm y dispuesto de tal manera que los gases no sean rechazados y retrocedan al quemador.

Estos sistemas no se recomiendan más que para instalaciones pequeñas que no justifiquen el costo de otras más complicadas.

En nuestro caso empleamos butano comercial. En muchos procesos industriales que emplean sistemas de combustión, la temperatura de la llama es de considerable importancia, pues ella determina en gran parte el gradiente de temperatura y por tanto el caracter y eficiencia de la transmisión de calor.

Sin embargo, es es muy dificil hallar con exactitud dicha temperatura y es costumbre comparar los combustibles sobre las bases de sus temperaturas teoricas de llama, lo que se realiza por medio de la siguiente ecuación :

$$\text{Temp. teorica de llama} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{Q_4 + \text{su calor especifico medio}}$$

donde :

Q_1 es el calor de combustión

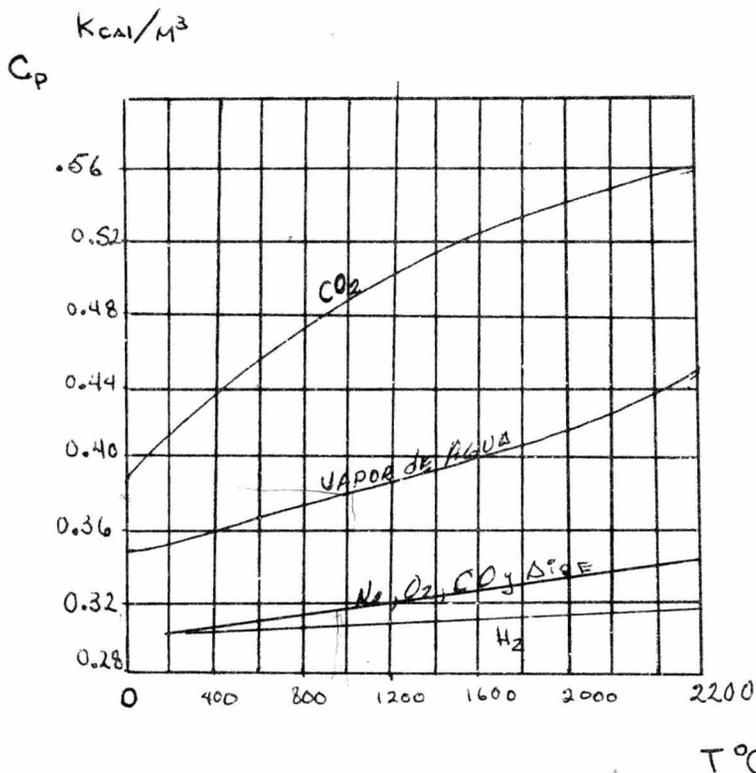
Q_2 es el calor sensible del combustible

Q_3 es el calor sensible del aire y

Q_4 es la cantidad total de los productos de combustión

Como se puede apreciar la temperatura de la llama depende del calor de combustión y del calor específico de la mezcla gaseosa usada. Así, la mezcla de oxígeno-gas da temperatura más elevada que una mezcla de aire-gas debido a que no es necesario calentar los grandes volúmenes de nitrógeno inerte. Del mismo modo el gas de hulla tampoco dará temperaturas tan elevadas como el propano ya que es menor el calor desprendido por unidad de volumen de mezcla gaseosa. Pero se puede en este caso aumentar considerablemente la temperatura de la llama del gas, burbujeando este en un hidrocarburo líquido para enriquecerlo antes de admitirlo en el quemador.

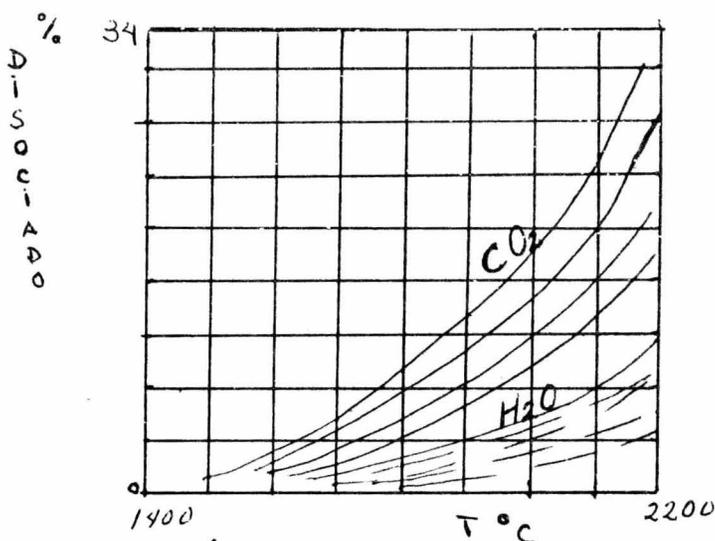
El cálculo de las temperaturas teóricas de llama se hace más simplemente por el procedimiento de aproximaciones sucesivas. Para ello se supone una temperatura probable y se toman los correspondientes calores específicos medios los cuales se pueden observar la gráfica 1.



Si la suma de los calores indicados en el numerador dividida por la capacidad calorífica de los productos, o sea, el denominador, da una temperatura más alta que la supuesta, por lo que hay que hacer un nuevo ensayo eligiendo una temperatura más alta, tomando otra vez los calores específicos correspondientes y continuando en la misma forma hasta que el resultado de la división indicada, nos de la temperatura elegida para la llama. Siempre se ha de utilizar el valor calorífico neto o inferior, pues el calor latente de condensación del agua formada no es disponible para elevar la temperatura de los productos de la combustión en la llama.

Las temperaturas de la llama así halladas son las teóricas sin corregir. Si éstas son bajas, no se necesita corregirlas, pero a unos 1650°C o más, la disociación del vapor de agua y el anhídrido carbonico produce un descenso correspondiente de la temperatura de la llama.

Para la solución de tales problemas se dió la grafica anterior que muestra los calores específicos medios -- por metro cubico y en la grafica 2 se muestra la disociación del agua y del anhídrido carbonico a temperaturas altas. La temperatura calculada de la llama, aún luego corregida por la disociación, son de ordinario más elevadas que las medidas experimentalmente y la diferencia puede llegar a ser de 56°C .



Grafica 2 Disociación del CO_2 y el vapor de agua

A continuación en la tabla 3 se puede observar la temperatura de llama para varios compuestos :

T a b l a 3

Temperatura de llama de varios compuestos

Nombre	Tmax.calculada	Tde llama(en aire) determinada exp.
Oxido de C	2648°C	2100°C
Metano	2065	1875
Etano	2104	1895
Promano	2115	1925
BUTANO	2132	1895
Acetileno	2632	2325

El Horno.- Está formado por una chaqueta de acero que tiene un diametro de 49 cm y una altura de 47 cm, re--vestido interiormente de ladrillo refractario.

Este ladrillo es de tipo silico-aluminoso con la si---guiente composición : 43.5% de alumina(Al_2O_3) y 52.5 % de silice(SiO_2), dichos ladrillos tienen una densidad promedio de 2.3 g/cm^3 y una conductividad termica de $3 \times 10^5 \text{ Cal/cm}^0 \text{ Cseg.}$, con una compresión en plano de 267-351 kg/cm^2 y una porosidad aparente de 14.18%.

Dichos ladrillos le dan al horno un espesor de 11 cm de material refractario (y aislante) y un diámetro interior de 25 cm.

