



6
24

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
ARAGON

"Estudio para elevar la eficiencia de los
hornos de crisol de la ENEP-Aragón"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

CESAR ADELFO CHAVEZ ALVARADO

México, D. F.

1988.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	PAGINAS
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I	
PRINCIPIOS PARA LA CONSTRUCCION DE UN HORNO DE CRISOL..	4
I.1 CLASIFICACION GENERAL DE LOS HORNOS PARA FUSION DE METALES.....	4
I.1.1 LA RELACION DEL CRISOL CON LOS DIFERENTES SISTEMAS DE FUSION PARA METALES.....	5
I.1.1.1 EL CRISOL EN LA FUSION POR INDUCCION ELECTRICA.	5
I.1.1.2 EL CRISOL EN LA FUSION POR RESISTENCIA ELECTRICA.....	6
I.1.1.3 EL CRISOL EN LA FUSION POR ARCO ELECTRICO.....	7
I.2 HORNOS DE CRISOL.....	9
I.2.1 CLASIFICACION DE LOS HORNOS DE CRISOL.....	9
I.3 CLASIFICACION DE LOS CRISOLES.....	12
I.3.1. FUSION A CRISOL.....	12
I.3.2 BUSQUEDA DE EFICIENCIA EN LA FUSION A CRISOL...	14
I.3.3 CARACTERISTICAS DE LOS CRISOLES.....	15
I.4 MATERIALES REFRACTARIOS.....	16
I.4.1 CLASIFICACION DE LOS REFRACTARIOS.....	16
I.4.1.1 REFRACTARIOS ACIDOS.....	16
I.4.1.2 REFRACTARIOS BASICOS.....	17
I.4.1.3 REFRACTARIOS NEUTROS.....	17
I.4.2 PROPIEDAD DE LOS REFRACTARIOS.....	17
I.4.3 CLASIFICACION GENERAL DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS.....	18

	PAGINAS
I.4.4 CONO PIROMETRICO.....	18
I.5 SELECCION DEL MATERIAL REFRACTARIO.....	21
I.5.1 TUNEL DE COMBUSTION Y CAPA SUPERIOR DEL PISO DEL HORNO.....	21
I.5.2 PEDESTAL DEL CRISOL Y PAREDES VERTICALES DE LA CAMARA DE COMBUSTION.....	21
I.5.3 CAPA INFERIOR DEL PISO DEL HORNO Y CAPA EXTE- RIOR DE AISLAMIENTO DE LAS PAREDES VERTICALES DEL HORNO.....	22
I.5.4 CUBIERTA EXTERIOR DEL HORNO.....	22
I.5.5 MATERIAL REFRACTARIO PARA EL REVESTIMIENTO DEL HORNO.....	22
I.6 COMBUSTIBLES.....	26
I.6.1 CLASIFICACION DE LOS COMBUSTIBLES.....	26
I.6.1.1 COMBUSTIBLES SOLIDOS.....	27
I.6.1.1.1 CLASIFICACION DEL CARBON.....	27
I.6.1.2 COMBUSTIBLES LIQUIDOS.....	28
I.6.1.2.1 PROPIEDAD DE LOS COMBUSTIBLES LIQUIDOS.....	29
I.6.1.2.1.1 VENTAJA DE LOS COMBUSTIBLES LIQUIDOS SOBRE LOS SOLIDOS.....	29
I.6.1.3 COMBUSTIBLES GASEOSOS.....	30
I.6.1.3.1 CARACTERISTICA DEL GAS NATURAL Y GAS LICUADO DE PETROLEO.....	31
I.6.1.3.2 VENTAJA DE LOS COMBUSTIBLES GASEOSOS.....	31
I.7 QUEMADORES.....	32
I.7.1 REQUISITOS DE UN QUEMADOR.....	32
I.7.2 QUEMADORES QUE UTILIZAN COMBUSTIBLES LIQUIDOS..	33

	PAGINAS
I.7.2.1 EXIGENCIAS DE UN QUEMADOR.....	34
I.7.2.2 CLASIFICACION DE ATIMIZADORES DE ACEITES COM- BUSTIBLES.....	34
I.7.3 QUEMADORES QUE UTILIZAN GAS COMO COMBUSTIBLE...	37
I.7.3.1 CLASIFICACION DE QUEMADORES DE GAS.....	38
I.7.3.2 CLASIFICACION DE QUEMADORES, SEGUN LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS (DGN).....	41
 CAPITULO II	
PRESENTACION DE ALTERNATIVAS.....	47
II.1 MATERIALES REFRACTARIOS.....	48
II.1.1 BASE DEL HORNO.....	48
II.1.2 PARED DEL HORNO.....	51
II.1.3 PEGADO DEL LADRILLO.....	53
II.1.4 REVESTIMIENTO.....	55
II.1.5 TAPA DEL HORNO.....	56
II.2 CRISOL.....	58
II.3 QUEMADORES.....	62
II.4 COMBUSTIBLES.....	64
 CAPITULO III	
DISCUSION Y ANALISIS DE LA MEJOR ALTERNATIVA.....	67
III.1 BASE DEL HORNO.....	67
III.2 PARED DEL HORNO.....	68
III.3 PEGADO DEL LADRILLO.....	69
III.4 REVESTIMIENTO DEL HORNO.....	70
III.5 TAPA DEL HORNO.....	71

	PAGINAS
III.6 CRISOLES.....	73
III.7 COMBUSTIBLES.....	75
III.8 QUEMADORES.....	76
III.9 COSTO DEL HORNO.....	77
III.10 DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA REFRACTARIA..	79
III.10.1 TRANSMISION DE CALOR A LA SUPERFICIE DEL CRISOL	79
III.10.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA CAMARA DE COMBUSTION...	81
III.10.1.2 PLANTEAMIENTO DE LAS ECUACIONES PARA EL CALCULO DEL CALOR TRANSMITIDO EN LA CAMARA DE COMBUSTION.....	83
III.10.1.3 CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL CRISOL....	85
III.10.1.4 CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA DE LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTION CONTENIDOS EN LA CAMARA.....	86
III.10.2 CALOR TRANSMITIDO POR RADIACION.....	87
III.10.2.1 CALCULO DE A_1	88
III.10.2.2 CALCULO DE A_R	90
III.10.2.3 CALCULO DE F_{R1}	91
III.10.2.4 CALCULO DE LA LONGITUD DE LA TRAYECTORIA DE RADIACION.....	93
III.10.2.5 CALCULO DE LAS PRESIONES PARCIALES DEL BIOXIDO DE CARBONO (CO_2) Y EL VAPOR DE AGUA CONTENIDOS EN LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTION.....	94
III.10.2.6 DETERMINACION DE ϵ_c (TRAYECTORIA SIMPLE).....	95
III.10.2.7 DETERMINACION DE ϵ_w	96
III.10.2.8 DETERMINACION DE ϵ_{2G}	99
III.10.3 CALCULO DE LA ENERGIA TRANSMITIDA POR RADIACION	103

III.10.4	CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA DE LA PARED INTERIOR DEL REVESTIMIENTO DE MATERIAL RE-FRACTARIO.....	103
III.10.5	ENERGIA TRANSMITIDA POR LOS MECANISMOS DE CONVECCION Y CONDUCCION.....	104
III.10.6	CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CALOR.....	105
III.10.7	CALCULO DEL GASTO DEL GAS NATURAL (P= 1 Kg/cm ² y T= 20°C), REQUERIDO POR EL HORNO DURANTE LA FUSION.....	111
III.10.8	CALCULO DE LA EFICIENCIA (η) TERMICA DEL HORNO.....	112
III.10.9	CALCULO DEL GASTO DEL GAS NATURAL (P= 1 Kg/cm ² y T= 20°C), REQUERIDO PARA MANTENER EL METAL FUNDIDO A TEMPERATURA DE VACIADO	112
CAPITULO IV		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		114
IV.1	CONCLUSIONES.....	114
IV.2	RECOMENDACIONES.....	116
ANEXO 1.....		123
ANEXO 2.....		125
ANEXO 3.....		127
ANEXO 4.....		130
BIBLIOGRAFIA.....		132

INTRODUCCION.

INTRODUCCION

El desarrollo de la fusión a crisol, es una historia típica en la búsqueda por el hombre de nuevos métodos para mejorar su bienestar y la manera de desenvolverse en la vida.

Se tiene noticia que el arte de fundir metales fué primeramente descubierto por la inclusión accidental de venas de cobre en las piedras formando un horno primitivo. Un plato prehistórico descubierto por Egiptólogos con antigüedad de aproximadamente 900 A.C., es evidencia temprana, de como el hombre primitivo había usado su conocimiento de alfarería, para producir un pequeño recipiente y fundir en él.

Un crisol de la novena dinastía (3000 años A.C.), consistía en un material con una gran proporción de material vegetal, el cual, al carbonizarse, proporcionaba la porosidad y conductividad térmica necesaria para reducir rajaduras, un precursor del crisol de plombagina (grafito).

En el año de 1556, alfareros y ensayadores hacían crisoles de arcilla grasa los crisoles se calentaban a fuego lento para que la humedad se evaporase y seguidamente se sometían a fuego rápido, a fin de ponerlos al rojo y llegar a la temperatura necesaria para fundir metales.

Durante los siglos siguientes, los crisoles se siguieron haciendo de arcilla y no hubo cambio fundamental en la tecnología, hasta fines del siglo XVIII. Hechos en Alemania e importados a Inglaterra vía Holanda, estos crisoles alcanzan mejores resultados, pero todavía la vida del crisol era muy baja comparada con la de hoy en día. (3)

Con respecto a la instalación de un horno de crisol, se ha encontrado en términos generales que el horno de piso es -- más económico, por ejemplo:

Horno de piso 1
Horno de reverbero 2
Horno eléctrico de inducción (baja frecuencia) 2.75
Horno de arco directo 4.75
Horno eléctrico de inducción (sin núcleo, de alta frecuencia) 16

Es decir, se está tomando como base al horno de piso, la instalación de un horno de reverbero cuesta el doble que el primero, el de inducción (baja frecuencia) 2.75 veces más y así sucesivamente hasta llegar al horno eléctrico de inducción -- que su instalación vale 16 veces más que el horno de piso. - (Datos recabados por Pinete Morales Guillermo "Hornos de fusión")

OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO.

El propósito de esta tesis, no es construir un horno de piso en estos momentos con los mejores adelantos tecnológicos en equipos y materiales, por que esto nos acarrearía un desembolso de muchos miles de pesos. Hoy en día no nos podemos dar ese lujo, por el contrario, debemos aprovechar al máximo todo lo que aun se tiene, haciendo las reparaciones pertinentes para elevar así la eficiencia del horno.

El horno de crisol en el cual se hará el estudio para este -- trabajo, será más que nada de tipo didáctico, es decir, el -- alumno de alguna de las materias de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Diseño Industrial podrán despejar sus dudas referente a la teoría, sobre el manejo y cuidado de un horno de piso.

El trabajo que a continuación presentamos, constará de cuatro capítulos, los cuales son:

Principios para la construcción de un horno de crisol, en este primer capítulo, trataremos de dar una visión general de los hornos de fusión de metales que utilizan crisoles; los tipos de materiales que se utilizan para la construcción de un horno (ladrillos, morteros, concretos, crisoles, etc.), el equipo (quemadores) y los diferentes combustibles con todas sus características.

En el segundo capítulo presentaremos las alternativas en calidad y precios de los diferentes materiales y equipos para la construcción de un horno de piso. El capítulo se basará más que nada en investigación directa con asesores técnicos de diversas compañías.

Para el tercer capítulo, se hará una discusión basada en la información que se muestra en el capítulo II, la cual, busca-

rá mostrar las diferentes alternativas, resaltando la mejor.

El análisis anterior, abarcará también el horno que actualmente se encuentra en el laboratorio de la ENEP-Aragón.

Haremos un estudio para el dimensionamiento del horno de crisol, que incluirá operaciones, gráficas y dibujos para el mejor entendimiento del trabajo.

Por último, en el cuarto capítulo, daremos las conclusiones y recomendaciones que consideramos pertinentes durante la bds--queda de información, hasta llegar a la mejor alternativa en el capítulo III.

CAPITULO I.

CAPITULO I

PRINCIPIOS PARA LA CONSTRUCCION DE UN HORNO DE CRISOL

Los hornos para fundición son de gran importancia en la industria metalúrgica, el hablar de estos, es entrar a un tema demasiado amplio e interesante, porque existen gran variedad.

A continuación daremos una clasificación general de los hornos para fusión, así como la relación del crisol con los diferentes sistemas de fusión para metales.

I.1 CLASIFICACION GENERAL DE LOS HORNOS PARA FUSION DE METALES.

Los hornos que se usan para fundir metales y sus aleaciones, varían mucho en capacidad y diseño. Van desde los pequeños hornos de crisol que contienen unos cuantos kilogramos de metal, a hornos de hogar abierto hasta de -- 200 toneladas de capacidad.

Los hornos para la fusión de metales pueden clasificarse convenientemente en cuatro grupos principales, según el grado de contacto que tenga lugar entre la carga y combustible o sus productos de combustión.

- a) Hornos en los cuales la carga se encuentra en contacto íntimo con el combustible y los productos de la combustión. El horno más importante de este grupo es el de alto horno.
- b) Hornos en los que la carga esta aislada del combustible pero en contacto con los productos de la combustión. El horno de hogar abierto es el más importante.
- c) Hornos en que la carga se encuentra aislada tanto del combustible como de los productos de combustión. El principal ejemplo de este grupo es el horno que emplea un crisol, que puede calentarse ya sea por coque, gas ó petróleo.

- d) Hornos eléctricos. Los hornos de fusión que emplean electricidad como combustible, pueden ser del tipo arco o de inducción. (1)

De la clasificación anterior, el que nos interesa es el inciso (c), "Hornos en que la carga se encuentra aislada tanto del combustible como de los productos de la combustión". Estos hornos son interesantes cuando se realiza investigación de materiales y no se quieren influencias externas en la fusión de los mismos; por lo tanto, para contar con una infraestructura en futuros proyectos de investigación son importantes, además de que estos funcionan como material didáctico que apoyan las prácticas de futuros ingenieros, por lo anterior y debido a que estas instalaciones ya se tienen en la ENEP-Aragón este tipo de hornos, resultará como objetivo de este trabajo de tesis.

I.1.1 LA RELACION DE CRISOL CON LOS DIFERENTES SISTEMAS DE FUSION PARA METALES.

I.1.1.1 EL CRISOL EN LA FUSION POR INDUCCION ELECTRICA.

Es el método más útil, ya que se puede emplear en el intervalo más amplio de temperaturas y además, es rápido, limpio y conveniente de usar. Entre el espiral y crisol existe un aislamiento térmico formado por una capa de polvo refractario que deberá tener aproximadamente 1.2 cms. de espesor. Sin embargo, justamente, dentro de la bobina se encuentra un aislante eléctrico formado por una capa de mica que impide la formación de un arco entre la espiral y el crisol que sirve, además, como recipiente de polvo refractario. Los crisoles empleados en la fundición pueden ser conductores eléctricos como el grafito-arcilla, grafito, carburo de silicio-grafito o pueden ser no conductores (en el caso de los hornos de inducción) como la magnesia o la alúmina. Ya que el crisol esta más cerca a la bobina de alta frecuencia que la carga misma, se tendrá un calentamiento más eficiente. En este caso el crisol se ca--

lenta por corrientes parasitas generadas por el campo de alta frecuencia, y la carga por inducción y radiación del crisol caliente.

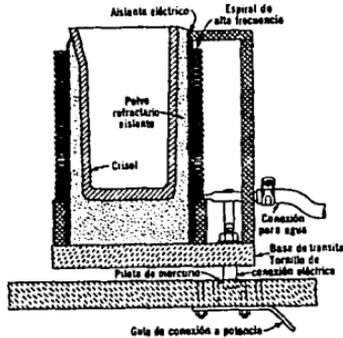


Fig. 1. Horno de inducción.

I.1.1.2 EL CRISOL EN LA FUSION POR RESISTENCIA - ELECTRICA.

Se usan frecuentemente para fundir aleaciones de bajo punto de fusión como el plomo, cinc, estaño, etc. y muy rara vez para metales de punto de fusión elevado, ya que el calentamiento por inducción de alta frecuencia es ordinariamente más conveniente para este fin.

Como no existen gases combustibles en la atmósfera de un horno de resistencia eléctrica, la atmósfera de fusión parece mejor

que la de un horno de gas de mufla abierta y donde los productos de combustión barren las paredes del crisol. Sin embargo, la mezcla húmeda del aire puede causar problemas, aunque no se presenten otros gases.

El alambre de resistencia de 80% de Níquel y 20% de Cromo es el elemento calefactor - más comúnmente usado, pero se utilizan ó disponen de otros elementos para temperaturas elevadas.

Los elementos calefactores más refractarios tales como el platino, aleación N^o 10 kanthal y globar se emplean generalmente para aplicaciones de tratamiento térmico (no de fusión).

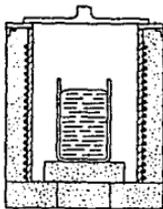


Fig. 2. Horno de crisol, de resistencia eléctrica.

I.1.1.3 EL CRISOL EN LA FUSION POR ARCO ELECTRICO.

Excepto para algunos cuantos experimentos - aislados de fundición de punto de fusión extremadamente elevado, se había usado raramente como un método de laboratorio, hasta que se desarrolló su interés en la metalurgia del titanio.

La reseña anterior ha sido una breve síntesis, de ahora en adelante nos enfocaremos a estudiar más a fondo el horno de crisol.

I.2 HORNOS DE CRISOL.

Los hornos de crisol varían considerablemente en diseño y capacidad, desde los hornos de laboratorios que funden unos cuantos kilogramos de metal, a las unidades industriales, hasta de una tonelada. Los crisoles más pequeños se calientan generalmente en hornos estacionarios colocados en fosos, de los cuales se extraen para vaciar, mientras que los crisoles mayores, generalmente se construyen en una cámara de horno inclinable, oscilando la unidad completa para vaciar la carga. (1)

I.2.1 CLASIFICACION DE LOS HORNOS DE CRISOL.

Se puede definir los tipos diferentes de hornos de crisol como sigue:

- a) Hornos de cuchareo (3). Se emplean estos hornos cuando se necesitan pequeñas cantidades de metal a intervalos frecuentes y se usan principalmente para la fundición a coquillas. Su capacidad va de 50 a 500 kg. de aluminio y de 110 a 330 kg. de latón. Tiempos de fusión máximos hasta 240 kg. de aluminio/hora. El crisol utilizado es del tipo "Jofaina", por facilitar el cuchareo, ya que tiene forma de cazuela.



Fig. 4. Crisol tipo "Jofaina".

- b) Horno basculante. Estos hornos pueden quemar coque, pero actualmente se utilizan con más frecuencia gas ó petróleo. La cámara inclinable consis-

te de una cubierta con ladrillos refractarios pre formados, y en los pequeños, con material refractario apisonado. El crisol se construye dentro de la cámara de combustión con cubierta refractaria y el vertedor se proyecta a un lado del horno.

Estos hornos, generalmente se hacen de manera que pueden balancearse alrededor de un eje que pasa a través del pico vertedor. En esta forma, puede verterse un chorro continuo de metal a una bertura relativamente pequeña. (1)

La capacidad de estos hornos van desde 70 a 750 kg. de latón. Una ventaja de este tipo de horno, es que su cuerpo es desmontable e intercambiable. En el caso de falla del crisol o del revestimiento del horno, puede desmontarse el cuerpo del horno por otro de recambio para comenzar de nuevo.

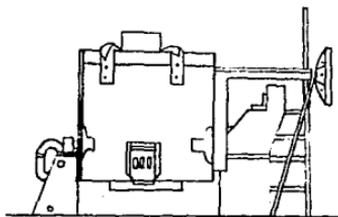


Fig. 5. Horno basculante, eje central.

- c) Otro horno basculante es el que lleva un crisol - tipo Jofaina de forma ancha y abierta, facilita mucho la carga de chatarra pesada, comparada con el crisol alto y más cerrado usados en los hornos basculantes más corrientes. La capacidad de este tipo de crisol va desde 65 a 585 kg. de aluminio ó bien 180 a 1600 kg. de latón. Lógicamente, la Jofaina debe tardar más en fundir el metal debido a la mayor superficie del metal que facilita la pérdida de calor y la menor superficie que se presenta para la transferencia de calor. La mayoría de los hornos basculantes están equipados con quemadores del tipo de aire a baja presión, maneja--

dos manualmente y debido a la naturaleza de la llama, es preciso calentarlos gradualmente para evitar daños al crisol. (3)

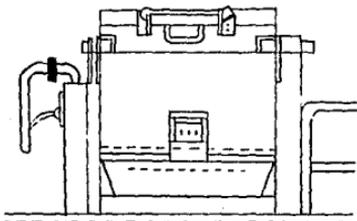


Fig. 6. Horno basculante, eje en línea con el punto de colada.

Para reducir este período de precalentamiento se pueden suministrar los hornos basculantes a Jofaina con quemadores automáticos, similares a los utilizados en los hornos de cuchareo, permitiendo la regulación del ciclo de fusión con un pirómetro sumergido en la Jofaina. El quemador se apaga automáticamente cuando el metal llega a una temperatura predeterminada, lo que elimina el recalentamiento del metal y reduce el consumo del combustible.

- d) Horno de foso. Generalmente son de sección circular. El tiro forzado se utiliza naturalmente, entrando la flama del quemador a la cámara del horno en forma tangencial, de manera que circunde al crisol para formar una trayectoria en espiral. Este mismo fenómeno se presenta en los demás hornos de crisol descritos con anterioridad. Los hornos de foso se utilizan para fundir acero, latón y bronce. La capacidad del crisol varía generalmente entre 15 a 150 kg. de latón. (3)

Tienen la ventaja de ser muy flexibles en lo que se refiere al tipo de aleación a fundir y también la capacidad de ellos. Se pueden emplear distintos crisoles para los diferentes tipos de aleación y hasta cierto punto, se pueden usar diferentes tamaños de crisol en el mismo horno, lo cual es conveniente para la producción. Se suelen insta-

lar estos hornos al nivel del suelo o inmersos en un pozo poco profundo en el caso de tamaños mayores. (3)

I.3 CLASIFICACION DE LOS CRISOLES.

Ya hemos visto una síntesis de los hornos para fusión de metales, con algunas características de los mismos, de ahora en adelante hablaremos acerca de los crisoles, una parte esencial de lo que es el horno en su conjunto.

Los crisoles que se usan en la fusión de metales son:

- a) Metálicos.
- b) No metálicos.

Los crisoles del tipo metálico se usan únicamente para fundir metales de bajo punto de fusión y sus aleaciones (plomo, antimonio, zamac, etc.). Estos crisoles son de acero o fundición de hierro y cuando se usan para magnesio deben inspeccionarse cuidadosamente después de cada fusión.

En la práctica, los crisoles más usados son los no metálicos, debido a la gran demanda que tienen para fundir las aleaciones a base de cobre (bronce, latón, etc.), y son de dos clases:

- 1.- Crisoles de grafito.
- 2.- Crisoles de carburo de silicio.

De la clasificación anterior, los crisoles de carburo de silicio son en particular los más resistentes al ataque de las escorias, así como a los efectos de los choques térmicos. (4)

I.3.1 FUSION A CRISOL.

La fusión a crisol, produce metal fundido de la más alta calidad conocida en la industria. La superioridad sobre los otros procesos se basa en:

- a) Reducción en las pérdidas de metal por fusión. En

el crisol el metal está protegido de todo contacto con la llama y puesto que el crisol es calentado por la parte inferior, las corrientes por convección aseguran un calentamiento y mezclado uniforme. Para un horno de crisol, una pérdida de metal de 1 a 2% podría ser considerada como normal en comparación con los hornos de llama abierta que llegan a tener de 5 hasta 25%.

