

60
2 es.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

DISEÑO DE UN HORNO DE CRISOL
BASCULANTE

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N
OSCAR JIMENEZ PEREZ
MIGUEL ANGEL MIRANDA BLANQUEL

ASESOR: MARCO ANTONIO HERNANDEZ RODRIGUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

262687



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Diseño de un Horno de Crisol Basculante"

que presenta el pasante: Miguel Angel Miranda Blanquel
con número de cuenta: 8802861-7 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

A T E N T A M E N T E.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 12 de Mayo de 1998

PRESIDENTE Ing. Filiberto Leyva Piña

VOCAL Ing. Noé García Lira

SECRETARIO Ing. Marco Antonio Hernández Rodríguez

PRIMER SUPLENTE Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Jesús García Lira



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Diseño de un Horno de Crisol Basculante"

que presenta el pasante: Oscar Jiménez Perez
con número de cuenta: 8713798-5 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 12 de Mayo de 1998

PRESIDENTE	Ing. Filiberto Leyva Piña	
VOCAL	Ing. Noé García Lira	
SECRETARIO	Ing. Marco Antonio Hernández Rodríguez	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Jesús García Lira	

A mis padres,
que con su apoyo y confianza
me han alentado para tener
una formación profesional.

A mis hermanas,
que con el ejemplo de:
dedicación, honradez y trabajo,
me sirven de guía para lograr mis metas.

Oscar.

Con todo respeto para mi Padre,
por ser la persona que dedicó
parte de su vida en mi enseñanza.

A mis hermanos,
por ser ellos mi ejemplo,
y confiaron en que lograría mis objetivos.

A mi compañera Renata,
por su apoyo y cariño incondicional
que siempre me ha brindado.

Porque me enseñaste a ser un triunfador,
porque necesite ser capaz
en los momentos difíciles.

A ti que me enseñaste eso y más ... gracias.

Atletismo.

Miguel Angel

ÍNDICE

Introducción.....	5
Capítulo I GENERALIDADES DE LOS HORNOS.....	6
I.1 Clasificación de los hornos.....	6
I.2 Características de algunos hornos de fusión.....	8
I.2.1 Hornos de combustible.....	8
Capítulo II HORNOS DE CRISOL PARA METALES NO FERROSOS.....	10
II.1 Clasificación de los hornos de crisol.....	10
II.2 Clasificación de los crisoles.....	12
II.2.1 Fusión a crisol.....	12
II.2.2 Características de los crisoles.....	13
II.2.3 Cuidados de los crisoles.....	14
II.3 Materiales refractarios.....	17
II.3.1 Clasificación y propiedades de los refractarios.....	17
II.4 Combustibles.....	19
II.4.1 Clasificación de los combustibles.....	19
II.4.2 Combustibles sólidos.....	20
II.4.3 Combustibles líquidos.....	21
II.4.4 Combustibles gaseosos.....	22
II.4.5 Combustibles más usados en fundición.....	23
II.5 Quemadores.....	25
II.5.1 Clasificación de quemadores de aceites combustibles.....	25
II.5.2 Quemadores que utilizan gas como combustible.....	27
II.5.3 Clasificación de los quemadores de gas.....	27

Capítulo III DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL HORNO DE	
CRISOL BASCULANTE.....	34
III.1 Materiales refractarios.....	34
III.1.1 Base del horno.....	34
III.1.2 Pared del horno.....	35
III.1.3 Pegado de ladrillo.....	37
III.1.4 Material aislante.....	37
III.2 Crisoles.....	38
III.3 Quemador.....	40
III.4 Combustible.....	41
Capítulo IV DISEÑO DEL HORNO.....	42
IV.1 Diseño del mecanismo de volteo del horno.....	42
IV.1.1 Centro de gravedad.....	42
IV.1.2 Momento torsionante.....	51
IV.1.3 Flechas.....	52
IV.1.4 Volante.....	55
IV.1.5 Engranés.....	56
IV.1.6 Chumaceras.....	63
IV.2 Diseño térmico del horno.....	65
IV.2.1 Energía transmitida por radiación.....	65
IV.2.2 Energía transmitida por convección.....	72
IV.2.3 Energía transmitida por conducción.....	73
IV.2.4 Pérdidas de calor por radiación.....	74
IV.2.5 Pérdidas de calor por conducción.....	75
IV.3 Balance térmico del horno.....	80
IV.3.1 Cantidad de calor por kilogramo de bronce.....	81
IV.3.2 Cantidad de calor contenido en el bronce a diferentes temperaturas.....	82

Capítulo V	PLANEACIÓN DE LA MANUFACTURA.....	84
	V.1 Dibujos de conjunto y de definición del horno.....	84
	V.2 Manufactura del horno.....	93
Capítulo VI	COSTOS Y RENDIMIENTO DEL HORNO.....	106
	VI.1 Costo de los materiales de fabricación del horno.....	106
	VI.2 Rendimiento del horno.....	107
	CONCLUSIONES.....	109
	BIBLIOGRAFIA.....	111

INTRODUCCIÓN

El proceso de fundir los metales en crisol es uno de los más antiguos y efectivos, el cual generalmente se emplea en la fusión de los metales no ferrosos y se les encuentra tanto en fundiciones antiguas como las más modernas; lo que significa que esta técnica de fusión, bajo este sistema es bastante eficiente. Su aplicación se debe principalmente a dos causas:

- a) Facilidad de control y manejo
- b) A que los costos de inversión son bastante económicos

Algunas fundiciones de metales no ferrosos se hacen en casi todos los tipos de hornos. Cada vez se utilizan más los hornos de inducción por razones de conveniencia, facilidad de operación, menos problemas ambientales, pero los hornos de crisol que queman aceite y gas tienen ventajas. Aunque el costo del combustible es casi el mismo para ambos tipos de hornos, un horno eléctrico puede costar de 10 a 15 veces más inicialmente que uno que quema gas o aceite. Los hornos eléctricos modernos tienen controles complicados y su servicio es costoso, en tanto que un horno de crisol de combustible fósil necesita recubrimiento interno de cuando en cuando.

Después de que se ha alcanzado la temperatura o punto de fusión del metal es necesario generar más calor para poder transformar el metal o aleación de sólido a líquido. Durante este periodo no aumenta, y la cantidad de calor generada es destinada solamente a disgregar el estado sólido, a esta se le llama calor latente o de fusión.

El objeto de los hornos de fusión es el de proporcionar al metal el calor necesario para fundirlo y recalentarlo hasta el punto deseable.

El principal objetivo del diseño de este horno de crisol, es por la necesidad de contar con un horno de estas características en el laboratorio de manufactura de la Facultad de estudios superiores Cuautitlán para la elaboración de prácticas, ya que estas son básicas para la formación de futuros Ingenieros, además de mejorar tanto el proceso como la calidad del metal fundido.

CAPITULO I

GENERALIDADES DE LOS HORNOS.

1.1 Clasificación de los hornos.

El proceso fundamental en un horno de fusión consiste en hacer pasar los metales y sus aleaciones del estado sólido al estado líquido, proceso en el cual se deberá generar determinada cantidad de calor, que será característica de cada metal o de cada aleación.

Los hornos de fusión se pueden dividir en tres grandes grupos:

- a) Hornos de combustible
- b) Hornos convertidores
- c) Hornos eléctricos.

1.- Se denominan hornos de combustible debido a que la fuente de calor en este caso es el combustible, este puede ser sólido, líquido o gaseoso. En este tipo de hornos, la temperatura máxima se obtiene cuando la combustión es completa, es decir, cuando es lo mas aproximada posible a la teórica, o sea sin exceso de combustible ni de comburente.

Cada tipo de combustible tiene una particular temperatura teórica de la llama, la cual, en cada caso debe ser mayor al punto de fusión del metal al que hay que fundir.

Entre los hornos de combustible podemos nombrar, de manera general, a los siguientes:

- a) Hornos de crisol
- b) Hornos de reverbero
- c) Hornos cubilotes
- d) Hornos altos

2.- Los hornos convertidores, se utilizan bastante en las fundiciones de acero de tipo pequeño y mediano y en los talleres que trabajan con hierro colado y que en ocasiones producen piezas de acero.

La operación se basa en el hecho de que el hierro colado líquido se transforma en acero insuflando aire a presión en la masa metálica.

Los hierros colados aptos para el convertidor pueden ser hierros colados salidos del cubilote o hierros colados salidos del horno alto.

En el proceso de conversión, el carbono, el silicio y el magnesio, contenidos en el hierro colado, al entrar en contacto con el oxígeno, arden y el calor generado por esa reacción no solo mantiene líquida la masa, sino que la recalienta.

Entre los hornos convertidores más importantes se encuentran los siguientes:

- a) Convertidor Bessemer
- b) Convertidor Thomas

3.- Los hornos eléctricos, por su parte, tienen una ventaja muy importante sobre los demás tipos de hornos, su instalación es mucho más sencilla y mucho menos costosa. Para cualquier empresa o grupo, es mucho más fácil montar hornos eléctricos, que cualquier otro tipo de horno.

La principal materia prima empleada para la fabricación de acero en horno eléctrico es la chatarra de hierro dulce. Los hornos eléctricos se pueden dividir en tres grupos:

- a) Hornos de arco
- b) Hornos de inducción
- c) Hornos de resistencia

I.2 Características de algunos hornos de fusión.

1.2.1 Hornos de combustible.

Horno de cubilote.

Los hierros colados, se hacen volviendo a fundir chatarra junto con arrabio, en un horno llamado *cubilote*.

La construcción de este tipo de horno es simple, la operación es económica y funde hierro continuamente con un mínimo de mantenimiento. De vez en cuando el metal se mezcla con el combustible, algunos elementos se aprovechan mientras otros son perdidos. El proceso de obtención del hierro fundido especial y aleado dificulta su control en el cubilote. La construcción de este horno es simple, consiste en un tubo vertical recubierto con material refractario, con la disposición necesaria para introducirle una corriente de aire cerca del fondo.

En los cubilotes el combustible empleado es el coque, camas de coque se intercalan con camas de hierro. En operación, una cama de coque es encendida y las cargas alternas de coque y hierro se hacen en la proporción de una parte de coque por 8 a 10 partes de hierro, esta relación es en masa. En estos tipos de hornos son utilizados distintos tipos de fundentes, el objeto de añadir fundentes, es de eliminar impurezas en el hierro, protegerlo de la oxidación y hacer a la escoria más fluida para retirarla con mayor facilidad del cubilote.

La presión del aire que debe mantenerse depende del tamaño del cubilote, lo compacto de la carga, la clase de hierro que se va a fundir y la temperatura. Se puede mejorar apreciablemente la combustión en el cubilote mediante el precalentamiento del aire, llamándosele al horno *cubilote de aire caliente*. Los costos del control para la contaminación son significativos en la operación del cubilote, causando que en algunas fundiciones se utilicen hornos rotatorios (cubilotes rotatorios) horizontales alimentados con petróleo para fabricar hierro gris.

Horno de crisol fijo.

Es el tipo más sencillo de horno, y se encuentra en pequeñas fundiciones que trabajan aleaciones de metales no férreos. En las fundiciones que trabajan con hierro fundido puede tener empleo para coladas pequeñas y urgentes. No se emplea para el acero, a pesar de que es un hecho cierto que los mejores aceros ingleses del siglo pasado eran obtenidos en baterías de este tipo de hornos. El crisol alcanza temperaturas muy elevadas y la carga metálica que contiene se funde sin entrar en contacto directo con los gases de la combustión.

El elemento más importante es el crisol, compuesto de grafito, con la adición eventual de carborundo, mezclado con aglutinantes adecuados, por ejemplo, arcilla o alquitrán. Los crisoles se clasifican por puntos, entendiéndose por punto el contenido en peso de 1 Kg. de bronce líquido (es decir un crisol de 100 puntos puede contener 100 Kg de bronce fundido). En el comercio se encuentran crisoles de muy pocos puntos e incluso de fracciones de puntos para metales preciosos, y crisoles de 30 - 50 - 80 -100- 120 - 175 - 200 - 250 - 300 - 400 puntos para aleaciones no ferrosas; de esto se desprende que los hornos de este tipo solo son aptos para coladas de poco volumen.

Horno de crisol inclinable.

Los hornos de crisol fijo tienen el grave inconveniente de que el metal debe ser extraído en pequeñas cantidades, con cucharas, a menos que la colada se efectúe directamente con el mismo crisol, en cuyo caso debe ser tomado y extraído del horno mediante unas tenazas o pinzas especiales. Para evitar este inconveniente y para utilizar el calor sensible de los gases de la combustión se construyeron los hornos de crisoles inalineables mecánica o hidráulicamente y que pueden tener un sistema de precalentamiento de aire.

CAPITULO II

HORNOS DE CRISOL PARA METALES NO FERROSOS.

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.

II.1 Clasificación de los hornos de crisol.

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

a) *Hornos de cuchareo.*- 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.

b) *Horno basculante.*- Estos hornos pueden quemar coque, pero actualmente se utilizan con más frecuencia gas o petróleo. La cámara inclinable consiste de una cubierta con ladrillos refractarios preformados, 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 forma que pueden balancearse alrededor de un eje que pasa a través de un pico vertedor, en esta forma puede verterse un chorro continuo de metal a una abertura relativamente pequeña.

La capacidad de estos hornos va desde 70 hasta 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.

c) Otro horno basculante es el que lleva un *crisol tipo Jofaina* de forma ancha y abierta, facilita mucho la carga de chatarra pesada, compara con el crisol alto y más cerrado usado en los hornos basculantes más comunes. La capacidad de este tipo de crisol va desde 65 a 585 Kg. de aluminio o 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 de tipo de aire a baja presión, manejados manualmente y debidos a la naturaleza de la llama, es preciso calentarlos gradualmente para evitar daños al crisol.

Para reducir este periodo de precalentamiento se puede 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 fosa*.- Generalmente son de sección circular. El tiro forzado se utiliza naturalmente, entrando la flama del quemador a la cámara de horno en forma tangencial, de modo 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 fosa se utilizan para fundir acero, latón y bronce. La capacidad del crisol varía generalmente entre 15 a 150 Kg. de latón.

Tienen la ventaja de ser muy flexibles en lo que se refiere al tipo de aleación a fundir y también y 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.

II.2 Clasificación 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:

- a) Crisoles de grafito.
- b) 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.

II.2.1 Fusión 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 basan 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 mezclado y uniforme.

- b) Mejores condiciones metalúrgicas. En el crisol el metal fundido está protegido de la llama y los productos de la 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 la temperatura, van asegurando el control exacto de la composición de la aleaciones.
- c) Inversión de capital más baja. Economía en el espacio disponible. El costo inicial de los hornos de crisol son más bajos y ocupan menos espacio que otros hornos de capacidad similar.
- d) Facilidad de instalación. Un horno de crisol debe estar anclado con pernos en el suelo, acoplados a los suministros de 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.
- 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.

11.2.2 Características 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 temperatura para resistir el manejo descuidado.

11.2.3 Cuidados de los crisoles.

Uno de los elementos más importantes de los que consta el horno es el crisol, ya que este es el recipiente en donde se coloca el material para proceder a fundirlo.

El crisol necesita de extremos cuidados para evitar dañarlos, evitando así que su vida normal quede reducida. Aún los daños que parecen insignificantes como el erosionado del vitrificado o astillado, pueden resultar en un acortamiento de la vida del crisol, tiempos de fusión más largos y consumo de combustible más alto.

A continuación se nombrarán los cuidados más importantes que se deben tomar en el manejo de los crisoles en general.

Almacenamiento.

- a) Los crisoles se deben almacenar en un lugar templado y con atmósfera seca.
- b) Deben colocarse siempre sobre un lugar templado, nunca sobre el suelo.
- c) No se deben poner los crisoles unos dentro de otros.

Instalación.

- a) Para reducir al mínimo las tensiones en la base del crisol, durante el calentamiento, utilice siempre una peana de iguales características térmicas que el crisol (tales como peanas suplex).
- b) Utilice una peana que proporcione un asiento completo a toda la base del crisol.
- c) Hay que cuidar que tanto el crisol como la peana se coloquen bien centrados dentro de la cámara del horno. Un descentrado del crisol ocasionará una vida del crisol más corta, mayor tiempo de fusión y por lo tanto mayor consumo de combustible.

d) Utilizar una peana nueva para cada crisol. A menudo la reutilización de una peana ocasiona un acortamiento en la vida del crisol

El objetivo que se busca al realizar el diseño de un horno de crisol basculante, es que sea lo más eficiente y seguro posible. A continuación se describirán los cuidados que se deben tener con el crisol cuando el horno es basculante.

- a) Colocar la peana bien sujeta y centrada sobre la base del metal del horno y rellenar el hueco que quede entre estas dos peanas con un material apropiado.
- b) Coloque el crisol sobre la peana, cuando el cemento todavía este húmedo, asegurándose que el realce quede bien colocado sobre el hueco que lleva el crisol en su base y de que el crisol quede bien centrado en su parte superior.

Carga

- a) Tan pronto como todo el crisol haya llegado al color rojo, cargue y funda inmediatamente, ya que un precalentamiento prolongado con el crisol vacío únicamente representa aumento en el consumo de combustible y menor vida del mismo crisol.
- b) Siempre que sea posible cargue el crisol estando éste en posición vertical.
- c) De ser posible cargue primero chatarra ligera a fin de que sirvan de colchon a las piezas pasadas.
- d) Utilice tenazas para cargar las piezas pesadas o grandes, evitando así dañar el crisol.
- e) Coloque las piezas grandes y los lingotes en posición vertical para evitar acúñamiento y para que no se formen oquelados.
- f) No apretar la carga en el crisol. Permitir que siempre haya suficiente espacio para la expansión del metal. La expansión del metal es aproximadamente 7 veces mayor que la expansión del crisol.

Fusión y colada

- a) Fundir tan rápido como sea posible.

- b) Evitar sobrecalentar la colada. Fundir siempre a la temperatura más baja que permita el proceso o la pieza a fundir.
- c) Evitar mantener el metal fundido por largos espacios de tiempo a alta temperatura. Colar el metal tan pronto haya terminado la fusión, vaciando el crisol. Tan pronto como sea posible.
- d) Evitar retrasos entre fusiones y procurar utilizar el crisol lo más posible.
- e) Mantener un control de temperatura lo más estricto posible, cualquier exceso innecesario de temperatura será una consecuencia directa del ataque de estos fundentes al crisol con la consiguiente reducción de su vida.

Limpieza

El crisol debe limpiarse entre fusiones rascando y quitando todas las adherencias y escorias, mientras todavía este caliente. Las escorias que se quedan en el crisol disminuyen rápidamente el espesor de la pared del crisol en fusiones subsiguientes y por lo tanto se obtendrá una vida más corta.