Este horno consta de 2 tapas de refractario de igual composición que las paredes : la tapa inferior de un diámetro de 47 cm y un espesor de 10 cm y la tapa superior del mismo diámetro pero con un espesor de 4 cm, además de que tiene un diámetro interior de 19.5 cm por donde entra y se fija el crisol, además de 3 aberturas situadas a 120° una de otra que le sirven como chimenea y que dan salida a los productos de la combustión.

En el interior del horno y sobre la tapa inferior se encuentra un pedestal de 15 cm de diámetro y un espesor de 3 cm sobre el cual se colocó el crisol que tiene la forma y dimensiones que se indican en la figura 13.

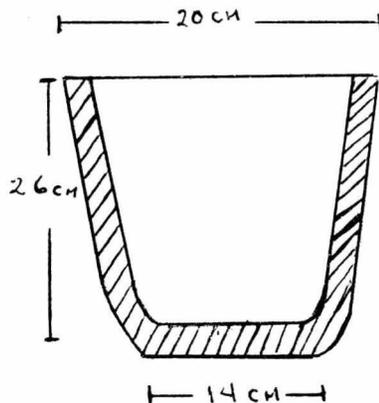


Figura 13 Crisol de grafito usado en el horno

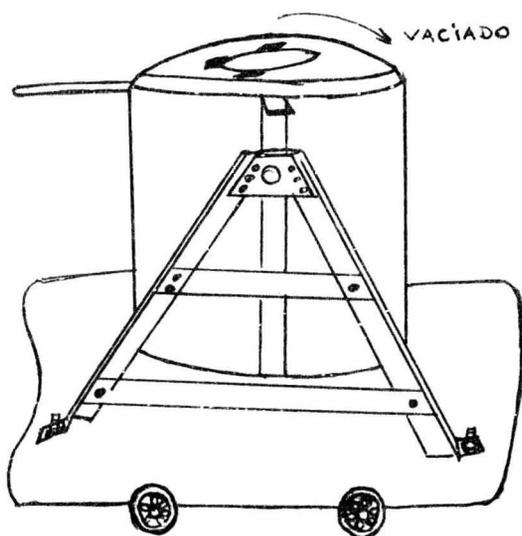
En la pared del horno y a la altura del pedestal - se encuentra situado el orificio de entrada de la llama que es en forma tangente lo que ocasiona que la llama - envuelva exteriormente el crisol y el calentamiento es uniforme, se deja un espacio de 2.5 cm entre el crisol y las paredes del horno para permitir la circulación -- del gas que se está quemando.

En la parte superior del horno se encuentran dos - pernos situados en extremos opuestos, que sirven para - bascular el horno, en los pernos van dos estructuras -- que han de sostener el horno y a su vez permiten bascu- larlo.

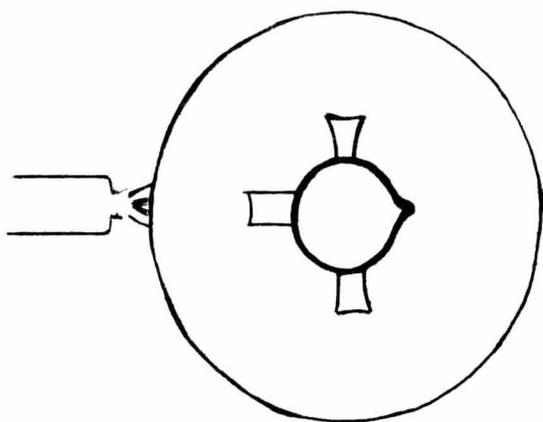
Dichas estructuras tienen la forma de triangulo y se en encuentran unidas por medio de tirantes a los cuales está remachado. Estas estructuras a su vez se encuentran mon tadas sobre un carro que corre abajo del nivel del piso y que nos permite limitar el horno para evitar algún ac cidente, ya que es la parte del horno que es movil en - todo el sistema, el horno es corredizo con el fin de -- que no choque con el quemador en el momento de vaciar(ya que el quemador se encuentra fijo en el piso, con el tubo mezclador e inyector a una distancia de aproximada mente 2 cm de la superficie exterior del horno).

En los siguientes dibujos se puede observar el horno de dos puntos de vista : una vista superior donde - se pueden ver las chimeneas colocadas a 120° una de la otra y una vista lateral con la dirección de vaciado.

Vista lateral con la dirección de vaciado



vista superior del horno



El horno fué diseñado en base a los materiales comerciales ya existentes, tales como las dimensiones y forma del ladrillo y crisol.

CAPITULO III REFRACTARIOS Y CRISOL

3.1.- Se pueden considerar como refractarios de una forma muy general, aquellos materiales no metalicos, que soportan temperaturas elevadas sin fundirse, sin sufrir una deformación excesiva o sin experimentar cambios en su composición.

Existen una serie de requisitos que debe de reunir un material refractario para poder considerarlo como - tal, en forma general, los más importantes para el metalurgista son los siguientes :

- 1.- Debe ser un buen aislante termico.
- 2.- Debe de soportar altas temperaturas de trabajo.
- 3.- Que pueda utilizarse como recipiente para metales liquidos.

Para clasificar a los refractarios de acuerdo con los requisitos anteriormente mencionados, se deben conocer las siguiente propiedades :

- 1.- Punto de fusión.
- 2.- Conductividad termica.
- 3.- Resistencia a temperaturas elevadas.
- 4.- Coeficiente de expansión termica.
- 5.- Resistencia al choque termico.
- 6.- Su capacidad de ser quimicamente inerte a los metales liquidos.

La resistencia al choque termico es una cualidad derivada que depende principalmente de los coeficientes de expansión y conductividad termica, y en menor grado de la resistencia mecanica, modulo elastico y plasticidad del material.

Aunque la resistencia mecanica a temperaturas elevadas es de interes primario en usos industriales que incluyen estructuras grandes y pesadas, en el laboratorio no es un factor primordial.

Dada la importancia del punto de fusión y la conductividad termica, a continuación damos una tabla (tabla 4) para algunos materiales que pueden ser utilizados en nuestro horno, para después hablar de sus propiedades y usos con el fin de seleccionar el refractario y crisol más adecuado.

T a b l a 4

Propiedades de algunos materiales refractarios

Refractario	T de fusión	Conductividad termica (Cal/cm ² s ^o C)
Alumina	2050 (1900)	72.5 x 10 ⁴ (540 ^o C)
Berilia	2530	383 x 10 ⁴ (1400 ^o C)
Grafito	3500	1650 x 10 ⁴ (800 ^o C)
Arcilla quemada	(1600)	34.5 x 10 ⁴ (980 ^o C)
grafito-arcilla	(1600)	-----

Cal	2750	-----
Magnesia	1870(1780)	58.6×10^4 (1430°C)
Porcelana	1870	34.5×10^4 (980°C)
SiC	(1650)	380×10^4 (1540°C)
Tercod	(1650)	345×10^4
Toria	3050	121×10^4 (400°C)
Circon	2550	46.6×10^4 (200-1000°C)

La temperatura que se encuentra entre parentesis en la columna de temperaturas de fusión nos indica la temperatura util maxima. Se da esta temperatura util maxima cuando la sustancia tiende a fallar antes de llegar a su punto de fusión, naturalmente que un material refractario no puede usarse exactamente en su punto de fusión.

3.2.-

Alumina

Es el refractario más usado, su composición es la siguiente : Al_2O_3 , su punto de fusión es elevado, tiene baja reactividad, su resistencia al choque termico es regular y tiene una conductividad electrica muy baja a temperatura elevada(esto hace de la alumina un material muy util en la construcción de tubos de horno y

muflas sobre las cuales va el devanado de las resistencias electricas metalicas). Como no es muy resistente a los oxidos de los metales basicos (como el oxido de hierro)., a diferencia del oxido de magnesio, su uso como crisol para la fundición de metales del grupo del hierro no es muy recomendable principalmente en la fundición al aire donde los oxidos de estos metales están presentes.