- b) Mejores condiciones metalúrgicas. En el crisol - el metal fundido esta protegido de la llama y los productos de combustión, lo que reduce considerablemente el peligro de inclusiones de óxidos y absorción de gases. En un horno de crisol el calentamiento uniforme, el buen mezclado, pérdidas reducidas de elementos volátiles y control exacto de temperatura, van asegurando el control exacto de la composición de las aleaciones.
- c) Inversión de capital más baja. Economía en el espacio inicial disponible. El costo inicial de los hornos de crisol son más bajos y ocupan menos espacio -- que otros hornos de capacidad similar. (4)
- d) Facilidad de instalación. Un horno de crisol debe estar anclado con pernos en el suelo, acoplados a los suministros del aire, gas o fuel-oil -- (diesel) o corriente eléctrica y se puede poner en marcha en muy poco tiempo.
- e) Costo reducido de mantenimiento. Reducida pérdida de producción. Los hornos de crisol necesitan poco mantenimiento. Se pueden cambiar fácilmente los crisoles y el reemplazo de revestimiento es - fácil, rápido y barato. (3)
- f) Facilidad para fundir. Pequeñas cargas de composiciones diferentes podrán ser manipuladas fácilmente en hornos de pozo, y las cargas mayores en hornos basculantes.

El utilizar hornos de crisol ya sea del tipo cuchareo, foso o balancín, producen mínimas turbulencias en la superficie del metal fundido. (1)

Los crisoles de carburo de silico tienen una vida -- considerable más larga que los de arcilla-grafito y su conductividad térmica elevada, permite en ocasiones una fusión más rápida, por supuesto son más caros. (5)

I.3.2 BUSQUEDA DE EFICIENCIA EN LA FUSION A CRISOL.

Los fabricantes de hornos y crisoles proveen instrucciones detalladas, pero hay reglas fundamentales que se deben observar siempre:

- a) Almacenar el crisol en un sitio seco y templado a una temperatura de 30 a 40° C.
- b) Colocar la base y el crisol centrados en el horno, verificando que todos los puntos de contacto entre ellos sea completa.
- c) La línea central del quemador debe ser ajustada - con el centro del orificio de la tobera. (3)

Es importante que todas las herramientas esten en buen estado y que las tenazas se adapten perfectamente al crisol.

- d) Incrementar gradualmente la flama del quemador, - de tal manera que el crisol obtenga también gradualmente la temperatura del rojo (800° C).

No se debe mover un horno basculante antes de haber elevado la temperatura al rojo. Si el crisol es calentado rápidamente puede romperse al sufrir éste una expansión súbita (choque térmico) que produce una tensión y puede no ser soportada por la estructura del crisol. Es importante evitar - impacto de la llama sobre el crisol.

- e) Al cargar el crisol con el metal, debe tenerse -- cuidado al no dejar caer grandes pedazos de metal mientras está en el horno.

- f) Nunca deben cargarse en el crisol metales húmedos o mojados, ya que estos al estar en contacto con el metal fundido causan salpicaduras, las cuales pueden quemar al operario que se encuentre cargando dicho material.
- g) Después de cada fusión se debe quitar la escoria del crisol mientras esté aun caliente, utilizando un rascador. El no hacerlo, resultará en la reducción de capacidad, reducción en la transferencia de calor y posiblemente en un fallo prematuro debido a la expansión diferencial de las capas endurecidas de escoria dentro del crisol. Además algunas escorias fácilmente absorben humedad.

I.3.3 CARACTERISTICAS DE LOS CRISOLES.

Todo crisol para fundir metales deberá tener las siguientes características:

- a) Buena conductividad térmica, para ahorrar combustible y tiempo de fusión.
- b) Alta refractariedad, para resistir los cambios rápidos de temperatura.
- c) Resistencia al choque térmico, para poder resistir los cambios rápidos de temperatura.
- d) Resistencia a la oxidación atmosférica, para impedir que el recubrimiento exterior se gaste rápidamente.
- e) Resistencia al ataque químico de óxido y fundentes debido a que las escorias entre otros, reaccionen violentamente con el crisol en la parte superior del metal fundido.
- f) Resistencia a la erosión mecánica por metal sólido y fundido.

- g) Resistencia mecánica a altas y bajas temperaturas para resistir el manejo descuidado.

I.4 MATERIALES REFRACTARIOS.

Los refractarios son, en términos generales, materiales estructurales utilizados en equipos, en los cuales se llevan a cabo procesos a altas temperaturas. Estos se emplean como:

- a) Aislante térmico. Para evitar que se escapen calorías a través de las paredes, ya que si no lo hacemos así, gastaremos mucho en combustible.
- b) Acumuladores de calor. La energía que se produce por el calor en el horno, puede almacenarse en el material refractario, sin que haya deformación alguna de estos.
- c) Conductores de calor. El conducir dentro de la cámara de combustión de un horno, el calor, es otra de las características del refractario, aunque por otro lado, también debe ser mal conductor, por ejemplo en el revestimiento del horno.

Un refractario debe retener su forma, así como una determinada resistencia a la temperatura de operación.

I.4.1 CLASIFICACION DE LOS REFRACTARIOS.

Todos los autores (1, 6 y 7), coinciden en clasificar a los materiales refractarios en: Ácidos, Básicos y Neutros.

I.4.1.1 REFRACTARIOS ACIDOS.

Aquí predomina la sílice SiO_2 , el cual a -- temperaturas altas reacciona con los refractarios, cenizas, escorias o con los fundentes, todos estos básicos, formando silicatos cuyo punto de fusión es inferior al punto de fusión de los dos constituyentes. Por este motivo, no se debe poner en contacto -

en el mismo aparato, refractarios ácidos con refractarios, escorias o fundentes básicos, por que los silicatos fundirán primero antes que el material de interés ó reaccionarán -- permanentemente con las paredes del horno.

I.4.1.2 REFRACTARIOS BASICOS.

En estos predomina el óxido de calcio (CaO) ó de magnesio (MgO), a temperaturas muy altas reaccionan con los refractarios, las cenizas, las escorias o los fundentes ácidos, formando silicatos de un punto de fusión relativamente bajos. En este caso tienen también validez la advertencia del párrafo precedente.

I.4.1.3 REFRACTARIOS NEUTROS.

En estos predominan la alumina (sesquióxido de aluminio Al_2O_3), el Carburundo (Carburo de silicio SiC), la cromita (sesquióxido de cromo Cr_2O_3) ó el grafito (estado alatrópico del carbono C). Se les dá el nombre de Neutros por que no reaccionan de manera sensible con ningún otro tipo de material refractario, cenizas, escorias ó fundentes. (5)

I.4.2 PROPIEDAD DE LOS REFRACTARIOS.

La refractariedad no es suficiente para definir la aptitud de un determinado material que será empleado en los hornos, sino que debe tomarse en consideración otras propiedades no menos importantes como son:

- a) La resistencia a la compresión en frío.
- b) La temperatura de reblandamiento bajo la carga de dos kg/cm^2 .
- c) La dilatación lineal en caliente.
- d) Resistencia a los cambios bruscos de temperatura.

- e) Resistencia a la acción de las escorias, fundentes y abrasión.
- f) La conductividad térmica.

Otros autores (8 y 9) clasifican a los materiales refractarios por las condiciones de trabajo a las que van a ser sometidas. A continuación daremos un vistazo general de la clasificación antes mencionada.

I.4.3 CLASIFICACION GENERAL DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS.

Si damos una clasificación general de los refractarios comenzaremos citando a Pease Cruz, que nos dice, "La arcilla refractaria es sin duda el material de mayor utilización en la fabricación de refractarios. Para condiciones de trabajo severas, en las que los refractarios hechos con arcilla no resisten, se utilizan refractarios de alta alumina". Ambos tipos de refractarios están principalmente constituidos por silicato de aluminio.

Existen otros tipos de refractarios como son: El sílice, la magnesita, la dolomita, la forsterita, algunos compuestos de cromo, la alumina y el carburo de silicio. Para ciertas aplicaciones especiales se fabrican también pequeñas cantidades de otros super refractarios a base de compuestos de berilio, torio y circonio. (10)

I.4.4 CONO PIROMETRICO.

Antes de continuar, quisieramos hacer un breve paréntesis, para mencionar lo que son los conos pirométricos.

La Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (A.S.T.M.), ha estandarizado ciertas pruebas para la determinación del comportamiento de materiales refractarios a altas temperaturas. Estas pruebas son de gran utilidad práctica en la especificación y comparación de diversos productos.

En el caso de las arcillas refractarias y cemento a base de sílice, la temperatura a la cual el material se suaviza, se determina efectuando la siguiente -- prueba:

Se hacen conos de medidas estandarizadas de material de prueba (Ver Fig. 7) y se colocan junto a otros co nos de forma idéntica, pero de composición, comporta miento y clasificación conocida. Estos conos se in troducen en el horno, y comparando su inclinación se puede determinar a que clasificación pertenece el ma terial probado.

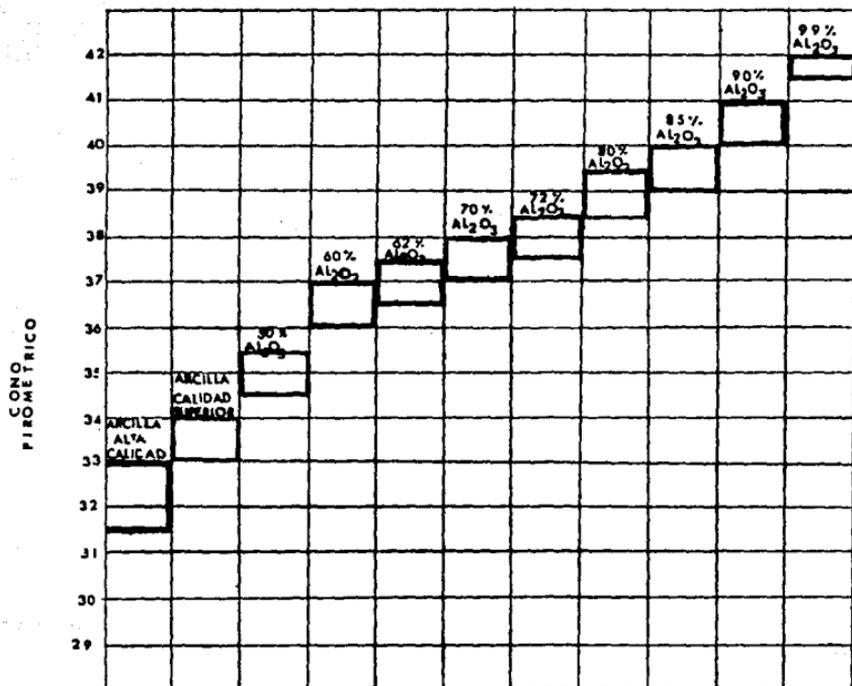
Existen dos sistemas de medición de conos pirométricos: El Seger y el Orton, de los cuales el más comun mente usado es el Orton.



Fig. 7. Prueba de Cono Pirométrico.

En la tabla I que a continuación se presenta, se pue de observar la secuencia de variación de cono piromé trico que va de abajo hacia arriba, de acuerdo con - las diferentes calidades y tipos de refractarios. - Para observar las temperaturas equivalentes a los co nos pirométricos citados en la tabla I. anexaremos - la tabla II.

TABLA I



REFRACTABILIDAD DE LOS LADRILLOS DE ARCILLA Y ALTA ALUMINA EXPRESADA EN CONO PIROMETRICO

TABLA II - EQUIVALENCIA DE TEMPERATURAS DE LOS CONOS PIROMETRICOS

CONO N°	PUNTO DE FUSION	
	°F	°C
12	2440	1335
12-13	2450	1345
13	2460	1350
13-14	2505	1375
14	2550	1400
14-15	2580	1415
15	2605	1430
15-16	2660	1460
16	2715	1490
16-17	2735	1500
17	2755	1510
17-18	2765	1515
18	2770	1520
18-19	2790	1530
19	2805	1540
19-20	2825	1555
20-23	2845	1565
23	2885	1585
23-26	2920	1605
26	2950	1620
26-27	2965	1630
27	2985	1640
27-29	3000	1650
29	3020	1660
29-31	3040	1670
31	3060	1685
31-31 ½	3075	1690
31 ½	3090	1700
31 ½ - 32	3115	1710
32	3125	1715
32-32 ½	3130	1720
32 ½	3135	1725
32 ½ - 33	3150	1735
33	3170	1745
33-34	3185	1755
34	3205	1765
34-35	3225	1775
35	3245	1785
35-36	3260	1795
36	3280	1805
36-37	3295	1810
37	3310	1820
38	3360	1820
39	3390	1865
40	3425	1885
41	3580	1970
42	3660	2115

CONO PIROMETRICO ORTON

Se podrá notar que no aparecen los conos pirométricos de los materiales básicos; esto obedece a que - sus temperaturas de reblandamiento son del orden de 2000° C. hacia arriba o sea, conos pirométricos superiores al cono 42.

I.5 SELECCION DEL MATERIAL REFRACTARIO PARA EL HORNO DE CRISOL.

A continuación se dará la selección de materiales refractarios para el horno de crisol que se está estudiando.

I.5.1 TUNEL DE COMBUSTION Y CAPA SUPERIOR DEL PISO DEL - HORNO.

Para estas aplicaciones es necesario seleccionar un concreto refractario de fraguado hidráulico fácil - de vaciar. La temperatura máxima de operación es - de 1600° C. A este grupo pertenecen los materiales refractarios de alta alumina (60%). (Ver diagrama 1, Figura A).

I.5.2 PEDESTAL DEL CRISOL Y PAREDES PERTICALES DE LA CAMA RA DE COMBUSTION.

Por lo general, estas zonas del revestimiento interior del horno, se utilizan ladrillos refractarios de arcilla de alta calidad. En estas zonas se tienen condiciones muy severas de disgregación ocasionadas por cambios bruscos de temperatura, abrasión y ocasionalmente contacto con metal fundido.

La temperatura máxima de operación es de 1500° C. - aproximadamente y los ladrillos refractarios que se recomiendan son los que contienen alto óxido de almina (50%) ya que soportan altas temperaturas.

El pedestal del crisol deberá de ser de forma cilíndrica cuyo tamaño es el mismo que tenga la base del crisol que se escoja. (Ver diagrama 1, Figuras A y C).

I.5.3 CAPA INFERIOR DEL PISO DEL HORNO Y CAPA EXTERIOR DE AISLAMIENTO DE LAS PAREDES VERTICALES DEL HORNO.

El concreto aislante de fraguado hidráulico y de fácil vaciado es conveniente para esta aplicación. La temperatura de operación de esta zona del revestimiento es de 900° C. aproximadamente. La determinación del espesor óptimo que debe darse a la capa de aislamiento depende en parte, del factor económico.

Si se tiene una capa de aislamiento delgada, la pérdida de calor es grande, pero el costo de aislamiento es reducido. Con una capa de aislante gruesa, se tendrá una pérdida de calor pequeña o sea un costo de energía menor consumida, pero el costo del aislamiento será alto. (Ver diagrama 1, Figura A).

I.5.4 CUBIERTA EXTERIOR DEL HORNO.

La finalidad de la cubierta exterior del horno, es proporcionar al revestimiento refractario una estructura firme y dar protección a este, contra golpes accidentales.

La cubierta del horno se construye de placa de acero. Entre el fondo del horno y el piso es conveniente dejar una separación con el objeto de facilitar las maniobras necesarias para el movimiento del horno.

I.5.5 MATERIAL REFRACTARIO PARA EL REVESTIMIENTO DEL HORNO.

En la construcción de revestimientos refractarios para hornos, destinados a la fusión de materiales no ferrosos, los materiales comunmente usados son:

- a) Arcilla refractaria. Los ingredientes esenciales de la arcilla refractaria, son los silicatos de aluminio hidratados, por ejemplo, la Kaolinita -- $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$.

La fórmula general de estos, corresponde por peso,

al 39.5% de alumina, 46.5% de sílice y 14% de -- agua. A altas temperaturas el agua se evapora y el material resultante consiste de 45.9% de alumina y 54.1% de sílice.

Los diversos ladrillos manufacturados con arcilla refractaria de acuerdo con diferentes proporciones se clasifican en:

- 1.- Por trabajo pesado (Alta resistencia mecánica).
- 2.- Para altas temperaturas.
- 3.- Para temperaturas intermedias.
- 4.- Para bajas temperaturas.

DIAGRAMA 1

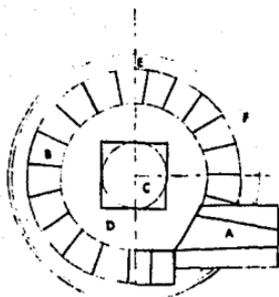


Fig. A. Cuerpo vista superior

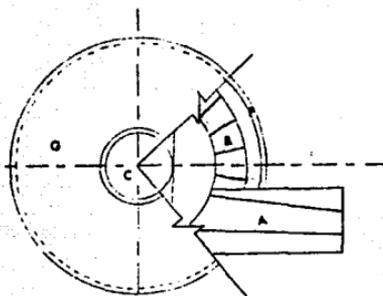


Fig. B. Tapa vista superior

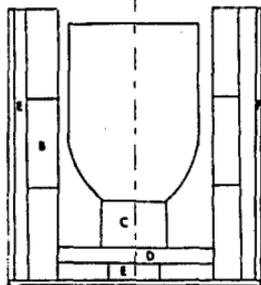


Fig. C. Cuerpo vista frontal

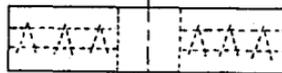


Fig. D. Tapa vista lateral

- A.- Tunnel de combustión
- B.- Paredes Verticales de la cámara de combustión
- C.- Pedestal del crisol
- D.- Capa superior del piso del horno
- E.- Piso inferior del horno
- F.- Cubierta exterior del horno
- G.- Cubierta superior del horno

A continuación daremos la ilustración de los ladrillos refractarios. Estos se fabrican en una gran diversidad de formas y tamaños. Sin embargo, existen formas y dimensiones estandarizadas para la mayoría de los productores de materiales refractarios y como es lógico, el costo de estos materiales es inferior, al de aquellos que no se producen normalmente.

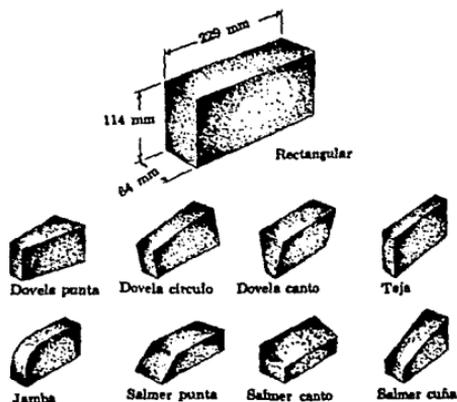


Fig. 8. Formas normales de ladrillos refractarios.

b) Refractarios de alúmina-silice.

En estado líquido la alumina y el silice se mezclan: al enfriar rápidamente, se forma una estructura vítrea alrededor de los 1549°C , se forma el compuesto llamado mullita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) que es estable y cristaliza al descender la temperatura.

El único compuesto puro de alúmina silice estable a temperaturas mayores de 1549°C , tiene por peso 71.8% de Al_2O_3 y 28.2% de SiO_2 .

Al aumentar el contenido de alúmina mejoran las propiedades refractarias del material. Existen materiales con contenido de alúmina hasta de 90%.

c) Refractarios de alta alúmina.

Los productos pertenecientes al grupo de refractarios alúmina-silíce (Contenido de alúmina mayor del 47.5%) se conocen como refractarios de alta alúmina. Estos se fabrican con contenido de alúmina de 50, 60, 70 y 80%.

Los minerales ricos en alúmina que se utilizan - incluyen la bauxita, andalusita, silimanita y - alúmina cristalizada (corundum). Los procesos - de manufactura de estos refractarios de arcilla. La constitución mineral del producto terminado - depende en gran parte del horneado del refractario, ya que durante este proceso se forman diversos compuestos como la mullita, el corundum, la cristobalita, etc. Las propiedades físicas a altas temperaturas del refractario dependen de los contenidos de los compuestos antes mencionados. (14)

d) Refractario de carburo de silicio.

El carburo de silicio (SiC) es un compuesto sintético formado por una reacción química de arena sílica y carbón mineral. Esta reacción se lleva a cabo en un horno eléctrico a una temperatura - aproximada de 2200° C. Los cristales resultantes son molidos, mezclados con un material aglutinante, moldeados y finalmente horneados.

El carburo de silicio no presenta pérdidas apreciables en su resistencia mecánica a temperaturas inferiores a 2200° C, es extremadamente resistente a los cambios bruscos de temperatura, - inerte a la mayoría de las escorias y resiste -- perfectamente atmósferas reductoras.

El carburo de silicio puro es susceptible a la oxidación. La propiedad más importante de este material, es su alta conductividad térmica, la - cual es aproximadamente diez veces mayor que la de los productos de arcilla refractaria, ésta es una de las principales causas, por lo que algunos crisoles para hornos, destinados a la fusión de metales se fabrican de carburo de silicio. (14)

I.6 COMBUSTIBLES.

Los combustibles, son aquellos materias primas que pueden arder en el aire, desarrollando una cantidad de calor susceptible a ser aprovechado industrialmente.

I.6.1 CLASIFICACION DE COMBUSTIBLES.

La mayor parte de los autores que se consultaron sobre la clasificación de los combustibles (9, 10, 11, 12, 13, 14) coinciden en señalar que son: Sólidos, Líquidos y Gases. A continuación se dará una tabla que contiene una visión más general acerca de la clasificación de combustibles.

<u>Tipo de combustible</u>	<u>Combustibles naturales</u>	<u>Subproductos combustibles</u>
Sólido	Carbón	Coque Alquitrán
	Lignito	Carbón animal
	Turba	
	Madera	Carbón Vegetal Corteza Coque de petróleo Bagazo
Líquido	Petróleo	Gasolina Kerosina Fuel-oil Gas-oil Residuos y fracciones
Gaseoso	Gas natural	Gas de refinera Gas de horno
	Gas licuado de petróleo (GLP)	Gas de alto horno Gas pobre Gas de agua Gas de agua carburado

I.6.1.1 COMBUSTIBLES SOLIDOS.

El carbón es el más importante de todos los combustibles fósiles que se usan para la generación de vapor. Es ampliamente disponible en gran parte del mundo la cantidad y calidad de las reservas del carbón, son mejor conocidas que las de otros combustibles.

La formación del carbón, es el resultado de un proceso químico industrial, en el cual, las plantas absorben dióxido de carbono de la atmósfera. La luz del sol, la humedad y otros factores convierten el dióxido de carbono en compuestos que contienen carbón, hidrógeno y oxígeno, tales como azúcares, almidón, celulosa, lignita y otras substancias complejas que forman la estructura de la planta. Bajo condiciones favorables, la vegetación se convierte en una de las muchas formas de carbón ahora conocidas por la humanidad. (10)

I.6.1.1.1 CLASIFICACION DEL CARBON.

Hay varios sistemas para la clasificación del carbón, no todas compatibles entre sí.

Una forma de agrupación aproximada, es el de la tabla que a continuación se da.