Los óxidos y escorias que se quedan pegados a la pared del crisol, después de sucesivas fusiones con ellos adheridos, se hacen extremadamente duros, y su efecto directo es un tiempo de fusión mucho más largo, más consumo de combustible y una vida más corta en el crisol. Las escorias junto a los productos químicos agresivos que llevan algunos fundentes reducen la vida del crisol considerablemente.

Algunos cuidados "no" importantes.

- a) No almacene crisoles en temperaturas inferiores a 0 °C
- b) No ruede los crisoles nuevos.
- c) No utilice un crisol que esta (o ha estado) húmedo, sin haberlo secado totalmente con anterioridad.
- d) No utilice ladrillos refractarios como peanas.
- e) No utilice arena entre la peana y el crisol.
- f) No deje que se solidifique el metal dentro del crisol.
- g) No vierta metal fundido en un crisol frío.
- h) No tire ni deje caer el metal sólido en los crisoles.

- i) No deje que se acumule la escoria dentro del crisol.
- j) No acuña la carga sólida dentro del crisol.
- k) No permita la entrada de aire frío en la cámara del horno, especialmente en los hornos a resistencias electricos.
- l) No olvide reparar los revestimientos en cuanto sea necesario.

II.3 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 demasiado 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 el ejemplo el revestimiento del horno.

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

11.3.1 Clasificación y propiedades de los Refractarios

La clasificación de los materiales refractarios generalmente se da de la siguiente manera:

- a) ácidos
- b) básicos
- c) neutros

a) Refractarios Ácidos.

Aquí predomina la sílice SiO_2 , el cual a temperaturas altas reacciona con los refractarios, cenizas, escorias o con los fundentes; todos estos básicos forman silicatos cuyos puntos de fusión son inferiores 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 o reaccionaran permanentemente con las paredes del horno.

b) Refractarios Básicos.

En estos predomina el óxido de calcio (CaO) o 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 bajo. En este caso tienen también validez las advertencias del párrafo precedente.

c) Refractarios Neutros.

En estos predomina la alúmina (sesquioxido de aluminio, Al_2O_3), el carburundo (carburo de silicio, SiC) o de grafito (estado alotropico del carbono C). Se le da el nombre de neutros por que no reaccionan de manera sensible con ningún otro tipo de material refractario cenizas, escorias o fundentes.

Propiedad de los refractarios.

La refractariedad no es suficiente para definir la actitud 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 2 Kg/cm^2 .
- c) La dilatación 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.

II.4 Combustibles.

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

Combustión.- La combustión es la combinación rápida de una sustancia con el oxígeno, con aumento de la temperatura y desarrollo de calor. Si la combustión es lenta se obtiene una simple oxidación que solo en condiciones especiales puede provocar aumento de temperatura y desarrollo de calor, mientras que si es más lenta el aumento de temperatura y el desarrollo de calor son prácticamente inapreciables.

En los hornos industriales se hace muy activa la combustión, ya que las temperaturas a alcanzar son muy elevadas. Se emplean medios especiales para provocar la formación de una llama:

Para que se manifieste una combustión, o para que sea completa, es necesario:

- a) La presencia del cuerpo que pueda arder o combustible.
- b) La presencia del cuerpo comburente que pueda alimentar la combustión, es decir, oxígeno en cantidad por lo menos igual al valor teórico que resulta de la composición del combustible y de las reacciones químicas que manifiestan
- c) Temperatura inicial suficientemente elevada. En la práctica se “ceba” la combustión calentando una porción del combustible hasta que alcance una determinada temperatura, que es muy distinta de combustible a combustible, llamada temperatura de encendido.
- d) Que el oxígeno o el aire, que se emplea más corrientemente, se mezclen íntimamente con los gases de la combustión que se desarrollan durante el proceso.

II.4.1. Clasificación de los combustibles.

Muchos autores coinciden señalar en que los combustibles son: sólidos, líquidos y gases. A continuación se muestra la tabla (2.a) que contiene una visión más general acerca de la clasificación de los combustibles.

CLASIFICACION DE LOS COMBUSTIBLES

Tipo de combustible	Combustibles Naturales	Subproductos combustibles
Sólido	Carbón	Coque Alquitrán
	Lignito Turba	Carbón Animal
	Madera	Carbón Vegetal Corteza Coque de petróleo Bagazo
Líquido	Petróleo	Gasolina Querosina Fuel-Oil Gas-Oil Residuos y fracciones
Gas Natural	Gas Natural	Gas de refinería
	Gas licuado de petróleo	Gas de horno Gas de alto horno Gas pobre Gas de agua Carburado

Tabla 2.a

11.4.2 Combustibles sólidos.

El carbón es el más importante de todos los combustibles fósiles que se usan para 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 sustancias 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.

II.4.3 Combustibles líquidos.

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 aceite minerales son inmensas y probablemente incrementarían 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.

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. Un kilogramo 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 despreciable cantidad de materia incombustible.
- 2.- Menor volumen de almacenaje. Una tonelada de aceite tiene por término medio un volumen de 1.07 m^3 contra un promedio para el carbón de 1.2 m^3 .

- 3.- Fácil regulación del consumo. Como esto se hace abriendo o cerrando válvulas, la operación es muy sencilla.
- 4.- Limpieza. El aceite arde sin dejar casi nada de residuos, de tal manera que se evita el manejo y eliminación de las cenizas, escorias etc. Además, la carencia de cenizas da más rendimiento.

11.4.4 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.

El gas natural es, tal vez, el logra más aproximado a un combustible ideal, debido a que prácticamente, está libre de gas incombustible o 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, se encuentra 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 está presión disminuye gradualmente. El gas licuado de petróleo (G. L. P.), este término se aplica a varios hidrocarburos que son gaseosos bajo condiciones atmosféricas normales, pero que pueden ser licuados bajo presiones moderadas a temperaturas normales.

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 combustible como el aire 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.

11.4.5 Combustibles más usados en fundición.

Recordemos las principales características de los combustibles de más uso en fundición:

- a) *Coque.*- Se emplea en los cubilotes de las fundiciones de hierro colado, en los hornos de crisol de las fundiciones de metales y aleaciones férricas y no férricas, en las estufas para el secado de los moldes y los machos. El coque se obtiene destilando fuera del contacto del aire hulla de llama larga en baterías de retortas o de cámaras. Los establecimientos donde se realiza esta operación reciben el nombre de coquearías.

Una tonelada de hulla da, aproximadamente, de 270 a 300 m³ de gas, de 650 a 700 Kg. de coque y de 30 a 40 Kg. de alquitrán y otros productos químicos.

- b) *Carbón de piedra.*- Los carbones de piedra se pueden clasificar según su contenido en materias volátiles: así se habla de carbones con el 30 al 40 % de materias volátiles (carbones de llama larga o carbones de gas), de otros con el 19 al 30 %. La humedad natural varía del 3 al 5 % y las cenizas de 3 a 10 %.

Su tamaño es muy variado, para adaptarse a los hornos de distintos tipos en los que es empleado, es decir, en los llamados de reverbero, sean fijos, sean giratorios, que están en uso especialmente en las fundiciones de hierro colado maleable y de bronce. Algunas de estas instalaciones utilizan el carbón muy finamente molido e insuflado en la cámara de combustión con aire comprimido.

- c) *Antracita.*- Por su bajo contenido de cenizas y de materias volátiles es especialmente adecuada para la carburación del hierro colado y del acero líquido. En determinadas proporciones se puede usar también en los cubilotes, sustituyendo en un 10% al coque de carga.

- d) *Carbón de leña.*- Destilando leña fuerte (acacia, roble, etc.), en hornos de tipo primitivo o bien en retortas a la temperatura de 300 a 400 °C se obtiene un combustible con un 80 a 90% de C, 2 a 3% de H, 5 a 7% de O y 2 a 4%

de cenizas. Subproductos de esta destilación son el gas, el alquitrán y el ácido acético bruto.

El carbón de leña sustituye el coque en muchas aplicaciones cuando éste último escasea o cuando la diferencia de precios resulta ventajosa. El poder calorífico inferior es de 6500 a 7000 Kcal/kg.

- e) *Fuel-oil.*- Es un residuo de la destilación del petróleo a 300 °C, es muy usado en los hornos de fundición de metales y aleaciones no férreas (aleaciones de aluminio o de cobre), en los hornos de reverbero para la producción de hierro colado maleable, en las estufas de secado y para el calentamiento de los calderos de fundir. El poder calorífico inferior está entre las 9 800 y las 10 200 Kcal/kg.
- f) *Gas-oil.*- Es un aceite más ligero que el fuel-oil destilado del petróleo bruto entre los 200 y 300 °C. Es de color amarillo oscuro, con un peso específico entre 0.86 y 0.89. Se emplea con frecuencia al fuel-oil porque con él es más regular el funcionamiento del horno. Una de las aplicaciones especiales es para el secado superficial de los moldes de arena verde.
- g) *Gasolina.*- Es el producto más ligero de la destilación del petróleo. Hierve a 150 °C, tiene un peso específico entre 0.64 y 0.65 y casi no se emplea en fundición.
- h) *Gas de coquearías.*- También llamado gas de alto horno; solamente se toma en consideración en aquellas fundiciones que están en las proximidades de coquearías o de altos hornos. Esto puede ocurrir en los países ricos en carbón y en minerales.
- i) *Metano.*- Este gas natural puede llegar a tener una gran importancia para la industria de la fundición gran importancia para la industria de la fundición cuando en un futuro próximo queden instaladas apropiadas redes de distribución. Por su elevado poder calorífico inferior, que alcanza a unos 8500 Kcal/m³ sus aplicaciones serán muy numerosas sustituyendo con ventaja al fuel-oil, al gas de alumbrado y al gas gasógeno. Ya han sido preparados para su funcionamiento con metano hornos Martin-Siemens para la producción de acero, estufas para moldes y machos, hornos de calentamiento y para tratamientos térmicos, etc.

II.5 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 u oxígeno, acompañados por una generación de calor”.

Los quemadores pueden operar con cualquiera de los tres tipos de combustibles: sólido, líquido o gaseoso. A continuación solamente mencionaremos algunos quemadores que utilizan líquidos o gas como combustible.

Exigencias de un Quemador.

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

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

II.5.1 Clasificación de quemadores de aceites combustibles. (Atomizadores)

- a) 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 del 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 puede regularse empleando 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.

- b) 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 del que el aire comprimido llegue a los quemadores, ya que la llegada accidental del agua puede extinguir la llama en particular antes de que la cámara de combustión haya alcanzado su temperatura normal de funcionamiento.
- c) Quemador pulverizador para aceite de baja presión: Los quemadores de este tipo necesitan aire a presiones que oscilan entre varios g/cm^2 hasta 0.25 o 0.35 Kg/cm^2 Necesitan pulverizar una cantidad de aire igual al 50 o 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 soplates accionados por turbinas de vapor.
- d) De tobera pulverizadora o boquilla de regadera (llamado también pulverizador mecánico): depende de orificios de forma especial, en los que llega el quemador con una presión de 7 a 14 Kg/cm^2 . Algunos quemadores funcionan muy bien con presiones manuales pero este tipo es esencialmente un quemador de aceite y baja viscosidad. Por supuesto puede quemarse también, aceites combustibles pesados con esos aparatos, pero para ello hay que elevar la temperatura hasta que la viscosidad de aceite empleado sea de 100 a 125 segundos.

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

11.5.2 Quemadores que utilizan gas como combustible.

La definición de quemador de gas puede ser la siguiente: “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 combustibles gaseosos se queman y se regulan con mayor facilidad. La combustión se realiza en una sola fase y no existen problemas de atomización (aceites combustibles) o de pulverización (combustibles sólidos). Los gases son por lo general limpios y por consiguiente no forman atascos, 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.

11.5.3 Clasificación de los 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.

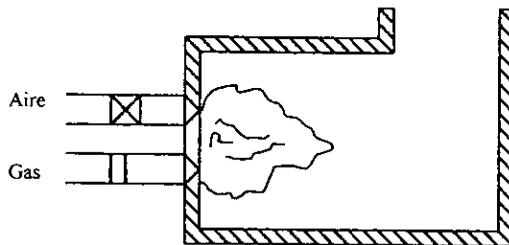


Figura 2.5.a. Sistema de difusión.

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.

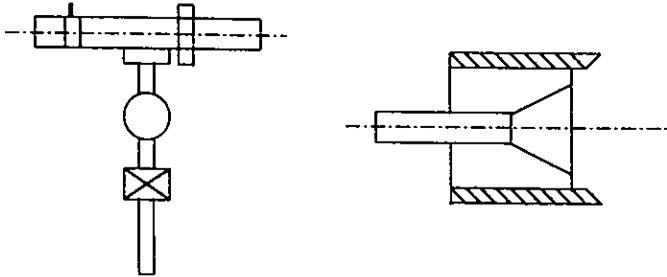


Figura 2.5.b. Sistema de premezclado parcial.

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.

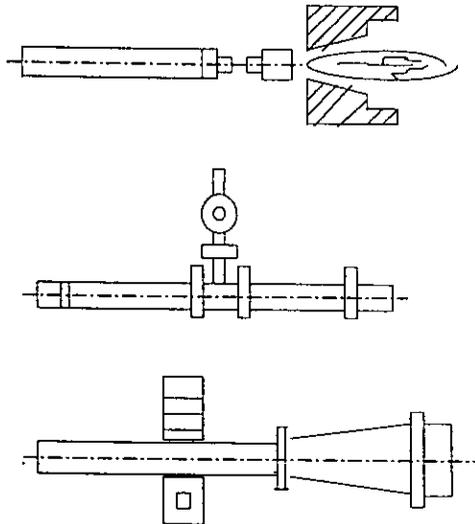


Figura 2.5.c. Sistema de premezcla total.

Los quemadores con llama de difusión se utilizan para los hornos de vidrio. Los de premezclado parcial su aplicación está en los que el exceso de aire no es dañino. Los quemadores de premezclado total en la tobera, 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 fluidos 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 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 nos 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.

Clasificación de los quemadores.

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.

- a) Quemador de premezcla
- b) Quemador atmosférico.
- c) Quemador tiro forzado abierto.
- d) Quemador tiro cerrado sellado.
- e) Quemador tubular.

f) Quemador tubular multiperforado.

Tipo II.- Quemadores dual.

- a) Quemador tiro forzado.
- b) Quemador tiro cerrado o sellado.
- c) Quemador de flama variable.
- d) Quemador de exceso de aire.
- e) Quemador de tubos radiantes.
- f) Quemador de flama plana.
- g) Quemador lineal.
- h) Quemador de rayos infrarrojos.
- i) Quemador de listón.
- j) Quemador dual (tipo especial).
- k) Quemador rotativo.

Tipo III.- Quemadores para combustible líquido.

- a) Quemadores de esprea o atomización mecánica.
- b) Quemadores de atomización para aire baja presión.

Referente a los quemadores que utilizan gas podemos señalar 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 mmH₂O) 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. 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 anillo perforado, lugar donde se lleva a cabo la combustión. Trabaja a baja presión, debido a la pobre retención de flama en los puertos. Se utiliza en procesos de baja temperatura, por ejemplo, calentamiento de tinas 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 utilizan 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.
- 4.- Quemadores multipuerto.
- 5.- Quemadores lineales.
- 6.- Quemadores tipo tira.

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 se subdividen en: quemador de túnel y quemador de mezclado en boquilla.

- 1.- Quemador tipo túnel. Se llama así debido a que la mezcla pasa a través de un túnel en el que se lleva a cabo la combustión. El túnel diverge a la salida para permitir la libre expansión de los gases hacia la cámara de combustión. La mayoría de los túneles 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 la siguiente subdivisión:

- a) Quemadores con flama corta no luminosa. Es el quemador que tiene el mejor mezclado aire-gas, la mayor turbulencia en el túnel y el que mejor expresiones de mezcla obtiene. Por dichas propiedades, este tipo de quemador 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 túnel. Estos quemadores se utilizan en hornos de tratamientos térmicos, 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 más 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 lleve 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, producen 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.
 - 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 III

DESCRIPCION DE LAS PARTES DEL HORNO DE CRISOL BASCULANTE.

III.1.- Materiales refractarios.

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

Para poder hacer nuestro análisis desde el punto de vista de diseño vamos a tener que clasificar por partes nuestro horno, primeramente analizaremos los materiales refractarios, posteriormente analizaremos los crisoles, quemadores y así sucesivamente, para no hacer una confusión con cada una de las partes que vayamos a diseñar.

III.1.1 Base del horno.

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

- 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 utilizar el horno.
- c) Resistencia a altas temperaturas, ya que como se menciono con anterioridad en el horno se generan altas temperaturas.
- d) Resistencia a la abrasión por gases calientes.
- e) Aislante térmico, porque se requiere evitar, la fuga de calor por la parte inferior del horno.

Tomando en cuenta las características anteriores y la asesoría de las compañías especializadas en la fabricación de refractarios, podemos ya seleccionar nuestro tipo de material refractario para la base del horno.

Estas compañías, especialmente Refractarios Mexicanos S. A. de C. V., recomiendan el ladrillo rectangular Alamo MK, el cual tiene una composición de 44% de Alúmina y 49% de Sílice. En este refractario, la alúmina y el sílice se mezclan, al enfriar la mezcla rápidamente se forma una estructura alrededor de 1745 °C llamada Mullita que es estable y cristaliza al descender la temperatura. Las dimensiones de este ladrillo son las siguientes: 9 x 4½ x 2½ pulgadas, como se muestra en la figura 3.1.a

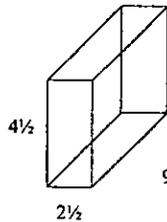


Fig.3.1a. Ladrillo Refractario.

Para la base colocaremos los ladrillos en forma de canto, es conveniente seguir este diseño porque se tendría la ventaja de que disminuye el paso del calor en tanto que si se colocaran acostados se tendría un mayor paso de calor. La figura (3.1.b) nos muestra las disposiciones que puede tener el piso.

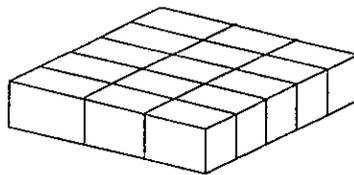


Figura 3.1.b arreglo de ladrillos en forma de canto.

III.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.

La pared del horno es una de las partes esenciales porque encierra altas temperaturas para la fundición, por ello se deberá construir con el ladrillo más adecuado. Para este caso la compañía antes mencionada nos recomienda utilizar también el ladrillo refractario Alamo MK de forma Dovela Canto No.2, el cual tiene las siguientes dimensiones: $9 \times 4\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 1\frac{3}{4}$ pulgadas.