Se usa principalmente en la construcción de nucleos de horno de resistencia electrica y se puede encontrar comercialmente en forma de tobos, ladrillos, crisoles, rodillos, placas, etc. y se recomienda para la fusión de aluminio, antimonio, bismuto, cadmio, cobalto, cobre, galio, oro, indio, fierro, plomo, niquel, paladio, platino, plata, estaño, talio y zinc (claro está usado como crisol).

Berilia

La berilia (BeO) con su elevado punto de fusión, buena resistencia al choque termico, conductividad termica muy alta y un elevado grado de inactividad quimica, sería un material extremadamente valioso si no fuera por su costo tan elevado; ello debido a su escases y a su toxicidad. Ya que el berilio y sus compuestos son extremadamente toxicos en cantidades muy pequeñas.

El Grafito

Es un material extremadamente util debido a su inactividad quimica(excepto con el oxigeno a temperaturas elevadas), alto punto de fusión, resistencia regular, la cuál no es afectada por temperaturas elevadas y por su maquinabilidad y conductividad electrica también elevada.

Es muy util principalmente por su maquinabilidad, conductividad termica y electrica elevada cualidades que ningún otro material reúne.

Como el grafito tiene un coeficiente de expansión bajo y una conductividad termica elevada, se puede calentar o enfriar tan rapidamente como se desee, sin peligro de rotura por lo cuál se recomienda para ser usado como crisol, pero tiene la desventaja de que se deshace rapidamente en el aire y a temperaturas elevadas por oxidación y no se puede usar para fundir metales que formen carburos, pero en la fundición de metales tales como el aluminio y el cobre tiene la ventaja de ser minima la adquisición de impurezas provenientes del crisol, se recomienda para la fusión de : Aluminio antiminio, cadmio, bismuto, cobre, galio, oro, indio, talio, plomo, platino, estaño, zinc y germanio; se recomienda para la fusión de metales su uso en forma de crisol, moldes, formas especiales maquinadas.

Magnesia

Es uno de los refractarios más útiles en la investigación, debido a su alto punto de fusión, estabilidad química y economía y se puede obtener fácilmente en el comercio (pero por lo general en una pureza no muy alta ya que contiene considerables cantidades de aglutinante como sílice y arcilla) y estos crisoles en lugar de ser del color blanco de la magnesia pura, presentan un color café, se usa como material de aislamiento térmico en hornos de inducción.

En forma de crisol es útil para la fusión de hierro o acero, debido a su baja resistencia al choque térmico se rompe con facilidad al calentarse o enfriarse rápidamente (esto está presente en el calentamiento por inducción) sus usos principales son : como crisoles, polvo para formar crisoles y para aislamiento de alta temperatura. En forma comercial se puede encontrar como crisol, ladrillo, y otras formas. Como crisol se recomienda para la fusión de los metales indicados para la alumina y además manganeso y tierras raras.

Cal

Se usa raramente como refractario, debido a que no es estable en el aire a temperaturas ordinarias. Sin embargo, es posible usarlo en la fusión de metales altamente reactivos, no presenta ninguna forma comercial y cuando se necesite como crisol hay que fabricarlo ;

quemarlo a una temperatura cercana a los 2000°C y almacenarlo en latas con cubierta sellada que ha sido purgada con un gas inerte seco como el nitrógeno o argón, solo así puede ser mantenido en buen estado hasta el momento de ser usado.

Carburo de silicio(SiC)

Es un material refractario conocido con el nombre de carbofrax o crystolon. En estos materiales se usa arcilla como aglutinante que mantiene unidas las partículas de carburo de silicio de una manera parecida al grafito-arcilla que se vera posteriormente, debido a su naturaleza semimetálica estos refractarios tienen una elevada conductividad térmica (mucho más elevada -- que la mayoría de los refractarios), se usa principalmente como partes de horno y como núcleos, su forma comercial es como ladrillo y muflas; no se usa como crisol.

Grafito-arcilla

Se usa mucho como material de crisol para la fusión de metales no ferrosos, donde es posible obtenerlo en una gran variedad de formas y tamaños. Es una combinación de grafito y arcilla donde el grafito se mantiene unido por una red de arcilla. En este material se conjunta la conductividad térmica elevada del grafito con la flexibilidad y resistencia de la arcilla. Debido a esto no se oxida tan rápidamente como el grafito puro

y no está sujeto al choque termico como la arcilla quemada pura, por lo cual lo hace un material muy util para ser empleado en la fundición de una gran variedad de metales que no corroen facilmente al carbón. Además de que es posible encamisar el interior de crisol con cemento de magnesia y usarse para fundir metales que formen rapidamente carburos o que disuelvan el carbón tales como el hierro y el niquel.

Se encuentra comercialmente en forma de crisol y se recomienda para la fusión de : aluminio, antimonio, bismuto, cadmio, cobre, galio, oro, indio, plomo, plata, talio, zinc y germanio.

Arcilla quemada (xAl_2O_3 y SiO_2)

No se emplea mucho en forma de crisoles, sin embargo, debido a su baja conductividad termica se usa mucho como ladrillo refractario, además de su costo relativamente bajo, su resistencia al choque termico es un poco menor que el del grafito-arcilla y se puede trabajar hasta una temperatura de $1600^{\circ}C$, en forma comercial se puede encontrar como ladrillo, partes de horno y crisoles; pero no se recomienda para ser usado como crisol para tener fundidos de alta pureza.

Tercod(carburo de silicio-grafito)

Tiene propiedades similares al grafito-arcilla. Los crisoles de tercod como no contienen arcilla de unión, son preferidos en algunos casos a los de grafito-arcilla.

Se usan principalmente en la fusión de metales no ferrosos, en forma de crisoles y se recomienda para la fusión de los mismo metales indicados para el grafito-arcilla.

Circón($ZrSiO_4$)

Este es uno de los materiales que más frecuentemente deben ser usados como crisol debido a una combinación de propiedades, ya que está caracterizado por un punto de fusión muy elevado, un coeficiente de expansión termica bajo y un costo moderado. Su bajo coeficiente de expansión termica trae como consecuencia una excelente resistencia al choque termico, lo que lo hace ser un material atractivo para la fusión por alta frecuencia, se usa para la fusión de metales, como tubos para trabajo en vacío o en atmosfera controlada y se le encuentra en forma de crisoles, ladrillos y partes de horno. Se recomienda para la fusión de : Cromo, cobalto, oro, iridio, hierro, níquel, paladio, platino y rodio.

Tomando en cuenta lo anterior, o sea conociendo - los materiales que pueden ser usados en la construcción del horno, en base a sus propiedades, usos y costos, se concluyó que el horno debería estar construido por dos tipos de material :

Un material debe ser un buen aislante termico con el fin de que las perdidas de calor sean minimas y con ello se pueda fundir más rapidamente, además de que se pueda trabajar a elevada temperatura (aproximadamente a unos 1600°C) en caso de fundir acero (por lo general en éste horno se va a trabajar con una mezcla de aire-gas o sea con temperaturas no mayores a 1200°C , pero como se vió anteriormente con inyección de oxigeno se puede alcanzar la temperatura necesaria para fundir hierro), por lo cual se prevee que el refractario soporte dicha temperatura, considerando éste punto de vista se pueden tomar en cuenta varios materiales tales como la alumina, la cal, la magnesia, la arcilla quemada; debido a que todos ellos tienen una conductividad termica baja por lo cual nos pueden servir como buenos aislantes termicos, debido a esto se seleccionó la arcilla - quemada con una composición de 43.5% de alumina y 52.5 de silice (que comercialmente se le conoce como como 42 m por A.P.Green) debido a que es el de menor conductividad termica que los demás, tiene mejor resistencia al

choque termico que la magnesia o la cal, pero menor que la alumina, además de que es relativamente más barato que ésta.