Combustible	Análisis elemental Base libre de ceniza			Análisis inmediato Base aire seco			Potencia Calorífica Kcal/kg.
	C	H	O	Humedad	Materia volátil	Ceniza	
	%	%	%	%	%	%	
Coque	95	1	2	2	8	7	7300
Turba	60	6	34	20	70/60	1/10	3500
Lignito	70	8	22	15	50/40	8/12	5000
Hulla bituminosa	82/90	6/4.5	12/3	2	35/20	5	7750
Antracita	94	3	2	1	8	3	8000

La turba y el lignito no tienen importancia metalúrgica, pero si se encuentran disponibles en cantidad se secan y se usan industrialmente. La turba se usa para producir electricidad y los lignitos para producir gas doméstico. La antracita es un combustible de alta calidad, escaso y caro, que se usa en la industria para producir vapor y para la calefacción de centrales. Prácticamente no produce humo, lo cual le hace muy útil para la germinación artificial, se usa también en metalúrgica, como agente de carburización y desoxidante. El tipo más importante de carbón, es el grupo bituminoso que se confunde con las antracitas.

I.6.1.2 COMBUSTIBLES LIQUIDOS.

Los combustibles líquidos son principalmente aceites, alquitranes y breas que proceden de las siguientes fuentes:

- 1.- Petróleo.
- 2.- Carbón por coquización.
- 3.- Carbón por hidrogenación.
- 4.- Aceites minerales de pizarra.

Actualmente el petróleo proporciona la mayor parte de los combustibles líquidos necesarios. Sin embargo, las reservas de aceites minerales son inmensas y probablemente incrementarán su importancia en el futuro. Los productos semisólidos y líquidos precedentes de la coquización se usan en las industrias próximas a los yacimientos de carbón y a las instalaciones de coquización. En la industria del acero se consumen en cantidades considerables.

1.6.1.2.1 PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES LIQUIDOS.

Las propiedades de una serie de combustibles líquidos se han dispuesto en la siguiente tabla para compararlos entre sí.

	Gasolina para motores	Queroseno	Aceite diesel (gasoil)	Fuel-oil ligero	Fuel-oil pesado
Carbón	85.5	86.3	86.3	86.3	86.3
Hidrógeno	14.4	13.6	12.7	12.3	11.8
Azufre	0.1	0.1	1.0	1.5	2.0
Nitrógeno	---	---	---	---	---
Oxígeno	---	---	---	---	---
Punto de inflamabilidad	40.0	39.0	75.0	80.0	100.0
Potencia calorífica inferior cal/gr.	10450	10400	10300	10100	9900

1.6.1.2.1.1 VENTAJA DE LOS COMBUSTIBLES LIQUIDOS SOBRE LOS SOLIDOS.

Existen varios puntos acerca de las ventajas que hay de los combustibles líquidos sobre los sólidos y que a continuación se dan:

- 1-Poder calorífico elevado. El kg de aceite combustible da -- 10800 calorías contra 7500 que da un buen carbón. Esto se debe al alto poder calorífico inherente a los hidrocarburos que

contiene y a la casi -
despreciables cantidad
de materia incombusti-
ble.

2-Menor volumen de alma-
cenaje. Una tonelada
de aceite tiene, por -
término medio, un volu-
men de 1.07 m^3 contra
un promedio para carbón
de 1.2 m^3 .

El alto poer calorifí-
co y el bajo volumen -
de almacenaje, permite
transportar o almacenar
una cantidad mayor por
metro cúbico de capaci-
dad que para el carbón,
en la relación de 1.7
a 1.

3-Fácil regulación de con-
sumo. Como esto se hã
ce abriendo o cerrando
la válvula, la operación
es muy sencilla.

4-Limpieza. El aceite -
arde sin dejar casi na-
da de residuos, de tal
manera que se evita el
manejo y eliminación -
de las cenizas, esco-
rias, etc. Además, la
carencia de cenizas da
más rendimiento.

Una ventaja secundaria,
es que el aceite no se
deteriora durante el -
almacenaje.

1.6.1.3 COMBUSTIBLES GASEOSOS.

Los combustibles gaseosos son excelentes, sobre

todo por la facilidad de control, la presencia de poco o nada de residuo sólido y la poca necesidad de exceso de aire, lo cual contribuye a su alta eficiencia.

I.6.1.3.1 CARACTERISTICAS DEL GAS NATURAL Y - GAS LICUADO DE PETROLEO.

El Gas Natural, es tal vez, el logro más aproximado a un combustible ideal, debido a que prácticamente, está libre de gas incombustible ó residuo sólido. Se encuentra comprimido en roca porosa y en forma de esquistos (roca metamórfica de estructura laminar) o cavidades, que están selladas entre capas de roca de textura cerrada bajo la superficie de la tierra.

Cuando se han perforado pozos, encuentran que el gas está bajo presión de la roca, la cual puede ser tan alta como de 2000 lb/in² (140.6 kg/cm²). Al extraer el gas, ésta presión disminuye gradualmente tanto, que se debe abandonar el yacimiento.

El Gas Licuado de Petróleo (G.L.P.), este término se aplica a ciertos hidrocarburos que son gaseosos bajo condiciones atmosféricas normales, pero que pueden ser licuados bajo presiones moderadas a temperaturas normales.

I.6.1.3.2 VENTAJA DE LOS COMBUSTIBLES GASEOSOS.

Para tener una visión más completa, acerca de las ventajas de los combustibles gaseosos sobre los sólidos, a continuación se darán los puntos al respecto.

- a) La posibilidad de obtener la combustión perfecta con un volumen de aire ligeramente superior al

necesario teóricamente, hecho que se debe a la íntima mezcla de gas con el aire.

- b) La posibilidad de lograr temperaturas muy elevadas, precisamente por ser casi perfecta la combustión y menor que en otros casos, el volumen de los productos resultantes.
- c) El hecho de que tanto el aire como el combustible pueden entrar ya calientes en el hogar, aprovechando para ello el calor perdido del horno.
- d) Las características de poder regular con facilidad las cantidades de gas y aire, con lo cual es posible mantener una temperatura -- uniforme en el hogar.
- e) La posibilidad de aprovechar combustibles de calidad inferior.

I.7 QUEMADORES.

Para la Dirección General de Normas (D.G.N.) un quemador lo define como: "Un artefacto para la conducción final del combustible o una mezcla aire-combustible a la zona de combustión".

Ahora bien, debemos dejar claro que es una combustión y al respecto la (D.G.N.) nos dice: "Es la rápida oxidación de gases por el aire ó el oxígeno, acompañados por una generación de calor".

I.7.1 REQUISITOS DE UN QUEMADOR.

Para seleccionar el quemador adecuado, es importante que estos llenen ciertos requisitos, como son:

- a) Ser controlables, dentro de un amplio margen de --

operación.

- b) Calor uniforme en el área calentada.
- c) Quemar completamente el combustible.
- d) Operar sin fluctuación ni retorno de flama.
- e) Rápido encendido.
- f) Operación silenciosa.
- g) Construcción resistente a los cambios bruscos de temperatura.

Como ya se mencionó anteriormente, los quemadores pueden operar con cualquiera de los tres tipos de combustibles: sólidos, líquidos o gaseosos. A continuación solo mencionaremos algunos quemadores que utilizan líquidos o gas como combustible, así como la clasificación de cada uno de ellos.

I.7.2 QUEMADORES QUE UTILIZAN COMBUSTIBLE LIQUIDO.

Nos dice G. Salvi (13). "Los combustibles líquidos -- obtenidos de la elaboración del petróleo bruto, se subdividen en muchas clases. La subdivisión principal se refiere a los destinados y los residuos".

Es raro quemar los aceites combustibles en forma líquida si se intenta quemar un aceite en este estado, la única parte que participa en la combustión es el vapor que se forma en la superficie del líquido y que se quema a una velocidad que va unida a la posibilidad del vapor para mezclarse con el oxígeno presente. Los combustibles líquidos, pueden quemarse en las cámaras de combustión, de dos formas distintas:

- a) Después de su evaporación, para que reaccionen como gases.
- b) Mediante la subdivisión en gotas diminutas que calentadas por radiación y mezcla turbulenta, se evaporan durante la combustión, ardiendo casi instantáneamente.

I.7.2.1 EXIGENCIAS DE UN QUEMADOR.

Hay que recordar las exigencias fundamentales a las que tienen que responder una instalación de combustión de aceite, y que son:

- 1.- Lograr la intensidad elevada de combustión es decir, quemar la mayor cantidad de aceite en un volumen determinado.
- 2.- Conseguir el máximo campo de regulación - que sea compatible con el rendimiento de la combustión.
- 3.- Llegar a un rendimiento de combustión (relación del calor liberado y el poder calorífico) máximo.
- 4.- Evitar desperfectos en las paredes o en los tubos de la cámara de combustión, debido a los depósitos de carbón y hollín.
- 5.- Capacidad de modificar la forma de la llama, sin producción de elementos sólidos o gaseosos no quemados en los gases de combustión.

Algo parecido sucedería con los quemadores si en lugar de aceite utilizaran gas.

I.7.2.2 CLASIFICACION DE ATOMIZADORES DE ACEITES COMBUSTIBLES.

A continuación, daremos el punto de vista de G. Salvi (13), respecto a la clasificación de los atomizadores industriales de aceites combustibles.

- A) Atomizadores con pulverización mecánica.
 - a) con presión directa.
 - b) con retorno, de amplio campo de regulación.

- c) con presión directa, con doble circuito de presión.
 - d) con presión directa y acanaladuras regulables.
 - e) con presión directa, a pistón.
- B) Atomizadores que pulverizan con fluido auxiliar.
- a) de vapor.
 - b) de pulverizador mecánico con ayuda de vapor.
 - c) con aire alta presión (3 - 7 atm.)
 - d) de aire media presión (0.5 - 1.5 atm.)
 - e) de aire baja presión (600 - 700 mm H₂O)
- C) Atomizadores con copa giratoria.

Con la clasificación anterior, Marks (15) -- coincide, además nos da una breve explicación de ésta, la que se presenta a continuación:

- 1.- Pulverizadores y atomizadores por vapor. Aspiran el aire primario alrededor del quemador y el secundario, suele suministrarse a través de una obra de ladrillo jaquelado de la base del hogar. El consumo de vapor de estos quemadores puede no ser mayor de 1% del producido en la caldera. Con todo, es más frecuente que ese consumo sea del 1.5 al 2% y cuando los aparatos no están bien cuidados es posible que consuman hasta un 5% de vapor total.

La cantidad de vapor empleado, puede regularse observando el carácter de la llama. Una llama blanca indica un exceso de vapor, una llama humosa, poco vapor y

una llama brillante de color naranja o amarilla indica una mezcla apropiada.

La única función del vapor, es dividir el aceite en finas gotitas, para que pueda ponerse rápidamente en contacto con el aire y mezclarse íntimamente con él, con objeto de obtener una buena combustión.

- 2.- Quemador pulverizador. Difieren un poco en su diseño de los quemadores pulverizadores por vapor, y en realidad, unos y otros son a menudo intercambiables. Debe instalarse en la tubería del aire un tanque que recoja la humedad condensada, antes que el aire comprimido llegue a los quemadores, ya que la llegada accidental de agua puede extinguir la llama, en particular antes de que la cámara de combustión haya alcanzado su temperatura normal de funcionamiento.
- 3.- Quemador pulverizador para aceite baja presión. Los quemadores de este tipo, necesitan aire a presiones que oscilan entre varios gramos por cm^2 hasta 0.25 ó 0.35 kg/cm^2 . Necesitan pulverizar una cantidad de aire igual al 50 ó 60% del total necesario para una combustión completa. Para suministrar el aire se emplean compresores directamente acoplados a un motor eléctrico y con menos frecuencia soplantes accionados por turbinas de vapor.
- 4.- De tobera pulverizadora o boquilla de regadera (llamado también pulverizador mecánico). Depende de orificios en forma especial, en los que llega al quemador con una presión de 7 a 14 kg/cm^2 . Algunos quemadores funcionan muy bien con presiones menores, pero este tipo es esencialmente un quemador de aceite de alta presión y baja viscosidad. Por supuesto, pueden quemarse también, aceites combus-

tibles pesados con esos aparatos, pero - para ello hay que elevar la temperatura hasta que la viscosidad de aceite empleado sea de 100 a 125 seg.

- 5.- Pulverizador mecánico rotativo. Se está aplicando mucho en las calderas para calefacción doméstica. No es probable que este tipo de quemador invada el campo de las centrales eléctricas, por las dificultades que presenta cuando se manipulan en él los aceites pesados.

Para G. Salvi (13), nos dice que "los quemadores más adecuados para utilizarlos - en hornos de crisol son, en el caso de combustión de aceite, los de pulverización de aire a baja presión".

También el uso de aire precalentado, puede - mejorar sinsiblemente el rendimiento del horno, sin embargo, esto sólo es útil y económico en las grandes fundiciones, donde la instalación para la recuperación del calor puede utilizarse para varios hornos. (15)

Este es a grandes rasgos, alguno de los muchos quemadores que utilizan líquidos o aceites como combustibles. Ahora bien, daremos algunos aspectos de quemadores que usan gas, y que es otra de las alternativas que podemos escoger.

I.7.3 QUEMADORES QUE UTILIZAN GAS COMO COMBUSTIBLE.

El concepto de un quemador de gas, según Pineda Domínguez (16) "Es un aparato que suministra una mezcla aire-gas oxígeno-gas o aire y gas por separado a la zona de combustión". Su principal función es la de transformar esta mezcla en calor útil para una cierta necesidad comercial o industrial.

Los autores Sixto Cortés (12) y G. Salvi (13), coinciden en señalar: "Los combustibles gaseosos se que-

man y se regulan con mayor facilidad". La combustión se realiza en una sola fase y no existen problemas de atomización y vaporización (aceites combustibles) o de pulverización (combustibles sólidos).

Los gases generalmente son limpios y por consiguiente no forman atasco, ni ensucian la cámara de combustión.

Los quemadores de gas se pueden regular fácilmente y ofrecen amplias condiciones de productividad; su precio es más bajo que el de los quemadores que utilizan combustibles líquidos o sólidos. Sin embargo, el hecho de que no lleven una reserva localizada de combustible gaseoso, supone una desventaja para este tipo de quemadores puesto que una falta casual de la fuente de suministro lleva a la paralización total de la instalación que lo utiliza.

I.7.3.1 CLASIFICACION DE QUEMADORES DE GAS.

Según el método de introducción del gas y el aire en el horno, los quemadores de gas se clasifican en:

- a) Quemadores de llama de fusión, en el que, el gas y el aire, penetran sin mezclarse en la cámara y la mezcla se efectúa por difusión turbulenta en el lugar de la combustión. Las propiedades típicas de estos quemadores son: producen llamas largas y suaves, poco intensas y de temperaturas relativamente bajas.

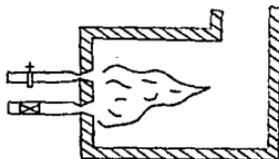


Fig. 9. Sistema de difusión.

- b) Quemadores de premezclado parcial, en la que se mezcla previamente el gas con una parte de aire, y el resto necesario para la combustión, se aspira más adelante ya en el horno. Las propiedades típicas son llama corta, intensa y dura, de gran velocidad, alta temperatura y baja luminosidad.

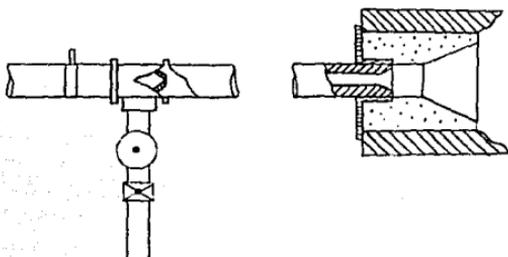


Fig. 10. Sistema de premezcla parcial

- c) Quemadores con llama y premezclado total en los que el gas y todo el aire necesario para la combustión se mezclan antes de que tenga lugar la combustión, los cuales dependiendo de la regulación de el aire-gas puede generar distintos tipos de flama.

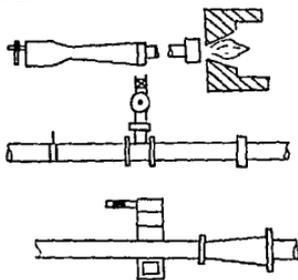


Fig. 11. Sistema de premezcla total.

Los quemadores con llama de difusión se utilizan para los hornos de vidrio.

Los de premezclado parcial su aplicación está en los procesos en los que el exceso de aire no es dañino.

Los quemadores de premezclado total en la tóbera, no resultan adecuados para producir -- mezclas controladas en un amplio campo de regulación, ya que tiende a formar una atmósfera poco uniforme, debido al poco espacio que se dispone para la mezcla. Además presentan la categoría más difundida de quemadores industriales de gas. Generalmente son capaces de conseguir la liberación de calor uniforme o, lo que es lo mismo, el menor volumen de combustión para una determinada capacidad.

El premezclado total de gas y del aire se -- puede conseguir con diferentes métodos: los dos flujos pueden llegar al quemador a través de dos conductos diferentes y mezclarse poco antes del punto de salida, o bien, mezclarse en un compresor, e incluso uno de los componentes se puede utilizar para aspirar -- al otro.

En todos los quemadores con premezclado, es esencial evitar que la corriente gaseosa entre a la cámara de combustión a una velocidad inferior a la propagación de la llama ya que de otra forma se producirían retrocesos de la misma. Cuando más elevada es la velocidad de la mezcla, mayor será la distancia entre el punto de llegada de la mezcla al -- horno y el punto en que comienza la combustión.

En los casos en que interesa conseguir un -- campo de regulación bastante amplio, es conveniente aumentar, en lo posible, la presión de la mezcla, de tal manera que se conserve, con la carga mínima, una presión que produzca la velocidad suficiente para vencer los -- retornos de la llama.

I.7.3.2 CLASIFICACION DE LOS QUEMADORES SEGUN LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS (D.G.N.).

Por el tipo de combustible que se emplea, la Dirección General de Normas clasifica a los quemadores en:

Tipo I - Quemadores para gas de alta y baja presión.

- 1.- Quemador de premezcla.
- 2.- Quemador atmosférico.
- 3.- Quemador tiro forzado abierto.
- 4.- Quemador tiro cerrado o sellado.
- 5.- Quemador tubular.
- 6.- Quemador tubular multiperforado.

Tipo II - Quemadores dual.

- 1.- Quemador tiro forzado.
- 2.- Quemador tiro cerrado o sellado.
- 3.- Quemador de flama variable.
- 4.- Quemador de exceso de aire.
- 5.- Quemador de tubos radiantes.
- 6.- Quemador de flama plana.
- 7.- Quemador lineal.
- 8.- Quemador de rayos infrarrojos.
- 9.- Quemador de listón.
- 10.- Quemador tubular cañón.
- 11.- Quemador dual (tipo especial)
- 12.- Quemador rotativo.

Tipo III - Quemadores para combustible líquido:

- 1.- Quemador de esprea o atomización mecánica.
- 2.- Quemador de atomización para aire baja presión.

Referente a los quemadores que utilizan gas, Pineda Domínguez (16) coincide totalmente -- con lo que especifica la D.G.N., y sobre esto señala algunos otros aspectos complementarios de la manera siguiente:

- A) Quemadores abiertos.
- B) Quemadores sellados.

A los primeros también se les denomina quemadores atmosféricos y se subdividen en quemadores de baja presión (7.5 a 36 mm de H₂O) y quemadores de alta presión de 0.3 Kg/cm² en adelante.

A) Quemadores abiertos o atmosféricos.

- 1.- Quemadores tipo caja. Son quemadores atmosféricos que trabajan a baja o alta presión de gas. Operan en cámaras de tiro natural o tiro inducido. Estas cámaras por lo general, deben tener una abertura para introducir aire secundario en caso de requerirlo para la combustión. - Sus partes principales son:

- a) Cabezal de quemador.
- b) Inyector o venturi.
- c) Caja de extensión con entrada de aire secundario.
- d) Boquilla.

- e) Bloque de combustión.
- f) Adaptador de piloto.
- g) Adaptador de accesorios de detección de flama.

Este tipo de quemador se utiliza en proceso de fuego directo, calentamiento de aire, hornos de fundición, calentadores de agua, etc.

- 2.- Quemadores de tipo anillo. Es un quemador atmosférico con un anillo perforado, lugar donde se lleva a cabo la combustión. Trabaja a presión baja, debido a la pobre retención de flama en los puertos. - Se utiliza en procesos de baja temperatura, por ejemplo, calentamiento de tinajas de agua.
- 3.- Quemadores de boquilla simple. Son boquillas que alimentan con mezcla de aire-gas por medio de mezcladores atmosféricos o proporcional. Este tipo de quemador con un orificio central y un anillo encendido alrededor de él. Son de gran capacidad en relación con su tamaño y se utilizan en donde se requiere una flama tipo antorcha, aunque los hay de tipo especial que se utiliza para calentamiento de piedras pequeñas y tratamiento térmico de piezas metálicas. Por lo general van colgadas en las paredes de los hornos o alrededor de las piezas que se calientan en espacios abiertos. Existen todavía otros tipos de quemadores y que sólo mencionaremos:
- 4.- Quemadores multipuerto.
- 5.- Quemadores lineales.
- 6.- Quemadores tipo tira.

7.- Quemadores de cámara cerrada.

8.- Quemadores generadores de infrarojos.

- B) Quemadores sellados. Son quemadores que se instalan en las paredes de los hornos y que generalmente, da entrada para el aire secundario, por lo que es necesario que la mezcla este dentro del margen del combustible.

El quemador requiere generalmente de un bloque refractario que dirija, estabilice y mantenga encendida la flama. Estos quemadores, nos dice Pineda Domínguez (16), se subdividen en: quemador tunel y quemador de mezcla en boquilla.

- 1.- Quemador tipo tunel. Se les llama así - debido a que la mezcla pasa a través de un tunel en el que se lleva a cabo la -- combustión. El tunel diverge a la salida para permitir la libre expansión de - los gases hacia la cámara de combustión. La mayoría de los tuneles de combustión se hacen de material refractario que permite desarrollar altas temperaturas en - las paredes.

Los gases, que generalmente salen a alta velocidad con gran turbulencia hacia la cámara del horno, proporciona uniformidad de temperatura en el mismo. Además este tipo de quemador produce por lo general una flama corta no luminosa.

De aquí podemos obtener otra subdivisión de flama corta no luminosa y plana.

- a) Quemadores con flama corta no luminosa. Es el quemador que tiene el mejor mezclado aire-gas, la mayor turbulencia en el tunel y el que mejor expresiones de mezcla obtiene. Por dichas propiedades, este tipo de quemador

dor es muy utilizado en proceso de fundición de metal, hornos tipo mufla, hornos de cámara presionada, etc.

- b) Quemadores de flama plana. Es un tipo de quemador que pretende reducir la velocidad de los productos de combustión que salen del tunel. Estos quemadores se utilizan en hornos de tratamiento térmico, para secado, calentamiento de piezas metálicas.

- 2.- Quemadores de mezclado en boquilla. Trabaja a presiones de gas-aire relativamente bajas. Debido a esto las velocidades de salida de los gases de combustión son bajas, -- produciendo flamas alargadas que denotan una combustión incompleta. La flama de este tipo de quemador es luminosa, radiando gran cantidad de calor; debido a esto, la flama calienta mas por convección que por radiación.

- a) Quemadores de flama luminosa. Las flamas largas y luminosas se producen por el diseño adecuado de quemadores de mezclado en boquilla, este diseño permite que la combustión se lleva a cabo en la interfase de la corriente de gas en flujo laminar.

La combustión incompleta, por exceso de gas, la descomposición de gases hidrocarburos y la liberación de carbono caliente, produce una flama muy radiante. Como consecuencia de lo anterior no se alcanza la temperatura teórica de la flama, sin embargo, gran porcentaje de la energía de combustión se recupera en forma de energía radiante.