Como se puede ver en la siguiente figura (3.1.c).

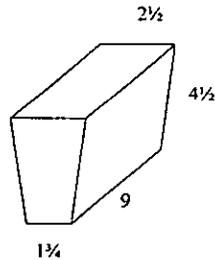


Figura 3.1.c Ladrillo refractario Canto No. 2

Por las dimensiones del crisol, llevará dos anillos de ladrillos pegados de canto para que se forme una circunferencia, como se muestra en la figura (3.1.d).

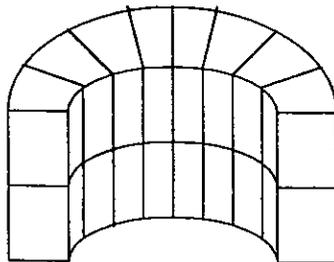


Fig.3.1.d Pared de ladrillo refractario.

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

El evitar las pérdidas del 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 realizar 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 esto la compañía de Refractarios Mexicanos nos recomienda utilizar el mortero Harwaco Bond que resiste una temperatura de 1650 °C contiene 38% de alúmina y 53% de sílice. Tenemos que señalar que para el pegado de los ladrillos existen varios métodos uno de ellos es el de inmersión, este método consiste en 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, que el espesor del mortero entre los ladrillos no sea mayor de 1/16 de pulgada (1.58mm), para evitar así la menor pérdida de calor.

III.1.4 Material Aislante.

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 aislantes que se utilicen deberán tener las siguientes propiedades:

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

A continuación mencionaremos algunos aislantes que existen en el mercado que pueden ser empleados para la construcción del horno.

Uno de ellos es la llamada fibra cerámica, siendo esta una especie de rollo de papel que se va enrollando por la parte exterior del horno, pegándose con el mismo mortero.

Otro tipo de ladrillo aislante, el cual será utilizado para nuestro horno ya que esto lo que recomiendan las compañías: Thermal Ceramics y Refractarios Mexicanos, que coincidieron en señalar a este tipo de aislante como el adecuado.

El ladrillo a utilizar tiene las siguientes características: la temperatura que puede resistir es de 1095 °C, contiene un 8% de alúmina y 66% de sílice, las dimensiones del ladrillo son 9 x 4½ x 2½ pulgadas como se podrá ver en la siguiente figura (3.1.e).

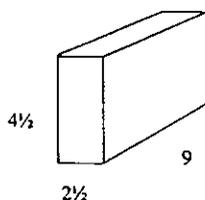


Figura 3.1.e. Ladrillo aislante.

Para la base colocaremos los ladrillos en forma acostada como se puede ver en la figura (3.1.f), es conveniente seguir este diseño por las propiedades del material ya que el espesor de esta forma es el adecuado para nuestro diseño térmico.

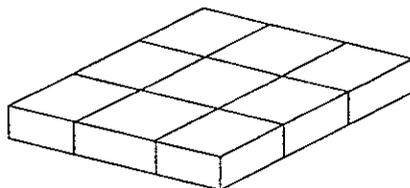


Fig. 3.1.f. Base de ladrillo aislante.

III.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 los crisoles y es atendiendo a su forma, por ejemplo:

- a) 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 tienen una forma parecida a la de un barril. Ver figura (3.1.g).

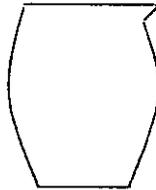


Figura 3.1.g. Crisol forma americana.

- b) 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 puede observar en la siguiente figura (3.1.h).



Figura 3.1.h. Crisol forma europea.

En nuestro caso el crisol con el que se cuenta tiene forma americana, es de carburo de silicio, y es el adecuado para la fundición de materiales no ferrosos; tiene una buena conductividad térmica de tal modo que el calor pueda fluir a través de las paredes hacia la carga.

La capacidad del crisol que vamos a utilizar será de 96.75 Kg. de bronce, pero por seguridad se utilizara solo el 90 % de su capacidad es decir 87 Kg.

NOTA: Un punto importante que debemos señalar es que el diseño del horno parte del crisol, dado que ya se cuenta con él en el laboratorio de manufactura de la FES Cuautitlán.

III.3 Quemador.

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 II los quemadores tienen una gran variedad de clasificaciones, que van desde el uso de combustible (sólidos, líquidos y gases) hasta los que destinan para uso doméstico o industrial.

Para nuestro horno utilizaremos un quemador de tiro forzado modelo G-600 que trabaja con gas L.P. Este tipo de quemador fue seleccionado, con ayuda de asesores de la casa de quemadores Enterprice S.A de C.V, por ser el adecuado para nuestra demanda de calor ya que puede proporcionar de 200 000 hasta 800 000 Btu/h.

Este quemador incluye el inyector de gas, boquillas retenedoras de flama, deflector, ventilador, motor del ventilador, transformador de encendido, electrodo para chispa de encendido, válvula solenoide de control y válvula de paso de gas, además el quemador G-600 puede automatizarse incluyendo: el control contra falla de flama, base de montaje del control y varilla detectora de flama o fotocelda. Para su instalación el equipo cuenta con una brida por medio de la cual se sujeta el quemador a la pared del horno. La línea de alimentación del combustible debe ser de 3/8" y debe contar con un regulador de presión apropiado a la capacidad que utilizará el quemador. Se recomienda el uso de un manómetro en la línea de alimentación después de la válvula solenoide el arreglo quedaría como se muestra en la figura (3.1.i).

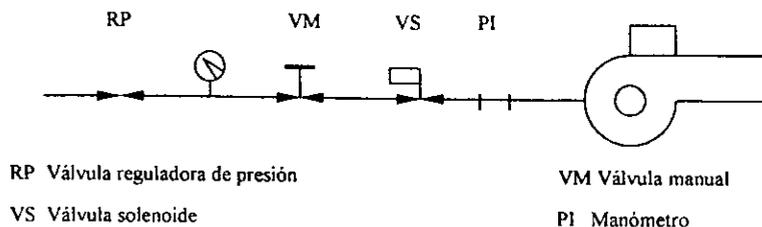


Fig.3.1.h Esquema quemador G 600

III.4.- Combustible.

Como ya se vio en capítulos anteriores los combustibles se clasifican en sólidos líquidos y gases. Nuestro horno trabajara con gas L.P, entre algunas ventajas que ofrece este combustible están las siguientes:

- Es económico.
- Es menos contaminante que los demás combustibles.
- Es de fácil manejo.
- Ocupa el mínimo de espacio para su almacenamiento.

Creemos que no existe duda alguna sobre el gas como combustible que vamos a utilizar, como ya hemos observado, presenta la mejor alternativa para su utilización.

CAPITULO IV

DISEÑO DEL HORNO

IV.1 Diseño del mecanismo de volteo del horno.

Para diseñar las partes del mecanismo de volteo se emplearán diversos conceptos los cuales nos ayudarán a realizar los cálculos adecuados para el dimensionamiento de las partes del mecanismo de volteo.

IV.1.1 Centro de gravedad.

El cálculo del centro de gravedad del horno se realizara para encontrar la distancia en donde se ubicaran las flechas sobre las que girara el horno. Para esto nos apoyaremos en las ecuaciones 4.1 y 4.2 que son con las que encontraremos el centro de gravedad de un cuerpo, en este caso el horno.

$$X = \frac{\Sigma(W)x}{\Sigma W} \quad \dots\dots\dots 4.1$$

$$X = \frac{\Sigma(A*t*\gamma)x}{\Sigma(A*t*\gamma)}$$

$$Y = \frac{\Sigma(W)y}{\Sigma W} \quad \dots\dots\dots 4.2$$

$$Y = \frac{\Sigma(A*t*\gamma)y}{\Sigma(A*t*\gamma)}$$

donde:

X= distancia al centro de gravedad en el eje x (m).

Y= distancia al centro de gravedad en el eje y (m).

x = distancia al centro de cada figura en el eje x (m).

y = distancia al centro de cada figura en el eje y (m).

A= área del material (m²).

t = espesor del material (m).

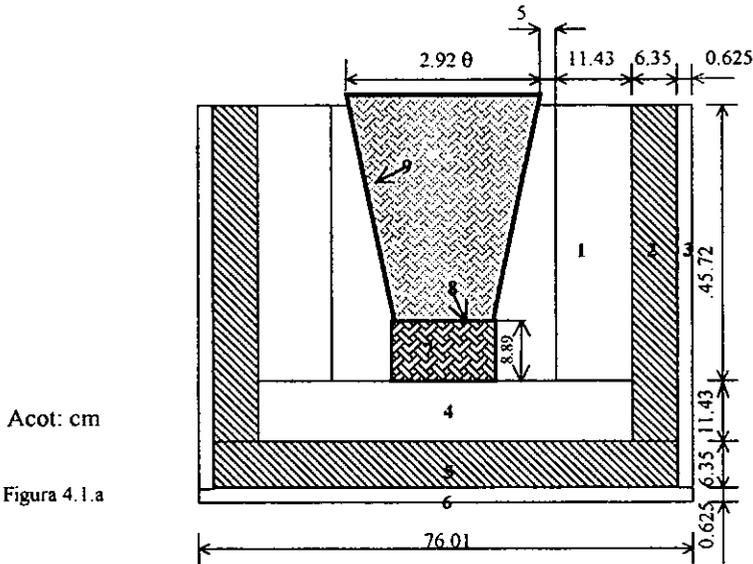
γ= peso específico del material (N/m³).

Cuando deseamos hallar el centro de gravedad de áreas complejas de un cuerpo se deben de seguir los siguientes pasos:

- 1.- Se descompone el área original en formas geométricas más simples de tal manera que se pueda identificar fácilmente la localización de su centro de gravedad.
- 2.- Se establece un par de ejes de referencia horizontal y vertical y a partir de los mismos se hacen las mediciones.
- 3.- Se determinan X y Y aplicando las ecuaciones 4.1 y 4.2 respectivamente.

NOTA: Si el cuerpo original tiene un eje de simetría se sabe que el centro de gravedad se localiza sobre ese eje de tal manera que no será necesario calcular la coordenada correspondiente a dicho eje. Por tal motivo solo utilizaremos la ecuación 4.2.

Con respecto a la figura 4.a dividiremos los materiales del horno en figuras geométricas para facilitar el cálculo de centro de gravedad.



- | | |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1.- Pared de ladrillo refractario. | 6.- Base de la carcaza. |
| 2.- Pared de ladrillo aislante. | 7.- Apoyo del crisol. |
| 3.- Carcaza. | 8.- Base del crisol. |
| 4.- Piso de ladrillo refractario. | 9.- Pared del crisol. |
| 5.- Piso de ladrillo aislante | |

Cálculo para las áreas de las paredes del horno.

Para el cálculo del área de las paredes utilizaremos la fórmula del área lateral de un cilindro, que es la siguiente:

$$A_L = 2\pi r h \quad \dots 4.3$$

donde:

A_L = área de las paredes (m^2)

r = radio del cilindro (m)

h = altura de las paredes (m)

Para el refractario (A_1)

$r = 0.196$ m.

$h = 0.4572$ m.

sustituyendo valores en la ecuación (4.3)

$$A_1 = 2\pi(0.196)(0.4572)$$

$$A_1 = 0.5630 \text{ m}^2$$

Para el aislante (A_2)

$r = 0.3103$ m

$h = 0.5715$ m

sustituyendo valores en la ecuación (4.3)

$$A_2 = 2\pi(0.3103)(0.5715)$$

$$A_2 = 1.1142 \text{ m}^2$$

Para el acero (A_3)

$r = 0.3738$ m

$h = 0.635$ m

sustituyendo valores en la ecuación (4.3)

$$A_3 = 2\pi(0.3738)(0.635)$$

$$A_3 = 1.491 \text{ m}^2$$

Cálculo para las áreas del piso del horno.

Para este calculo utilizaremos la formula del área de un circulo, que es la siguiente.

$$A_B = \frac{\pi d^2}{4} \dots\dots\dots 4.4$$

donde:

A_B = área del piso del material (m^2)

d = Diámetro del piso (m)

Para el piso del refractario (A_4)

d = 0.6206 m

Sustituyendo en la ecuación (4.4)

$$A_4 = \pi (0.6206)^2 / 4$$

$$A_4 = 0.3024 \text{ m}^2$$

Para el aislante (A_5).

d= 0.7476 m

Sustituyendo en la ecuación (4.4).

$$A_5 = \pi (0.7476)^2 / 4.$$

$$A_5 = 0.4389 \text{ m}^2$$

Para el Acero (A_6).

d= 0.7601 m

Sustituyendo en la ecuación (4.4).

$$A_6 = \pi (0.7601)^2 / 4.$$

$$A_6 = 0.4537 \text{ m}^2$$

Para la base del Crisol (A_7).

d= 0.20 m

Sustituyendo en la ecuación (4.4).

$$A_7 = \pi (0.20)^2 / 4 = 0.0314 \text{ m}^2$$

Para calcular el área del crisol dividiremos el crisol en dos partes: cuerpo lateral y piso, como se ve en la figura (4.b).

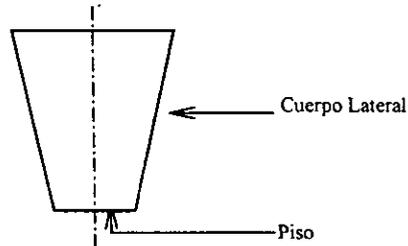


Figura 4.b Crisol

El cálculo del área del cuerpo lateral (A_g) se hará de la siguiente manera:

$$A_g = \frac{\pi m}{2} (D + d) \dots\dots\dots 4.5$$

Que es la formula para encontrar el área lateral de un segmento de cono.

donde:

A_g = Area lateral del crisol en (m^2)

m = generatriz del segmento del cono. (m)

D = Diámetro superior (m)

d = Diámetro inferior (m).

La generatriz se calcula de la siguiente manera:

$$m = \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 + h^2} \dots\dots\dots 4.6$$

Donde:

h = Altura del crisol. (0.39 m)

Sustituyendo valores en la ecuación (4.6)

$$m = \sqrt{\left(\frac{0.292 - 0.20}{2}\right)^2 + 0.39^2}$$

$$m = 0.3927 \text{ m}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (4.5)

$$A_8 = \left(\frac{\pi * 0.3927}{2} \right) * (0.292 + 0.20)$$

$$A_8 = 0.3034 \text{ m}^2$$

Para el piso del crisol tenemos:

$$A_9 = \frac{\pi d^2}{4} \quad \dots\dots\dots 4.7$$

donde:

$$d = 0.20 \text{ m.}$$

Sustituyendo en (4.7)

$$A_9 = \pi (0.20)^2 / 4$$

$$A_9 = 0.0314 \text{ m}^2$$

Calculo para los pesos especificos (γ)

Conociendo las densidades de los diferentes materiales que componen al horno podemos conocer el peso especifico de estos materiales mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma = \rho g \quad \dots\dots\dots 4.8$$

donde:

γ = peso especifico (N/m³)

g = aceleración de la gravedad 9.81 m/s²

ρ = densidad del material (Kg/m³)

Para el refractario:

$$\rho = 2250 \text{ Kg/m}^3$$

sustituyendo en (4.8)

$$\gamma = (2250)(9.81)$$

$$\gamma = 22073 \text{ N/m}^3$$

Para el aislante:

$$\rho = 700 \text{ Kg/m}^3$$

sustituyendo en (4.8)

$$\gamma = (700)(9.81)$$

$$\gamma = 6867 \text{ N/m}^3$$

Para el acero:

$$\rho = 7849 \text{ Kg/m}^3$$

sustituyendo en (4.8)

$$\gamma = (7849)(9.81)$$

$$\gamma = 77000 \text{ N/m}^3$$

Para el crisol y su base

$$\rho = 1402.54 \text{ Kg/m}^3$$

sustituyendo en (4.8)

$$\gamma = (1402.54)(9.81)$$

$$\gamma = 13759.0 \text{ N/m}^3$$

En la siguiente tabla (4.a) se muestran los valores que se utilizaran para poder emplear la formula 4.2.

Cálculo No. Parte	Area (A) (m ²)	Espesores (t) (m)	Peso Especifico (γ) (N/m ³)	Distancia con respecto al eje y (m)
1	0.5630	0.1143	22073	0.412
2	1.1142	0.0635	6867	0.355
3	1.4913	0.0062	77000	0.323
4	4.3024	0.1143	22073	0.126
5	0.4389	0.0635	6867	0.038
6	0.4537	0.0062	77000	0.003
7	0.0314	0.0889	13759	0.228
8	0.3034	0.0330	13759	0.289
9	0.0314	0.0330	13759	0.487

Tabla 4.a

Retomando la ecuación 4.2 tenemos lo siguiente:

$$\gamma = \frac{(A_1 * t_1 * \delta_1) \gamma_1 + (A_2 * t_2 * \delta_2) \gamma_2 + \dots + (A_9 * t_9 * \delta_9) \gamma_9}{(A_1 * t_1 * \delta_1) + (A_2 * t_2 * \delta_2) + \dots + (A_9 * t_9 * \delta_9)}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 4.2 tenemos:

$$Y = \frac{(0.5630)(0.1143)(22073)(0.412) + (1.1142)(0.0635)(6867)(0.355) + (1.491)(0.0062)(77000)(0.323) + (0.3024)(0.1143)(22073)(0.126) + (0.438)(0.0635)(6867)(0.038) + (0.4537)(0.0062)(77000)(0.003) + (0.0314)(0.0889)(13759)(0.228) + (0.0314)(0.033)(13759)(0.289) + (0.3034)(0.033)(13759)(0.4876)}{(0.5630)(0.1143)(22073) + (1.1142)(0.0635)(6867) + (1.491)(0.0062)(77000) + (0.3024)(0.1143)(22073) + (0.438)(0.0635)(6867) + (0.4537)(0.0062)(77000) + (0.0314)(0.0889)(13759) + (0.0314)(0.033)(13759) + (0.3034)(0.033)(13759)}$$

$$Y = \frac{585.21 + 172.44 + 231.76 + 96.13 + 7.25 + 0.67 + 8.75 + 4.12 + 67.17}{1420.41 + 485.76 + 717.54 + 762.93 + 190.99 + 218.34 + 38.40 + 14.25 + 137.75} = \frac{1173.5}{3986.37}$$

$$Y = 0.2943 \text{ m.}$$

Hemos encontrado en este calculo donde se ubica el centro de gravedad del horno, analizándolo en la posición de vaciado como se puede ver en la figura (4.c) se puede observar que para generar un momento el eje de las flechas se ubicará a una distancia de 30 cm a partir de la base del horno.