Con éste material se construyeron las paredes y las bases inferior y superior del horno.

Por lo que respecta al material del crisol, en éste caso buscamos una buena resistencia al choque termico, además de una conductividad termica elevada con el fin de que el material que se funde se caliente más rápido, en el caso del crisol existen varios materiales que pueden ser seleccionados tales como el tercod, el grafito, el grafito-arcilla, cualquiera de los tres puede ser seleccionado indistintamente pero de preferencia el grafito que es el que tiene mayor conductividad termica y temperatura de fusión, pero también se puede usar uno de tercod que no tiene tan buena conductividad termica como el grafito pero sin embargo es bastante más economico.

El crisol se encuentra fijo al horno por su parte inferior al pedestal por medio de cemento refractario que tiene un contenido de 32% de alumina (del cual se recomienda por el fabricante usar 150 kg para colocar una cantidad de 1000 ladrillos).

Nota : el ladrillo refractario usado 42-M tiene un cono pirometrico Orton 33-34 o sea 1745-1760°C.

3.3.- Metodos de fabricación de los crisoles

Existen dos metodos principales para fabricar los crisoles en el laboratorio, prensado y colada por escurrimento.

No se recomienda el metodo de colada por escurrimento a menos de que se cuente con cierta experiencia en suspensiones para colada por deslizamiento (un lodo ligero de refractario en agua con ciertos agentes de suspensión) o con el consejo de un ceramista.

La primera etapa de la colada por deslizamiento consiste en suspender cierta cantidad maxima de refractario finamente dividido en agua (algunas veces otros liquidos) con la ayuda de varios agentes de tal manera que no resulte la mezcla demasiado diluida para poder colarse. La suspensión se vacia luego dentro de un molde de yeso de París o yeso mate seco, que tenga las mismas dimensiones exteriores del crisol (tomando en cuenta la contracción). El yeso extrae el agua de la suspensión en la interfase suspensión-yeso y se forma luego una capa ceramica densificada y humeda mientras que en el interior está aún delgada y fluida. Con unas cuantas pruebas se encuentra el tiempo necesario para tener un espesor adecuado, y el remanente de la suspensión fluida se vacia dejando un cascarón ceramico adherido al molde. Después de varios minutos de secado, el crisol humedo se encoge lo suficiente, apartandose tanto

del molde como para poderlo retirar de ahí con mucho cuidado.

Cuando se elimina toda la humedad por haber estado un tiempo largo al aire o por un secado lento en una estufa, se puede quemar el crisol a una temperatura adecuada, en donde pasa a ser duro y resistente, listo para ser usado.

Prensado

Existen dos técnicas principales para el prensado de crisoles :

- 1.- Prensado en molde de acero
- 2.- Estampado dentro de un crisol de grafito.

En el primer método se usa un dado de acero tal como el que se ilustra en la figura 14 :

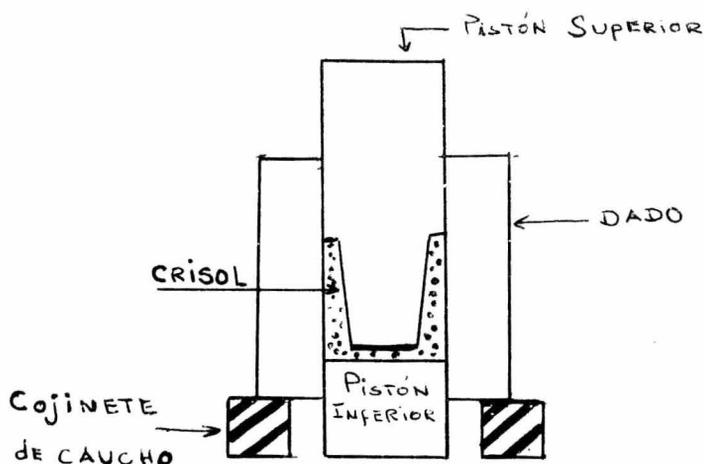


Figura 14 Dado de acero para el prensado de crisoles.

Se introduce una parte del pistón superior dentro del dado y el conjunto se invierte de modo que el extremo inferior del pistón quede hacia arriba. Se debe procurar que el pistón sobresalga del dado colocando éste sobre un hoyo en un bloque de madera. El dado así se encuentra dispuesto para recibir la carga de polvo cerámico.

A diferencia de los materiales plásticos, tales como la arcilla, los óxidos refractarios casi puros (como el Al_2O_3 o el MgO) no tienen propiedades plásticas en ellos mismos. Es muy conveniente y frecuentemente necesario, añadir un lubricante al polvo duro, lo que permite al refractario fluir bajo la presión dentro de cada esquina del molde. Esto se lleva a cabo rodeando cada grano de polvo con un lubricante adecuado.

Tales lubricantes son generalmente compuestos orgánicos solubles en agua, como el Carbowax 4000 (un polietilén glicol), del 5 al 10% en peso, Ceremul C u otras composiciones adecuadas, de las cuales existen muchas. Los lotes que contienen lubricantes deben de estar siempre bien mezclados, después secados. El polvo está preparado para usarse o almacenarse.

El pistón inferior se introduce después de apisonar y nivelar el polvo y de eliminar con una brocha el exceso de los lados del dado.

En seguida se coloca el conjunto del dado en una prensa hidraulica, Tal como una de laboratorio de 10 a 20 toneladas, operada a mano, y se aplica una presión de 5 a 30 ton/in². El crisol preparado asi se puede -- forzar hacia afuera del dado haciendo presión sobre el pistón superior, mientras se apoya el fondo del dado -- sobre un bloque de acero o sobre un anillo alto, de modo que salga en primer lugar el pistón inferior seguido del crisol. Si se maquina un ligero saliente en la pulgada o algo asi del fondo, ésto ayudara en la extracción del crisol al emerger el dado. Por el uso de presión aplicada simultaneamente sobre ambos pistones, se obtiene una tecnica de prensado de acción doble, lo cual permite, esencialmente, un movimiento igual del pistón en ambos extremos del crisol y minimizara las fracturas obteniendose una compactación y densificación más uniforme del cuerpo ceramico. Si el pistón inferior fuera nivelado con el fondo del dado y la presión se aplicara en éste y el pistón superior solamente, las paredes del crisol quedarian compactadas grandemente, pero no se tendra ninguna compactación o se tendra muy nequeña en el fondo del crisol, resultando asi una estructura muy debil y gredosa en el fondo. El cojinete de caucho o resorte del fondo del dado, es un metodo factible --

para mantener el pistón inferior en una posición de partida apropiada para el prensado, pero que permitiría el movimiento relativo entre el dado y el pistón durante la aplicación de la presión. Actualmente una vez que se ha iniciado el prensado se desarrollan en la pared del dado fuerzas de fricción suficientes para mantener el dado en su lugar, previniendo que éste caiga sobre el pistón inferior. Si se desea el crisol podría prensarse en la posición invertida en el pistón "superior", que sería el más bajo. Se han realizado varios refinamientos tales como el de la figura 15 :