Los quemadores de flama luminosa, se utilizan principalmente en hornos largos en el que es necesario una temperatura uniforme a lo largo del mismo.

Existen otros tipos de quemadores y que solo mencionaremos:

b) Quemadores de tubo radiante.

c) Quemadores de exceso de aire.

3.- Quemadores dual. Este tipo de quemador esta diseñado para trabajar tanto combustibles líquidos como gaseosos, o ambos a la vez.

Son de diseño especial y pueden producir -- flamas cortas no luminosas o flamas largas y luminosas.

CAPITULO II

CAPITULO II

PRESENTACION DE ALTERNATIVAS

En el presente capítulo, daremos a conocer las diferentes alternativas para la selección del mejor material y equipo en la construcción de un horno a crisol.

Para lo anterior, se tuvo que recurrir primero a la sección amarilla, de donde se obtuvieron un total de 25 direcciones de las cuales sólo se escogieron once, por las siguientes razones: preferimos fábricas de los productos que nos interesaban, pensando que éstas, a parte de cotizar los productos, contaban con más información técnica sobre éstos.

Otra de las razones, fue que las compañías seleccionadas contaban con un departamento de ventas y que a su vez, se apoyaban en un departamento de ingeniería y producción; esto es, tienen más posibilidades de resolvernos alguna duda.

El siguiente paso fue comunicarnos por teléfono con todas las compañías antes señaladas con el objeto de preguntar sobre su existencia y además si eran fabricantes o distribuidores de los productos que nos interesaban.

Como verá, las compañías de combustibles sólidos y gaseosos no se tuvo la necesidad de visitarlos, debido a que se rigen precios oficiales, sin embargo, la información que ellos nos podían proporcionar la captamos de tablas. (10, 11, 15).

En el caso de los combustibles sólidos, no consideramos a los fabricantes porque estos se encuentran en el interior de la República, y la información que nos proporcionaron fue suficiente.

Después de asegurar una mejor asesoría, elaboramos rutas de trabajo, con el objeto de minimizar tiempos, esto es, asegurarnos compañías que se ubicaran por el mismo rumbo.

Se logró que se nos proporcionara folletos de los materiales ó equipos, los cuales, de ninguna manera íbamos a conseguir

en la información pública, en libros y revistas, además conseguimos al visitar estas compañías, una asesora directa que nos mostró el panorama nacional respecto a esta tecnología. Cabe aclarar que no todas las personas que nos atendieron eran asesores técnicos, en algunos casos nos vimos en la necesidad de profundizar en la explicación, pidiendo más información impresa o volviendo a llamar por teléfono.

II.1 MATERIALES REFRACTARIOS

Los materiales refractarios como ya se señaló, son materiales estructurales cerámicos, utilizados en equipos en los cuales se lleva a cabo procesos a altas temperaturas.

Para poder hacer nuestro análisis desde el punto de vista económico vamos a tener que clasificar por partes nuestro horno, primero se analizarán los materiales refractarios, posteriormente analizaremos los crisoles, quemadores y así sucesivamente, para no hacer una confusión de cada una de las compañías que vayamos a manejar.

II.1.1 BASE DEL HORNO

Para la construcción de la base del horno, como se verá a continuación, el material que se requiere utilizar debe contar con las características siguientes:

- a) Buena resistencia mecánica, porque además de soportar el peso del crisol con todo y carga, deberá resistir también el peso de la pared del horno.
- b) Mínima dilatación lineal en caliente, debido a que se requiere evitar la aparición de grietas después de usar el horno.
- c) Resistencia a altas temperaturas, ya que como se mencionó con anterioridad en el horno se generan altas temperaturas.
- d) Resistencia a la abrasión por los gases calientes.

- e) Aislante térmico, porque se requiere evitar, la fuga de calor por la parte inferior del horno.

Para esto contamos con las compañías especialistas en materiales refractarios y que a continuación daremos a conocer.

Antes de comenzar y para facilitar la identificación de las compañías que vayamos a manejar en este inciso, les asignaremos una letra a cada una de ellas (ver anexo I para su identificación), quedando de la siguiente manera:

Refractarios (A)
 Carborundum (B)
 Barro-Mex (C).

Las tres compañías citadas, coinciden en señalar que debemos utilizar ladrillos rectangulares. La compañía B difiere un poco en el espesor, ya que sus dimensiones son $9 \times 4 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{2}$ " (228 X 114 X 64 mm), en tanto que para A y C son: $9 \times 4 \frac{1}{2} \times 3$ " (228 X 114 X 76mm) ver figura 12.

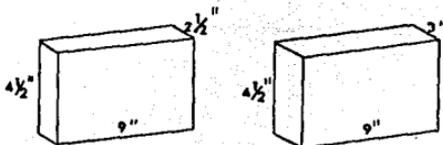


Fig. 12. Ladrillos rectangulares

Para la colocación del ladrillo existen también diferencias por ejemplo, para A lo más indicado sería que fueran colocados en forma de canto (ver fig. 13), en tanto que para B y C la formación de los ladrillos se rá acostada (ver fig. 14).

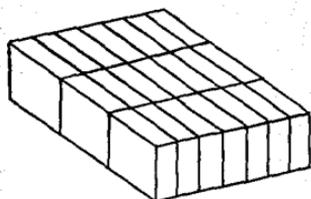


Fig. 13 Colocación del ladrillo en forma de canto.

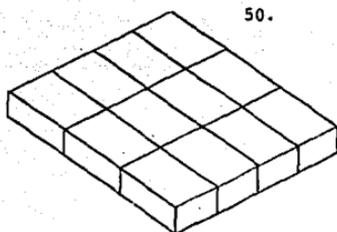


Fig. 14 Colocación del ladrillo en forma acostada.

A continuación, daremos una tabla de comparaciones donde aparecen todos los pormenores de los ladrillos rectangulares de las diferentes compañías que consultamos.

TABLA 2

COMPANIA'	Producto Nom. comercial'	Precio unitario	No. de Pzas. ' requeridas	TOTAL
A	Krolitem	\$ 2,417.75	18	\$43,519.00
	DV-M	2,628.10	18	47,305.00
	DV-38M	3,383.50	18	60,903.00
B	Ladrillo rectangular	19,817.00	13	257,621.00
C.	Ladrillo rectangular	600.00	20	12,000.00

La diferencia que existe entre los precios, en términos generales, da la pauta para referirnos a la calidad de los mismos; sin embargo, esto está por verse y no forma parte de los objetivos de esta tesis. Para el caso de los ladrillos, la compañía B son mejores que las otras, ya que según nos indicaron son para hornos que trabajan continuamente y durante largos períodos, que llegan a tener una duración de aproximadamente 10 años.

Estos precios y los que más adelante daremos, fueron recabados del 15 de marzo al 25 de mayo de 1987.

II.1.2 PARED DEL HORNO

Los ladrillos que se utilicen para la construcción de la pared del horno, deben tener las propiedades siguientes:

- a) Resistencia a altas temperaturas
- b) Resistencia a la abrasión por gases calientes
- c) Mínima dilatación lineal en caliente
- d) Aislante térmico

Las tres compañías consultadas, coinciden en utilizar los ladrillos Dovelas Canto No. 2 y 3 (ver Fig. 15)

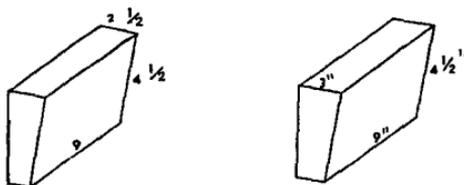


Fig. 15 Dovelas Canto 2 y 3

A continuación se dará la tabla donde vienen los pormenores de los productos antes descritos.

T A B L A 3

COMPANIA	PRODUCTO NOM. COMERCIAL	PRECIO UNITARIO	No. DE UNIDADES REQUERIDAS	No. TOTAL UNIDADES	TOTAL DEL COSTO	
			D.C.2	D.C.3		
A	Krolitem	\$ 2,417.75	10	36	46	\$ 111,216.50
	DV-M	2,628.10	10	36	46	120,892.60
	DV-38M	3,383.50	10	36	46	155,641.00
B	Dovela Canto	19,817.00	24	18	42	832,314.00
C	Dovela Canto	600.00	110	10	120	72,000.00

T A B L A 3

COMPANIA	PRODUCTO NOM. COMERCIAL	PRECIO UNITARIO	No. DE UNIDADES REQUERIDAS		No. TOTAL 'UNIDADES'	TOTAL DEL COSTO
			D.C.2	D.C.3		
A	Krolitem	\$ 2,417.75	10	36	46	\$ 111,216.50
	DV-M	2,628.10	10	36	46	120,892.60
	DV-38M	3,383.50	10	36	46	155,641.00
B	Dovela Canto	19,817.00	24	18	42	832,314.00
C	Dovela Canto	600.00	110	10	120	72,000.00

Como en el caso anterior la calidad y el precio tendrían que correlacionarse con otro trabajo de tesis; sin embargo, de acuerdo con la información que nos proporcionó la compañía B, sus productos son para más larga duración, por lo tanto los consideramos de mejor calidad.

Por lo pequeño del horno, sólo llevara dos hileras de ladrillos pegados en forma de canto e intercalados, para que vayan dándole la circunferencia al horno. (Ver Fig. 16)

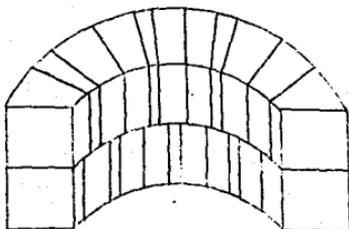


Fig. 16 Pegado e intercalado de los ladrillos Dovela Canto No. 2 y 3

II.1.3 PEGADO DEL LADRILLO

Para el pegado del ladrillo es conveniente utilizar el mortero idóneo, y para esto, deberá tener las siguientes propiedades:

- a) Resistencias a altas temperaturas
- b) Mínima dilatación lineal en caliente.

Las compañías A, B y C, coinciden en utilizar el mortero para el pegado de los ladrillos (rectangulares y D_o vela Canto), pero difieren en precios, cantidad y nombre. A continuación se darán las apreciaciones de las compañías citadas con anterioridad.

La compañía A, maneja los morteros SAIRSET, KD-2M y No. 36, que tiene un costo, este último, de \$ 604.70 (16 de marzo), y viene sólo en sacos de 50 Kg. La cantidad de mortero suficiente para pegar un ladrillo es por lo general de 230 gr.

La compañía B, dice que es conveniente que se utilice el mortero ALFRAX 17-S, el precio por Kg. es de \$ 1,763.00 (23 de marzo), y viene en sacos de 40 Kg.

Por último, la compañía C, maneja Duraling-63 que viene en cubetas de 40 Kg., el precio es de \$ 354.00 el Kg. En la tabla 4 vienen las especificaciones de cada uno de los productos de las compañías antes mencionadas.

T A B L A 4

CIA.	PRODUCTO NOM. COMERCIAL	PRECIO POR KG.	KG. REQUERIDOS	TOTAL
A	Mortero No. 36	\$ 604.70	15	\$ 9,070.00
B	Mortero ALFRAX-17S	1,763.00	13	22,919.00
C	Mortero DURALIN 63	354.20	33	11,682.00

Todas las compañías coinciden en señalar que para el, pegado de los ladrillos puede ser por el método de inmersión, es decir, introducir el ladrillo en un recipiente que contenga el mortero ya preparado, después sacarlo y colocarlo en la posición y lugar en el que deba ir. Esta misma operación se repite, hasta que se haya pegado el último ladrillo. Es conveniente, dijeron, que el espesor del mortero entre los ladrillos no sea mayor de 1/16 de pulgada (1.58 mm), para evitar así la menor pérdida de calor.

II.1.4 REVISTIMIENTO

Uno de los propósitos de esta tesis, es evitar las pérdidas de calor a través de la base y pared del horno, para esto, los materiales que se utilicen deberán tener las siguientes propiedades:

- a) Resistencia a altas temperaturas
- b) Mínima dilatación en caliente
- c) Aislante térmico

A continuación, se darán las sugerencias de las compañías que hemos venido hablando en los incisos anteriores.

Las compañías A y C coinciden en utilizar concretos como revestimiento, a diferencia de B, que nos sugiere utilizar la fibra cerámica

Para la compañía A, el concreto CASTABLE BLOCK MIX es el más adecuado, tiene un precio de \$ 799.80 por Kg., viene en sacos de 50 Kg.

La compañía C, considera conveniente que se utilice el concreto ALUKON-601, el precio por Kg es de \$ 466.00, su presentación comercial es en sacos de 50 Kg.

Como ya se mencionó anteriormente, la compañía B recomienda utilizar la fibra cerámica, siendo ésta, una especie de rollo de papel que se va enrollando por la parte exterior del horno, pegándose con el mismo mortero (ALFRAX-17S). Las dimensiones de la fibra cerámica es de 746.4" x 48" x 1/8" (1895.8 cm x 121.9 cm x 0.31 cm) y su precio es de \$ 306,108.00 el rollo.

No es recomendable, señalaron las tres compañías, en darle un revestimiento interior al horno, ya que el pegado del ladrillo por inmersión servirá para tal fin. A continuación, se dará una visión más general con respecto a los productos de las compañías ya mencionadas, por medio de la siguiente tabla.

T A B L A 5

CIA. PRODUCTO NOM. COMERC.	PRECIO 'POR KG.'	PRECIO P/RROLLO'	KG. 'REQUERIDOS'	COSTO TOTAL
A Castable Block Mix	\$ 799.80		50	\$ 39,990.00
B Fibra cerámica	- - -	\$306,108.00	—	306,108.00
C Alukon-601	466.00		50	23,300.00

II.1.5 TAPA DEL HORNO

Para construir la tapa del horno, las compañías que hemos venido manejando coinciden en señalar que todos los materiales que se utilicen deberán reunir las siguientes propiedades:

- a) Buena resistencia a altas temperaturas
- b) Mínima dilatación en caliente
- c) Aislante térmico
- d) Resistencia a los cambios bruscos de temperatura.

La forma para construir la tapa del horno, es diferente para cada una de las compañías, así como sus precios. Por esta razón, vamos a mencionar a cada una de las compañías con todos los datos que se obtuvieron de la entrevista que se les realizó.

Para la compañía A, los materiales que recomienda son: concreto MIZZOU con un precio de \$ 767.90 + 15% IVA el Kg, se utilizará un saco de 50 Kg.

Concreto SK-7 que tiene un valor de \$ 621.00 + 15% IVA, viene en sacos de 25 Kg.

5 anclas de acero inoxidable VS-30, el precio por cada una de ellas es de \$836.00.

La técnica que sugiere para la realización de la tapa es la siguiente:

1. Deberá fraguarse la tapa en forma de cruz (Ver Fig. 17), ya sea primero 1 y 3 y después 2 y 4 o viceversa.

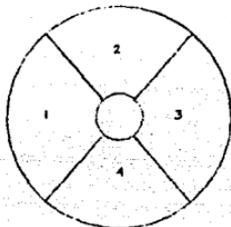


Fig. 17 Fraguado de la tapa.

2. Llevará el concreto SK-7 en medio del concreto MI-ZZOU (Ver Fig. 18), con las anclas distribuidas a una distancia de 10 a 12 pulgadas (25.4-30.48 cm).

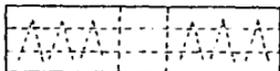


Fig. 18 Distribución de concretos y anclas.

La compañía B, indica que se utilice la fibra cerámica en forma de tabla y que pueden ir unidas con el mismo mortero con que se pegaron los ladrillos (ALFRAX-17S), el precio cada tabla es de \$ 75,990.00. El material antes descrito es difícil de conseguir, ya que son pocas las compañías las que trabajan este tipo de material.

Por último la compañía C, utiliza el Alukon 601 para la construcción de la tapa, el precio por Kg, es de \$ 466.00 y viene en sacos de 50 Kg. Recomienda que se frague en una sola pieza, no llevará anclas o varillas en su interior. A continuación daremos la tabla, donde se hace una recopilación de lo antes descrito.

T A B L A 6

CIA.	PROD. NOM. COHER.	PRECIO P/KG.	PRECIO 'P/TABLA.'	KG. REQUE RIDOS.	TAB. 'REQ.'	COSTO TOTAL
A	Concreto MIZZOU	\$ 767.00*		50		\$44,154.25
	Concreto SK-7	621.00*		25		17,853.00
	Anclas VS-30 5unidades					4,180.00
B	Fibra cerámica		\$75,990.-		2	151,980.00
C	Alukon-601	466,00		50		23,300.00

*+ 15% IVA.

II.2 CRISOLES

Los crisoles son recipientes contenedores de metal líquido, por eso son cuerpos huecos de material refractario resistente y de volumen constante para evitar la fusión o deformación por presión del material fundido.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, los crisoles se clasifican en metálicos y no metálicos. Existe otra clasificación de crisoles y es por su forma, por ejemplo:

1. Crisol forma americana. Es la que más se usa en

los Estados Unidos. El diámetro mayor en esta forma de crisol se encuentra en la mitad de su altura, es decir, tiene forma parecida a un barril (Ver Fig. 19)



Fig. 19 Crisol forma Americana

2. Crisol forma Europea. Es la más empleada en el Reino Unido, es de forma angosta y alargada. El diámetro mayor se encuentra en la parte superior del crisol, como se podrá observar en la Fig. 20.



Fig. 20 Crisol forma Europea.

A partir de la clasificación anterior, se derivan varias formas especiales, como la llamada "Jofaina", la cual tiene forma de cazuela (Ver Fig. 4), la cual se ha desarrollado especialmente para los hornos utilizados en la fundición a presión, ya que su forma facilita en gran manera el cuchareo.

Existen otras formas de crisoles como las llamadas Retortas, las cuales se utilizan en la destilación de metales volátiles (Obtención de Oxido de Zinc).

A continuación daremos a conocer las impresiones de las diferentes casas comerciales que se dedican especialmente a la venta de crisoles en todas sus formas y tamaños. Para su identificación ver anexo 1.

Nuevamente para facilitar la identificación de las compañías que vayamos a manejar les asignaremos un número, quedando de la siguiente forma:

Morganite del Caribe (1)
Ferro Mex (2)
Casa Aguilar(3)

La capacidad del crisol que se pidió referencia en las tres compañías fue de 12 Kg de aluminio o su equivalente a 40 Kg de bronce.

Todas las casas que se entrevistaron, trabajan el crisol tipo americano, europeo y jofaina. El que nos recomendó fue el europeo. La composición química de los tres tipos de crisoles son de Carburo de Silicio. Solo la compañía 1 nos da otra alternativa, que es el crisol de grafito. Las diferencias que existen entre las tres compañías es el precio, tanto del crisol como de las bases donde va ir asentado, por ejemplo:

En la compañía 1 el crisol más adecuado es el tipo AF-30 que tiene un valor de \$ 57,820.00 + 15% IVA (estos precios fueron recabados en el mismo período que los materiales anteriores). Como ya mencionamos, tiene otra alternativa, que es el crisol de grafito tipo A, cuyo valor es de \$ 49,146.00 + 15% IVA. Las bases que podrán emplearse para ambos crisoles es el modelo XRC y su precio será de \$ 22,000.00

La compañía 2 recomienda el crisol tipo A-35 cuyo precio es de \$ 69,680.00 + 15% IVA. La base es un modelo cuya dimensión es 6 x 7 pulgadas (15.24 x 17.78 cm), con un valor de \$ 67,421.00 + 15% IVA. (Precios reca-

bados en la misma fecha que los crisoles anteriores)

Por último, la compañía 3 nos sugiere un crisol 40-A, con un costo de \$ 167,721.00 y una base cuyas dimensiones son 9 x 5 pulgadas (22.85 x 12.7cm), el precio de este último es de \$ 118,349.00. A continuación se dará la tabla 7 con los pormenores de los productos mencionados.

T A B L A 7

CIA. ' PROD. ' PRECIO No. DE COSTO	NOM. COMER. ' UNITARIO ' UNIDADES ' T O T A L
1 Crisol tipo AF-30	\$ 66,493.00 1 \$ 88,493.00
Base XTC	22,000.00 1
2 Crisol de gra fito	56,517.00 1 78,517.00
Base XTC	22,000.00 1
Crisol tipo A-35	103,132.00 1 180,666.15
Base 6x7 pulg.	77,534.15 1
Crisol tipo 40-A	167,721.00 1 286,070.00
Base 9x5 pulg.	118,349.00 1

Todo el material antes descrito, puede conseguirse con facilidad, ya que existen muchas casas distribuidoras de crisoles.

II.3 QUEMADORES

Un quemador, es un artefacto para la conducción final del combustible o una mezcla aire-combustible, a la zona de combustión.

Como hemos observado en el capítulo anterior, los quemadores tienen una gran variedad de clasificaciones, que van desde el uso de combustible (sólidos, líquidos y gases), hasta los que se destinan para uso doméstico o industrial.

En el presente capítulo, veremos lo que es el panorama real, es decir, daremos los resultados que se obtuvieron de las entrevistas que se realizaron.

Para este caso les asignaremos una letra griega a las compañías que vayamos a mencionar, para no perder el orden que hasta ahora hemos llevado, quedando de la siguiente manera:

Industrias Klein, S. A. (κ)
Grupo Calfer, S. A. (ρ)

Para su identificación (Ver anexo 1)

- a) Por el uso del combustible (κ) nos da dos alternativas en quemadores
1. El primero de los casos, es un quemador que utiliza Diesel o Petróleo como combustible. Su precio es de \$ 362,500.00 (precios que fueron recabados del 15 de marzo al 25 de mayo de 1987) llevando un motor acoplado con una potencia de 1/4 HP. (Ver Fig. 21)

Este tipo de quemador, se regula manualmente, tanto el combustible como el aire, nos indican que no es necesario su sistema de seguridad, ya que en caso de una falla de energía eléctrica podrán cerrarse las válvulas muy fácilmente.

2. La segunda alternativa es utilizar un quemador que use como combustible gas. El precio de es-

te es de \$ 393,250.00 (misma fecha que las anteriores) con una capacidad de 23,200 Kcal/hr. Para este caso si se recomiendan el sistema de seguridad, el cual tiene un valor de \$ 250,000.00. La ventaja que se tiene, es que el combustible es más barato y la desventaja es que se tiene que comprar un tanque estacionario, ya que no se cuenta con la instalación en estos momentos.

Si existiera falla en el suministro de energía eléctrica cuando el quemador estuviera trabajando, en seguida una válvula magnética que contiene el sistema de seguridad se cierra, evitando así el paso de combustible.

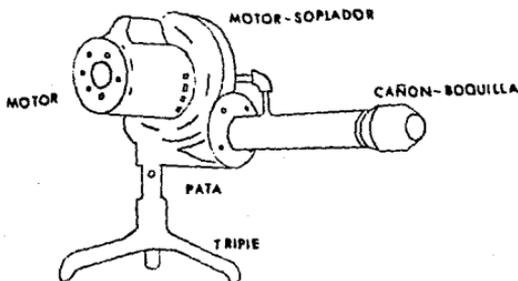


Fig. 21 Quemador para diesel o petróleo

- b) La compañía (A), también nos da dos alternativas con respecto al combustible que se utilice.
1. El primero es un quemador para diésel, modelo CM-350 BV, el costo de este es de \$ 310,000.00 y no recomienda sistema de seguridad.
 2. La siguiente alternativa es un quemador par gas modelo CMG-350 y tiene un precio de \$ 320,000.00. Para este tipo de quemador, nos recomienda colocarle un sistema de seguridad contra retorno de flama, el costo de este equipo es de \$ 134,888.00.

La tabla que a continuación aparece, muestra en sin tesis los productos antes mencionados.