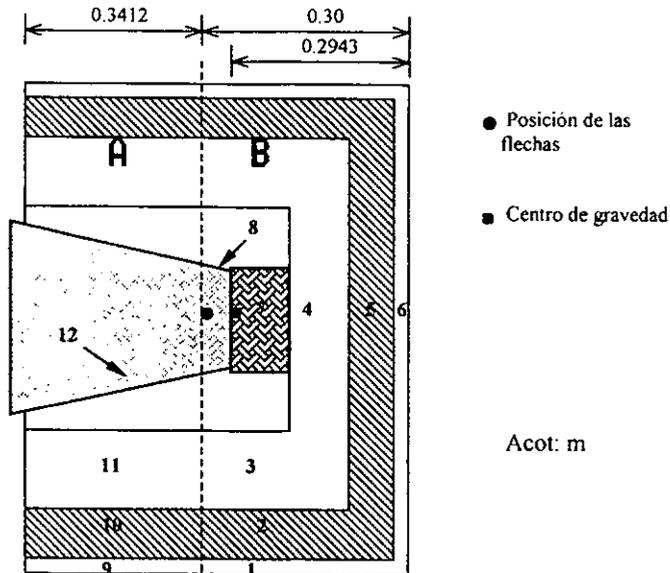


Figura 4.1.c

Al determinar el eje de las flechas y estando el horno en su posición de vaciado, este se divide en dos secciones A y B, para las cuales se calculara el centro de gravedad de ambas; esto es con el fin de encontrar el momento torsionante generado por los dos pesos a la izquierda y a la derecha de la flecha del horno, para que posteriormente se conozca el diámetro de las flechas.

Siguiendo el mismo procedimiento que se utilizo en el cálculo del centro de gravedad del horno completo, se tiene:

Para la sección A

Cálculo del área.

$$A_L = 2\pi rh$$

$$A_9 = 0.8013 \text{ m}^2$$

$$A_{10} = 0.6652 \text{ m}^2$$

$$A_{11} = 0.4201 \text{ m}^2$$

$$A_{12} = 0.2720 \text{ m}^2$$

Cálculo del centro de gravedad.

$$Y = \frac{\sum(A * t * \gamma)x}{\sum(A * t * \gamma)}$$

$$Y = 0.1705 \text{ m}$$

Para la sección B

$$A_L = 2\pi rh$$

$$A_1 = 0.6897 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.4488 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 0.1427 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 0.3024 \text{ m}^2$$

$$A_5 = 0.4380 \text{ m}^2$$

$$A_6 = 0.4537 \text{ m}^2$$

$$A_7 = 0.0314 \text{ m}^2$$

$$A_8 = 0.0318 \text{ m}^2$$

$$Y = 0.1614 \text{ m}$$

A continuación se determinarán el volumen y la masa de los diferentes materiales que componen el horno para encontrar su peso.

En la tabla 4.b se resumirán los valores obtenidos para cada material, donde:

$$V = 2\pi rht = A * t \quad \rho = \gamma/g \quad m = \rho V$$

	ÁREA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	PESO ESPECÍFICO (N/m ³)	DENSIDAD (kg/m ³)	MASA (kg)
1	0.6897	0.0043	77000	7849.13	33.75
2	0.4488	0.0284	6867	700	19.88
3	0.1427	0.0163	22073	2250.05	36.67
4	0.3024	0.0345	22073	2250.05	77.62
5	0.438	0.0278	6867	700	19.46
6	0.4537	0.0028	77000	7849.13	21.97
7	0.0314	0.0027	13759	1402.54	378
8	0.0318	0.0010	13759	1402.54	1.40
9	0.8013	0.0050	77000	7849.13	39.24
10	0.6652	0.0422	6867	700	29.54
11	0.4201	0.0480	22073	2250.05	108
12	0.2720	0.0089	13759	1402.54	12.48

Tabla 4.b

Peso de la sección A....189.25 Kg.

Peso de la sección B....214.52 Kg.

Peso total del horno.....403.77 Kg.

IV.1.2 Momento torsionante.

Cálculo del momento torsionante (M_T).

$$M_t = P \cdot d \dots\dots 4.9$$

donde:

M_t = momento torsionante de la sección (Kg-m).

P = peso de la sección (Kg).

d = distancia al centro de gravedad de la sección (m).

sustituyendo en la ecuación 4.9

Para la sección A

$$M_A = (189.25)(0.1705) = 32.26 \text{ Kg-m.}$$

Para la sección B

$$M_B = (214.52)(0.1614) = 34.62 \text{ Kg-m.}$$

El momento total es igual a:

$$M_T = M_B - M_A$$

por lo tanto:

$$M_T = 34.62 - 32.26$$

$$M_T = 2.36 \text{ Kg-m.}$$

IV.1.3 Flechas.

Cálculo de la flecha para el horno

Considerando la disposición del horno en la posición en que el horno experimenta el mayor torque, como se muestra en la figura 4.c

Como la flecha deberá estar sujeta a flexión y torsión, se utilizara la ecuación del código ASME para esfuerzos combinados.

$$d^3 = \frac{16}{\pi(\tau_{\text{máx}})} \sqrt{(cm * M)^2 + (ct * M_T)^2} \dots\dots 4.10$$

donde:

d= diámetro de la flecha (m).

$\tau_{\text{máx}}$ = esfuerzo máximo de corte que soporta la flecha (Kg/m²).

M= momento debido a flexión (Kg-m).

M_T = momento debido a torsión (Kg-m).

cm= 1.5 factor combinado de choque y fatiga aplicado al momento flector.

ct= 1.0 factor combinado de choque y fatiga aplicado al momento de torsión.

Cálculo del momento flexionante.

Calculando el momento de flexión para las flechas apoyadas en las chumaceras tomaremos en cuenta la siguiente disposición, ver figura 4.1.d

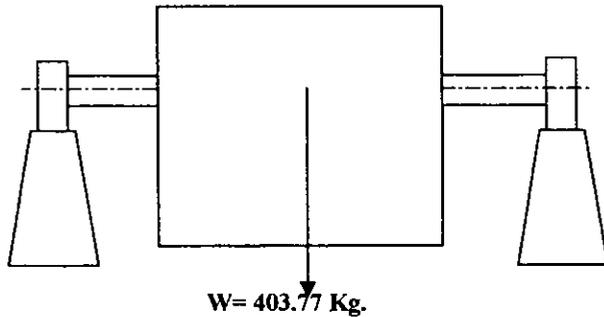


Figura 4.1.d

Analizándolo como una viga simplemente apoyada, figura (4.1.e):

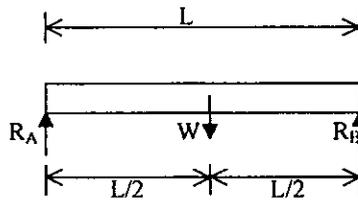


Figura 4.1.e

$$\Sigma F_y = R_A - 403.77 + R_B = 0$$

$$\Sigma M_A = W(L/2) - R_B L = 0$$

$$R_B = W/2 = 403.77/2$$

$$R_B = 201.88 \text{ Kg.}$$

Considerando el lado de una de las chumaceras como si fuera una viga en cantiliver con un peso en el extremo de 201.88 Kg y considerando que hay una longitud $L \approx 20$ cm del punto de apoyo al centro de la chumacera, despreciando el peso de la flecha. Figura (4.1.f).

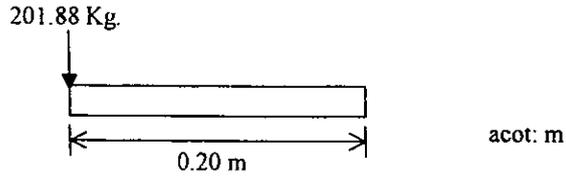


Figura 4.1.f

$$M = F \cdot L$$

$$M = (201.88)(0.20)$$

$$M = 40.37 \text{ Kg-m.}$$

Calculo para el esfuerzo máximo de corte ($\tau_{\text{máx}}$).

Considerando un acero 1020, de tablas se obtiene que:

$$\sigma_r = 4360 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 6333 \text{ Kg/cm}^2$$

Para flechas que trabajan a flexión y torsión

$$\tau_r = 0.3 \cdot \sigma_r$$

$$\tau_r = 0.3 \cdot 4360 = 1308 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_{\text{máx}} = 0.18 \cdot \sigma_{\text{máx}}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 0.18 \cdot 6333 = 1139.94 \text{ Kg/cm}^2$$

De estos dos valores se toma el menor, que corresponde a $\tau_{\text{máx}} = 1139.94 \text{ Kg/cm}^2$.

$$\tau_{\text{máx}} = 11.3994 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$$

sustituyendo valores en la ecuación 4.10

$$d^3 = \frac{16}{\pi(11.3994 \times 10^6)} \sqrt{(1.5 \cdot 40.37)^2 + (1.0 \cdot 2.36)^2}$$

$$d^3 = 2.7075 \times 10^{-5}$$

$$d = 0.030 \text{ m}$$

$$d = 1.182 \text{ plg.}$$

Por lo tanto utilizaremos una flecha de 1.5 pulgada de diámetro.

Cálculo de la flecha para el volante.

Considerando que la flecha esta sujeta únicamente a torsión, el procedimiento para calcular el diámetro requerido será mediante la siguiente ecuación 4.10.a:

$$d = \sqrt[3]{\frac{Mt * 16}{\pi * \tau}} \dots\dots 4.10.a$$

donde:

d= diámetro de la flecha (m).

Mt= momento torsionante (Kg-m).

τ = esfuerzo máximo al corte (Kg/m²).

Considerando un acero 1020 y un F.S.=2

$$\tau_{\text{máx}} = 8000 \text{psi} = 5.629 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$$

$$\tau = 5.629 \times 10^6 / 2 = 2.814 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$$

$$Mt = 2.36 \text{ Kg-m}$$

Sustituyendo en la ecuación 4.10.a

$$d = \sqrt[3]{\frac{(2.36)(16)}{\pi(2.814 \times 10^6)}}$$

$$d = 0.016 \text{ m.}$$

$$d = 0.64 \text{ plg.}$$

Por lo tanto utilizaremos una flecha de ³/₄ de pulgada.

IV.1.4 Volante.

Mediante la siguiente ecuación calcularemos el diámetro del volante que llevara el horno.

$$M_T = F * d \dots\dots 4.11$$

donde:

M_T= momento torsionante (Kg-m).

F= fuerza (Kg).

d= diámetro (m).

despejando d:

$$d = M_T/F = 2.36/F$$

Tabulando para distintos valores de la fuerza hasta obtener un valor del diámetro del volante razonable.

F (Kg)	d (m)
1	2.36
2	1.18
3	0.78
4	0.59
5	0.47
6	0.39

La medida adecuada del diámetro del volante es cuando se ejerce una fuerza de 6 Kg para girar el horno por lo tanto el diámetro del volante será de 0.39 m.

IV.1.5 Engranés.

En esta parte se determinarán los engranes que deberá llevar el horno para que funcione en forma basculante, ya que nuestro horno se complementa con un dispositivo de volteo que a continuación se desarrollara.

Como primer punto se definirán los términos más importantes que se consideran en el diseño de engranes.

Es importante mencionar que los engranes comúnmente se emplean para transmitir fuerza de una flecha que gira a otra. Se decidió utilizar engranes rectos, ya que la colocación de estos engranes cilíndricos que tienen sus dientes paralelos al eje de rotación son los indicados para nuestro diseño del horno basculante. Estos engranes transmitirán movimiento de un eje a otro que es paralelo.

La figura (4.1.g) muestra como los engranes rectos se colocan para transmitir movimiento de rotación entre ejes paralelos.

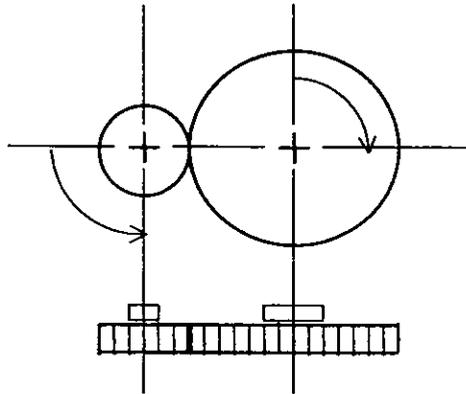


Figura 4.1.g

Las partes principales de los dientes de un engranaje se mencionarán a continuación:

- a) Paso diametral.- es la relación del número de dientes al diámetro de paso.
- b) Circunferencia primitiva.- es un círculo teórico en el que generalmente se basan todos los cálculos.
- c) Paso circular.- es la distancia medida sobre la circunferencia primitiva entre determinado punto de un diente y el correspondiente de uno inmediato.
- d) Módulo.- es la razón o relación del diámetro de paso al número de dientes.
- e) Adendo.- es la distancia radial entre el tope del diente y la circunferencia primitiva.
- f) Dedendo.- es la distancia radial entre el fondo del espacio y la circunferencia primitiva.
- g) Radio de entalle.- es la superficie curva que une al flanco de un diente con la superficie inferior.
- h) Cara del diente.- es la superficie de un diente entre la circunferencia primitiva.

Análisis de la fuerza de los engranes.

Antes de iniciar el análisis de las fuerzas que actúan en los trenes de engranes se explicara la notación que se usara. Si se asigna el número 1 al bastidor, el piñón se designa con 2 y el engrane con 3. A los ejes se designaran con las letras a y b.

Con esta notación, la fuerza ejercida por el piñón 2 contra el engrane 3 se representa por F_{23} . La fuerza del piñón 2 contra el eje a será F_{2a} . Además F_{a2} representara la fuerza ejercida por el eje a contra el piñón 2.

La figura (4.1.h) muestra el piñón montado sobre el eje a que gira en sentido horario y que mueve al engrane montado en el eje b a $\frac{3}{8}$ de vuelta.

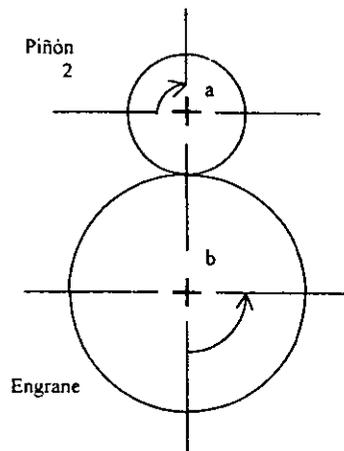


Figura 4.1.h

En la siguiente figura (4.1.i) el piñón aparece separado del engrane y del eje y sus efectos se han sustituido por fuerzas. Así F_{a2} y T_{a2} son la fuerza y el momento de rotación (torsión) respectivamente, ejercidos por el árbol a contra el piñón 2. F_{32} es la fuerza ejercida por el engrane 3 contra el piñón.

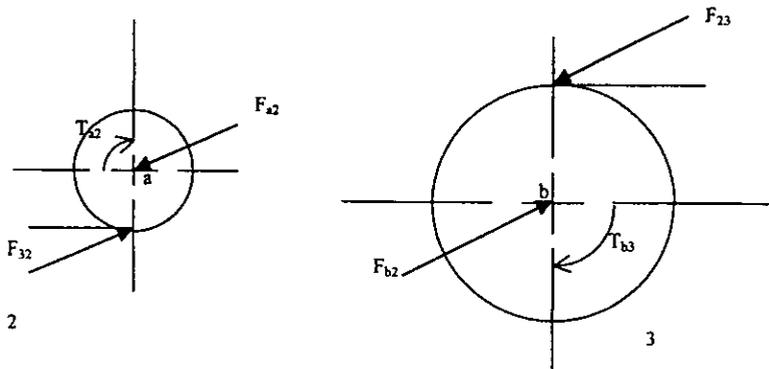


Figura 4.1.i

Cálculo de los engranes.

Teniendo definidas las partes más importantes de las que se compone un engrane y su análisis de la fuerza de estos, a continuación procederemos a realizar los cálculos necesarios para el diseño de los engranes para nuestro horno.

Como primer punto diremos que cuando dos ruedas dentadas se encuentran engranadas una a la otra, comúnmente se refiere uno a la mayor como el engrane y la menor como el piñón.

Para comenzar el cálculo de los engranes determinaremos usar un paso diametral de 6, ya que es un paso normalizado y adecuado para que la resistencia de los dientes sea la requerida para el giro del horno, como más adelante se demostrará en la resistencia de los dientes del engranaje.

Se usará una relación de 1:3, con 17 dientes en el piñón y 51 dientes en el engrane, los dientes se tomarán de altura completa y un ángulo de presión de 20° .

Nota: todos estos datos quedarán confirmados al efectuar los cálculos de la distancia entre centros.

a) *Cálculo de la distancia entre centros (C).*

Esta distancia es la que se encuentra entre del centro del piñón al centro del engrane, por lo que se necesitara conocer el radio del piñón y del engrane.

$$r_1 = \frac{2.54 * N_p}{2Pd} \dots(4.12)$$

$$r_2 = \frac{2.54 * N_g}{2Pd} \dots(4.13)$$

donde:

r_1 = radio del piñón (cm).

r_2 = radio del engrane (cm).

N_p = número de dientes en el piñón (17).

N_g = número de dientes en el engrane (51).

P_d = paso diametral (6).

Sustituyendo valores en las ecuaciones (4.12) y (4.13)

$$r_1 = \frac{(2.54)(17)}{2(6)}$$

$$r_2 = \frac{(2.54)(51)}{2(6)}$$

$$r_1 = 3.59 \text{ cm.}$$

$$r_2 = 10.79 \text{ cm.}$$

$$C = r_1 + r_2$$

$$C = 3.59 + 10.79$$

$$C = 14.38 \text{ cm.}$$

$$C = 5.66 \text{ plg.}$$

Podemos decir que la distancia entre centros es aceptable con relación al número de dientes del piñón y el engrane, así como el paso diametral.

b) *Diámetro primitivo del engrane (D_g)*

$$D_g = N_g / P_d$$

$$D_g = 51 / 6 = 8.5 \text{ plg.}$$

c) *Diámetro primitivo del piñón (D_p)*

$$D_p = N_p/P_d$$

$$D_p = 17/6 = 2.83 \text{ plg.}$$

Resistencia de los dientes.

Al comenzar la acción entre un par de dientes que engranan, el diente motor (piñón) hace contacto con la punta del diente accionado (engrane) esto se puede reafirmar en el análisis de engranes anteriormente explicado. Como el piñón y el engrane son del mismo material (hierro fundido), el más pequeño (piñón) será el más débil y por tanto controlará el diseño y los cálculos que a continuación se presentan.

La fuerza que actúa sobre el diente del piñón se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$F_t = \frac{2M_t}{D_p} \quad \dots(4.14)$$

donde:

F_t = fuerza que actúa sobre el piñón (lb).

M_t = momento torsionante (plg).