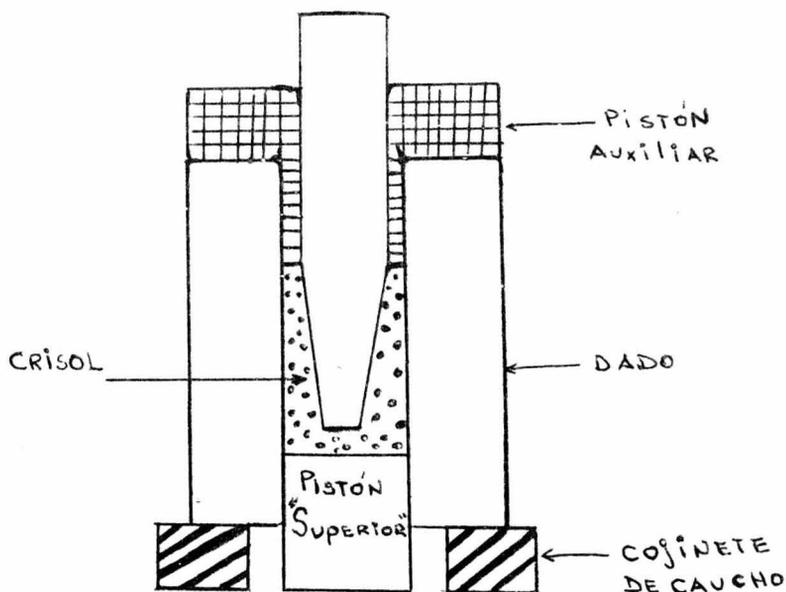


Figura 15 Dado de acero para el prensado de crisoles

Aquí el diametro exterior del crisol se anisona, para permitir su facil extracción y se usa un anillo separado de modo que la presión se aplica independientemente a las paredes o al fondo del crisol. Tales refinamientos no son generalmente necesarios, pero si de valor cuando se tiene que trabajar con polvo refractario que no se mantiene conglomerado o cuando se requiere de una densidad de prensado fuera de lo común. Se llena el dado en la posición invertida, como antes pero con el anillo C mantenido a una corta distancia del dado D. Al introducirse el pistón inferior B, se puede aplicar la presión primero al anillo C, como se muestra en la figura 15, se previene a ésta de un movimiento posterior dentro del dado (y corte dentro de la pequeña saliente conica) por la saliente. Se puede aplicar la presión después, como anteriormente a los pistones A y B, asegurando una consolidación a lo largo de los dados y el fondo del crisol. Cuando se ha logrado la presión apropiada se extraen con la mano el pistón A y el anillo C y se empuja el crisol facilmente hacia afuera del extremo ancho del dado.

Estos dados deben construirse con acero para herramienta, de preferencia un acero endurecido al aceite no deformable, o si su uso es grande, el desgaste debido a los polvos refractarios abrasivos puede constituir un factor importante y ser preferible entonces un acero de alto carbón, alto cromo. Se usa frecuentemente un recubrimiento duro de cromo, tanto para combatir el desgaste como para prevenir la corrosión.

La dureza del dado debe ser aproximadamente de 40 a 45 Rc y para los pistones debe ser de 60 Rc ésta diferencia de durezas tiende a prevenir la irritación y la fractura frágil de los dados con los fragmentos sueltos.

Después del prensado y extracción, los crisoles están listos para quemarse a una temperatura adecuada, dependiente de la composición.

Tamaños de las partículas de los polvos cerámicos:

No se pueden dar reglas rigurosas e invariables acerca de la partícula y distribución de tamaños para polvos refractarios en la fabricación de artículos preparados por medio de prensado. En general parece dar buenos resultados un tamaño de alrededor de 200 mallas sin embargo, en cualquier tamaño nominal de red hay presente un intervalo de tamaños, tal como -100, +200 que indica que todas las partículas pasan a través de una red de 100 mallas, pero no a través de otra de 200.

Este metodo de compra de polvos refractarios no es usual, pero constituye la regla al comprar polvos metalicos. Al fabricar crisoles prensados se prefiere un intervalo de tamaño de particulas, para asegurar una densidad de procesamiento alta, cuando menos, se deberia usar más bien un material grueso y otro fino. Al prensar - crisoles de tamaño relativamente grandes, conviene alguna particula gruesa o aglomerada cuyo tamaño se aproxime al espesor de la pared, ya que ésta ayuda a la -- formación de un cuerpo más fuerte y resistente al choque termico. A tales particulas en la industria ceramica se les da el nombre de "grog".

Apisonamiento

Es el segundo metodo para fabricar crisoles en el laboratorio y se efectua como sigue :

Aqui el dado se hace de grafito , y el nucleo o pistón con un metal facilmente maquinable, como el laton. Como en el metodo anterior , se introduce el pistón en - el collar del dado, se invierte el conjunto y se vacia dentro de él el polvo ceramico previamente tratado con lubricante. Sin embargo, en este metodo, se coloca el polvo en el espacio entre el dado y el pistón, alimentandolo poco a poco y distribuyendolo en su lugar, apisonando con un rodillo o palo, para empaquetar el polvo -

en su sitio. Si se puede tener a mano un peugeño mar-
tillo de aire, será muy util para tal proposito pero
no es realmente necesario. También se puede vibrar -
el polvo en su lugar con un vibrador electrico. Cuan-
do se ha colocado suficiente polvo como para formar
un fondo de crisol de espesor adecuado(escuadrado -
con una herramienta del tipo abocardador construida
para acoplar con grafito), se vierte una capa termi-
nal de grafito sobre el fondo del crisol y se retira
el pistón tal como se muestra en la figura 16 :

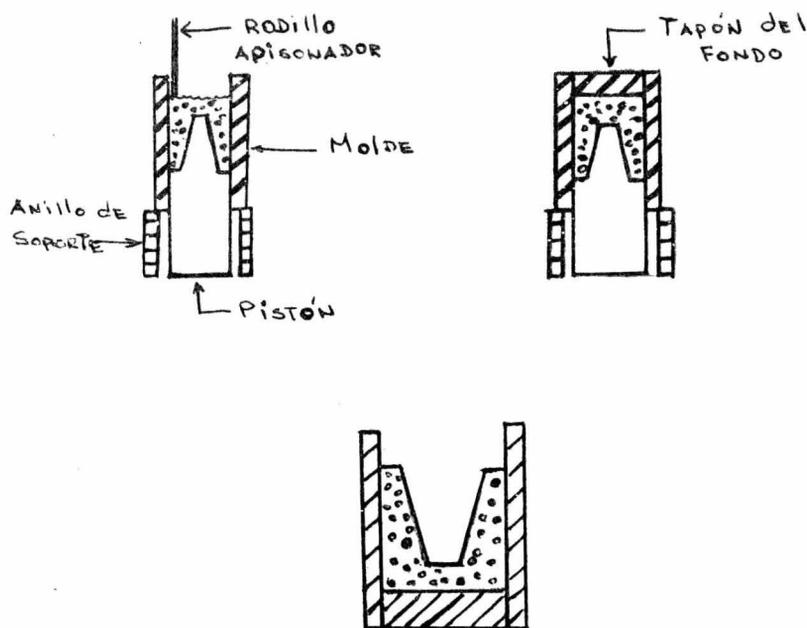


Figura 16 Etapas en el abisonado de un crisol

Y el procedimiento desde aquí, es idéntico al descrito anteriormente para el crisol prensado en dado de acero. Esta es una técnica más barata y fácil que la primera, pero también tiene sus limitaciones. La temperatura para el quemado de MgO está limitada entre 1600 y $1800^{\circ}C$, para evitar una reacción excesiva con el grafito. El producto final, aunque aceptable para la mayoría de los casos, no es dimensionalmente satisfactorio como la técnica del dado de acero. La remoción del crisol del dado de grafito es simple, ya que durante el quemado ocurre un encogimiento suficiente que permite que el crisol caiga afuera del modelo. Por esta razón si se usa el pistón de grafito, no se puede dejar dentro del crisol durante el quemado, ya que, al encogerse, se apretará alrededor del pistón, y lo romperá.