T A B L A 8

CIA.	PROD. NOM. COMERCIAL	PRECIO UNITARIO	UNID. REQUER.	COSTO TOTAL
(-)	Quemador p/diesel	\$362,500.00	1	\$ 362,500.00
	Quemador p/gas con sist. de se- guridad	393,250.00 250,000.00	1 1	643,250.00
	Quemador p/diesel modelo CM-350 BV	310,000.00	1	310,000.00
(#)	Quemador p/gas modelo CMG-350 con sist. de se- guridad	320,000.00 134,888.00	1 1	454,888.00
Enter	price Quemador p/diesel	*		
	Quemador p/gas	*		

*En esta casa (Enterprice), se sale totalmente con sus precios de nuestro presupuesto, debido a que sus equipos son más sofisticados y de importación.

II.4 COMBUSTIBLES

Los combustibles, como ya se mencionó en el capítulo anterior, son materias primas que pueden arder en el aire, desarrollando una cantidad de calor susceptible a ser aprovechado industrialmente y se clasifican en sólidos, líquidos y gases.

Los combustibles se caracterizan por su análisis químico y por su poder calorífico.

El análisis químico elemental nos proporciona datos sobre el contenido de carbono (C), de hidrógeno (H), de oxígeno (O), de nitrógeno (N) y de azufre (S).

El análisis industrial, a su vez, nos indican la humedad las materias volátiles, las cenizas y el carbono.

Las entrevistas que se realizaron para este inciso sobre combustibles, fueron únicamente a las compañías distribuidoras de combustibles sólidos (Coque), por que para los otros (Diesel y gas L.P.) son más fácil de adquirir y sus precios son oficiales.

Se darán a continuación las alternativas que se pudieron obtener de las visitas.

- a) La primera alternativa es Distribuidora Pariente, S. A., (Ver anexo 1), el tipo de Coque que trabajan es el "Imperial", el precio por tonelada es de \$ 164,450.00 con el 15% de IVA ya incluido. Puede comprarse un mínimo de 50 Kg y su análisis químico es:

Carbón fijo	84.75 %
Cenizas	14.77 %
Azufre	0.90 %
Material volátil	0.48 %
Humedad	3.43 %

- b) La segunda opción es Poliproducos para Fundición, S. A. de C. V., (para su identificación ver anexo 1). El coque es de tipo nacional, el precio por tonelada es de \$ 138,000.00 + 15% IVA, además se tiene que dejar \$ 4,000.00 para el flete. Se puede comprar un mínimo de media tonelada y su análisis químico de este tipo de coque es:

Carbón fijo	85-86.5 %
Material volátil	0.6-0.75 %
Azufre	0.98-1 %
Humedad	1-1.5 %
Cenizas	12 %
Dureza	76 %

Como ya se mencionó al principio, los combustibles, tanto de diesel como el gas L.P. son más accesibles, además en el Distrito Federal los precios son oficiales y tienden a subir cada tres o cuatro meses.

Los precios que ya se dieron y que a continuación se señalaran fueron recabados en el lapso comprendido anteriormente.

- c) El litro de diesel tiene un precio de \$ 187.00
 d) El kg de gas L.P. tiene un costo de \$ 140.00

A continuación se muestra la tabla 9, donde vienen todos los pormenores de los productos que se manejaron.

T A B L A 9

CIA.	PROD. NOM. COMERCIAL	PRECIO P/KG.	KGS. MIN. P/ADQUIRIR	COSTO TOTAL
Dist. Parien te.	Coque Imperial	\$ 164.45	50	\$ 8,222.50
Poli-- produc tos p/fun dición	Coque Nacional	158.70	500	79,350.00
-----	Diesel	187.00	200 lts	37,400.00
-----	Gas L.P.	140.00	200 "	28,000.00

CAPITULO III

CAPITULO III

DISCUSION Y ANALISIS DE LA MEJOR ALTERNATIVA

En el presente capítulo, se determinará por medio de la discusión y análisis el mejor material y equipo para la construcción del horno a crisol. Este aspecto se verá desde el punto de vista económico, composición química y transferencia de calor, así como la facilidad para su adquisición.

Este análisis abarca también la comparación con el horno que se encuentra actualmente en el laboratorio de la ENEP/Aragón.

El orden que llevaremos en este capítulo, será el mismo que el del anterior, es decir, primeramente hablaremos de la base y pared del horno, en seguida el revestimiento y así sucesivamente hasta haber abarcado todos los componentes del horno de crisol.

Se usará para la identificación de las compañías involucradas, la misma clasificación del capítulo II.

III.1 BASE DEL HORNO

Si volvemos al capítulo II y vemos la tabla 2, podemos observar que para la base del horno, todas las compañías recomiendan el ladrillo rectangular, estos varían en precios según la calidad y la compañía que lo distribuye. Para nuestras necesidades los materiales óptimos serían los de la compañía C, ya que el tiempo en el que vamos a estar operando el horno será ocasional y como máximo una hora por práctica, de tal manera que en un semestre en los dos turnos, este equipo funcionará cincuenta horas como máximo*, considerando que este equipo se implemente para trabajos de investigación, la utilización seguirá siendo mínima.

Para la base del horno que se encuentra en el laboratorio, se construyó con ladrillos rectangulares colocados en forma acostada (Ver Fig. 14), consideramos con-

*Cálculo emitido por el Prof. de área Jose Sánchez Cisneros.

veniente seguir este diseño, ya que si llegamos a colocar los ladrillos en forma de canto, el número de estos aumentará considerablemente, aunque se tendría la ventaja de que disminuirá el paso del calor por la parte inferior y como ya se mencionó anteriormente, el uso del horno no va hacer en forma periódica no por tiempos largos.

Otro punto de vista sería la composición química, que es otro de los factores para hacer la mejor selección En Carborundum (Compañía B), los ladrillos tienen un contenido de alúmina del 77%, con lo cual nos proporcionaría una gran resistencia a altas temperaturas.

Por lo que respecta a las otras dos compañías (A y C), sus productos varían en contenido de alúmina que van entre 45 a 60%, este porcentaje es más que suficiente para soportar las temperaturas que vamos a manejar que son de aproximadamente 1200°C. Por lo tanto, consideramos que los productos de Earro Mex (Compañía C), son más accesibles y su composición química es suficiente para las temperaturas que manejaremos.

III.2 PARED DEL HORNO

La pared de un horno es una de las partes esenciales, porque encierra altas temperaturas para la fundición, por ello se deberá construir con el ladrillo más adecuado y cuyas propiedades ya se mencionaron en el inciso II.1.2.

Para la realización de este análisis, nos basaremos en la tabla 3 del capítulo anterior, donde se tienen las alternativas. El precio de los ladrillos que se van a utilizar (dovelas canto) no varían con respecto a los rectangulares, tampoco se observa una variación en la composición química.

Las tres compañías consultadas coinciden en utilizar los ladrillos dovelas canto No. 2 y 3 (Ver Fig. 15), por lo tanto no hay detalle que nos incline hacia una u otra. Basándonos en el inciso anterior, nos inclinamos por los productos de la compañía C, porque económicamente son más accesibles y su composición química es suficiente para el trabajo al que va a estar sometido.

Por otro lado, refiriéndonos al horno que ya se tiene en los talleres de la ENEP/Aragón, los ladrillos que se utilizaron en la construcción de la pared no fueron los adecuados, porque se utilizaron de la forma rectangular, haciendo que las pérdidas de calor sean altas, ya que únicamente las partes que unen los ladrillos son las puntas (Ver Fig. 22).

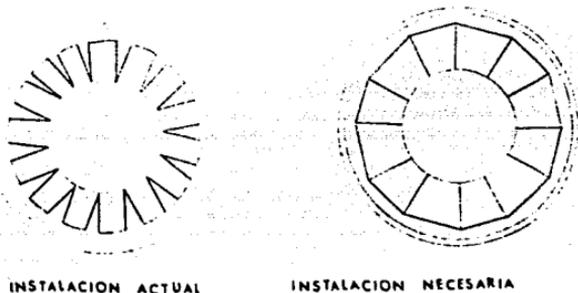


Fig. 22 Vistas superiores de los hornos.

Una alternativa que se vería como último recurso será dejar el horno tal y como está actualmente, hasta que el tiempo de vida de sus componentes (ladrillos, revestimiento, tapa, etc.), llegue a su fin.

III.3 PEGADO DEL LADRILLO

Como ya se mencionó en párrafos del inciso anterior, el evitar las pérdidas de calor y elevar la eficiencia del horno, es uno de los propósitos de esta tesis. Es por esta razón que el pegado del ladrillo se debe reanudar con el material más adecuado, evitando así, que el calor que se está generando en el horno, escape por la unión de los ladrillos. Para realizar el siguiente análisis, nos basaremos en la tabla 4, en el cual como se puede observar las tres compañías recomiendan utilizar el mortero. Los precios de este producto oscilan entre \$ 605.00 y \$ 1,770.00.

Sabiendo que aproximadamente la temperatura máxima de servicio que vamos a manejar es de 1200°C, no tiene sentido adquirir productos que soporten temperaturas máximas de 1700°C y que además son más caros, si ya una compañía nos da la alternativa de adquirir materiales más baratos y con una temperatura máxima de servicio de 1500°C. Por lo tanto, una vez más, la compañía C, viene siendo la mejor alternativa.

III.4 REVESTIMIENTO DEL HORNO

Como ya mencionamos en el capítulo II, todas las compañías recomendaron que el pegado del ladrillo fuese por el método de inmersión, con lo cual se evitará el revestimiento extra el interior del horno, es por ese motivo que en el presente inciso se verá el revestimiento exterior del mismo.

Pra evitar la pérdida de calor desde el interior del horno hacia el exterior por medio de las paredes o hacia abajo, por medio de la base, es necesario dotar a este de un buen revestimiento, el cual deberá tener las propiedades que ya se mencionaron en el inciso II. 1.4.

Si analizamos los materiales que nos proporcionaron las compañías como alternativas en la tabla 5, vemos que tanto la compañía A y C manejan concretos para el revestimiento y sólo se pueden adquirir en sacos de 50 Kg. En precios como podemos observar, existe gran diferencia entre estas dos compañías, por ejemplo: la compañía A ofrece el Kg de Castable Block Mix a \$ 799.80, mientras que la compañía C da el Kg de Alukon 601 a \$ 466.00 con el IVA ya incluido. Por otra parte la compañía B, nos indica que utilicemos la fibra cerámica en forma de rollo de papel.

Si hacemos ahora el análisis con respecto a la temperatura máxima de servicio, el concreto alukon 601 de la compañía C es de 1650°C, en tanto que el de la compañía B es de 1093°C.

De todo lo antes analizado, vemos que la única ventaja que tiene B sobre las otras dos compañías, es que el material que utiliza es mucho más fácil de manejarlo, pero tiene las desventajas de ser mucho más caro. Por lo tanto, las únicas alternativas serían A y C, cosa que nos inclinamos por la segunda compañía, porque económicamente es mucho mejor y la temperatura máxima de servicio es mayor a la que vamos a manejar.

III.5 TAPA DEL HORNO

Para la construcción de la tapa del horno, debemos seleccionar el mejor material, esta selección la debemos basar en las propiedades de estos, además, el costo será otro de los factores determinantes.

Como ya mencionamos anteriormente, el material que se vaya a utilizar deberá tener las propiedades que ya se vieron en el capítulo II.

Antes de dar inicio al análisis de las entrevistas y dar la mejor alternativa, quisiéramos abrir este espacio para señalar que el diseño de la tapa del horno que llevamos a las diferentes compañías era de forma cóncava y que al presentársela a los asesores que nos atendieron, estos nos indicaron que no había necesidad de hacerla en la forma antes mencionada, ya que implicaba mucho trabajo para su realización y que además no afectaría en nada el proceso de la fundición. Por este motivo daremos a conocer las diferentes alternativas que según ellos, son las más apropiadas para la construcción de dicha tapa. Aclarando lo anterior comenzamos con nuestro análisis.

Como podemos observar en la tabla 6 del capítulo anterior, tanto las compañías A como C, coinciden en utilizar concretos. En el inciso anterior ya se analizó el producto Alukon 601 de la compañía C, no llevará en su interior varillas o anclas, además, el fraguado de la tapa se debe hacer todo de una sola pieza.

Mientras tanto la compañía A recomienda que se utilice el concreto Mizou, concreto SK-7 y 5 anclas que irán

distribuidas a una distancia entre 10 y 12 pulgadas (25.4 y 30.48 cm). El precio varía también con respecto a la compañía C. El fraguado de la tapa, como ya se mencionó en el capítulo anterior, deberá hacerse en forma de cruz (Ver Fig. 17).

Lo importante de este análisis, es que la tercera compañía B, recomienda utilizar nuevamente la fibra cerámica pero ahora en forma de tabla, el precio de cada tabla es de \$ 75,990.00, de las cuales se deberán utilizar dos unidades. La temperatura máxima de servicio de la fibra cerámica es de 1578°C un poco menor que la temperatura del alukon 601 de la compañía C (1650°C). Para unir las dos tablas se podrán utilizar el mismo mortero que se usó para el pegado del ladrillo (Alfrax -17S).

Las ventajas que tiene el producto de la compañía B, es que es mucho más ligero y no exige demasiada mano de obra para su construcción, pero tiene la desventaja de ser mucho más caro.

Habiendo hecho el análisis anterior nos damos cuenta que la compañía C nos brinda la mejor opción, porque su producto es mucho más barato que los demás, la temperatura de servicio es la adecuada y su fácil adquisición.

Otra segunda opción, sería el de la compañía A, porque su técnica para la construcción de la tapa del horno, así como sus materiales, reúnen los requisitos para dicha construcción.

Ahora bien, con respecto a la tapa que se encuentra en el laboratorio de la ENEP/Aragón, consideramos que no se utilizaron los materiales adecuados, ya que prácticamente hoy en día, dicha tapa está casi destruida. Supuestamente el revestimiento que se le dió, ya no la tiene, porque ya se le pueden ver las varillas de acero bajo carbón con la que está construida.

III.6 CRISOLES

El crisol como ya lo indicamos, es el recipiente en el cual vamos a fundir nuestro material, éste deberá poseer ciertas características, de las cuales ya se mencionaron en el capítulo anterior.

Los crisoles como ya sabemos se pueden clasificar por su composición química, forma y tamaño. Estos además de ser requeridos para resistir el calentamiento y para hacer químicamente inerte a los metales fundidos, deberá tener una buena conductividad térmica de tal modo que el calor pueda fluir a través de las paredes hacia la carga. El grafito y el carburo de silicio son prominentes entre los materiales que satisfacen estos requerimientos. Por lo tanto, los crisoles para fundir metales no ferrosos son hechos de varias proporciones de grafito y carburo de silicio, ligados en diferentes maneras, los tres mejores grupos de composiciones son:

1. Crisoles con liga de carbón. Contiene altos porcentajes de carburo de silicio y grafito, con menores cantidades de otros materiales refractarios, teniendo una liga consistente de carbón residual, resultando de una destilación de materiales orgánicos tales como alquitrán o resinas. Una alta conductividad de calor es proporcionada por el mayor de los componentes refractarios, mientras el vidrioado internos y externos protegen al crisol contra la oxidación. Los crisoles con liga de carbón, son fuertes, se calientan rápido y pueden ser hechos en grandes tamaños.
2. Crisoles con liga de arcilla. Contiene un alto porcentaje de grafito más algo de carburo de silicio, teniendo una liga cerámica inorgánica consistente de arcilla y otros materiales. Las composiciones varían para requerimientos específicos de fundición y/o retenido de metales fundidos ya sea con combustible ó por inducción. Estos crisoles (los cuales son algunas veces llamados grafitos cerámicos), son de alguna manera flexibles, cuando se calientan retienen gran cantidad de calor, cuando son movidos del horno. Debido a esta propiedad

las ollas para transportar metal fundido son a menudo hechas de composición con liga de arcilla.

3. Crisoles de óxido refractario. Ligados cerámicamente con materiales de óxidos refractarios como alúmina, magnesio, silicio, zircón y mullita son usados en la manufactura de esta clase de crisoles. Su mayor aplicación es en hornos eléctricos de inducción para metales ferrosos y otros tipos de aleaciones con alto punto de fusión. Algunos son usados para temperaturas hasta de 5000°F (2760 °C).

Antes de comenzar nuestro análisis, quisiéramos aclarar que seguiremos el mismo procedimiento para identificar más fácilmente a las compañías que vayamos a manejar, o sea, les asignaremos el mismo número que en el capítulo anterior a cada una de ellas, quedando de la siguiente forma:

Morganite del Caribe	(1)
Ferro Mex	(2)
Casa Aguilar	(3)

A continuación haremos el análisis de las alternativas que se recopilaron de las entrevistas, para hacer la selección más adecuada del crisol.

En las diferentes compañías que se visitaron, lo primero que se nos pidió fue el nombre del material que vamos a fundir y la capacidad del crisol. Para lo anterior, el material que se utilizará para fundir será el bronce y la capacidad del crisol será de 40 Kg de bronce (12 Kg de aluminio), es decir, la misma capacidad que tienen los crisoles del laboratorio de la ENEP/Aragón. Por lo tanto, con los datos antes descritos nos fuimos en busca de precios, composición química y formas de crisoles.

Como lo mencionamos en el inciso II.2, podemos clasificar a los crisoles por su forma, o sea, Americana y Europea. En la actualidad los crisoles que se utilizan en el laboratorio son del tipo Europeo, por lo que tam

bién nosotros tomaremos como referencia ese modelo, ya que si tratamos de cambiar al crisol a la forma Americana, implicaría modificar las dimensiones del horno y el herramental diseñado para su manejo.

En la tabla 7 se podrán observar las diferencias tan grandes de precios entre las tres compañías, dándonos la mejor alternativa la compañía (1) con un precio por crisol de \$ 66,497.00 con el IVA ya incluido, siendo de una composición de Carburo de Silicio, además nos dá otra opción, que son los crisoles de arcilla-grafito que tiene un precio de \$ 56,517.90, con el IVA incluido. Las otras dos compañías (2) y (3), sólo tienen crisoles de Carburo de Silicio con precios de ---- \$ 103,132.00 y \$ 167,721.00 respectivamente.

Referente a la base donde va ir asentado el crisol, la compañía (1) nos ofrece para ambos crisoles (Carburo de Silicio y arcilla-grafito) el modelo XRC que tiene un precio de \$ 22,000.00 en tanto que las compañías (2) y (3) sus precios varían entre \$67,000.00 y \$ 180,000.00.

Por lo anterior, la compañía (1), representa para nosotros la mejor alternativa económica, con la ventaja de que compete con las demás en cuanto a forma y composición química.

III.7 COMBUSTIBLES

Los combustibles pertenecen al grupo de los materiales no renovables. Nuestro país afortunadamente es rico en Petróleo y Gas natural. Sin embargo, aún se siguen desperdiciando una cantidad considerable de este recurso natural, cosa que no sucede con los países industrializados, que aprovecha al máximo estas materias primas.

Como ya se vió en capítulos anteriores, los combustibles se clasifican en sólidos, líquidos y gases. Nosotros tomaremos al coque, diesel y gas respectivamente como representantes de dicha clasificación, para realizar nuestro análisis y poder tener una mejor visión y

por supuesto, hacer una acertada selección del combustible que vayamos a manejar.

Las ventajas que tienen los combustibles líquidos sobre los sólidos y a su vez, los combustibles gaseosos sobre los líquidos, se vieron con más atención en los capítulos anteriores. En estos resaltamos la ventaja económica, contaminación, tiempo, etc., entre otras que tiene el gas sobre las anteriores.

Para continuar quisiéramos recordarle al lector que todos los datos que se obtuvieron, fueron recabados durante el mes de mayo del año de 1987.

Analizando la tabla 9, observamos que el combustible más barato, es el gas, que tiene un precio de \$ 140.00 el Kg. Ahondando un poco más sobre este combustible, diremos que es menos contaminante que los otros (ya que tiene una mejor combustión), es el combustible que menos cenizas deja, es mucho más fácil de manejar y ocupa el mínimo de espacio para su almacenamiento.

Creemos que no existe duda alguna, sobre el combustible que vamos a manejar de ahora en adelante. El gas como ya hemos observado, presenta la mejor alternativa para su utilización.

III.8 QUEMADORES

Nos toca analizar ahora a un componente, que al igual que los demás es muy importante, se trata del quemador. Este artefacto decimos que es importante, por que va hacer el que conduzca finalmente el combustible o una mezcla aire-combustible a la zona de combustión. El quemador deberá llenar ciertos requisitos para poderlos adquirir, los cuales ya se mencionaron en capítulos anteriores.

Debemos recordar que la operación de nuestro horno no va hacer de sesiones continuas ni por periodos largos, por lo que no consideramos conveniente utilizar un quemador sofisticado y automático, pues en una institución

de enseñanza, estos equipos, además de ser muy caros son antididácticos.

Habiendo seleccionado el gas como la mejor alternativa y con el antecedente que se deja en el capítulo II, contemplaremos única y exclusivamente las alternativas que tenemos para utilizar quemadores de gas. Se señaló con anterioridad en la tabla 8 entre otros a la compañía Enterprice, ésta presumiblemente tiene los equipos más sofisticados del mercado, sin embargo, como ya lo señalamos antes, para el caso de enseñanza, las instalaciones y los implementos que se utilicen deben ser más didácticos que automáticos, esto es, deben tener un poco más de operación manual y control de los usuarios comúnmente.

Volviendo a la tabla 8, observamos que la diferencia en precios de los quemadores de gas es muy grande. Mientras que la compañía ~~α~~ lo da a \$ 393,250.00, en la compañía ~~β~~ tiene un precio de \$ 320,000.00. Como podemos ver, existe una diferencia de aproximadamente \$ 72,000.00.

En ambas compañías coinciden en tener los mismos componentes en sus quemadores, es decir, motor, soplador, cañón-boquilla, tripie, etc.

Con el análisis anterior, los quemadores que nos convienen son los del grupo ~~α~~ porque sus precios son más económicos y además cuenta con una operación secuencial, capaz de ser utilizada mediante algunas modificaciones al proceso, como material didáctico útil para éste.

Por lo tanto, el quemador que utilizaremos va a ser del modelo CMG 350 que utiliza gas como combustible y que tiene un precio de \$ 320,000.00.

III.9 COSTO DEL HORNO

Hemos escogido ya las mejores alternativas para la construcción de un horno a crisol. Ahora daremos el costo que resulta para construir dicho horno. Estos precios como ya se mencionó, fueron recabados entre los meses de marzo y mayo, en aquel entonces el dólar

tenía un costo que oscilaba entre \$ 1,049.30 y \$ 1,228.90.

En caso de que se decida realizar el horno, lo único que se tendrá que hacer, es cotizar todo el material que a continuación describimos:

1. Ladrillo rectangular, 228 x 114 x 76 mm (9 x 4 1/2 x 3"). Unidades requeridas 24.	TOTAL
Precio c/u \$ 600.00	\$ 14,400.00
2. Ladrillo dovela canto No. 2, 228 x 114 x 64 (9 x 4 1/2 x 2 1/2"). Unidades requeridas, 114.	
Precio c/u \$ 600.00*	69,000.00
3. Ladrillo dovela canto No. 3, 228 x 114 x 76 mm (9 x 4 1/2 x 3"). Unidades requeridas, 12.	
precio c/u \$ 600.00	7,200.00
4. Mortero Duraling-63. Kg. requeridos 33. Precio p/Kg \$ 354.20	11,688.00
5. Alukon 601. Kg. requeridos 50, Precio p/Kg \$ 466.00*	23,300.00
6. Concreto Mizzou. Kg. requeridos 50. Precio p/Kg \$ 767.90 + 15%IVA*	44,154.25
7. Concreto SK-7. Kg. requeridos 25. Precio p/kg \$ 621.00 + 15%IVA*	17,854.75
8. Anclas VS-30. Unidades requeridas 5. Precio c/u \$ 836.00	4,180.00
9. Crisol tipo AF-30. Precio p/u	66,493.00
10. Base p/crisol XRC. Precio p/u	22,000.00
11. Quemador p/gas. Mod. CMG 350. Precio p/u	320,000.00
12. Gas L.P. Kg. requeridos 200. Precio p/kg \$ 140.00	<u>28,000.00</u>
	TOTAL 628,269.60

*Se incluye material sobrante, para en caso de que llegase a faltar.