D_p = diámetro primitivo del piñón (plg).

$$M_t = 2.36 \text{ Kg-m.}$$

$$M_t = 204.65 \text{ lb-plg.}$$

Sustituyendo valores en 4.14

$$F_t = \frac{2(204.65)}{2.83}$$

$$F_t = 144.63 \text{ lb.}$$

A continuación se calculará la carga que puede soportar el diente, esto se determinará usando la ecuación de Lewis.

$$F = \tau * K * y * (\pi / P_d)^2 \dots (4.15)$$

Donde:

F= carga que soporta el diente (lb).

τ = esfuerzo permisible (psi).

K= 4 (de tablas).

y= factor de forma (0.096 de tablas).

P_d = paso diametral (6).

Como los engranes se fabricarán de hierro fundido, el valor correspondiente de τ = 8000 psi.

Sustituyendo valores en 4.15

$$F = (8000)(4)(0.096)(\pi/6)^2$$

$$F = 842.20 \text{ lb.}$$

Como la carga que puede soportar el engrane (F) es mayor que la fuerza que se aplica en el diente (F_1) podemos concluir que el material que se va a utilizar para la fabricación de los engranes con respecto al número de dientes y paso diametral son los correctos para la fuerza y carga que llevará el engranaje

Cálculo del número de vueltas del engranaje.

Se considerará al piñón (2) impulsor de un engrane (3).

La velocidad de ambos será calculada mediante la siguiente ecuación (4.16):

$$n_3 = \frac{N_2}{N_3} n_2 = \frac{d_2}{d_3} n_2 \dots 4.16$$

donde:

n_3 = número de vueltas del engrane.

n_2 = número de vueltas del piñón.

N_3 = número de dientes del engrane.

N_2 = número de dientes del piñón.

d_3 = diámetro primitivo del engrane (cm).

d_2 = diámetro primitivo del piñón (cm).

Considerando que el engrane y el horno girarán simultáneamente, y que el horno necesita para su vaciado aproximadamente 135° .

Con esto podemos decir que $n_3=135^\circ$, por lo tanto el engrane necesitará $3/8$ de vuelta para que el horno este en posición de vaciado.

Por lo tanto podemos calcular el número de vueltas que necesita el piñón para que el engrane coloque al horno en su posición de vaciado; retomando la ecuación 4.16 y despejando n_2 , tenemos:

$$n_2 = n_3 \frac{N_3}{N_2}$$

$$n_2 = (3/8)(51)/17$$

$$n_2 = 1.125$$

$$n_2 = 1\frac{1}{8} \text{ de vuelta}$$

De esta manera se obtuvo que al girar el piñón $1\frac{1}{8}$ de vuelta, impulsará a girar al engrane $\frac{3}{8}$ de vuelta que es lo requerido para que el horno se ubique a 135° que es la posición de vaciado.

IV.1.6 Chumaceras

Son los dispositivos de rodamientos donde los ejes se apoyaran para que el horno se mueva en forma basculante.

La aplicación de las chumaceras implica una selección, montaje, lubricación y protección adecuadas con el fin de que el funcionamiento sea el satisfactorio.

Con la colaboración de la compañía SFK y apoyados en sus catálogos se determino el tipo de chumacera que llevara el horno. Para la selección del tamaño y tipo de la chumacera se determina con base a la capacidad de carga del rodamiento, de la duración requerida y de la fiabilidad.

Selección de las chumaceras.

La capacidad de la carga que tendrán que soportar las chumaceras es de 490kg aproximadamente contando con el peso del bronce por lo tanto cada chumacera cargará 245kg. que lo podemos considerar como un servicio semi-pesado.

La duración se define como el número de revoluciones (o de horas servicio a una velocidad constante determinada) que puede dar antes de que se manifieste el primer signo de fatiga (descascarillado) en uno de sus aros o de sus elementos rodantes. Cabe aclarar que la utilización de nuestro horno es mínima ya que al comparar los valores de horas de servicio de los catálogos de la compañía SKF, estos son superiores al tiempo que estará en servicio nuestro horno.

Los diferentes tipos de chumaceras que podemos considerar como convenientes para nuestro diseño del horno son las llamadas chumaceras selladas, ya que nuestro horno estará montado en soportes por ambos lados y las chumaceras tendrán que ir selladas en estos soportes.

Hemos designado a la chumacera serie YM (figura 4.1.j) para servicio semi-pesado que tiene las siguientes características:

- Es de piso.
- De dos barrenos, para ir sellados en los soportes.
- Para cargas normales y semipesadas.
- Alta durabilidad.
- Para un diámetro de flecha de $1\frac{1}{2}$ de pulgada.

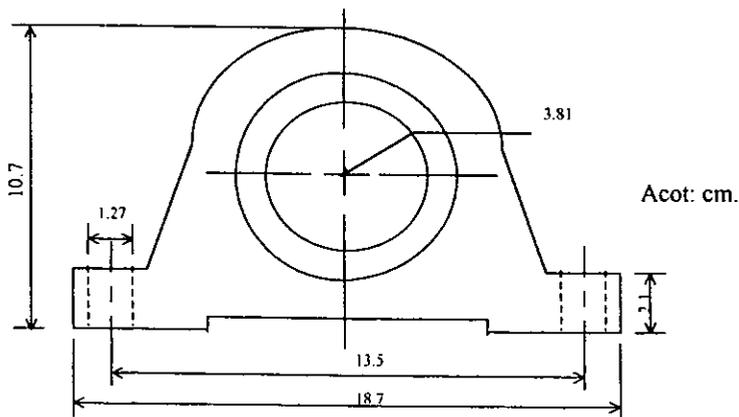


Figura 4.1.j Chumacera.

Selección de la chumacera para la flecha del volante.

Para determinar el tipo de chumacera que se requiere para la flecha del volante, se siguió el mismo procedimiento que se siguió en el punto anterior.

Este tipo de chumaceras será de la serie SY-TM de servicio normal, ya que el tamaño de esta será más pequeña por el diámetro de la flecha que es de $\frac{3}{4}$ de pulgada y el peso que soportará será mínimo

Se requerirán dos chumaceras para sujetar la flecha ya que no debe existir ningún tipo de movimiento, ya sea vertical u horizontal. El dispositivo de colocación de las chumaceras para la flecha del volante se puede ver en la figura 4.1.k.

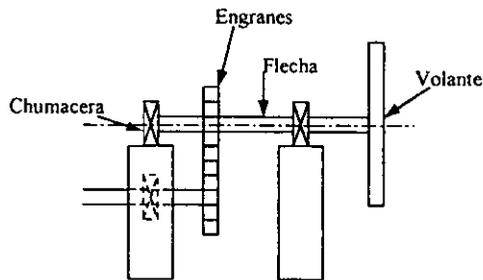


Figura 4.1.k.

Las dimensiones de esta chumacera las podemos observar en la siguiente figura 4.1.l.

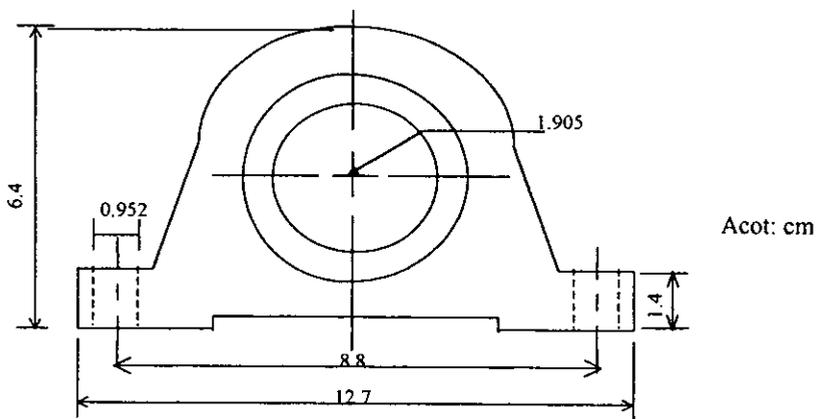


Figura 4.1.l

IV.2 Diseño térmico del horno.

IV.2.1 Energía transmitida por radiación.

Dimensionamiento de la cámara de combustión.

Con respecto al figura (4.2.a) se calculará la energía transmitida por radiación.

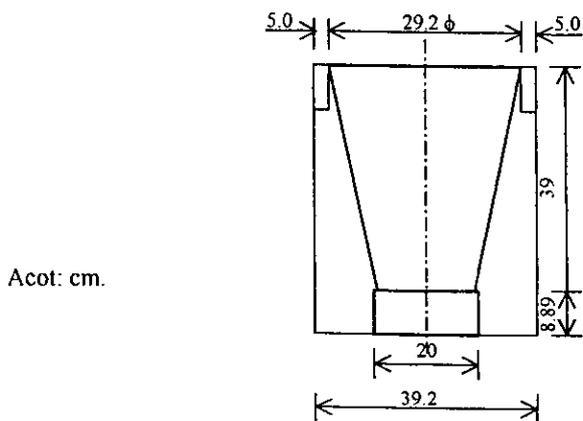


Figura 4.2.a.

Ecuaciones para el cálculo del calor transmitido en la cámara de combustión.

Para calcular el *flujo de calor por radiación* se utilizará la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{rad}} = A_1 F_A F_E \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad \dots 4.17$$

donde:

Q_{rad} = flujo de calor por radiación (kcal/h)

A_1 = área lateral receptora de calor del crisol (m²)

F_A = factor geométrico de configuración.

F_E = factor de corrección de emisividad.

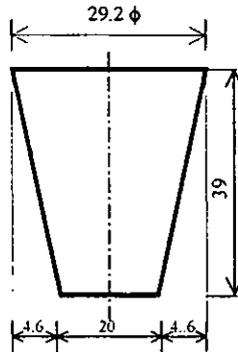
σ = constante de proporcionalidad de Stefan-Bultzmann.

T_1 = temperatura media de los gases producto de la combustión (°K).

T_2 = temperatura media del área de recepción (°K).

Cálculo para el A_1 .

Con respecto a la figura (4.2.b) de las dimensiones del crisol determinaremos su área



Acot:cm.

Figura 4.2.b

$$A_1 = \pi y \left(\frac{D}{2} + \frac{d}{2} \right) \quad \dots 4.17a$$

donde:

A_1 = área lateral receptora de calor del crisol (m^2).

y = generatriz (m).

D = diámetro superior del crisol (m).

d = diámetro inferior del crisol (m).

$$y = \sqrt{0.39^2 + 0.046^2}$$

$$y = 0.3927 \text{ m.}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 4.17a :

$$A_1 = \pi * 0.3927 * \left(\frac{0.292}{2} + \frac{0.2}{2} \right)$$

$$A_1 = 0.3034 \text{ m}^2.$$

Cálculo para F_E y F_A .

$$F_E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad \dots 4.17 b$$

donde:

F_E = factor de corrección de emisividad.

A_1 = área lateral receptora de calor del crisol (m²).

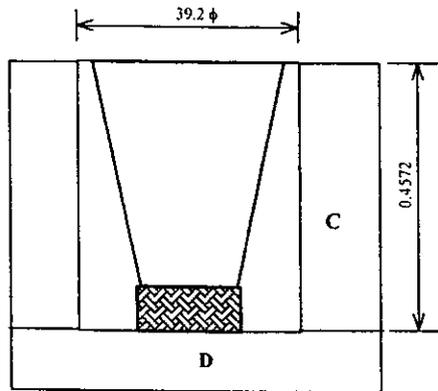
A_2 = área del refractario (m²).

$\varepsilon_1 = 0.85$ emisividad del crisol, obtenido de tablas.

$\varepsilon_2 = 0.65$ emisividad del refractario, obtenido de tablas

Cálculo del área del refractario (A_2).

Con respecto a la figura (4.2.c) determinaremos esta área.



Acot:cm

Figura 4.2.c

Para calcular el área del refractario, utilizaremos la siguiente expresión:

$$A_2 = A_C + A_D \quad \dots 4.17c$$

donde:

A_2 = área del refractario (m^2).

A_C = área lateral del refractario (m^2).

A_D = área de la base del refractario (m^2).

$$A_C = 2\pi rh$$

$$A_C = 2\pi(0.196)(0.4572)$$

$$A_C = 0.5630 \text{ m}^2$$

$$A_D = \pi D^2/4$$

$$A_D = \pi (0.6206)^2/4$$

$$A_D = 0.3024 \text{ m}^2$$

Entonces, en la ecuación 4.17c

$$A_2 = 0.5630 + 0.3024$$

$$A_2 = 0.8654 \text{ m}^2$$

Sustituyendo este valor en la ecuación 4.17 b, tenemos:

$$F_E = \frac{1}{\frac{1}{0.85} + \frac{0.3034}{0.8654} \left(\frac{1}{0.65} - 1 \right)}$$

$$F_E = 0.732$$

$$F_A = 1 \text{ de tablas}$$

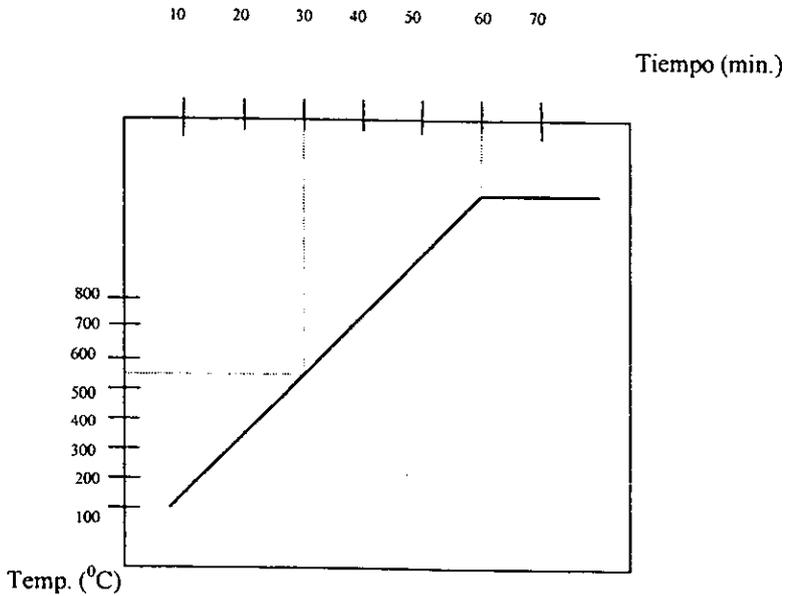
Cálculo de T_1 y T_2 .

T_2 = temperatura media del crisol.

La temperatura del crisol de un horno destinado a la fusión del bronce varía durante el ciclo de operación de 250 a 900^oC.

Con el objeto de poder obtener un valor de la temperatura media durante este ciclo de trabajo, se considerará que el suministro de valor es directamente proporcional al tiempo.

La temperatura media de operación del crisol será aquella que corresponde a un tiempo de 30 minutos, como se puede observar en la siguiente gráfica (4.1).



Gráfica 4.1

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

El valor de la temperatura media del crisol durante un ciclo de operación es de 560°C .

El valor de la temperatura media del crisol durante un ciclo de operación es de 560°C .

$$T_2 = 560^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 833^{\circ}\text{K}$$

T_1 = temperatura media de los gases.

- a) La temperatura de la flama utilizando el 100% de aire teórico necesario para lograr una combustión perfecta y con una presión de la atmósfera es de 1936.6°C .

- b) La temperatura de los gases producto de la combustión a la salida del horno es de 982 °C.

A continuación se determinará la diferencia media logarítmica de temperatura entre los gases de combustión y el crisol, utilizando la siguiente ecuación:

$$t_m = \frac{\Delta t_y - \Delta t_x}{\ln\left(\frac{\Delta t_y}{\Delta t_x}\right)} \quad \dots 4.17 d$$

donde:

t_m = temperatura media entre gases de combustión y el crisol (°C).

Δt_y = temperatura del fluido caliente (°C).

Δt_x = temperatura del fluido frío (°C).

$$\Delta t_y = 1936.6 - 560$$

$$\Delta t_x = 982 - 560$$

$$\Delta t_y = 1376.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_x = 422 \text{ } ^\circ\text{C}$$

sustituyendo valores en la ecuación 4.17 d

$$t_m = \frac{1376.6 - 422}{\ln\left(\frac{1376.6}{422}\right)}$$

$$t_m = 807.36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_m = T_1 - 560$$

despejando T_1

$$T_1 = \Delta t_m + 560 = 807.36 + 560$$

$$T_1 = 1367.36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 1640.36 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Constante de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 4.88 \times 10^{-8} \text{ Kcal/m}^2\text{h}^0\text{K}^4$$

Teniendo los valores de las variables, sustituimos en la ecuación 4.17 de flujo de calor por radiación.

$$Q_{\text{rad}} = A_1 F_A F_E \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

$$Q_{\text{rad}} = (0.3034)(1)(0.732)(4.88 \times 10^{-8})(1640^4 - 833^4)$$

$$Q_{\text{rad}} = 73251.64 \text{ Kcal/h}$$

IV.2.2 Energía transmitida por convección.

La cantidad de energía transmitida entre los gases de combustión y el crisol por convección puede ser calculada por la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{conv}} = H_1 A_1 (T_1 - T_2) \quad \dots 4.18$$

donde:

Q_{conv} = flujo de calor por convección (Kcal/h).

H_1 = coeficiente de transmisión de calor por mecanismos de convección para el área A_1 (Kcal/m²h⁰K).

A_1 = área lateral receptora de calor del crisol (m²).

T_1 = temperatura media de los gases producto de la combustión (°K).

T_2 = temperatura media del área de recepción (°K).

$$H_1 = \frac{1.507 + 0.1034v}{l/180} \quad v = 60 \text{ m/s}$$

$$t = T_1 - T_2$$

$$t = 1640.36 - 833$$

$$t = 807.36 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$H_1 = \frac{1.507 + 0.1034(60)}{807.36/180} = 1.719 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^0\text{K}$$

sustituyendo valores en la ecuación 4.18

$$Q_{\text{conv}} = (1.719)(0.3034)(1640.36-833)$$

$$Q_{\text{conv}} = 421.07 \text{ Kcal/h.}$$

IV.2.3 Energía transmitida por conducción.

La cantidad de energía transmitida por el mecanismo de conducción entre los gases producto de la combustión y el área receptora de calor se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{cond}} = \frac{2\pi K(T_1 - T_2)}{\ln(D_o / D_i)} \quad \dots 4.19$$

donde:

Q_{cond} = flujo de calor por conducción (Kcal/h).

$K = 0.0193$ conductividad térmica del material (Kcal/h m °K).

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.

D_o = diámetro exterior (0.292 m)

D_i = diámetro interior (0.259 m)

T_1 = temperatura media de los gases producto de la combustión (1640.36 °K).

T_2 = temperatura media del área de recepción (833 °K).