Antes de usarse, el crisol debe quemarse al aire entre 1000 y $1200^{\circ}C$, para limpiar la contaminación de grafito. Es muy posible combinar las técnicas del apisonado y dado de acero, pero generalmente solo se hace esto con crisoles del orden de 10 cm de diámetro o mayores. Las ventajas son :

- 1.- Que no se requiere de un dado de acero endurecido
- 2.- Se evita el uso de una prensa hidráulica de buen tamaño.

Sin embargo, generalmente el prensado hace un trabajo más nitido que el apisonado o estampado, y para los crisoles más pequeños se prefiere éste método sobre el del estampado, a pesar de su costo elevado vinculado a la construcción de un dado de acero de herramientas andurecido. El apisonado es apenas posible con los crisoles pequeños, si el espesor de la pared es de 6 mm o menor debido a la dificultad de poder tener un instrumento de apisonado que pueda introducirse en este espacio tan pequeño.

Quemado de crisoles

Generalmente los crisoles de laboratorio se fabrican de magnesia, que es el refractario de uso más común en la investigación de metales. Otros materiales tales como el Al_2O_3 y ZrO_2 se manejan de una manera casi idéntica. Como muy pocos laboratorios están equipados con hornos cerámicos de temperatura elevada, se puede utilizar para el quemado un calentamiento por alta frecuencia. El procedimiento adecuado consiste en tener un bloque de grafito maquinado en cerca de 2.5 cm o algo más que el diámetro interior y más alto que el crisol que se va a quemar. Este se coloca sobre un pequeño bloque de MgO previamente quemado en el fondo del crisol de grafito, el cual a su vez se rodea con negro de humo como se ilustra en la figura 17.

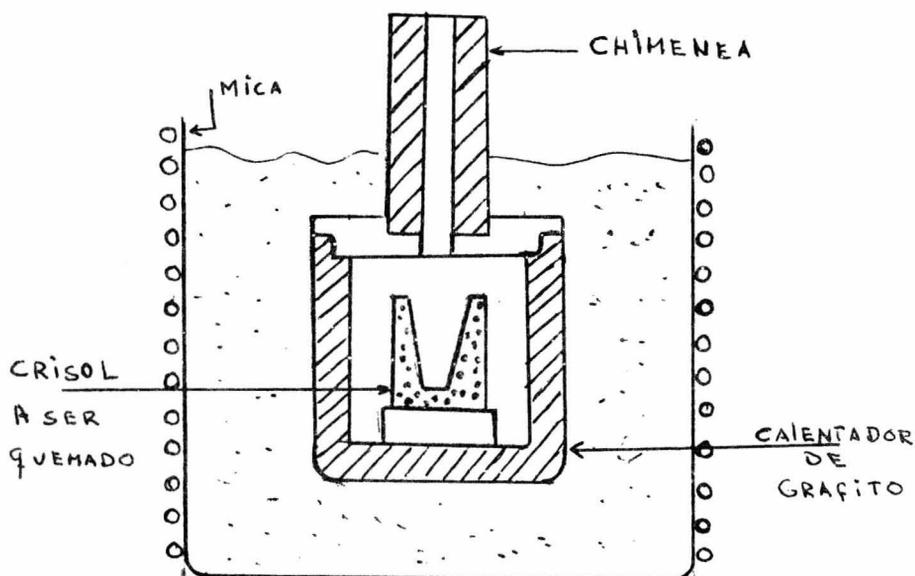


Figura 17 Metodo de inducción de alta frecuencia para el quemado de crisoles.

Para un crisol de 5 cm de diametro exterior, el calentador de grafito deberá ser de 6 a 7 cm interno con un espesor de 6 a 12 mm en la pared. Esto requiere de una espiral de alta frecuencia de 15 cm de diametro, permitiendo que una capa de 2.5 cm de negro de humo rodee completamente el crisol de grafito. El negro de humo tiene dos funciones :

- 1.- Actuar como un aislante termico muy eficiente y
- 2.- Prevenir el grafito de la oxidación.

Para una unidad de ésta magnitud es preferible un generador de alta frecuencia de 20 Kw, pero con uno con la mitad de ésta potencia es suficiente. Se requiere de una chimenea para poder observar el crisol con un pirometro optico, se necesita de una temperatura minima de 1600°C , mantenida durante cerca de 30 minutos, para obtener un crisol bastante poroso, pero adecuado para el trabajo; sin embargo, la temperatura de 1800°C es mucho mejor. Cuando el crisol está suficientemente frio para ser removido se pueden limpiar las adherencias de carbón quemandolo al aire como se señaló anteriormente. Si se cuenta con una unidad de motor-generador de alta frecuencia de 50 a 100 Kw, es posible quemar varios crisoles a la vez apilando uno encima de otro, con placas de separación entre ellos de MgO. Es importante que el objeto de MgO no toque el grafito directamente, ya que éste contacto causaría reacción con el grafito.

Durante el quemado se desprende un humo blanco motivado por la volatilización de algo de MgO y probablemente por alguna reducción a Mg, seguido por -- una reoxidación a MgO (pero no debe importar mucho) -- sin embargo, un exceso de éste humo nos indica que el grafito y el MgO están en contacto directo o que la temperatura es demasiado elevada.

CAPITULO IV CONSTRUCCION Y OPERACION

4.1.- Construcción

A.- Quemador

B.- Horno

Quemador.- como se dijo anteriormente el quemador se encuentra formado por : Ventilador, tubo inyector y tubo mezclador.

El ventilador consta de dos partes : la camara de aire y las aspas. La camara de aire en la parte correspondiente a las tapas está hecha de madera por el hecho de que es un material barato y puede trabajarse facilmente, la cinta que sirve de unión a las tapas es de lamina galvanizada(calibre 30).

Las tapas tienen la forma que muestra la figura 18 :

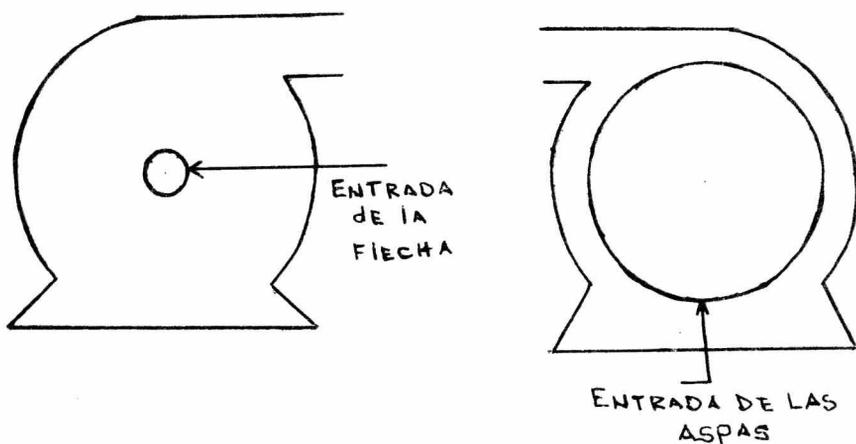


Figura 18 Forma de las tapas del ventilador.