III.10 DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA REFRACTARIA

Para el dimensionamiento de la estructura refractaria de un horno de cualquier tipo, que utilice líquidos (petróleo, diesel) o gas L.P. como combustible, el primer paso es determinar la capacidad del equipo de combustión. Para esto, se deberán calcular los diferentes flujos de energía calorífica que existen en un horno en operación y posteriormente establecer un balance de las cantidades de energía transmitida.

III.10.1 TRANSMISION DE CALOR A LA SUPERFICIE DEL CRISOL

Los mecanismos que intervienen en la transmisión de calor en la superficie del crisol son:

- a) Transmisión de calor por radiación. La flama o productos calientes de combustión transmiten calor por radiación al crisol y a los muros del horno, debido a que la temperatura de la flama es más alta que la temperatura interior de los muros del horno. A su vez, los muros transmiten por radiación la mayor parte de calor absorbido al crisol y únicamente una pequeña parte de este calor escapa a través de ellos a la atmósfera.
- b) Transmisión de calor por convección. Los productos calientes de combustión también transmiten calor a los muros del horno y al crisol por convección, sobre la cual hasta ahora no existe una teoría completa. Para este trabajo, consideraremos que la transferencia de calor es en cierto momento, conducción de calor de un gas caliente a la superficie fría de un sólido a través de una película de gas casi estacionaria

De estas películas de gases adheridas a la superficie del sólido, las partículas realmente en contacto con la superficie fría pierden calor, originando en las posteriores un movimiento relativo a la superficie, con una velocidad que aumenta en proporción a la distancia de ésta.

Si el espesor de esta película fuera conocida, sería posible desarrollar una teoría perfecta de la transmisión de calor por convección y calcular el calor transmitido como transferencia de calor conductivo a través de la película. Sin embargo, todo lo que se sabe es que el espesor de la película disminuye cuando la velocidad de la corriente principal aumenta y se altera por otros factores, por ejemplo: la dirección de la corriente principal, la rugosidad de la superficie, etc. Es por esta razón por la que el mecanismo de transferencia de calor por conducción es despreciable o no considerable. Para nuestro caso, a pesar de que es mínima la transferencia de calor por conducción sí la tomaremos en cuenta. (4)

Una distinción hecha entre convección forzada, en la cual los gases tienen una velocidad inicial, producida por una fuerza exterior cedida por los quemadores ó ventiladores y convección natural, la cual los gases no tienen otra velocidad más que la vertical producida por su cambio de densidad al enfriar o calentar la superficie sólida en contacto. En nuestro caso la convección será del tipo forzado.

- g) Transferencia de calor por conducción. Es la transmisión de calor de partícula a partícula, es decir, los que tienen mayor temperatura le transmite calor a los de menor. En esta forma de transferencia de calor, como ya se mencionó en el inciso anterior, no es de gran importancia, ya que por lo general, la transmisión se hace por medio de la radiación y convección (4 y 8).

El dimensionamiento de un horno con las siguientes características, será la finalidad de este inciso.

1. Horno: con crisol de material refractario (carburo de silicio)
2. Capacidad: 40 Kg de bronce fundido

3. Combustible que se empleará: Gas L.P.
4. Tipo de horno: Piso

Debemos enfatizar antes de entrar a los cálculos, que las fórmulas que se emplearán, son aplicables también para hornos de otro tipo.

Antes de dar inicio a los cálculos de la transferencia de calor, debemos determinar algunos valores que más adelante nos serán útiles.

III.10.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA CAMARA DE COMBUSTION

El dato del cual se debe partir primero para el diseño de cualquier tipo de horno, será la capacidad de metal fundido, el cual va a contener.

Como ya mencionamos, la capacidad del crisol será de 40 Kgs. de bronce.

Para el diseño de un horno de este tipo, es de gran importancia saber con qué materiales y equipos cuenta el mercado para la construcción de éste. La gran demanda de éstos, ha hecho que las compañías estandaricen todos los productos. A continuación veremos la tabla 10, en el cual aparecen las dimensiones de los crisoles de material refractario fabricado normalmente y que son utilizados para la fusión del bronce.

Los fabricantes de crisoles por lo general dan las dimensiones del claro que debe dejarse entre la superficie exterior del crisol y la pared del revestimiento interior del horno. Por lo tanto, cuando se utilice un crisol cuya capacidad es de 40 Kgs. de bronce, este espacio deberá ser de 5 cm y la distancia entre la base del crisol y el fondo de la cámara de combustión será de 18 cm.

No.	H		D ₁		D ₂		AGUA		BRONCE	
	mm	in	mm	in	mm	in	'Lts.'	lb.	Kg.	
A-1	84	3 5/16	76	3	48	1 7/8	0.1	2	1.0	
A-3	124	4 7/8	102	4	70	2 3/4	0.3	6	2.7	
A-4	130	5 1/8	111	4 3/8	67	2 5/8	0.5	9	4.0	
A-6	156	6 1/8	116	4 9/16	82	4 1/4	0.7	13	5.8	
A-8	165	6 1/2	135	5 5/16	108	4 1/4	0.9	16	7.2	
A-10	178	7	145	5 11/16	102	4	1.4	25	11.2	
A-12	197	7 3/4	160	6 5/6	108	4 1/4	1.8	32	14.4	
A-16	221	8 11/16	175	6 7/8	127	5	2.6	46	20.8	
A-20	248	9 3/4	190	7 1/2	140	5 1/2	3.3	58	26.4	
A-25	273	10 3/4	197	7 3/4	140	5 1/2	4.1	72	32.8	
A-30	276	10 7/8	213	8 3/4	149	5 7/8	4.3	84	38.0	
A-35	286	11 1/4	230	9 1/16	165	6 1/2	4.8	91	41.6	
A-40	311	12 1/4	235	9 1/4	159	6 1/4	6.0	106	48.0	
A-50	324	12 3/4	248	9 3/4	178	7	7.2	127	57.6	

Una vez conocidas las dimensiones antes citadas, podremos determinar la forma y tamaño de la cámara de combustión del horno (Ver Fig. 23).

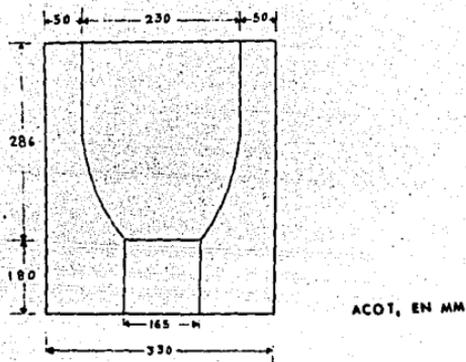


Fig. 23 Forma y tamaño de la cámara de combustión.

III.10.1.2 PLANTEAMIENTO DE LAS ECUACIONES PARA EL CALCULO DEL CALOR TRANSMITIDO EN LA CAMARA DE COMBUSTION

En incisos anteriores, ya se mencionó que la transferencia de calor de un cuerpo a otro se realiza por medio de la radiación, convección y conducción. Su relativa importancia dependerá en gran parte de las temperaturas de dichos cuerpos.

Se ha observado que el intercambio de energía por radiación aumenta considerablemente al incrementar el nivel de temperatura. Consecuentemente a bajas temperaturas, la transmisión total de calor depende casi por completo de la convección y conducción, ya se mencionó que para altas temperaturas la cantidad de energía transmitida dependerá principalmente del mecanismo de radiación.

Como ya se citó anteriormente la transferencia de calor por conducción en el interior de la cámara de combustión es casi despreciable, pero para nues

tros cálculos si se tomará en cuenta, quedando la ecuación del calor transmitido de la siguiente forma:

$$q_n = q_{\text{rad}} + q_{\text{con}} + q_{\text{cond}}$$

De las leyes básicas de la transferencia de calor tenemos:

$$q_{\text{rad}} = A_1 \gamma_{1G} \sigma (T_G^4 - T_L^4) \dots\dots\dots 1$$

Donde: q_{rad} = Flujo de calor por radiación (Kcal/hr)

A_1 = Area receptora de calor (m^2)

γ_{1G} = Factor de intercambio de energía por radiación

σ = Constante proporcional de STEFAN-BULTEMANN (4.88×10^{-8} Kcal/ m^2 hr OK^4)

T_G = Temperatura media de los gases producto de la combustión dentro de la cámara ($^{\circ}K$)

T_L = Temperatura media del área de recepción de calor ($^{\circ}K$).

$$q_{\text{conv}} = h_1 A_1 (T_G - T_L) \dots\dots\dots 2$$

Donde: q_{conv} = Flujo de calor por convección (Kal/hr)

h_1 = Coeficiente de transmisión de calor por mecanismo de convección para el área A_1

A_1 = Area receptora de calor (m^2)

$$q_{\text{cond}} = \frac{-K A_1}{L/2} (T_G - T_1) \dots\dots\dots 3$$

Donde: q_{cond} = Flujo de calor por conducción
(Kcal/hr)

K = Conductividad térmica del material. Es la propiedad del cuerpo formado por dicho material y representa la facilidad que tiene el flujo de calor de pasar a través del cuerpo.
(BTU/hr ft^2 °F)

A_1 = Area receptora de calor (m^2).

$L/2$ = Longitud media de la trayectoria de la conducción (m)

III.10.1.3 CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL CRISOL

Un ciclo de operación para la fundición del bronce, ocurre aproximadamente en un tiempo de 60 minutos*.

La temperatura del crisol de un horno destinado a la fusión del bronce varía durante el ciclo de operación de 250°C a 900°C. Con el objeto de poder obtener un valor de la temperatura media durante este ciclo de trabajo, se considerará que el suministro de calor es directamente proporcional al tiempo, suposición que se aproxima bastante a la realidad.

La temperatura media de operación del crisol será aquella que corresponde a un tiempo de 30 minutos.

*Cálculo proporcionado por el profesor del Area José Sánchez Cisneros.

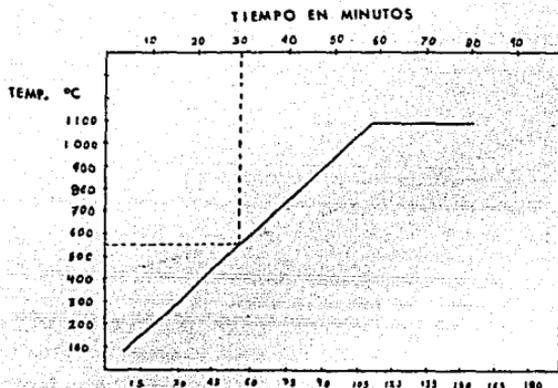


Fig. 24 Contenido de calor Kcal/Kg.

El valor de la temperatura media del crisol durante un ciclo de operación es de $566.6^{\circ}\text{C}.$ * (Ver anexo 3 para más información).

III.10.1.4 CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA DE LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTION CONTENIDOS EN LA CAMARA.

- a) La temperatura de la flama producida en la combustión del Metano, utilizando el 100% de aire teórico necesario para lograr una combustión perfecta y con una presión de la atmósfera es de $1,936.6^{\circ}\text{C}.$ (8).
 - b) En estos tipos de hornos (piso), la temperatura de los gases producto de la combustión a la salida del horno según Pease Cruz, es de $932^{\circ}\text{C}.$
 - c) Aplicaremos la siguiente ecuación para determinar:
- *Hornos: Pease Cruz Carlos Alberto. (Ver inciso 3 del Cap. V.)

minar la diferencia media-logarítmica de temperatura entre los gases de combustión y el crisol (área de recepción de calor).

$$t_m = \frac{\Delta t_y - \Delta t_x}{\ln (\Delta t_y / \Delta t_x)} \dots\dots\dots 4$$

Donde: t_x = temperatura del fluido frío

t_x = Temperaruta del fluido caliente

$$\Delta t_y = 1936.6 - 566.6 = 1370^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_x = 982.0 - 566.6 = 415.4^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_m = \frac{1370 - 415.4}{\ln (1370/415.4)} = 800^\circ\text{C}$$

$$T_G - T_I = \Delta t_m \dots\dots\dots 5$$

Despejando a T_G de la ecuación anterior:

$$T_G = \Delta t_m + T_I$$

Sustituyendo valores, tenemos:

$$T_G = 800 + 566.6 = 1366.6^\circ\text{C} = 1639.75^\circ\text{K}$$

III.10.2 CALOR TRANSMITIDO POR RADIACION

La transferencia de calor por radiación es de gran trascendencia e importancia en los hornos destinados a la fusión del bronce. La cantidad de energía calorífica transmitida por radiación dentro de la cámara de combustión puede ser calculada mediante la ecuación (1).

Antes de poder aplicar la ecuación, es necesario encontrar el valor de A_1 , ϵ_1 y para ello se utilizará la expresión siguiente:

$$A_1 \epsilon_1 X = \frac{X}{\frac{1}{A_1} \left(\frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right) + \frac{1}{\frac{\epsilon_G}{X} \left(A_1 + \frac{AR}{1 - \frac{G/X}{F_{R_I}}} \right)}}$$

Donde: A_1 = Área receptora de calor (m^2)

ϵ_1 = Emisividad del área receptora

A_R = Área del refractario (m^2)

ϵ_G = Emisividad del gas evaluada para una longitud de trayectoria de radiación L.

$$X = \frac{\epsilon_{2G}}{2 \epsilon_G - \epsilon_{2G}}$$

Donde: ϵ_{2G} = Emisividad del gas, considerando una trayectoria de radiación de doble longitud'

III.10.2.1 CALCULO DE A_1 .

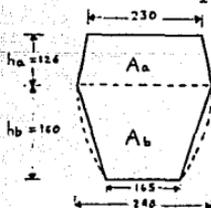


Fig. 25

ACOT. EN MM

$$A_a = \pi/2 S_1 (d_a + d_b) \dots\dots\dots 7$$

$$\text{Donde: } S_1 = \sqrt{a_1^2 + h_a^2} \dots\dots\dots 8$$

$$\text{Donde: } a_1 = \frac{d_b - d_a}{2} = \frac{240 - 230}{2} = 0.005\text{m}$$

Sustituyendo en (8), nos queda:

$$S_1 = \sqrt{0.005^2 + 0.126^2} = 0.1260\text{m}$$

Sustituyendo en (7)

$$A_a = \pi/2 (0.1260) (0.23 + 0.24) = 0.093 \text{ m}^2$$

$$A_b = \pi/2 S_2 (d_b - d_c) \dots\dots\dots 9$$

$$\text{Donde: } S_2 = \sqrt{a_2^2 + h_b^2} \dots\dots\dots 10$$

$$\text{Donde: } a_2 = \frac{b - c}{2} = \frac{240 - 165}{2} = 0.0375 \text{ m.}$$

Sustituyendo en la ecuación (10)

$$S_2 = \sqrt{0.0375^2 + 0.160^2} = 0.1643 \text{ m.}$$

Sustituyendo en (9)

$$A_b = \pi/2 (0.1643) (0.24 + 0.165) = 0.1045 \text{ m}^2$$

$$A_1 = A_a + A_b = 0.09302 + 0.1045$$

$$A_1 = 0.1975 \text{ m}^2$$

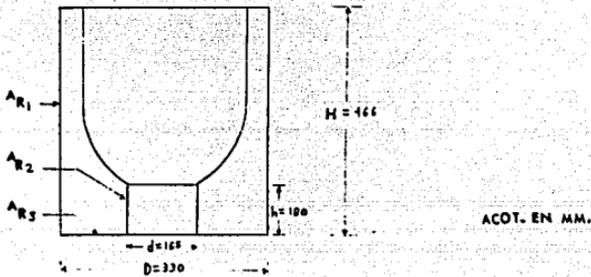
III.10.2.2 CALCULO DE A_R 

Fig. 26

$$A_R = A_{R1} + A_{R2} + A_{R3}$$

$$\text{Donde: } A_{R1} = D \pi H = (0.330) \pi (0.466) = 0.4831 \text{ m}^2 \dots\dots 11$$

$$A_{R2} = \pi/4 (D + d) (D - d) \dots\dots 12$$

$$= 0.7853 (0.33 + 0.165) (0.33 - 0.165) = 0.06413 \text{ m}^2$$

$$A_{R3} = d \pi h = (0.165) \pi (0.180) = 0.09330 \text{ m}^2 \dots\dots 13$$

Por lo tanto:

$$A_R = 0.4831 + 0.06413 + 0.09330$$

$$A_R = 0.640 \text{ m}^2.$$

III.10.2.3 CALCULO DE F_{R_1}

Considerando dos cilindros concéntricos de igual altura h , y superficies A_1 y A_{R_1} , como se indica en la Fig. 27

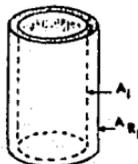


Fig. 27

Nosotros vamos a considerar que la cámara de combustión del horno está formada por dos pares concéntricos (Ver Fig. 28).

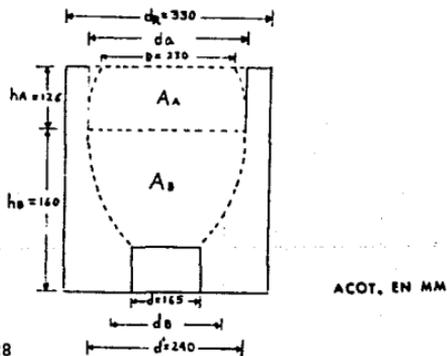


Fig. 28

$$A_A = \pi \times d_A \times h_A$$

..... 14

$$\text{Donde: } d_A = \frac{D + d'}{2} \dots\dots\dots 15$$

$$= \frac{230 + 240}{2} = 0.235 \text{ m.}$$

Sustituyendo en la ecuación 14, tenemos:

$$A_A = \pi \times 0.235 \times 0.126 = 0.09302 \text{ m}^2$$

$$A_B = \pi \times d_B \times h_B \dots\dots\dots 16$$

$$\text{Donde: } d_B = \frac{d' + d}{2} \dots\dots\dots 17$$

$$= \frac{0.0240 + 0.165}{2} = 0.2025 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación 16

$$A_B = \pi \times 0.2025 \times 0.160 = 0.1017 \text{ m}^2$$

Para el par de cilindros concéntricos A.

$$F_{R_{1A}} = d_A/d_R = 0.235/0.330 = 0.7121$$

$$F_{R_{1B}} = d_B/d_R = 0.2025/0.330 = 0.6136$$

El factor F_{R_I} total será:

$$F_{R_I} = \frac{F_{R_{1A}} A_A + F_{R_{1B}} A_B}{2} \dots\dots\dots 18$$

$$= \frac{(0.7121)(0.09302) + (0.6136)(0.1017)}{2}$$

$$F_{R_I} = 0.6606$$

III.10.2.4 CALCULO DE LA LONGITUD DE LA TRAYECTORIA DE RADIACION.

El valor de L depende de $P_c x'$, donde x' es la dimensión característica de la forma ocupada por el gas. En este caso podemos sustituir la forma de la cámara de combustión por la de un paralelepípedo rectangular que envuelve al crisol, y cuya dimensión característica es x' . (Ver Fig. 29),

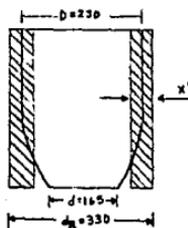


Fig. 29

$$x' = \frac{d_p - (D+d)}{2} \dots\dots\dots 19$$

Sustituyendo valores, tenemos:

$$x' = \frac{0.330 - (0.230 + 0.165/2)}{2}$$

$$x' = 0.06625 \text{ m.}$$

Este valor, deberá multiplicarse por el factor 0.87, si se considera un paralelepípedo rectangular y dentro del cual se radia hacia todas las caras. Por lo tanto:

$$L = 0.06625 \times 0.87 = 0.0576 \text{ m.}$$

III.10.2.5 CALCULO DE LAS PRESIONES PARCIALES DEL BIOXIDO DE CARBONO (CO₂) Y DEL VAPOR DE AGUA CONTENIDO EN LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTION

Según datos obtenidos en el cuadro del anexo 4, el número de gm-mol de productos obtenidos en la combustión teóricamente perfecta de un metro cúbico de gas (a una temperatura de 20°C y P_t = 1Kg/cm²) es el siguiente:

N ₂	320.461
CO ₂	43.079
H ₂ O	83.437
	446.977 total

De la ley de Dalton, las presiones parciales para una mezcla de gases, puede expresarse como sigue:

$$\frac{P_t}{n_t} = \frac{P_w}{n_w} = \frac{P_c}{n_c} \quad \dots\dots\dots 20$$

En la ciudad de México, la presión atmosférica es de P_t = 0.7945 Kg/cm², la misma que se tiene dentro de la cámara de combustión del horno.

Despejando P_w y sustituyendo valores en la ecuación 20, tenemos:

$$P_w = \frac{0.7945 (83.437)}{446.977} = 0.1483 \text{ Kg/cm}^2$$

Ahora despejamos P_c y sustituimos valores

$$P_c = P_t \frac{n_c}{n_t}$$

$$P_c = \frac{0.7945 (43.079)}{446.977} = 0.076 \text{ Kg/cm}^2$$

III.10.2.6 DETERMINACION DE ϵ_C (TRAYECTORIA SIMPLE)

Para poder determinar ϵ_C , debemos entrar al diagrama A (Ver Fig. 30), con los siguientes datos:

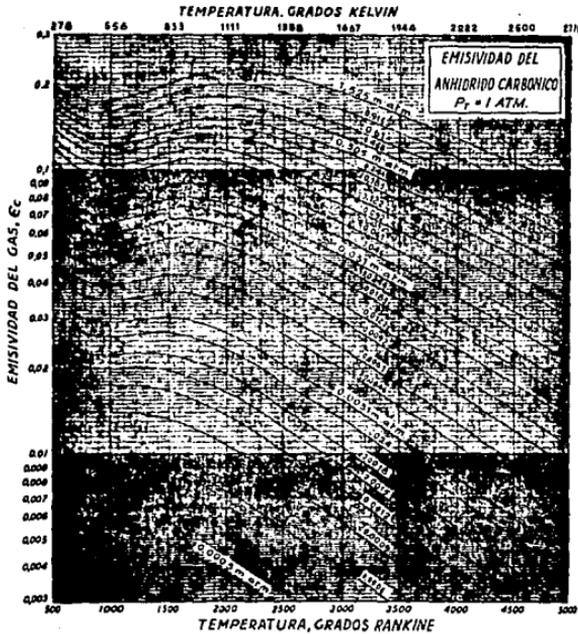


Fig. 30 Diagrama A, emisividad del gas.

$$P_c L = (0.07408) (0.0583) = 0.0043 \text{ m-atm}$$

$$T_G = 1366.6^\circ\text{C} = 2951^\circ\text{R} = 1639.7^\circ\text{K}$$

De donde T_G , P y L se obtuvieron de los incisos III.10.1.4, III.10.2.4 y III.10.2.5 respectivamente.

En el diagrama A, buscamos la curva que nos representa el valor de $P L$, en tanto que T_G lo encontraremos en la recta de las temperaturas (vienen dados en grados Rankine y Kelvin). Exactamente donde se crucen, se traza una línea perpendicular al de las temperaturas y encontraremos el valor de la emisividad.