Teniendo el valor de todas las variables, sustituimos en la ecuación 4.19

$$Q_{\text{cond}} = \frac{2\pi(0.0193)(1640.36 - 833)}{\ln(0.292/0.259)}$$

$$Q_{\text{cond}} = 816.37 \text{ Kcal/h}$$

Como podemos observar, el flujo de calor por convección y conducción son pequeños comparados con los de radiación, por lo tanto la suma de estos tres tipos de flujo de calor será el total de calor consumido, por lo tanto:

$$Q_T = Q_{rad} + Q_{conv} + Q_{cond} \quad \dots 4.20$$

Sustituyendo los valores:

$$Q_T = 73251.74 + 421.07 + 816.37$$

$$Q_T = 74489.18 \text{ Kcal/h.}$$

IV.2.4 Pérdidas de calor por radiación.

Estas pérdidas se encuentran en la superficie del metal fundido expuesto al aire, las cuales pueden ser calculadas mediante la siguiente expresión:

$$q_{rad} = \sigma A_1 F_2 \vartheta_1 \vartheta_2 (T_2^4 - T_1^4) \quad \dots 4.21$$

donde:

q_{rad} = pérdidas de calor por radiación (Kcal/h).

$\sigma = 4.88 \times 10^{-8}$ constante de Stefan-Bultzmann (Kcal/m²h⁰K⁴).

A_1 = área de la superficie expuesta (m²).

$F_2 = 1$ factor de vista, obtenida de tablas.

$\vartheta_1 = 0.11$ emisividad de la superficie expuesta, obtenida de tablas.

$\vartheta_2 = 1$ emisividad del aire, obtenido de tablas.

T_1 = temperatura del aire (°K).

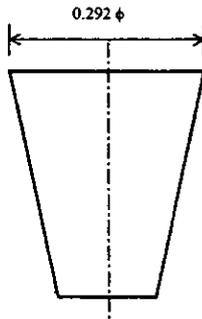
T_2 = temperatura de la superficie del metal fundido (°K).

Cálculo de A_1 .

Considerando la figura 4.4a.

$$A_1 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.29)^2}{4}$$

$$A_1 = 0.0669 \text{ m}^2.$$



Acot: m

Cálculo de T_1 .

Se considerará una temperatura ambiente de 20°C .

$$T_1 = 20 + 273 = 293 \text{ }^\circ\text{K.}$$

sustituyendo valores en la ecuación 4.21

$$q_{\text{rad}} = (4.88 \times 10^{-8})(0.0669)(1)(0.11)(1)(833^4 - 293^4)$$

$$q_{\text{rad}} = 170.26 \text{ Kcal/h.}$$

IV.2.5 Pérdidas de calor por conducción

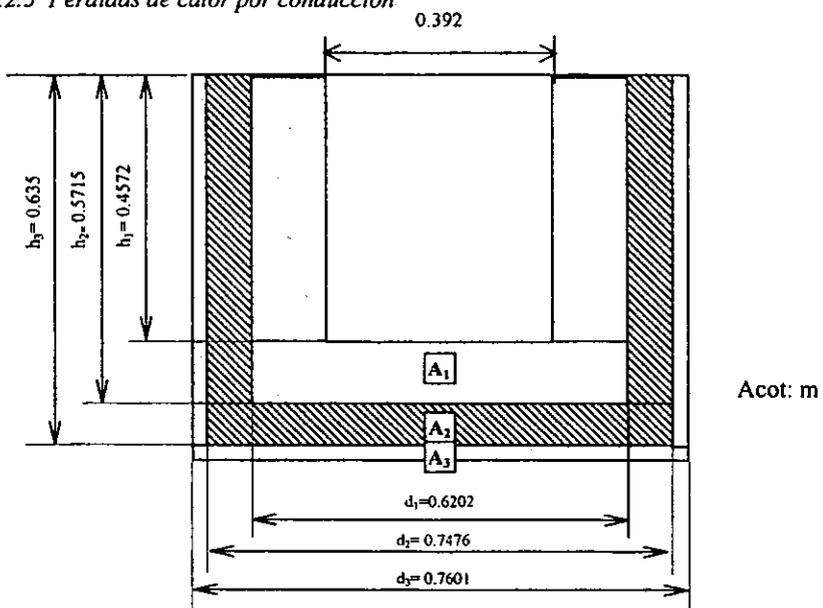


Figura 4.4.b

A₁- Pared de ladrillo refractario.

A₄- Piso de ladrillo refractario.

A₂- Pared de ladrillo aislante.

A₅- Piso de ladrillo aislante.

A₃- Carcaza.

A₆- Piso de la carcaza

Con respecto a la figura 4.4.b, se tomarán las dimensiones de las paredes del horno para realizar los cálculos correspondientes para la resistencia al flujo de calor

Sabemos que para fundir el bronce necesitaremos de 1400 °C dentro de la cámara de combustión y en la parte exterior del horno (acero) con la temperatura ambiente aproximadamente entre 40 °C.

Conociendo el tipo de refractario, aislante y acero proseguiremos a efectuar los siguientes cálculos:

Cálculo para la resistencia al flujo de calor a través de la pared del horno.

$$R = \frac{\ln(D_o / D_i)}{2 * \pi * K * h} \quad \dots 4.22$$

donde:

R = resistencia al flujo de calor (h⁰F/BTU).

D_o = diámetro exterior (ft).

D_i = diámetro interior (ft)

K = conductividad térmica (BTU/h ft °F)

h = altura de la pared (ft)

Para la pared del refractario (R_r):

K = 2.7 BTU/h ft °F

D_o = 0.6202 m = 2.034 ft

D_i = 0.392 m = 1.286 ft

h = 0.4572 m = 1.5 ft

Sustituyendo en 4.22

$$R_r = \frac{\ln(2.034/1.286)}{2\pi(2.7)(1.5)}$$

R_r = 0.0180 h⁰F/BTU

Para la pared del aislante (R_a):

$$K = 1.7 \text{ BTU/h ft}^0\text{F}$$

$$D_o = 0.7476 \text{ m} = 2.452 \text{ ft}$$

$$D_i = 0.6202 \text{ m} = 2.034 \text{ ft}$$

$$h = 0.5715 \text{ m} = 1.875 \text{ ft}$$

Sustituyendo en 4.22

$$R_a = \frac{\ln(2.452/2.034)}{2\pi(1.7)(1.875)}$$

$$R_a = 0.0093 \text{ h}^0\text{F/BTU}$$

Para el acero de la carcaza (R_c):

$$K = 21 \text{ BTU/hft}^0\text{F}$$

$$D_o = 0.7601 \text{ m} = 2.493 \text{ ft}$$

$$D_i = 0.7476 \text{ m} = 2.452 \text{ ft}$$

$$h = 0.635 \text{ m} = 2.083 \text{ ft}$$

Sustituyendo en 4.22

$$R_c = \frac{\ln(2.493/2.452)}{2\pi(21)(2.083)}$$

$$R_c = 6.033 \times 10^{-5} \text{ h}^0\text{F /BTU}$$

La resistencia al flujo de calor total de las paredes es:

$$R_T = R_r + R_a + R_c \quad \dots 4.22 \text{ a.}$$

$$R_T = 0.0180 + 0.0093 + 6.033 \times 10^{-5}$$

$$R_T = 0.027 \text{ h}^0\text{F /BTU.}$$

A continuación se determinará la pérdida de calor a través de las paredes del horno, mediante la siguiente ecuación:

$$Q_p = \frac{\Delta T}{R_T} \quad \dots 4.23$$

donde:

Q_p = pérdida de calor por las paredes (BTU/h).

ΔT = diferencia de temperaturas ($^{\circ}F$).

R_T = resistencia total al flujo de calor ($h^{\circ}F / BTU$).

Temperatura de entrada $1400^{\circ}C = 2577.6^{\circ}F$.

Temperatura de salida $40^{\circ}C = 129.6^{\circ}F$.

$$\Delta T = 2577.6 - 129.6$$

Sustituyendo valores en 4.23 tenemos :

$$Q_p = (2577.6 - 129.6) / 0.027$$

$$Q_p = 90666.66 \text{ BTU/h}$$

$$Q_p = 22847.60 \text{ Kcal/h.}$$

Cálculo para la resistencia al flujo de calor a través del piso del horno.

Para realizar este cálculo se determinaran las áreas correspondientes del piso de los diferentes materiales que componen al horno.

Cálculo del área del piso.

$$A_1 = \pi D_1^2 / 4$$

$$A_1 = \pi (0.6202)^2 / 4$$

$$A_1 = 0.3024 \text{ m}^2 \quad \dots \text{Refractario.}$$

$$A_2 = \pi D_2^2 / 4$$

$$A_2 = \pi (0.7476)^2 / 4$$

$$A_2 = 0.4389 \text{ m}^2 \quad \dots \text{Aislante.}$$

$$A_3 = \pi D_3^2 / 4$$

$$A_3 = \pi (0.7601)^2 / 4$$

$$A_3 = 0.4537 \text{ m}^2 \quad \dots \text{Acero.}$$

Como se consideran bloque de placas se utiliza la siguiente expresión:

$$R = \frac{L}{KA} \dots 4.23.a$$

donde:

R= resistencia al flujo de calor ($h^{\circ}F/BTU$).

L= grosor de la pared (ft).

K= conductividad térmica ($BTU/h \text{ ft }^{\circ}F$).

A= área de flujo (ft^2).

Para el piso del refractario (R_{pr})

$$K = 2.7 \text{ BTU/hft}^{\circ}F$$

$$A_4 = 0.3024 \text{ m}^2 = 3.25 \text{ ft}^2$$

$$L = 4.5 \text{ pulg} = 0.375 \text{ ft.}$$

Sustituyendo en 4.23.a

$$R_{pr} = 0.375/(2.7*3.25)$$

$$R_{pr} = 0.042 \text{ h}^{\circ}F/BTU$$

Para la piso del aislante (R_{pa}):

$$K = 1.7 \text{ BTU/hft}^{\circ}F$$

$$A_5 = 0.4389 \text{ m}^2 = 4.72 \text{ ft}^2$$

$$L = 2.5 \text{ pulg} = 0.208 \text{ ft.}$$

Sustituyendo en 4.23.a

$$R_{pa} = 0.208/(1.7*4.72)$$

$$R_{pa} = 0.025 \text{ h}^{\circ}F/BTU$$

Para el acero del piso de la carcaza (R_c):

$$K = 21 \text{ BTU/hft}^{\circ}F$$

$$A_6 = 0.4537 \text{ m}^2 = 4.88 \text{ ft}^2$$

$$L = 0.25 \text{ pulg} = 0.020 \text{ ft.}$$

Sustituyendo en 4.23.a

$$R_{pc} = 0.020/(21*4.88)$$

$$R_{pc} = 1.95 \times 10^{-4} \text{ h}^{\circ}F/BTU$$

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

La resistencia al flujo de calor total del piso es:

$$R_T = R_{pr} + R_{pa} + R_{pc} \quad 4.24$$

$$R_T = 0.042 + 0.025 + 1.95 \times 10^{-4}$$

$$R_T = 0.067 \text{ h}^{\circ}\text{F}/\text{BTU}.$$

Sustituyendo valores en la ecuación 4.23

$$Q_{pp} = (2577.6 - 129.6) / 0.067$$

$$Q_{pp} = 36537 \text{ BTU/h.}$$

$$Q_{pp} = 9207.17 \text{ Kcal/h.}$$

Por lo tanto las pérdidas totales por conducción son:

$$q_{cond} = Q_p + Q_{pp} \quad 4.25$$

donde:

q_{cond} = pérdidas totales por conducción (Kcal/h).

Q_p = pérdidas de calor por las paredes (Kcal/h).

Q_{pp} = pérdidas de calor por el piso (Kcal/h).

Sustituyendo valores

$$q_{cond} = 22847.60 + 9207.17$$

$$q_{cond} = 32054.77 \text{ Kcal/h.}$$

IV.3 Balance térmico del horno.

a) Calor utilizado

1. Calor transmitido por radiación.....	73251.64 Kcal/h.
2. Calor transmitido por convección.....	421.07 Kcal/h.
3. Calor transmitido por conducción.....	816.37 Kcal/h.
Total.....	74489.08 Kcal/h

b) Pérdidas de calor.

1. Pérdidas de calor por radiación.....	170.26 Kcal/h.
2. Pérdidas de calor por conducción a través de las paredes.....	22847.60 Kcal/h.
3. Pérdidas de calor por conducción a través del piso.....	9207.17 Kcal/h.
Total.....	32225.03 Kcal/h.

IV.3.1 Cantidad de calor por kilogramo de bronce.

El calor necesario para fundir y elevar a la temperatura de vaciado de 1 Kg de bronce se obtiene mediante la fórmula:

$$Q = mc (T_v - T_a) + Q_f \dots\dots 4.26$$

donde:

Q= cantidad de calor (Kcal/kg⁰C).

c= 0.107 Kcal/Kg⁰C calor específico del bronce.

m= masa (1 Kg).

T_v= 1100 °C temperatura de vaciado.

T_a= 20 °C temperatura ambiente.

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 de 42.4241 Kcal/kg.

Sustituyendo en la ecuación 4.26

$$Q = (1)(0.107)(1100-20) + 42.4241$$

$$Q = 157.98 \text{ Kcal/kg}^{\circ}\text{C}.$$

Por lo tanto, un kilogramo de bronce almacena 157.98 Kcal cuando la temperatura sea 1100°C .

IV.3.2 Cantidad de calor contenido en el bronce a diferentes temperaturas.

$$Q = mct \dots\dots 4.27$$

donde:

Q= calor contenido (Kcal/kg⁰C).

M= masa (1 Kg.).

C= calor específico (Kcal/kg⁰C).

T= temperatura (⁰C).

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(100^{\circ}\text{C}) = 10.7 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(200^{\circ}\text{C}) = 21.4 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(300^{\circ}\text{C}) = 32.1 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(400^{\circ}\text{C}) = 42.8 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(500^{\circ}\text{C}) = 53.5 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(600^{\circ}\text{C}) = 64.2 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(700^{\circ}\text{C}) = 74.9 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(800^{\circ}\text{C}) = 85.6 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(900^{\circ}\text{C}) = 96.3 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(1000^{\circ}\text{C}) = 107 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = (1 \text{ kg})(0.107 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C})(1082^{\circ}\text{C}) = 115.7 \text{ Kcal/Kg.}$$

Para esta última temperatura de 1082 °C su cantidad de calor contenido es de 115.7 Kcal/Kg, punto en el cual comienza la fusión del bronce; en este punto la temperatura permanece constante hasta que se funde completamente la masa, para lo cual deberá absorber 42.4241 Kcal.

Como nosotros necesitamos fundir y llevar a su punto de vaciado 90 Kg de bronce, el calor total será de:

$$Q = (90)(157.98) = 14218.2 \text{ Kcal.}$$

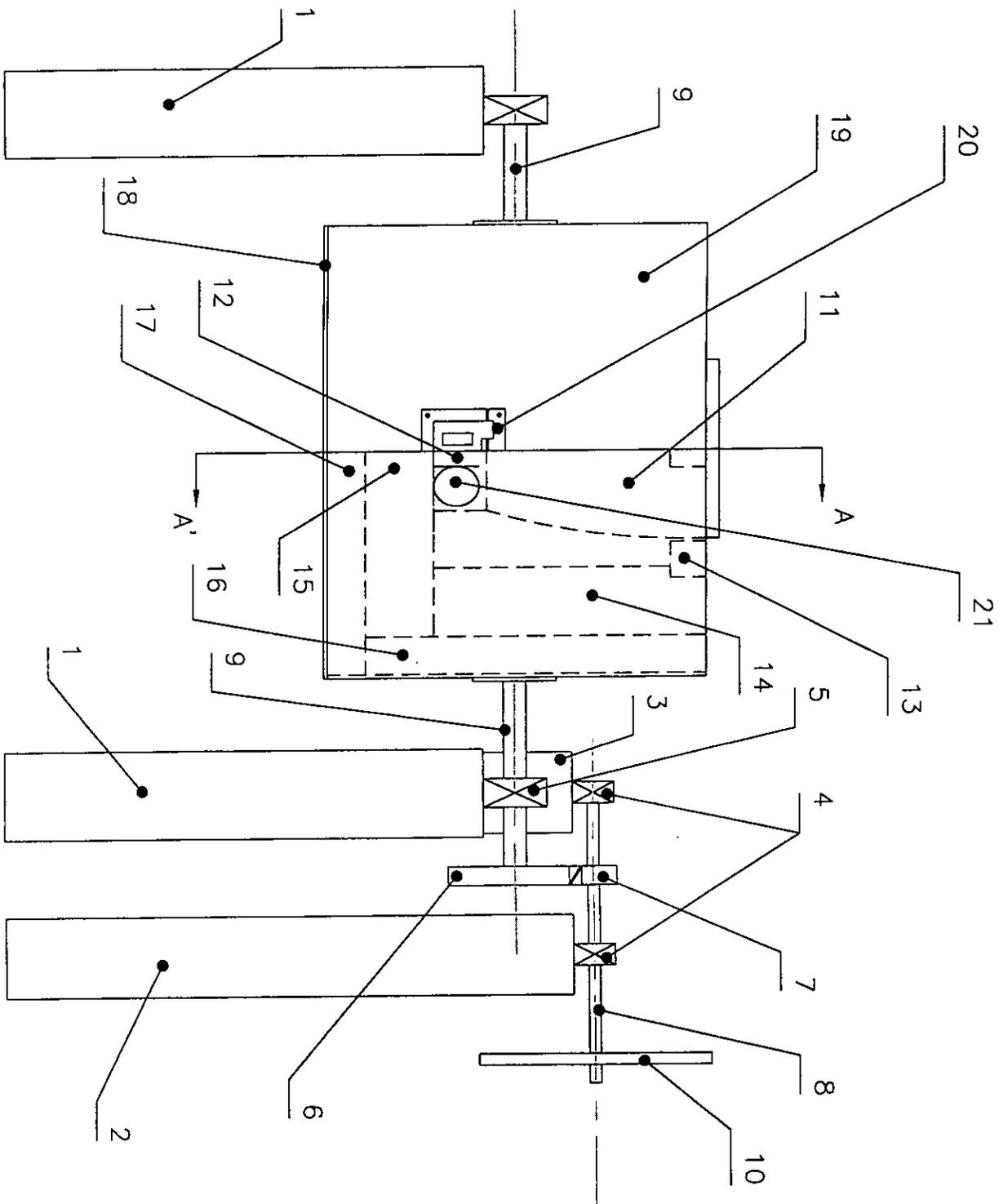
CAPITULO V

PLANEACIÓN DE LA MANUFACTURA

V.1. Dibujos de conjunto y de definición del horno.