La tapa 2 tiene adaptados dos discos ambos del mismo material; el disco grande tiene un diametro de 28 cm sirve para cubrir la tapa de entrada de las aspas, sobre éste disco va un segundo con un diametro menor(17 cm) con cuatro aberturas que hacen la fun--ción de valvula para el control de la admisión de aire.

La construcción de dicha camara fué relativamente sen'cilla ya que después de tener la idea, la dificultad era unicamente hacer el trazo, el corte y la colocación de la cinta metalica sobre los bordes de las tapas(por medio de tachuelas) y sellado en todo su interior y exterior(con aposil) para evitar fugas de aire.

En la boca de descarga del soplador hacia el tubo inyector lleva unos alerones que tienen por objeto dirgir mejor el aire, tal como se ve en la figura 19 es su forma :

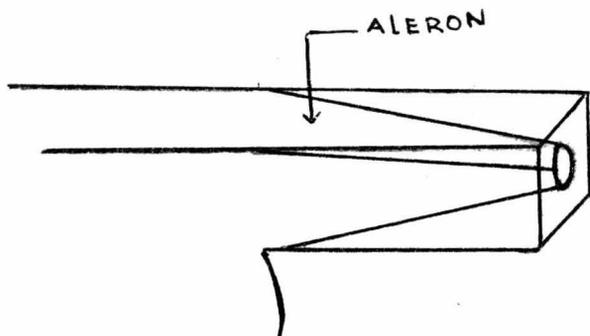


Figura 19 Alerones colocados a la salida del soplador.

La boca de entrada es de un cuadrado de 10 cm por lado y la de salida es otro cuadrado pero de 4 cm de lado

que son las dimensiones de entrada del tubo inyector, ésta tolva está hecha de lamina galvanizada (calibre 30).

Tanto la lamina galvanizada de la cinta como la de los alerones fueron hechos de este material debido a que se puede trabajar con facilidad obteniendo la forma deseada.

Aspas.- las aspas están fabricadas de lamina negra - calibre 20 con la siguiente forma y colocación que se indica en la figura 20.

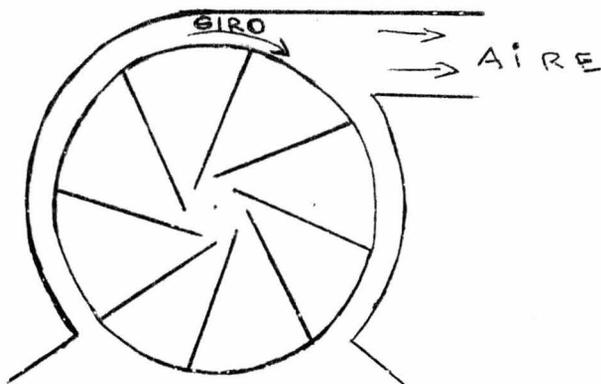


Figura 20 Forma y colocación de las aspas.

Dichas aspas se encuentran remachadas a dos discos paralelos de lamina negra calibre 18 por medio de unas cejillas de 1.5 cm de ancho, cada aspa lleva dos cejilla dobladas a 90° para permitir el ensamble con los discos.

La orientación de las aspas es en base al sentido de sorlo que se desea.

Los accesorios que son el sistema de transmisión fueron contruidos como sigue : La flecha fué torneada de una barra de acero cold rolled, con medidas precisas ya que de otra forma no entran en las chumaceras o al quedar floja provoca vibraciones que nos pueden ocasionar problemas. En uno de sus extremos tiene un roscado de 1/2" de diametro y 1" de longitud, por donde se sujetan las aspas.

La flecha está montada en dos chumaceras que tiene baleros 204 (que son baleros para trabajo sencillo y con una entrada de flecha de 20 mm) y en su parte central la flecha tiene un diametro de 3 cm que permite la entrada de una polea en V (de aluminio) dicha polea entra a presión y además cuenta con un prisionero que no permite que la polea se afloje.

El conjunto de chumaceras, flecha y polea se encuentra fijo a una base metalica que está empotrada al piso y le da la altura de entrada al sorlador, además de que cuenta con una banda en V que es la conexión de la flecha con el motor por medio de una polea doble, que nos permite tener dos velocidades.

Tubo inyector.- es de acero al carbón con un diametro de 1.5", unido al ventilador por medio de soldadura

El tubo mezclador es una T que en su parte late--

-ral tiene el tubo de entrada para la admisión de gas (que tiene un diametro de $5/8''$. Aqui se hace la mezcla aire-gas, a la salida de éste tubo hay una reducción -- que nos permite tener una flama a la distancia adecuada (aproximadamente de 2 a 3 cm del tubo mezclador).

Todo el quemador se encuentra fijo al piso por medio de tornillos.

El Horno.- se encuentra hecho de una chaqueta de a cero de un espesor de $1/16''$ que le sirve como estrcutu ra de soporte, en su interior lleva un revestimiento de ladrillo refractario(silico-aluminoso) dichos ladrillos son de la forma canto 2 y canto 3, unidos por mortero - de alta alumina(65% de alumina), que soporta una tempe ratura de 1760°C , que es su temperatura maxima de tra bajo.

Los ladrillos tienen un cono pirometrico Orton de 33-34 lo que nos indica una temperatura de $1745-1760^{\circ}\text{C}$ lo que nos permite tener un buen margen de seguridad, - ya que nuestra temperatura de trabajo es de aproximada- mente 1200°C . (un cono pirometrico se inclina y se des- hace a una temperatura critica, muchos conos, cuyos pun tos de fusión son diferentes, se colocan sobre una plan cha plana en la posicióñ más conveniente para su obser- vación, se considera que se ha alcanzado el punto extre mo cuando la punta se dobla y toca la base sobre la que está sostenido(ver figura 21)

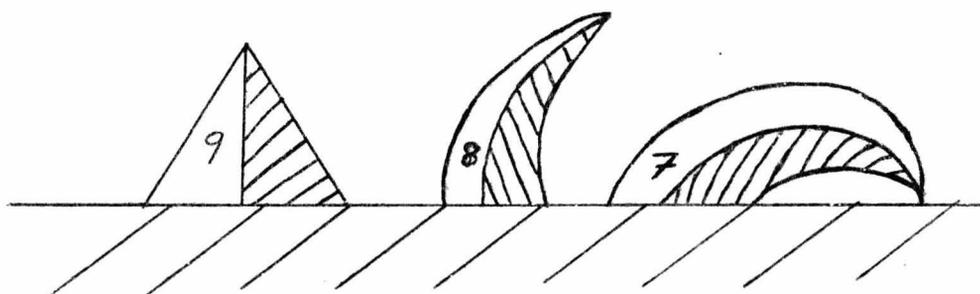


Figura 21 Conos pirometricos (el numero 7 nos indica la temperatura critica).

A continuación damos una clasificación de los conos pirometricos Orton :

CONOS	Grados Centigrados		
022	585	09	930
021	595	08	945
020	625	07	975
019	630	06	1005
018	670	05	1030
017	720	04	1050
016	735	03	1080
015	770	02	1095
014	795	01	1110
013	825	1	1125
012	840	2	1135
011	875	3	1145
010	890	4	1165

Conos	grados C				
5	1180	23	1580	40	1885
6	1190	26	1595	41	1970
7	1210	27	1605	42	2010
8	1225	28	1615		
9	1250	29	1640		
10	1260	30	1650	Los conos 23 a 38	
11	1285	31	1680	se calientan a	
12	1310	32	1700	100 ^o C/ hr	
13	1350	32.5	1725		
14	1390	33	1745	Los conos 39 a 42	
15	1410	34	1760	se calientan a	
16	1450	35	1785	600 ^o C/ hr	
17	1465	36	1810		
18	1485	37	1820		
19	1515	38	1835		
20	1520	39	1865		

El horno en su parte inferior lleva una capa de refractario de 10 cm de espesor y en la parte superior es de un espesor de 4 cm ambos de igual composición que el ladrillo.