Por lo tanto, el valor de la emisividad del gas será:

$$\epsilon_c = 0.02$$

III.10.2.7 DETERMINACION DE ϵ_w

La emisividad del vapor de agua está en función de $P L$ y T_G (valores que se obtuvieron en los incisos III.10.1.4, III.10.2.4 y III.10.2.5).

En la Fig. 31, encontramos el diagrama B, que nos representa la emisividad del vapor de agua. Para poder determinar la emisividad, seguiremos el mismo método que en el inciso anterior.

$$P_w L = 0.1434 \text{ atm} (0.0583) = 0.00836 \text{ m-atm}$$

$$T_G = 1366.6^\circ\text{C} = 2951^\circ\text{R} = 1639.7^\circ\text{K}$$

El valor de la emisividad del vapor de agua será

$$c_w = 0.009$$

Este valor debe ser corregido, ya que P_w en nuestro caso no es cero. Utilizando el diagrama C podemos encontrar el factor de corrección en función $(P_w + P_c/2)$ y de $P_w L$. (Ver Fig. 32).

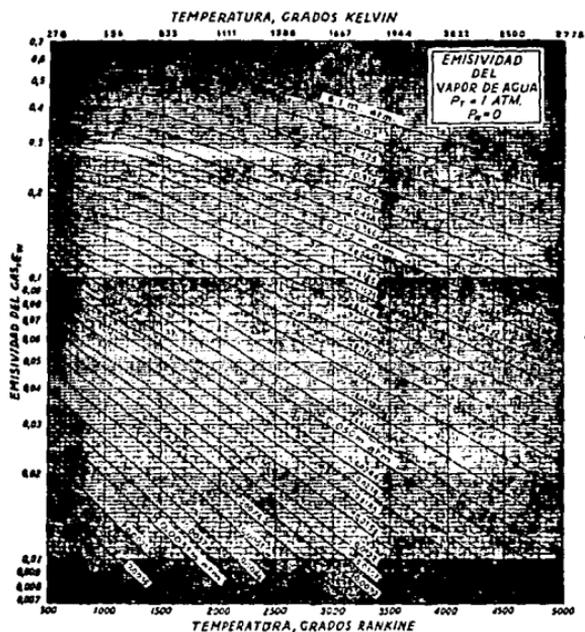


Fig. 31. Diagrama E, Emisividad del vapor de agua.

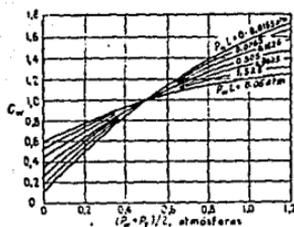


Fig. 32 Diagrama C, factor de corrección.

$$\frac{P_w + P_t}{2} = \frac{0.1434 + 0.7686}{2} = \frac{0.912}{2} = 0.456 \text{ atm}$$

$$P_w L = 0.1434 (0.1912) = 0.02741 \text{ ft-atm.}$$

Con los datos anteriores nos vamos al diagrama C y buscamos el factor de corrección, el cual será:

$$C_w = 0.9$$

Dentro de la cámara de combustión tenemos una mezcla de vapor de agua y bióxido de carbono, por ello deberá efectuarse la corrección necesaria al valor de $\epsilon_G = \epsilon_w + \epsilon_c$.

En la gráfica D nos da el valor de esta corrección (Ver Fig. 33) en función de T_G , $P_w L + P_c L$ y $P_w / P_c + P_w$

$$\frac{P_w}{P_c + P_w} = \frac{0.1434}{0.07408 + 0.1434} = 0.6593$$

$$P_w L + P_c L = 0.00836 + 0.00431 \text{ m-atm} = 0.0167 \text{ m-atm}$$

$$T_G = 1366.6^\circ\text{C}$$

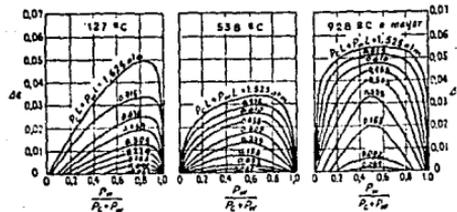


Fig. 33 Diagrama D, factor de corrección

Para los valores anteriores $\Delta\epsilon=0$

Por lo tanto:

$$\epsilon'_G = \epsilon_w + \epsilon_c + \Delta\epsilon = 0.009 + 0.02 + 0 = 0.029$$

A este valor se le deberá agregar 0.075, para tomar en consideración la luminosidad de la flama

$$\epsilon_G = \epsilon'_G + 0.075 = 0.029 + 0.075 = 0.104$$

III.16.2.C. DETERMINACION DE ϵ_{2G} .

Para determinar ϵ_{2G} (emisividad del gas trayectoria doble) se deberá seguir los mismos pasos que en el caso anterior. Sólo se escribirán los valo

res con los que se entra a los diferentes diagramas.

$$a) P_{C,2L} = (0.00431) 2 = 0.0086 \text{ m-atm}$$

$$T_G = 1366.6^\circ\text{C} = 2951^\circ\text{R} = 1639.7 \text{ K}$$

$$\epsilon_{2G} = 0.028$$

$$b) P_{W,2L} = 0.00836 (2) = 0.1672 \text{ m-atm}$$

$$T_G = 1366.6^\circ\text{C} = 2951^\circ\text{R}$$

$$\epsilon_{2W} = 0.016$$

$$c) \frac{P_W}{P_C + P_W} = 0.6593$$

$$P_{W,2L} + P_{C,2L} = 0.1672 + 0.0086 \text{ m-atm} = 0.1758 \text{ m-atm}$$

$$T_G = 1366.6^\circ\text{C}$$

$$\Delta\epsilon_{2G} = 0$$

$$d) \epsilon'_{2G} = \epsilon_{2W} + \epsilon_{2C} = 0.016 + 0.028 = 0.044$$

A este valor deberá añadirse $(1-0.925^2)$ para tomar en cuenta la luminosidad de la flama

$$\epsilon_{2G} = \epsilon'_{2G} + (1-0.925^2)$$

$$\epsilon_{2G} = 0.044 + 0.1443 = 0.1883$$

La emisividad del Carburo de Silicio a una temperatura de 1300°C es de 0.85

$$l = 0.85$$

Después de haber calculado los valores de A_1 , A_R , F_R , $2G$ y l , podemos aplicar la ecuación (6), la cual vuelvo a mostrar con el fin de señalar el procedimiento para encontrar el valor de X .

$$A_1 \tau_{1G} = \frac{X}{\frac{1}{A_1} \left(\frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right) + \frac{1}{\frac{\epsilon_G}{X} \left(A_1 + \frac{A_R}{1 + \frac{\epsilon_G/X}{1 - \epsilon_G/X} \frac{1}{F_{R1}}} \right)}} \dots (6)$$

$$\text{Donde: } X = \frac{\epsilon_G^2}{2\epsilon_G - \epsilon_{2G}}$$

$$X = \frac{0.104^2}{2(0.104) - 0.1883} = 0.549$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (6) tenemos:

$$A_1 \tau_{1G} = \frac{0.549}{\frac{1}{0.1975} \left(\frac{1}{0.85} - 1 \right) + \frac{1}{\frac{0.104}{0.549} \left(0.1975 + \frac{0.604}{1 + \frac{0.104/0.549}{1 - 0.104/0.549} \frac{1}{0.606}} \right)}}$$

$$A_1 \tau_{1G} = 0.06035 \text{ m}^2$$

Este resultado es válido únicamente si la emisividad del material refractario es cero (cuerpo negro).

Antes de continuar quisiéramos abrir un parente-

sis para explicar brevemente lo que es un cuerpo negro y un cuerpo gris.

Cuerpo negro: es aquel que absorbe toda energía radiante que incide sobre él. Para este cuerpo $a=1$ y $r=0$

Donde: a = absorptividad y r = reflectividad

Ningún cuerpo real es considerado perfectamente negro, si hubiera un cuerpo así, no sería posible verlo, excepto como una silueta.

Cuerpo gris: Es aquel que se acerca más a lo real, es decir, el cuerpo gris es un modelo que tiende a lo real para realizar un estudio. No toda la energía la emite.

Habiendo aclarado los conceptos anteriores, proseguimos con nuestros cálculos.

El cálculo que se realizó anteriormente fue para un cuerpo negro, pero si el material fuera gris, se deberá aplicar la siguiente ecuación:

$$A_1 \tau_{1G} = \frac{1}{\frac{1}{A_1} \left(\frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right) + \epsilon_G \left(A_1 + \frac{A_R}{1 - (\epsilon_G / 1 - \epsilon_G) (1 / F_{R1})} \right)}$$

.....21

Sustituyendo valores, tenemos:

$$A_1 \tau_{1G} = \frac{1}{\frac{1}{0.1975} \left(\frac{1}{0.85} - 1 \right) + 0.104 \left(0.1975 + \frac{1}{1 - (0.104 / 1 - 0.104) (1 / 0.6606)} \right)}$$

$$A_1 \tau_{1G} = 0.08905 \text{ m}^2$$

Por lo tanto:

$$A_1 \tau_{1G} = \frac{0.06035 + 0.08905}{2} = 0.0747 \text{ m}^2$$

III.10.3 CALCULO DE LA ENERGIA TRANSMITIDA POR RADIACION

Para calcular la energía transmitida por radiación (Ver ecuación 1), sustituiremos los valores que ya fueron calculados (ver incisos III.10.1.2, III.10.1.4 y III.10.2.8).

$$q_{\text{rad}} = 0.0747 \text{ m}^2 (4.88 \times 10^{-8} \text{ Kcal/m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{K}^4) \\ (1639.75^4 - 839.6^4 \text{ } ^\circ\text{K})$$

$$q_{\text{rad}} = 24542.75 \text{ Kcal/hr.}$$

III.10.4 CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA DE LA PARED INTERIOR DEL REVESTIMIENTO DE MATERIAL REFRACTARIO.

Esta temperatura puede obtenerse si aplicamos la siguiente ecuación:

$$T_R^4 = T_G^4 - \frac{(T_G^4 - T_1^4) \dots\dots\dots 22}{1 + \frac{1(\epsilon_G)}{F_{R1}(1-\epsilon_G)} + G \frac{1-\epsilon_G}{1} \left(\frac{1(\epsilon_G)}{F_{R1}(1-\epsilon_G)} + \frac{A_R}{A_1} + 1 \right)}$$

Sustituyendo valores:

$$T_R^4 = 1639.75^4 - \frac{(1639.75^4 - 839.6^4)}{1 + \frac{1(0.104)}{0.6606(1-0.104)} + 0.104 \frac{1-0.85}{0.85} \left(\frac{1(0.104)}{0.6606(1-0.104)} + \frac{0.640}{0.1975} + 1 \right)}$$

$$T_R^4 = 1.6720 \times 10^{12}$$

Despejando T_R

$$T_R = \sqrt[4]{1.6720 \times 10^{12}}$$

$$T_R = 1169 \text{ } ^\circ\text{K} = 896.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

III.10.5 ENERGIA TRANSMITIDA POR LOS MECANISMOS DE CONVECCION Y CONDUCCION

- a) La cantidad de energía transmitida entre los gases de combustión y el crisol (λ_1) por el mecanismo de convección, puede ser calculada por la ecuación (2).

$$\text{Donde: } h_{G1} = \frac{1.507 + 0.1034 V^*}{t/180}$$

pero: $V = 60\text{m/seg}$

$$t = 1366.6 - 566.6 = 800^\circ\text{C}$$

$$h_{G1} = \frac{1.50 + 0.1034 (60)}{800/180}$$

$$h_{G1} = 1.7349$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (2):

$$q_{\text{conv}} = 1.73 (0.1975 \text{ m}^2) (1639.75 - 839.75^\circ\text{K})$$

$$q_{\text{conv}} = 273.34 \text{ Kcal/hr.}$$

*"Horno" Fease Cruz Carlos Alberto.

- b) La energía transmitida por el mecanismo de conducción, entre los gases producto de la combustión y el área receptora de calor, se puede calcular con la ecuación número (3).

Donde, según Pease Cruz Carlos Alberto $K=0.193$ Kcal/hr m^2 °K, y donde L fue calculado en el inciso III 10.2.4.

Sustituyendo valores en dicha ecuación, nos queda:

$$q_{\text{cond}} = \frac{0.0193 \text{ Kcal/hr } m^2 (0.1975m^2)}{0.0576 \text{ m}^2} (1639.75-839.75)$$

$$q_{\text{cond}} = 105.88 \text{ Kcal/hr.}$$

Como podemos observar, tanto la transmisión de calor por convección y conducción son muy pequeños de tal manera que se pueden despreciar si se comparan con el de radiación, pero para realizar nuestro balance, si se tomara en cuenta.

$$q_n = 24542.75+273.34+105.88 \text{ Kcal/hr}$$

$$q_n = 24921.97 \text{ Kcal/hr}$$

III.10.6 CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CALOR

1. Pérdidas de calor en los gases de combustión que salen al exterior del horno. Para poder determinar este tipo de pérdida, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$q_1 = W_g \times C_p (T_g - T_o) G \quad \dots\dots\dots 23$$

Donde: W_g = Masa de los gases producto de la combustión de lq^3 de gas a una temperatura de 20°C
 $P = 1 \text{ Kg/cm}^3 = 12.377 \text{ gr.}^*$

* "Horno". Pease Cruz Carlos Alberto.

C_D = Calor específico de los gases de combustión para 900°C = 0.3247 (Ver anexo 2)

T_G = Temperatura de los gases al salir del horno
 no 982 °C (Ver inciso III.10.1.4)

T_O = Temperatura del medio ambiente exterior = 20°C

G = Gasto del gas requerido por el horno'

Sustituyendo valores, nos queda:

$$q_1 = 12.377 (0.3247) (982 - 20) G$$

$$q_1 = 3866.097 G \text{ Kcal/hr.}$$

Como se aprecia en el resultado anterior el gasto de combustible aún no es conocido, sin embargo, este resultado nos servirá más adelante para calcular el valor de G.

2. Pérdidas de calor a través de las paredes del horno.

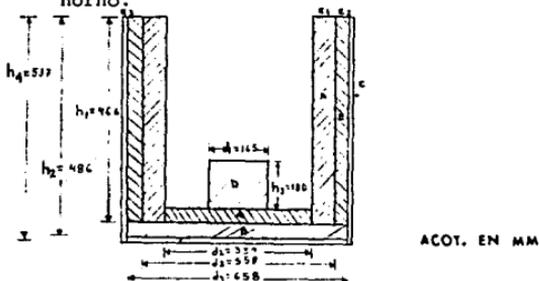


Fig. 34 Corte frontal del horno

Paredes verticales

Capa A (ladrillo refractario)

$$A_{int1} = 2 \pi r_2 (r_2 + h_1) = 2 \pi (0.165) (0.165 + 0.466)$$

$$A_{int1} = 0.6541 \text{ m}^2.$$

$$A_{ext1} = 2 \pi r_3 (r_3 + h_2) = 2 \pi (0.279) (0.279 + 0.486)$$

$$A_{ext1} = 1.3410 \text{ m}^2.$$

$$A_{n1} = A_{ext1} - A_{int1} = 1.3410 - 0.6541 \text{ m}^2$$

$$A_{n1} = 0.6869 \text{ m}^2$$

Area vertical de la base para el crisol

$$A_{n2} = 2 \pi r_1 (r_1 + h_3) = 2 \pi (0.0825 + 0.18)$$

$$A_{n2} = 0.1360 \text{ m}^2.$$

$$A_A = A_{n1} + A_{n2} = 0.6869 + 0.1360$$

$$A_A = 0.8229 \text{ m}^2.$$

$$e_A = 0.114 \text{ m}$$

$$K_A = 1.2052 \text{ Kcal/hr m } ^\circ\text{C}$$

Capa B (Concreto refractario)

$$A_B = A_{n3} - A_{ext1}$$

$$\text{Donde: } A_{n3} = 2 \pi r_4 (r_4 + h_2) = 2 \pi (0.329) (0.329 + 0.486)$$

$$A_{n3} = 1.6847 \text{ m}^2$$

Sustituyendo valores:

$$A_B = 1.6847 - 1.3410$$

$$A_B = 0.3437 \text{ m}^2.$$

$$e_B = 0.05 \text{ m}$$

$$K_B = 0.6547 \text{ Kcal/hr m } ^\circ\text{C}$$

Capa C (lámina de acero)

$$\lambda_C = \lambda_{n_4} - \lambda_{n_3}$$

$$\text{Donde; } \lambda_{n_4} = 2 \pi r_5 (r_5 + h_4) = 2 \pi (0.334) (0.334 + 0.537)$$

$$\lambda_{n_4} = 1.8278 \text{ m}^2.$$

Sustituyendo valores, nos queda:

$$\lambda_C = 1.8278 - 1.6847 \text{ m}^2$$

$$\lambda_C = 0.1431 \text{ m}^2$$

$$e_C = 0.003 \text{ m}$$

$$K_C = 25.296 \text{ Kcal/hr m } ^\circ\text{C}$$

La pérdida de calor a través de la pared vertical del horno se puede evaluar mediante la siguiente ecuación:

$$q_{12} = \frac{T_R - T_O}{e_A/K_A \lambda_A + e_B/K_B \lambda_B + e_C/K_C \lambda_C} \dots\dots\dots (24)$$

Donde: T_R = Temperatura media de la pared interior del revestimiento de material refractario y es igual a $896.7 \text{ } ^\circ\text{C}$ (ver ecuación 22)

Sustituyendo los valores en la ecuación 24, tenemos:

$$q_{12} = \frac{896.7 - 40}{0.114/(1.2052)(0.8229) + 0.05/(0.6547)(0.3437) + \dots + 0.003/(25.296)(0.1431)}$$

$$q_{12} = \frac{856.7}{0.1149 + 0.2222 + 0.00082}$$

$$q_{12} = 2535.21 \text{ Kcal/hr.}$$

Fondo del horno

Capa B (mortero refractario)

$$A_B = \frac{D^2}{4} = r^2$$

Sustituyendo valores tomados de la figura 34.

$$A_B = (0.165)^2$$

$$A_B = 0.0855 \text{ m}^2$$

$$e_B = 0.02 \text{ m}$$

$$K_B = 0.6547 \text{ Kcal/hr m } ^\circ\text{C}$$

Capa A (ladrillo refractario)

$$A_A = r^2 = (0.329 \text{ m})^2$$

$$A_A = 0.34 \text{ m}^2$$

$$e_A = 0.051 \text{ m}$$

$$K_A = 1.2052 \text{ Kcal/hr m } ^\circ\text{C}$$

Capa C (lámina de acero)

$$A_C = r^2 = (0.334 \text{ m})^2$$

$$A_C = 0.3504 \text{ m}^2$$

$$e_C = 0.005 \text{ m}$$

$$K_C = 25.296$$

Las pérdidas de calor por la parte inferior del --

horno, puede evaluarse por la misma ecuación (24).

Sustituyendo valores, tenemos:

$$Q_2 = \frac{896.7 - 80}{0.051/(1.2052)(0.34) + 0.02/(0.6547)(0.0855) + 0.005/(25.296)(0.3504)}$$

$$Q_2 = \frac{816.7}{0.1244 + 0.3572 + 0.00056}$$

$$Q_2 = 1693.83 \text{ Kcal/hr.}$$

3.- Pérdida de calor por radiación en la superficie del metal fundido, expuesto al aire, la cual puede ser calculada por la siguiente expresión:

$$q_3 = \sigma A_1 F_{12} \epsilon_1 \epsilon_2 (T_2^4 - T_1^4) \dots \dots \dots (25)$$

Donde: q_3 = Pérdida de calor por radiación.

$$\sigma = \text{Constante de STEFAN - BOLTZMAN} = 4.88 \times 10^{-8}$$

A_1 = Area de la superficie expuesta

F_{12} = Factor de vista = 1

ϵ_1 = Emisividad de la superficie expuesta = 0.11*

ϵ_2 = Emisividad del aire = 1*

T_1 = Temperatura del aire = 293 °K

T_2 = Temperatura de la superficie del metal fundido = 839.6 °K

Sustituyendo valores, tenemos:

$$q_3 = 4.88 \times 10^{-8} (0.04154) (1) (0.11) (839.6^4 - 293^4)$$

$$q_3 = 109.16 \text{ Kcal/hr.}$$

* "Horno" Pease Cruz Carlos Alberto.

Balance térmico del horno

A) Calor utilizado		
1. Calor transmitido por radiación dentro de la cámara de combustión	24542.75	
2. Calor transmitido por convección y conducción entre los gases y el crisol	378.89	24921.64
B) Pérdidas de calor		
1. Pérdida de calor en los gases de combustión que salen al exterior del horno	3866.097G	3866.097G
2. Pérdidas de calor a través de las paredes del horno	4229.04	
3. Pérdidas de calor por radiación de la superficie del metal fundido expuesta al aire	109.16	4338.2
C) Calor cedido por el combustible		8143.572G
(Ver anexo 4 para más información)		

III.10.7 CALCULO DEL GASTO DEL GAS NATURAL ($P=1 \text{ Kg/cm}^2$ y $T=20^\circ\text{C}$)
REQUERIDO POR EL HORNO DURANTE LA FUSION.

Calor utilizado (Ver inciso III.10.5)+Pérdidas (inciso III.10.6) = Calor cedido por el combustible (Ver anexo 4) 26

Sustituyendo valores, nos queda:

$$24921.64 + 3866.097 \text{ G} + 4338.2 = 8143.572 \text{ G}$$

$$29259.84 = 4277.47 \text{ G}$$

Despejando a G, tenemos:

$$G = \frac{29259.84}{4277.47} = 6.84 \text{ m}^3/\text{hr}$$

De acuerdo con este resultado y considerando que 1 litro de gas es igual a 0.2840 m^3 del mismo (dato proporcionado por Garza Gas), entonces un tanque estacionario de 500 Lts será igual:

$$1 \text{ litro} \text{ ----- } 0.2840 \text{ m}^3$$

$$500 \text{ litros} \text{ ----- } X$$

$$X = 142 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, si el valor de X lo dividimos por el resultado de G, tendremos que los 500 Lts de gas nos dará un servicio de 20 horas.

III.10.8 CALCULO DE LA EFICIENCIA (η) TERMICA DEL HORNO

$$\eta = \frac{\text{Calor utilizado}}{\text{Calor cedido por el combustible}}$$

Estos valores fueron calculados en los incisos III.10.5 Anexo 4 y III.10.7. Sustituyendo estos valores nos queda:

$$\eta = \frac{24921.75}{8143.572 (6.84)}$$

$$\eta = 0.4474$$

$$\eta = 44.74 \%$$

III.10.9 CALCULO DEL GASTO DE GAS NATURAL (P = 1 Kg/cm² y T = 20°C) REQUERIDO PARA MANTENER EL METAL FUNDIDO A TEMPERATURA DE VACIADO.

Pérdidas de calor = Calor cedido por el combustible

Sustituyendo los valores con los resultados que ya fueron calculados en el cuadro de balance térmico del horno, tenemos:

$$3866.097 \text{ G} + 4338.2 = 8143.572 \text{ G.}$$

Despejando el gasto (G) tenemos:

$$G = \frac{4338.2}{4277.47}$$
$$G = 1.0141 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Para mantener esta condición, considerando el mismo tanque estacionario de 500 litros y realizando las mismas operaciones que en el inciso III.10.7, nos dará 140 horas de servicio con el metal fundido.

CAPITULO IV

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo, señalaremos los aspectos que tienen más repercusión para el incremento de la eficiencia de los hornos de crisol ubicados en esta escuela.