En este punto se presentarán los dibujos que componen al horno basculante, y que nos servirán para la planeación de la manufactura más adelante, los cuales se presentan a continuación.

- a) Dibujo de conjunto del horno.
- b) Dibujo de conjunto de definición del horno.
- c) Dibujo de definición de la carcasa.
- d) Dibujo de definición de los soportes de las chumaceras de las flechas del horno.
- e) Dibujo de definición de los soportes de las chumaceras de la flecha del volante.
- f) Dibujo de definición del eje principal del horno.
- g) Dibujo de definición del eje del volante.
- h) Dibujo de definición de la puerta de limpieza.



21	1	HIERRO COLADO	QUEMADOR	G-800
20	1	ACERO AISI 1020	PUERTA DE LIMPIEZA	
19	1	ACERO AISI 1020	CARCAZA	
18	1	ACERO AISI 1020	BASE DEL HORNO	CORRESPONDIENTE A LA CARCAZA
17	14	SILICE ALUMINOSO	PISO DEL HORNO	LADRILLO AISLANTE
16	38	SILICE ALUMINOSO	PARED DEL HORNO	LADRILLO AISLANTE
15	20	SILICEALUMINOSO	PISO DEL HORNO	LADRILLO REFRACTARIO
14	54	SILICEALUMINOSO	PARED DEL HORNO	LADRILLO REFRACTARIO
13	4	CARBURO DE SILICIO	BLOQUES DEL CRISOL	
12	1	CARBURO DE SILICIO	BASE DEL CRISOL	
11	1	CARBURO DE SILICIO	CRISOL	A-70
10	1	ACERO AISI 1020	VOLANTE	
9	2	ACERO AISI 1020	FLECHAS	CORRESPONDIENTE AL HORNO
8	1	ACERO AISI 1020	FLECHA	CORRESPONDIENTE AL VOLANTE
7	1	HIERRO COLADO	PIRON	
6	1	HIERRO COLADO	ENGRANE	
5	2	HIERRO GRIS	CHUMACERAS	DE PISO SERIE SYM-TM
4	2	HIERRO GRIS	CHUMACERAS	DE PISO SERIE SY-TM
3	1	ACERO AISI 1020	SOPORTE	EMPOTRADA AL SOPORTE 1
2	1	ACERO AISI 1020	SOPORTE	
1	2	ACERO AISI 1020	SOPORTE	
REF.	CANT.	MATERIAL	DESCRIPCION	OBSERVACIONES

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

DIBUJO: M.M.B.-O.J.P.

REVISO: M.A.H.R.

FECHA:

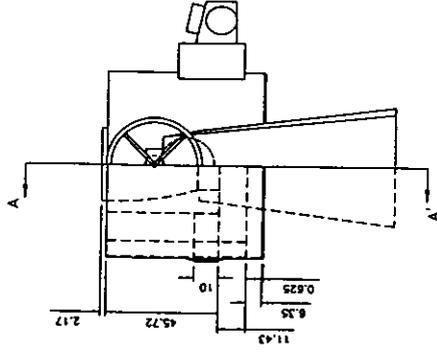
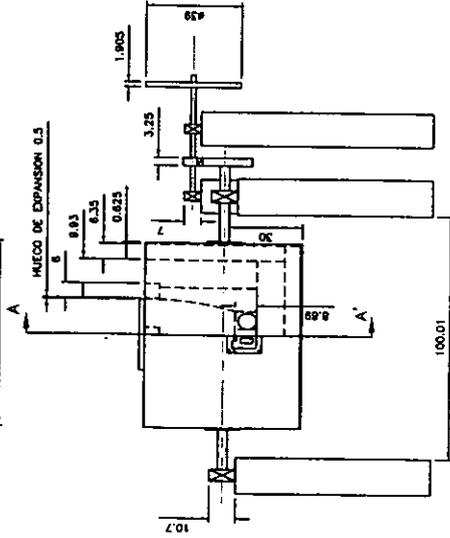
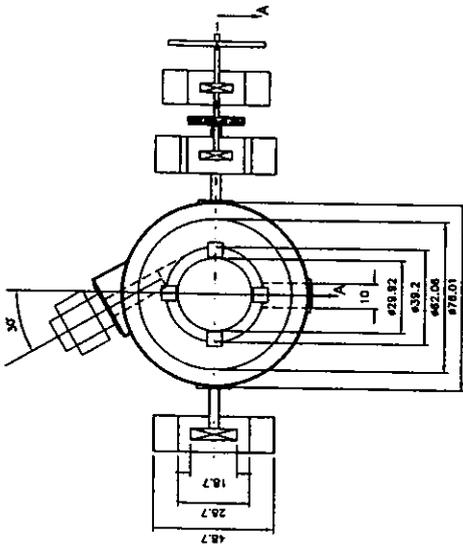
ACOT: cm.

UNAM

HORNO DE CRISOL BASCULANTE. DESCRIPTIVO

ESC: 1:10

LAMINA No. 1

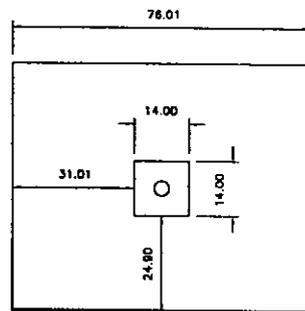
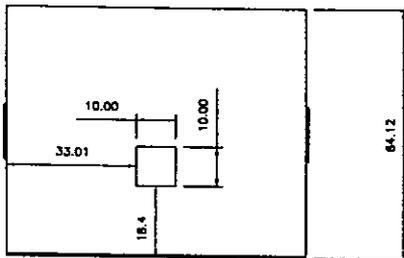
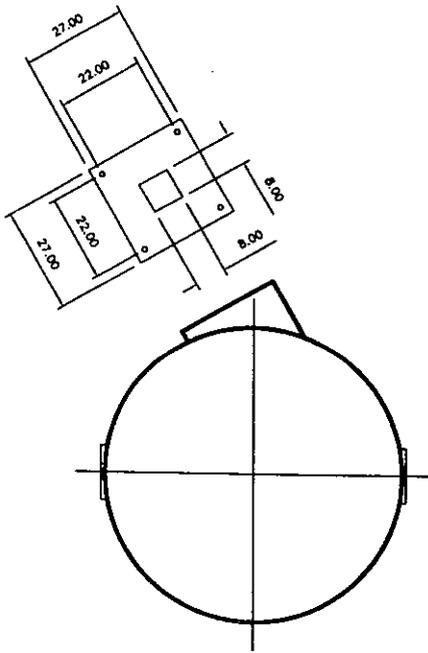


FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

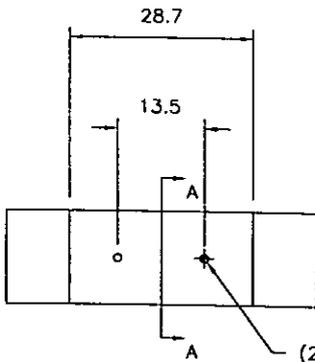
DIBUJO: M.M.B.-O.J.P. REVISO: M.A.H.R. ACOF: cm. FECHA:

UNAM HORNO DE CRISOL BASCULANTE. DEFINICION ESC: SIN

LAMINA No. 2

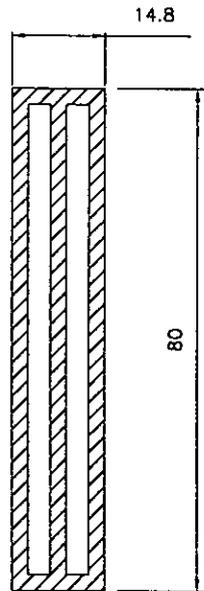
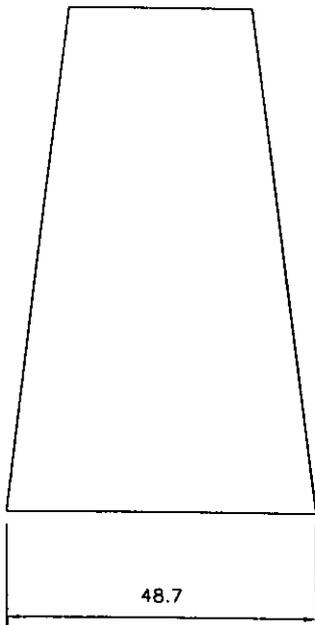


FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN			
DIBUJO: M.M.B.-O.J.P.	REVISO: M.A.H.R.	FECHA:	ACOT: cm.
UNAM	CARCAZA DEL HORNO		ESC: 1:14
			LAMINA No.5

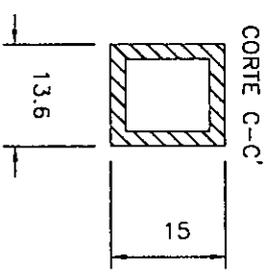
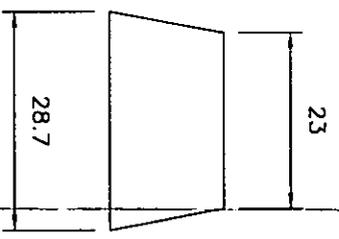
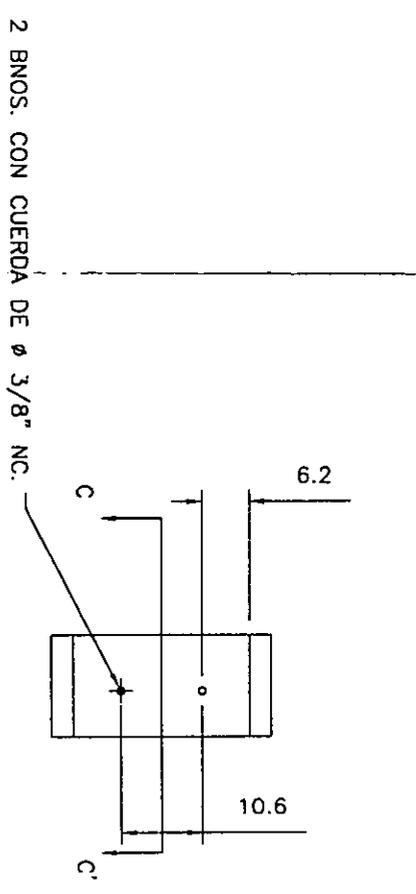
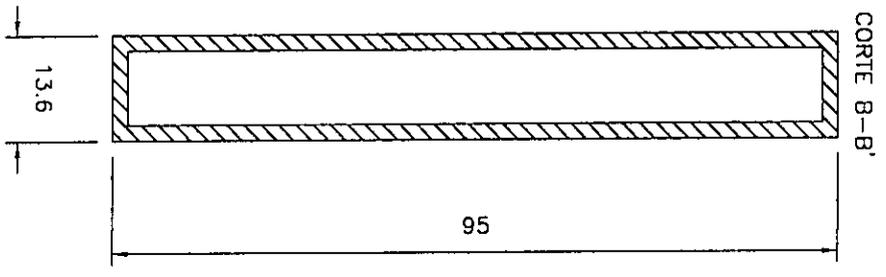
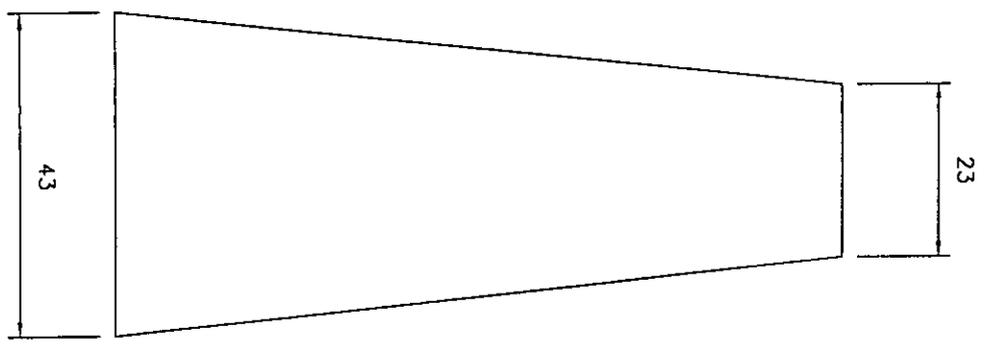
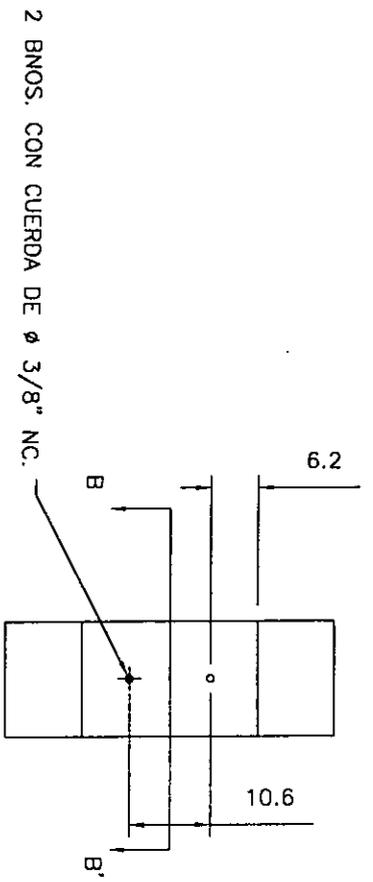


(2) BNOS. CON CUERDA DE ϕ 1/2"NC

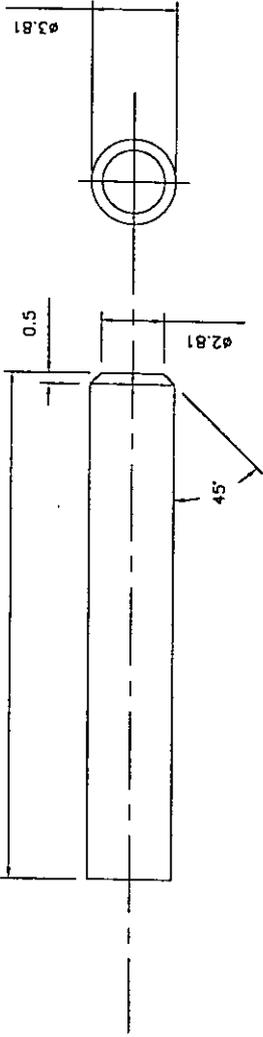
CORTE A-A



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN			
DIBUJO: M.M.B.-O.J.P.	REVISO: M.A.H.R.	FECHA:	ACOT: cm.
UNAM	SOPORTES DE LAS CHUMACERAS DEL HORNO		ESC: 1:8.5
			LAMINA No.5

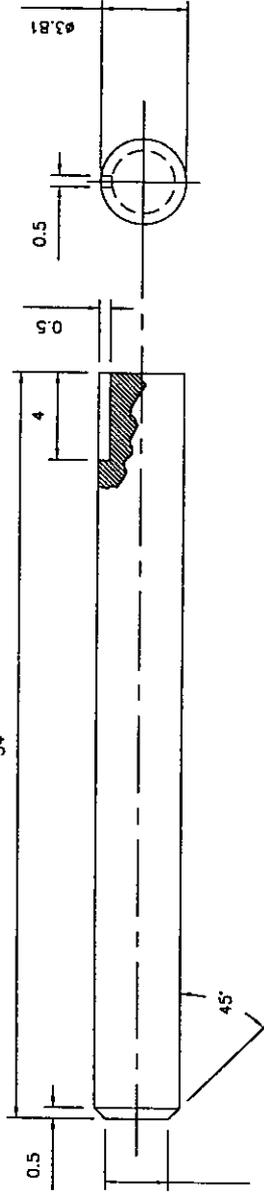


FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN			
DIBUJO: M.M.B.-O.J.P.	REVISO: M.A.H.R.	FECHA:	ACOT: cm.
UNAM		SOPORTES DE LAS CHUMACERAS DEL VOLANTE	
ESC: 1:10			LAMINA No.7



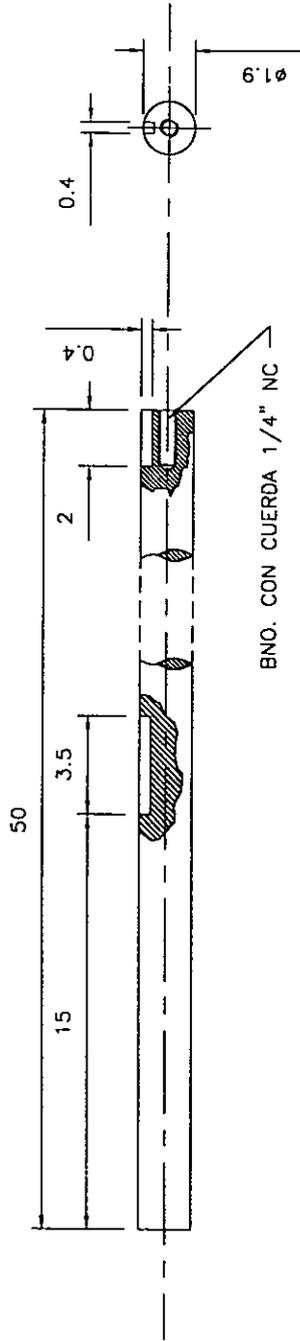
EJE DEL LADO IZQUIERDO DEL HORNO

34



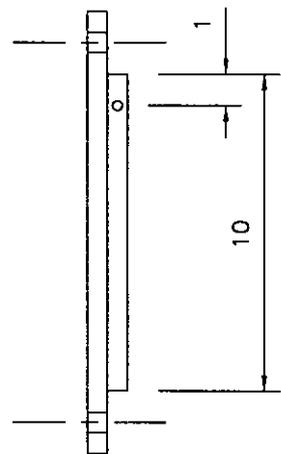
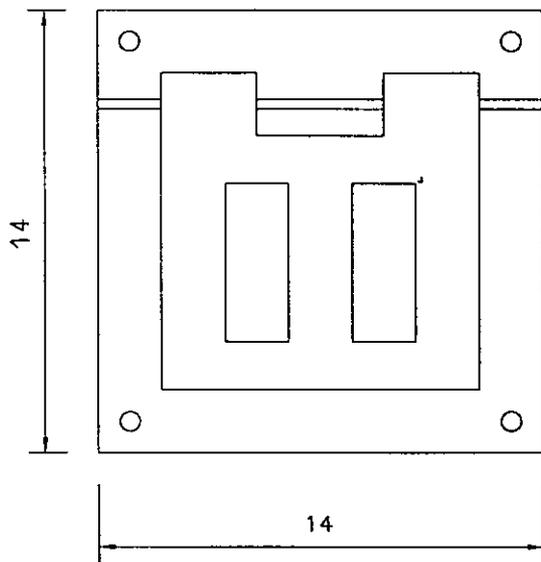
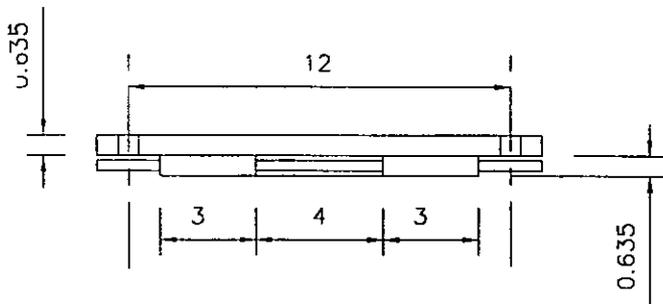
EJE DEL LADO DERECHO DEL HORNO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN			
DIBUJO: M.M.B.-O.J.P.	REVISO: M.A.H.R.	FECHA:	ACOT: cm.
UNAM		EJES PRINCIPALES DEL HORNO	
		ESC: 1:2.3	LAMINA No.8



BNO. CON CUERDA 1/4" NC

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN			
DIBUJO: M.M.B.-O.J.P.	REVISO: M.A.H.R.	FECHA:	ACOT: cm.
UNAM		EJE PRINCIPAL DEL VOLANTE	
		ESC: SIN	LAMINA No.9



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN			
DIBUJO: M.M.B.-O.J.P.	REVISO: M.A.H.R.	FECHA:	ACOT: cm.
UNAM	PUERTA DE LIMPIEZA		ESC: 1.7
			LAMINA No.10

V.2 Manufactura del horno.