El crisol que es de grafito se encuentra sobre una base de refractario de 3 cm de altura.

A 2/3 partes del horno se encuentran 2 pernos que van

a servir para bascularlo. Sobre dichos pernos se colocan dos estructuras metálicas que van a soportar el horno, tales estructuras van remachadas al igual que los pernos.

Todo el conjunto así formado va montado sobre un carro que nos permite moverlo para poder operarlo.

El carro está hecho de una placa metálica de 1/4" (de lamina negra) montado en cuatro baleros 5508 (estos baleros son para trabajo pesado con una doble hilera de balines y con un diametro de entrada de flecha de 40 mm).

Remaches.- hablaremos brevemente de ellos, los tipos de uniones remachadas pueden clasificarse en dos :

a.- Unión a solapo o solape y

b.- Unión a tope

En la primera una de las placas se encuentra encima de la otra y puede estar unida por una o dos filas de remaches. En la unión a tope las placas principales van a tope, unidas a su vez por dos cubrejuntas.

Fila.- una fila es un conjunto de remaches colocados linealmente.

Paso.- el paso de remachado o simplemente paso es la distancia de centro a centro de remache y está dado por la siguiente fórmula :

$$Pr = 2.5 \text{ a } 3.5 D$$

Donde Pr es el paso de remachado y D el diametro del remache.

Paso entre filas.- es la distancia de centro a centro de remache de diferente fila.

Nota : el diametro del orificio donde se va a colocar el remache debe ser 1 mm más grande que el diametro del remache y después del remachado éste llena totalmente - dicho orificio.

4.2.- Operación

La parte de la operación consta de :

- 1.- Encendido
- 2.- Pre calentamiento
- 3.- Carga del horno
- 4.- Fusión y vaciado

Encendido.- el encendido se realiza de la siguiente manera : el disco que controla la admisión de aire - debe estar totalmente cerrado, con lo cual se arranca - el motor por un tiempo aproximado de 10 segundos y se desconecta, se abre la valvula de gas es cuando se enciende el quemador y se vuelve a arrancar el motor(ahora en forma permanente mientras se trabaje). Debido al mezclador en T deben de seguirse las condiciones anteriores, ya que si no se hace de ésta forma puede provocarse una pequeña explosión. La forma correcta se puede ver en la figura 23.

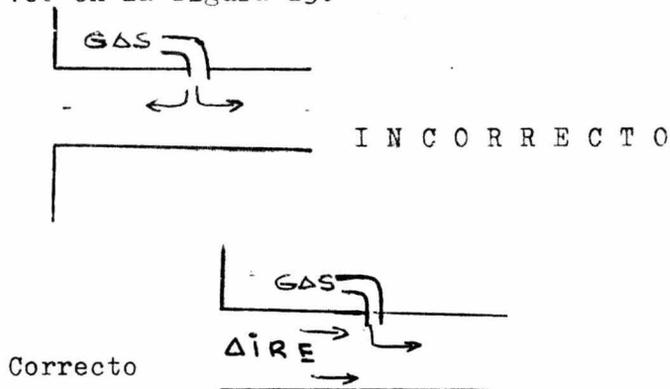


Figura 23 Encendido del horno (la forma correcta con el ventilador en marcha).

Una vez teniendo la flama ya en el quemador, se acerca el horno a una distancia de 2 cm de la boca del quemador y se encienden sus chimeneas (que son 3 colocadas a 120° una de otra).

Pre calentamiento.- como el horno se encuentra frio esto es, el calentamiento del refractario y crisol debe ser gradual con el objeto de evitar un choque termico y aumentar su vida de trabajo, el tiempo de pre calentamiento es de aproximadamente una hora. En los primeros 15 minutos se opera con la minima admisión de aire (valvula cerrada) pasado éste tiempo se puede empezar a abrir la valvula gradualmente, aproximadamente cada 10 minutos hasta llegar al tiempo fijado, una vez llegado éste tiempo, la valvula debe estar totalmente abierta.

Esta etapa es muy importante en la buena marcha del horno ya que si no se hace asi resulta dificil llegar a tener una combustión adecuada, pues tanto el refractario como el aire están frios todavia.

Carga.- en la carga del horno el material a fundir debe ser en trozos pequeños para facilitar su calentamiento, no es recomendable cargar el crisol a toda su capacidad por cuestiones de vaciado, siendo aconsejable hacerlo a 2-3 partes .

Fusión y vaciado.- es ésta etapa el metal pasa al estado liquido, siendo sumamente importante la obtención de una temperatura de vaciado correcta, ya que sá

se vacia un metal o aleación a una temperatura demasiado baja, puede no fluir adecuadamente y no llenar todas las regiones del molde y en el mejor de los casos puede resultar un vaciado con numerosos rechupes, el uso de una elevada temperatura de vaciado, puede conducir a una fusión gaseosa y la formación de burbujas en el vaciado resultante.

A continuación damos algunos tiempos de primera y segunda colada de varios materiales :

Metal	Tiempo de 1a. colada	Tiempo de 2a. colada.
Aluminio	1.5 hrs.	0.5 hrs.
Laton	3.0 hrs.	1.0 hrs.
Pb-Sb	0.5 hrs	0.3 hrs.

Los datos anteriores son para 2 kg. de metal en el caso del aluminio y laton 70-30 y para 25 kg. en la aleación de plomo antimonio.

Conclusiones :

En base a los experimentos realizados podemos decir que éste horno puede funcionar de manera continua entendiéndose por esto, que después de la primera colada puede cargarse inmediatamente dandonos con éstos tiempos relativamente cortos de fusión de las cargas siguientes.

El horno fabricado en el laboratorio tiene un costo relativamente bajo, comparado con los hornos fabricados por casas comerciales, haciendo notar, que si el horno no tiene la presentación y la tecnología, es debido al tiempo y experiencia que dichas casas tienen fabricando éste tipo de hornos.

Este horno tiene la facilidad de que puede ser operado tanto por gas como por combustibles líquidos (haciendo una modificación en la boquilla del quemador por medio de unas espreas).

Aún cuando éste horno fué diseñado para laboratorio puede darnos producciones por ejemplo de 30 kg de aluminio por turno de 8 horas. Tanto la operación como el mantenimiento son relativamente sencillos.

El area de metalurgia física le ha encontrado ya -- una gran aplicación como medio de fusión para el estudio posterior de la solidificación controlada.

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

1. Seybolt y Burke "Tecnicas de metalurgia experimental" Ed. Limusa-Wiley. Méx. 1969
2. Schuhmann, Reinhardt. "Ingenieria metalurgica" Ed. Continental Méx. 1968
3. Perry & Chilton "Chemical engineers' handbook" 5th. Ed. McGraw-Hill
4. McCabe & Smith "Unit operations of Chemical Engineering" Ed. McGraw-Hill 1965
5. Raymond A. Higgins "Ingenieria metalurgica" Tomo I Ed. C.E.C.S.A. 1971
6. Raymond A. Higgins "Ingenieria metalurgica" Tomo II Ed. C.E.C.S.A. 1971
7. W. Trinks "Industrial Furnaces" Tomo I Ed. M.H. Mawhinney 1971
8. W. Trinks "Industrial Furnaces" TomoII Ed. M.H. Mawhinney 1971