Las conclusiones pretenden remarcar los detalles que más perjuicios ocasionan al funcionamiento de estos equipos y las recomendaciones se dan en base al estudio económico realizado en el capítulo III, de tal manera que se piensa en la solución más viable pero también, en la mejor alternativa económica.

IV.1 CONCLUSIONES.

Siguiendo el mismo orden empleado en los capítulos anteriores, marcaremos los puntos sobresalientes y que repercuten de una manera notoria en el horno antes mencionado.

Los ladrillos y el revestimiento de la base del horno fueron los adecuados, es decir, se utilizaron ladrillos rectangulares y fueron colocados en forma acostada (ver figura 14) y posteriormente se le dió el revestimiento.

La pared del horno definitivamente esta mal construída. - Se utilizaron ladrillos rectangulares, dejando un espacio entre ellos muy grande (ver figura 22). El revestimiento exterior es de un espesor muy pequeño de aproximadamente 1 cm y no es lo suficiente para evitar las pérdidas de calor. Por último, la lámina que se utiliza para proteger a la pared de cualquier accidente, no es el adecuado, ya que es de un espesor muy pequeño, es decir, calibre 18.

La tapa del horno prácticamente esta destruída, su estructura metálica ya es visible y parte del cemento refractario que se utilizó para su construcción, se le ha caído.

Respecto al crisol, se ha observado que la limpieza después de cada práctica, no ha sido la adecuada, haciendo que se acumule la escoria. Esto trae como consecuencia,

que el volumen del crisol vaya disminuyendo y la transferencia de calor se va disminuyendo, haciendo que el tiempo para fundir la nueva carga sea más largo y como consecuencia el gasto de combustible es más elevado.

Otra de las consecuencias que podemos encontrar por la -- inadecuada limpieza del crisol, es la falla prematura, debido a la expansión diferencial de las capas endurecidas de escoria, además, alguna de ellas, fácilmente absorben humedad, lo que puede causar la formación de gases en la fusión.

La base donde va asentado el crisol, es un ladrillo refractario que no tiene la misma estructura química que el primer, esto es muy peligroso, ya que el tiempo que tardan en calentarse o enfriarse no es el mismo, provocando una diferencia de temperatura y que puede causar en el crisol grietas o la ruptura total.

Los instrumentos que actualmente se utilizan (Pinzas y Maneral) para el manejo del crisol hacia el área de vaciado, consideramos que están mal diseñados, ya que una sola parte de las quijadas de las tenazas son las que están en -- contacto directo con el crisol, además, en el maneral no lleva un dispositivo de seguridad que sujete al crisol, -- para que al realizarse la operación de vaciado, se haga -- sin temor a sufrir un accidente.

El combustible que se está utilizando para el horno que -- actualmente se tiene en el laboratorio de la ENEP-Aragón es Diesel. El humo que se desprende al principio de la -- operación es demasiado, provocando cenizas.

El recipiente que se utiliza para el almacenaje del combustible es para una capacidad de 20 litros y está colocado muy cerca del horno, aproximadamente 1.5 m. Esto es -- un constante peligro para todo aquel que vaya a manejar -- el horno.

El quemador con el que se cuenta actualmente en la escuela no tiene sistema de seguridad para en caso de que falle el suministro de energía eléctrica o contra retorno de -- flama. No tiene válvulas para regular el aire y combusti

ble, esto es otro de los defectos que encontramos en el quemador.

El suministro de combustible es constante, mientras que al ventilador se le adaptó un dispositivo que va al cuello del quemador muy cerca de la boquilla y consiste en una lámina que tiene la posibilidad de abrir o cerrar el conducto mediante desplazamientos de acuerdo con la cantidad necesaria para quemar el combustible.

Reconocemos que hasta el momento este horno ha funcionado para impartir las prácticas de fundición y que las diferencias que acabamos de señalar no son muy notorias debido a la baja utilización de este equipo; sin embargo, siguiendo un orden estricto y considerando que este equipo tiene 6 años de operación, las pérdidas por un mal diseño no han sido cuantificadas pero deben ser considerables.

IV.2 RECOMENDACIONES.

A continuación daremos las siguientes recomendaciones que desde nuestro punto de vista y después de haber realizado el estudio, son una de las mejores para la construcción del horno de crisol en la ENEP-Aragón.

Para la construcción de la base del horno, deberá llevar primeramente una placa de acero con un espesor de 0.005 m, a continuación los ladrillos rectangulares $9 \times 4 \frac{1}{2} \times 3$ " - (229 x 114 x 74 mm), se recomienda que el pegado del ladrillo sea por el método de inmersión.

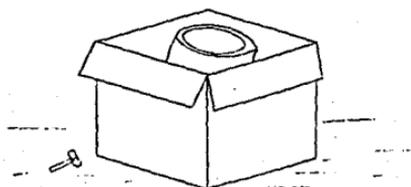
En la construcción de la pared, se deben utilizar ladrillos dovelas N° 2 y 3 (ver figura 4) con las siguientes dimensiones $9 \times 4 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{4} - 1 \frac{3}{4}$ " (229 x 114 x 64 - 44 mm) y $9 \times 4 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{4} - 1$ " (229 x 114 x 64 - 25 mm) respectivamente. También se recomienda que el pegado del ladrillo se haga por el método ya mencionado en líneas anteriores. Posteriormente llevará un revestimiento exterior de concreto Alukon - 601, de 50 mm de espesor. Por último, se colocará una lámina de acero alrededor de la pared del horno, como protección y que deberá llevar las siguientes dimensiones $2.15 \times 0.54 \times 0.003$ m.

Para la tapa del horno se utilizará concreto Mizzou y -- SK-7, deberán fraguarse en forma de cruz con cinco anclas VS-30 de acero inoxidable, espaciadas una de otra a la -- misma distancia.

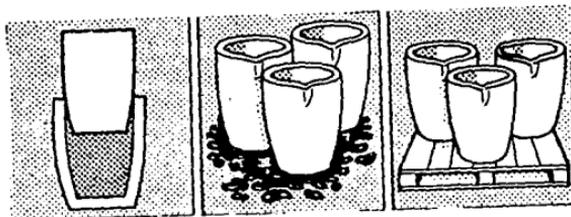
El crisol que se recomienda es el de Carburo de Silicio, con una capacidad de 40 kg de bronce. La base donde asen-- tará el crisol será la XRC.

Para el uso seguro y prolongado del crisol, a continuación se dará una guía de diez puntos:

- 1.- Se deberán inspeccionar los crisoles cuando sean reci-- bidos, golpee ligeramente el crisol con un martillo -- de madera o una moneda para ver si tiene un sonido -- claro.



- 2.- Es necesario almacenar los crisoles en un sitio seco y templado, idealmente a una temperatura de 30 a 40°C.

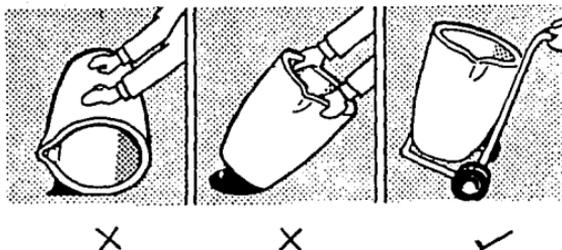


X

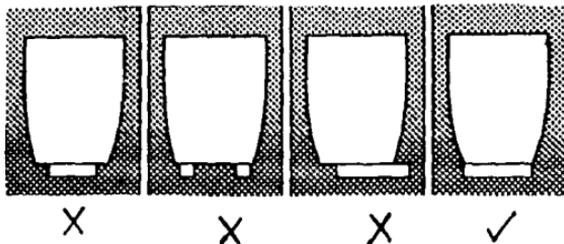
X

✓

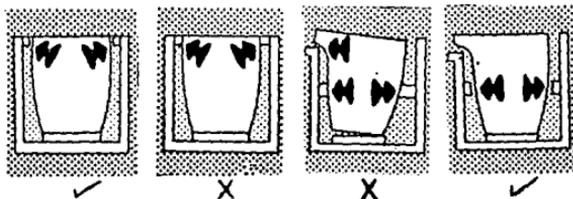
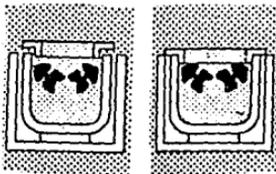
- 3.- Cuando los crisoles sean removidos, deberán soportarse de la base, de una manera segura y sin vibración.



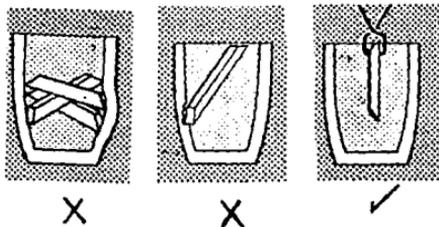
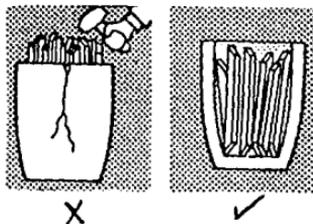
- 4.- Se deberá utilizar para la base un block del mismo material y de igual diámetro.



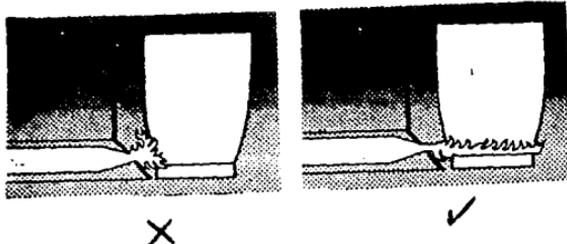
5.- Nunca deberá calzarse el crisol, deje que se expanda y contraiga libremente.



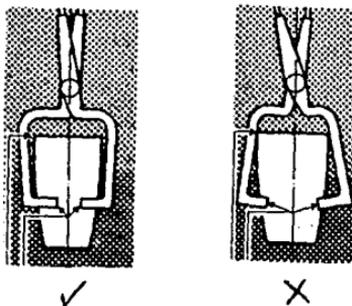
6.- Es conveniente cargar el crisol sin que éste sufra - impactos.



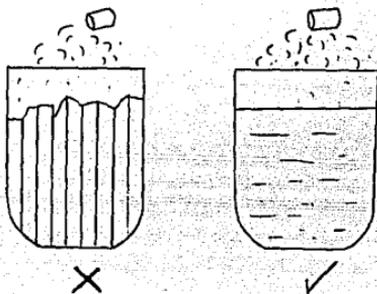
- 7.- Es recomendable usar una flama ligeramente oxidante, no dejar que la flama incida directamente sobre el crisol. La línea central del quemador deberá ser tangente entre la unión del crisol y la base.



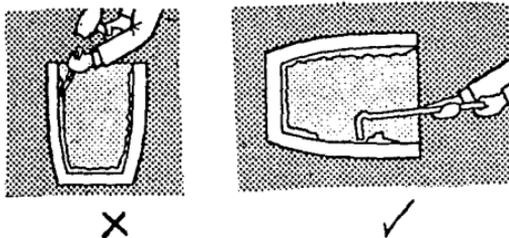
- 8.- Las pinzas deberán colocarse en el tercio inferior del crisol.



9.- Referente al uso de fundentes, se deberá agregar al metal fundido si es posible.



10.- Conservar limpios los crisoles, remuevase cuidadosamente la escoria adherida.



Es una falsa economía intentar ahorrar dinero usando el mismo crisol para diferentes metales. El metal siempre se contamina.

Para los instrumentos que se utilizan en el vaciado del metal fundido, consideramos conveniente que las quijadas de las tenazas y el aro del maneral, lleven la forma que el cuerpo del crisol, es decir, que el contacto entre --ellos, sea en un área más amplia. Se recomienda que en el maneral lleve una especie de pinzas para sujetar al --crisol y poder tener una mejor seguridad al vaciar el me--tal fundido.

Es muy importante que los compañeros que realicen el vaciado del metal fundido, lleven la vestimenta adecuada --para su seguridad. A continuación haremos un recordato--rio de la lista del equipo de seguridad que debe usarse:

- 1.- Careta.
- 2.- Bata de manga larga.
- 3.- Guantes y peto de cuero.
- 4.- Polainas.

El quemador que se recomienda es el modelo CM 6350, que utiliza gas como combustible.

Por último, como ya se analizó en el capítulo anterior, el combustible que se utilizará será el gas L.P. Para --esto, se deberá instalar un tanque estacionario, para --ello es conveniente extender la instalación que se tiene en el tanque ubicado a espaldas del edificio L-2.

ANEXO 1.

A N E X O 1.

CASAS COMERCIALES

A continuación se darán los pormenores de las diferentes casas comerciales, que se visitaron para las entrevistas.

1.- Refractarios Green.

Francisco Villa # 95
Fraccionamiento Industrial
Tel.: 565-32-00

Sr. Raúl Orosco Orosco
Depto. de Ventas.

2.- Barro Mex, S.A. de C.V.

Vía Morelos, Km. 19.5
Estado de México,
Tels.: 569-60-11 y 569-54-98

Srita. Rodríguez
Depto. de Ventas.

3.- Carborundum.

Sn. Francisco # 18,
Col. del Valle,
Tels.: 523-78-48 y 543-74-00

Inq. Jorge Ruiz Silva
Depto. de Ventas.

4.- Morganite del Caribe.

Calle Negra Modelo # 112,
Naucalpan, Edo. de México,
Tel.: 560-60-66

Sr. Angel Vázquez
Depto. de Ventas.

5.- Ferro Mex, S.A. de C.V.

Oriente 171 # 450
Col. Aragón,
Tels.: 760-61-00 y 760-80-77

Inq. Mari Carmen Garay A.
Depto. de Ventas.

6.- Casa Aguilar, S.A.

Dr. Jiménez # 268,
Col. Doctores,
Tels.: 519-10-98 y 538-65-20

7.- Industrias Klein, S.A.

Dr. García Diego # 208,
Col. Doctores,
Tels.: 578-33-63 y 578-16-41

8.- Grupo Calfer.

Poniente 134 # 404,
Col. Residencial Vallejo,
Tel.: 587-13-11

9.- Enterprice, S.A. de C.V.

Rodríguez Sara # 424
Col. del Valle,
Tel.: 534-60-20

Ing. Hernández Domínguez
Depto. de división de
combustión.

10.- Distribuidora Pariente, S.A.

Av. Ferrocarril Industrial # 148,
Col. Moctezuma, 2a. Sección,
Tels.: 571-27-76 y 571-24-66

Srita. Silvia Márquez Ojeda
Depto. de Ventas.

11.- Poliproducos para Fundición, S.A. de C.V.

5 de Mayo # 0-02
Col. Ampliación Providencia,
Azcapozalco, D.F.
Tels.: 382-21-24 y 394-36-99

Sr. Policarpo de Jesús
Depto. de crédito y cobranza.

ANEXO 2.

A N E X O 2.

CALORES ESPECIFICOS

Para encontrar el calor específico a diferentes temperaturas, se utilizará la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{\sum_1^n (C_{pi} W_i)}{\sum_1^n (W_i)}$$

Donde: C_p = Calor específico del elemento

W_i = Masa del elemento (gm)

Por lo tanto, el calor específico para 800 °C será:

$$C_p = \frac{3936}{12377.16} = 0.3180$$

Para 900 °C.

$$C_p = \frac{4018.91}{12377.16} = 0.3247$$

Para 1000 °C

$$C_p = \frac{4094.34}{12377.16} = 0.3307$$

Para 1100 °C

$$C_p = \frac{4217.26}{12377.16} = 0.3407$$

Para tener una visión más exacta, a continuación daremos la siguiente tabla:

Elemento	W _i (gm)	800°C		900°C		1000°C	
		C _p	W _i C _p	C _p	W _i C _p	C _p	W _i C _p
Nitrógeno	8979.34	0.282	2532.17	0.287	2577.07	0.291	2612.98
Bióxido de Carbono	1895.94	0.30	568.78	0.305	578.26	0.310	587.74
Agua	1501.88	0.556	835.045	0.575	863.58	0.595	893.61
Total	12377.16		3936.00		4018.91		4094.34

Tabla 11.

ANEXO 3.

A N E X O 3

CALCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR POR KG. DE BRONCE

El calor necesario para fundir y elevar a la temperatura de vaciado un Kg de bronce es:

$$Q = m c \Delta T + Q_f$$

Donde: $\Delta T = T_v - T_a$

Entonces: $Q = m c (T_v - T_a) + Q_f \dots\dots\dots (I)$

Donde: Q = Cantidad de calor

c = Calor especifico del bronce = 0.107 Kcal/Kg°C

m = masa (1 Kg)

ΔT = Incremento de temperatura

T_v = Temperatura de vaciado = 1100°C

T_a = Temperatura ambiente = 20°C

Q_f = Calor de fusión.

Calor de fusión del bronce

Es la cantidad de calor que ha de suministrarse por unidad de masa en su punto de fusión, para convertirla completamente en líquido, siendo para el bronce igual a:

$$Q_f = 42.4241 \text{ Kcal/kg.}$$

Sustituyendo estos valores en I, tenemos:

$$Q = 1 (0.107) (1100 - 20) + 42.4241 = 157.98 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto un Kg. de bronce almacenará 157.98 Kcal cuando la temperatura sea 1100 °C.

Cantidad de calor contenido en el bronce a diferentes temperaturas.

$$Q = m c t$$

Donde: Q= calor contenido

m= masa (1 kg)

c= Calor específico

t= temperatura

Sustituyendo valores, nos queda:

Q = 1 Kg (0.107 Kcal/kg°C)	(100°C)	=	10.7	Kcal/kg
Q = "	"	(200°C)	=	21.4 "
Q = "	"	(300°C)	=	32.1 "
Q = "	"	(400°C)	=	42.8 "
Q = "	"	(500°C)	=	53.5 "
Q = "	"	(600°C)	=	64.2 "
Q = "	"	(700°C)	=	74.9 "
Q = "	"	(800°C)	=	85.6 "
Q = "	"	(900°C)	=	96.3 "
Q = "	"	(1000°C)	=	107 "
Q = "	"	(1082°C)	=	115.7 "

A esta última temperatura de 1082°C, su contenido de calor es 115.7 punto en el cual principia la fusión del bronce; en este punto la temperatura permanece constante hasta fundirse totalmente la masa, para lo cual deberá absorber 42.4241 Kcal.

$$Q = 1 \text{ Kg } (0.107 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}) (1082^\circ\text{C}) + 42.4241 = 158.19 \text{ Kcal}$$

$$Q = 1 \text{ Kg } (0.107 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}) (1100^\circ\text{C}) + 42.4241 = 160.12 \text{ Kcal}$$

Estos valores serán trazados en la figura 24.

Como nosotros necesitamos fundir y llevar a su punto de vaciado 40 Kg de bronce el calor total será:

$$Q = 40 \text{ Kg } (157.98 \text{ Kcal}) = 6319.2 \text{ Kcal}$$

ANEXO 4.

A N E X O 4.

PODER CALORIFICO DEL GAS NATURAL

Si tenemos una combustión a presión constante el agua formada durante dicho proceso sale usualmente con los productos de combustión en forma de vapor de agua.

El calor de condensación del agua no es en consecuencia utilizable.

Para el cálculo del poder calorífico neto, el valor del calor latente de vaporización del agua es 10.5 Kcal/gm-mol de hidrógeno contenido en el combustible.

Expresándolo de otra manera, tenemos:

$$PC \text{ neto} = PCA - 10.5 (\text{moles de } H_2/m^3) \dots\dots (A)$$

$$\text{Donde: } PCA = \text{Poder calorífico alto} = 9019.136$$

Cálculo del número de moles de H_2 contenidos en el combustible.

En la siguiente tabla se darán los pormenores para obtener el número de moles de H_2 .

El número de moles de H_2 contenidos en un metro cúbico de gas.

$$\text{Para una } P = 1 \text{ atm y } T = 20^\circ C.$$

A N E X O 4.

PODER CALORIFICO DEL GAS NATURAL

Si tenemos una combustión a presión constante el agua formada durante dicho proceso sale usualmente con los productos de combustión en forma de vapor de agua.

El calor de condensación del agua no es en consecuencia utilizable.

Para el cálculo del poder calorífico neto, el valor del calor latente de vaporización del agua es 10.5 Kcal/gm-mol de hidrógeno contenido en el combustible.

Expresándolo de otra manera, tenemos:

$$PC \text{ neto} = PCA - 10.5 (\text{moles de } H_2/m^3) \dots\dots (A)$$

$$\text{Donde: } PCA = \text{Poder calorífico alto} = 9019.136$$

Cálculo del número de moles de H_2 contenidos en el combustible.

En la siguiente tabla se darán los pormenores para obtener el número de moles de H_2 .

El número de moles de H_2 contenidos en un metro cúbico de gas.

Para una $P = 1 \text{ atm}$ y $T = 20^\circ C$.

Elemento	n gm-mol/m ³	M	n_{H_2} gm-mol/m ³
Metano	37.836	16.04	75.672
Etano	2,217	30.07	6.651
Propano	0.266	44.09	1.064
Total	40.319		83.387

El número de moles de H₂ contenidos en un m³ de gas es de 83.387.

Sustituyendo en la ecuación A, tenemos:

$$PC \text{ neto} = 9019.136 - 10.5(83.387)$$

$$PC \text{ neto} = 8143.57 \text{ Kcal/m}^3$$

Todos los datos anteriores de obtuvieron: "Hornos" Pease Cruz.

BIBLIOGRAFIA.

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

- 1.- Ingeniería Metalúrgica
R.A. Higgins
Ed. Continental
Primera edición en español, 1963.
- 2.- Técnicas de Metalurgia Experimental
A.U. Seybolt
Ed. Limusa - Wiley, S.A.
Impresa en México, D.F., 1969
pp. 379.
- 3.- Manual de la fusión a Crisol
Morganite del Caribe, S.A. de C.V.
Publicado en México, D.F.
Primera edición, 1980
pp. 32.
- 4.- Hornos de fusión (Tesis)
Pinete Morales Guillermo
I.P.N., 1969.
- 5.- Fundición para Ingenieros
H.F. Taylor
Ed. Continental
Primera edición en español
pp. 460.
- 6.- Tecnología de la Fundición
Capello Edoardo
Ed. Gustavo Gili, S.A.
Impreso en Barcelona España
pp. 495
- 7.- Combustibles y Refractarios
J.D. Gilchrist
Ed. Alhambra, S.A.
Impreso en España, 1969
pp. 168

- 8.- Hornos de Fundición (Tesis)
Pease Cruz Carlos Alberto
UNAM, 1969.
- 9.- Combustibles y Combustión (Tesis)
Cruz Torres Armando
Guanajuato, Gto. 1974
Fac. de Ciencias Químicas
pp. 106.
- 10.- Manual de Combustible Aislantes y Refractarios
Anatolio Ernitz
Buenos Aires, 1942
pp. 90.
- 11.- Combustibles: Sólidos, Líquidos y Gaseosos
J.S.S. Brame
Traducido por Marino Dávila
Impreso en España
Editada: Publicaciones de la escuela especial
de ingenieros
pp. 554.
- 12.- Quemadores de Gas. (Tesis)
Sixto Cortés Alamillo
Facultad de Química
México, D.F., 1966.
- 13.- Quemadores de Petróleo
G. Salvi
Segunda versión en Italiano
Ed., Dossat, S.A.
Impreso en España
pp. 864.
- 14.- Hornos (Tesis)
Delgado Barrera Carlos
Esc. Nal. de Ciencias Químicas
México, D.F., 1963.

- 15.- Manual del Ingeniero Mecánico
Marks, S.L.
Ed. Hispanoamericana UTEHA
Primera edición en español
Impreso en México
pp. 2596
- 16.- Quemadores Atmosféricos (Tesis)
Pineda Dominguez
I.P.N. (ESIQUE)
México, D.F., 1971