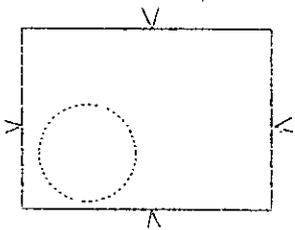
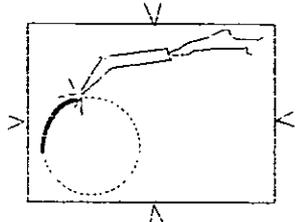
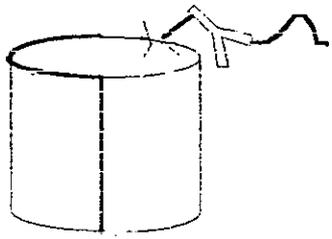
Los procesos a utilizar para la manufactura del horno son:

- a) Trazo.
- b) Corte con soplete.
- c) Rolado.
- d) Soldadura de arco.
- e) Torneado.
- f) Taladrado.
- g) Esmerilado.

A continuación se muestran las hojas de procesos que debe de llevar la manufactura del horno considerando los puntos antes mencionados.

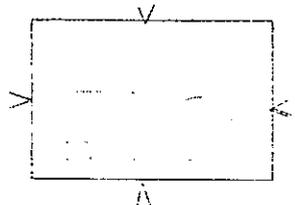
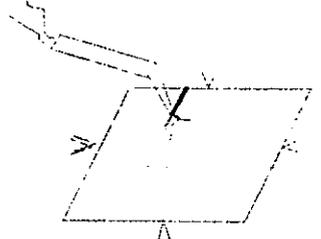
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

HOJA DE PROCESOS DE MAQUINADO

CONJ.No. carcaza		FZA.No. piso		DIBUJO No.		CANT:	
MATERIAL:		PESO:		ANALISTA:		FECHA	
No.FASE	DESCRIPCION	MAQUINA	HRRTA	DISPOST.	INSTR.	CROQUIS	
10	TRAZO DE PLANTILLA BASICA	_____	1	1	1		
20	CORTE CON SOPLETE	_____	2	2	_____		
30	REBABEADO Y BISELADO	1	3	3	2		
50	APLICACION DE SOLDADURA	3	_____	_____	_____		

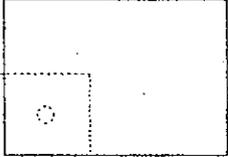
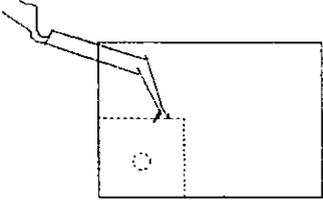
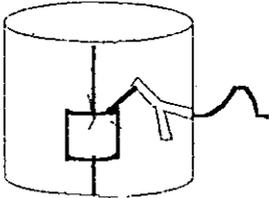
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

HOJA DE PROCESOS DE MAQUINADO

CONJ.No.		PZA.No. carcaza		DIBUJO No.		CANT:
MATERIAL:		PESO:		ANALISTA:		FECHA
No.FASE	DESCRIPCION	MAQUINA	HRRTA	DISPOST.	INSTR.	CROQUIS
10	TRAZO DE PLANTILLA BASICA	_____	1	1	1	
20	CORTE CON SOPLETE	_____	2	2	_____	
30	REBABEADO Y BISELADO	1	3	3	2	-
40	ROLADO	2	_____	_____	1	
50	APLICACION DE SOLDADURA	3	_____	_____	_____	

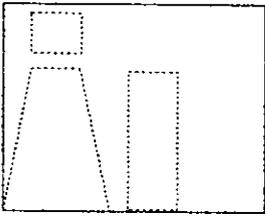
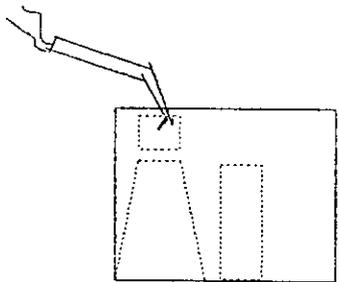
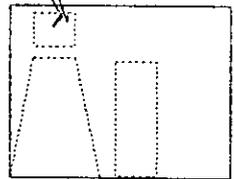
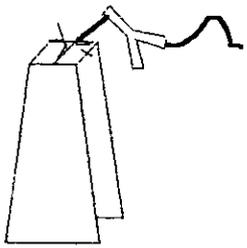
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

HOJA DE PROCESOS DE MAQUINADO

CONJ.No.		PZA.No. refuerzos		DIBUJO No.		CANT: 2
MATERIAL:		PESO:		ANALISTA:		FECHA
No.FASE	DESCRIPCION	MAQUINA	HRRTA	DISPOST.	INSTR.	CROQUIS
10	TRAZO DE PLANTILLA BASICA	—	1	1	1	
20	CORTE CON SOPLETE	—	2	2	—	
30	REBABEADO Y BISELADO	1	3	3	2	
40	ROLADO	2	—	—	1	
50	APLICACION DE SOLDADURA	3	—	—	—	

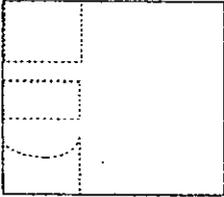
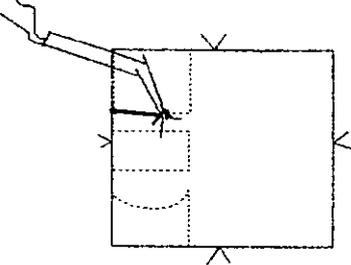
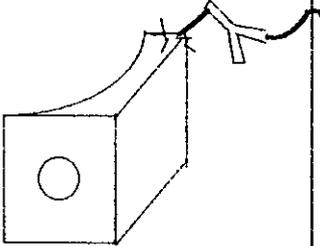
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

HOJA DE PROCESOS DE MAQUINADO

CONJ.No. soportes		PZA.No. base		DIBUJO No. 7		CANT: 2
MATERIAL:		PESO:		ANALISTA: M.M.B. O.J.P.		FECHA
No.FASE	DESCRIPCION	MAQUINA	HRRTA	DISPOST.	INSTR.	CROQUIS
10	TRAZO DE PLANTILLA BASICA	_____	1	1	1	
20	CORTE CON SOPLETE	_____	2	2	_____	
30	REBABEADO Y BISELADO	1	3	3	2	
50	APLICACION DE SOLDADURA	3	_____	_____	_____	

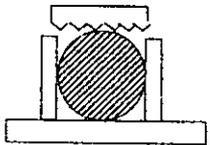
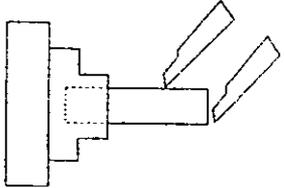
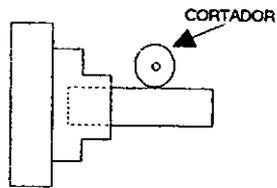
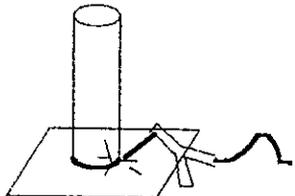
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

HOJA DE PROCESOS DE MAQUINADO

CONJ.No. carcaza		PZA.No. base quem		DIBUJO No.		CANT:
MATERIAL:		PESO:		ANALISTA:		FECHA
No FASE	DESCRIPCION	MAQUINA	HRRTA	DISPOST.	INSTR.	CROQUIS
10	TRAZO DE PLANTILLA BASICA	_____	1	1	1	
20	CORTE CON SOPLETE	_____	2	2	_____	
30	REBABEADO Y BISELADO	1	3	3	2	
50	APLICACION DE SOLDADURA	3	_____	_____	_____	

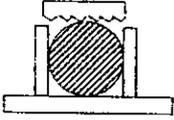
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

HOJA DE PROCESOS DE MAQUINADO

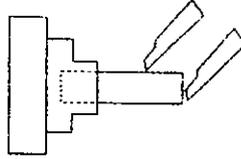
CONJ.No.		PZA.No. 9		DIBUJO No. 8		CANT: 2
MATERIAL: AISI 1020		PESO:		ANALISTA: M.M.B OJP		FECHA
No.FASE	DESCRIPCION	MAQUINA	HERRA	DISPOST.	INSTR.	CROQUIS
10	CORTE DE MATERIAL	4	4	4	3	
20	CILINDRADO REFRENTADO (HACER CHAFLAN EN AREA DE SOLDADURA)	5	5	5	4	
30	FRESADO DE CUÑERO	1	3	3	2	
50	APLICACION DE SOLDADURA	3	—	—	—	

CROQUIS

CROQUIS 1

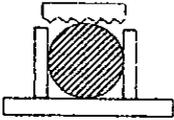


CROQUIS 2

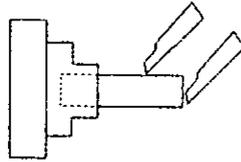


CROQUIS

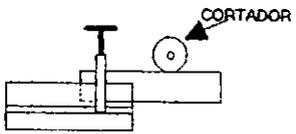
CROQUIS 1



CROQUIS 2

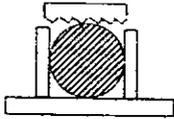


CROQUIS 3

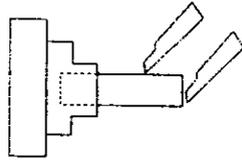


CROQUIS

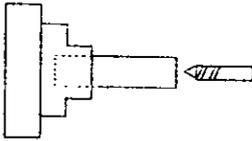
CROQUIS 1



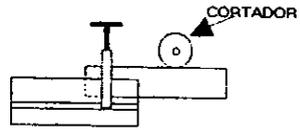
CROQUIS 2



CROQUIS 3



CROQUIS 4



CAPITULO VI

COSTOS Y RENDIMIENTO DEL HORNO

VI.1 Costos de los materiales de fabricación del horno.

Para la fabricación del horno se utilizarán diferentes materiales y componentes que a continuación se describirán con sus respectivos precios que se pueden encontrar en el mercado, así como la compañía que tiene en existencia el producto.

El costo cotizado del horno es un valor aproximado con precios vigentes hasta febrero de 1998.

MATERIAL	COMPañIA	CANTIDAD	PRECIO
Quemador G-600	Enterprice	1 Pza.	\$ 10,250.00
Chumaceras	S.K.F.	4 Pzas.	\$ 375.00
Ladrillo Refractario	Refractarios Mexicanos.	74 Pzas.	\$ 727.00
Ladrillo Aislante	Refractarios Mexicanos.	52 Pzas.	\$ 405.00
Pegamento Harwaco	Refractarios Mexicanos.	30 Kg.	\$ 128.00
Pegamento Ucast 60	Refractarios Mexicanos	50 Kg.	\$ 233.00
Peana Suplex	Grupo Industrial Morgan	1 Pza.	\$ 125.00
Acero AISI 1020	Fundidora JAZHER	97 Kg.	\$ 2,716.00
TOTAL			\$ 14,959.00

Nota: No se incluye el costo del crisol ya que se cuenta con él en el laboratorio de manufactura de la FES-C

VI.2 Rendimiento del horno

Para calcular el rendimiento del horno consideraremos que el horno trabajará con las condiciones necesarias para una buena fundición, y teniendo en cuenta las pérdidas que involucra la transferencia de calor calculadas anteriormente, se busca que el horno manifieste un rendimiento lo más alto posible para que al fundir el material no se originen pérdidas económicas en la obtención del material fundido y en el combustible.

Para conocer el rendimiento del horno se tomarán en cuenta los siguientes puntos:

- a) Cuando el material se termina de fundir se tiene que vaciar lo más pronto posible para evitar que se adhiera el material en las paredes y el piso del crisol.
- b) Debe de tomarse en cuenta que siempre existirá una cantidad de material que se adhiere al crisol, independientemente de la rapidez con que se vacíe, ya que el material comienza a enfriarse lo que ocasiona que se pegue al crisol.
- c) El material adherido en el crisol se considera que es un 12% del total de la cantidad colocada dentro del crisol para fundirse, este dato es para los hornos de crisol de piso, es decir, que un 12% del material es desperdiciado.
- d) Tomando como punto principal que nuestro horno es de tipo basculante, esto ocasionará que el vaciado se realice en menos tiempo comparado con el de piso, con esto tendremos un menor porcentaje de material pegado en el crisol.

El porcentaje que se maneja de material fundido desperdiciado en hornos de crisol basculantes es del 10%.

Estos datos fueron obtenidos por la compañía fundidora Fizer S.A de C.V.

Conociendo los puntos anteriores proseguiremos a calcular el rendimiento del horno con respecto al porcentaje de material fundido desperdiciado.

$$R = M_C - M_D \quad \dots\dots 6.1$$

Donde:

R= rendimiento del horno (%).

M_C = material colocado en el crisol (%).

M_D = material desperdiciado (%).

Si $M_D = 0.1M_C$, entonces:

$$R = M_C - 0.1M_C = 0.9M_C$$

Si el crisol trabaja con la máxima cantidad de material, es decir, se considera el peso del material colocado en el crisol como el 100%, entonces:

$$R = 0.9(100)$$

$$R = 90\%$$

Tomando la cantidad de bronce que cabe en el crisol, que es de 96.750 Kg. y conociendo que la capacidad de trabajo de este es del 90%, podemos obtener la cantidad real de material con la que trabajara el horno, que es de 87.07 Kg. y considerando el rendimiento proporcionado por el horno, podemos llegar a conocer la cantidad de material que se obtendrá después de la fusión, que es de 78.36 Kg.

CONCLUSIONES

Los hornos de crisol basculantes están clasificados dentro de los hornos de combustible ya que su fuente de calor es el combustible llamado gas.

Este tipo de hornos son de los más sencillos para fundir materiales no ferrosos, esto es que no se emplea para fundir acero, su elemento más importante con el que consta el horno es el crisol, fabricado de carburo de silicio que en particular son de los más resistentes al ataque de las escorias, así como a los efectos de los choques térmicos, su capacidad es de 96.750 Kg de bronce y 29.800 Kg de aluminio.

El tipo de horno de crisol se compone de materiales refractarios que son materiales cerámicos los cuales son resistentes a procesos de altas temperaturas, su objetivo es el de evitar que el calor generado tenga las mínimas pérdidas para la fusión del material.

Nuestro tipo de horno se diseñó con los materiales refractarios más adecuados que existen para que un horno como el de nuestras características tenga una eficiencia lo más alta posible. La fusión que se produce dentro del horno en el crisol y construido con el material refractario y aislante conveniente hace que se produzca la fusión del material de forma ideal.

El problema que se tenía con el vaciado del material que debía ser extraído en pequeñas cantidades, ya sea con cucharas o extrayendo el crisol del horno por medio de unas tenazas, se resuelve mediante la opción de hacer al horno basculante mecánicamente por medio de engranes, flechas y volante.

Así al vaciar el material fundido, solo bastará con girar al volante para que el horno comience a inclinarse hasta alcanzar el objetivo de vaciado, con esto los índices de seguridad son más altos que trabajando con un horno fijo.

Con lo anteriormente escrito podemos decir que de todos los hornos de combustible el que trabaja con mayor eficiencia a la fundición es el de crisol.

Cabe señalar que el objetivo principal en la realización de este diseño de horno de crisol basculante es para que el laboratorio de manufactura de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán cuente con uno de este tipo para las prácticas de fundición de los estudiantes de Ingeniería, ya que este laboratorio cuenta con el tipo

de crisol antes mencionado para fundir materiales no ferrosos, y todos los cálculos se basaron en las dimensiones y características de este crisol.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Fitzgerald, Robert W.
Mecánica de Materiales.
Ed. Alfaomega.

- 2.-Faires
Diseño de elementos de máquinas.
Ed. Mc Graw-Hill

- 3.-Apraiz Barreiro, J.
Fabricación de Hieros Aceros y Fundiciones.
Urmosa Sociedad Anónima de Ediciones.

- 4.-Capello, Eduardo.
Tecnología de la fundición.
Hispanoamericana.

- 5.-Harry D. Moore and Donald R. Kibbey
Materiales y procesos de fabricación.
Ed. Limusa.

- 6.-Lawrence E. Doyle.
Procesos y materiales de manufactura para ingenieros.
Ed. Prentice Hall Hispanoamericana S.A.

- 7.-Refractarios Mexicanos S.A. de C.V.
Catalogo de materiales silico-aluminosos.

- 8.-R. A. Higgins.
Ingeniería Metalúrgica.
Ed. Continental.

- 9.-A. V. Seydolt.
Técnicas de metalurgia experimental.
Ed. Limusa

- 10.-J. D. Gilchrist.
Combustibles y refractarios.
Ed. Alhambra S.A.

- 11.-Guillet.
Cinemática de las máquinas.
Ed. Continental S.A. De C.V.

- 12.-A.S. Hall.
Diseño de máquinas.
Mc Graw-Hill.

- 13.-Kern, Donald.
Procesos de transferencia de calor.
Ed. Continental.

- 14.-Karlekar, Bhalchandra.
Transferencia de calor.
Ed. Interamericana.

- 15.-Manrique, Jose A.
Transferencia de calor.
Ed. Harla.

16.-Kreith, Frank.

Procesos de transferencia de calor.

Ed. Herrero.