



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

DISEÑO Y FABRICACION DE UN HORNO DE CRISOL A GAS L. P. PARA LA FUNDICION DE METALES Y ALEACIONES DE BAJO PUNTO DE FUSION.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
FAUSTO MATIAS MONDRAGON

ASESOR: M. I FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ



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.



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

ASUNTO VOTOS APROBATORIOS

FOLIO 1
 SUP. 1000/01

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

DEPARTAMENTO DE
 EXÁMENES PROFESIONALES

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 y fabricación de un horno de crisol a gas L.P. para la
fundición de metales y aleaciones de bajo punto de fusión.

que presenta el pasante Fausto Matias Kondragón
 con número de cuenta 9307924-0 para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlan Izcalli, Méx a 18 de Julio de 2001

PRESIDENTE	<u>M.C. José Guadalupe Ramos Muñoz</u>
VOCALES	<u>M.C. Eduardo Guzmán Méndez</u>
SECRETARIO	<u>M.C. Diana Elizabeth Méndez</u>
PRIMERO SUPLENTE	<u>M. C. María de la Cruz</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>M. C. María de la Cruz</u>

A mis padres:

**Porque gracias a su apoyo y consejo, he llegado
a realizar la más grande de mis metas,
la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.
Sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer
una vida de lucha, sacrificio y esfuerzo constante,
sólo deseo que comprendan que el logro mío es suyo,
que mi esfuerzo es inspirado en ustedes y que son mi único ideal.
Sin sus consejos y paciencia, su amor y sabiduría, no hubiese
sido posible culminar mis estudios; es por eso que quiero agradecer
a ustedes el haberme ayudado siempre y en todo lugar.
Este es el fruto de una lucha constante y es para ustedes.
Muchas gracias por su apoyo y por ser unos padres maravillosos.**

A Dios:

**Tu que en silencio me has acompañado a lo largo de mi vida
y sin pedirme nada a cambio hoy me regalas la alegría de
ver realizado uno más de mis sueños, ser profesionista.
Gracias Dios, por darme la oportunidad de vivir este logro.**

INDICE

Introducción.....	4
-------------------	---

CAPITULO 1 TIPOS DE HORNOS.

1.1 Hornos de combustible.....	7
1.1.1 Horno de cubilote.....	7
1.1.2 Hornos calentados a fuego directo.....	8
1.1.3 Hornos de crisol.....	9
1.1.4 Horno de aire o reverbero.....	10
1.1.5 Horno Siemens-Martín.....	11
1.1.6 Hornos oscilantes y giratorios.....	12
1.2 Hornos eléctricos.....	13
1.2.1 Hornos de arco eléctrico.....	13
1.2.2 Hornos de inducción.....	13
1.2.3 Hornos de resistencia.....	16
1.3 Convertidores.....	17
1.3.1 Convertidores de Oxígeno básico y Bessemer de aire.....	17

CAPITULO 2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN HORNO DE CRISOL.

2.1 Crisol.....	20
2.1.1 Clasificación de los crisoles.....	21
2.1.2 Características de los crisoles.....	21
2.1.3 Tipos de crisoles.....	22
2.1.4 Cuidados de los crisoles.....	24

2.2 Materiales refractarios.....	28
2.2.1 Clasificación de los materiales refractarios.....	29
2.2.2 Propiedades de los materiales refractarios.....	30
2.3 Combustibles.....	32
2.3.1 Combustibles sólidos.....	32
2.3.2 Combustibles líquidos.....	33
2.3.3 Combustibles gaseosos.....	34
2.4 Ventiladores.....	35
2.5 Quemadores.....	38
2.5.1 Quemadores industriales de gas.....	38
2.5.2 Quemadores para combustibles líquidos.....	52
2.5.3 Quemadores para combustibles sólidos.....	56
2.6 Termopares.....	60

CAPITULO 3
MEMORIA DE CALCULO.

3.1 Conceptos de transferencia de calor.....	64
3.1.1 Conducción.....	65
3.1.2 Convección.....	65
3.1.3 Radiación.....	66
3.2 Diseño del horno.....	67
3.3 Diseño térmico del horno.....	68
3.3.1 Calor suministrado a la carga.....	68
3.3.2 Pérdidas de calor por conducción a través de la pared del horno.....	69
3.3.3 Pérdidas de calor por conducción a través del piso del horno.....	71
3.3.4 Pérdidas de calor por conducción a través de la tapa del horno.....	72
3.3.5 Pérdidas de calor por convección.....	73
3.3.6 Pérdidas de calor por radiación.....	75
3.3.7 Potencia térmica neta.....	75

3.3.8 Potencia térmica instalada.....	76
3.3.9 Gasto de combustible.....	77
3.3.10 Gasto de aire estándar.....	78
3.3.11 Gasto de aire corregido por la altura.....	78
3.3.12 Características del ventilador.....	79
3.3.13 Respiros, canales de humos y chimeneas.....	81

CAPITULO 4
FABRICACION DEL HORNO.

4.1 Fabricación del piso, paredes y tapa del horno.....	86
4.2 El quemador y el ventilador.....	88
4.3 Puesta en operación del horno.....	91
4.4 Costos de fabricación del horno.....	92
4.5 Dibujo de conjunto del horno de crisol.....	92
Conclusiones.....	94
Bibliografía.....	95

INTRODUCCION.

Para la realización de esta tesis es necesario comprender la importancia o el porque de la misma, por ello, hablaremos de estos puntos de una manera general.

La primer pregunta que surgiría es ¿Por qué?. La respuesta a esta pregunta es muy sencilla, la necesidad de tener este tipo de horno en el Laboratorio de Tecnología de Materiales es ahora muy importante, ya que en él no se cuenta con un horno de este tipo, y proporcionaría la facilidad de poder utilizarlo para diferentes proyectos; por ello, es que la construcción de este horno es muy importante, no tanto porque se quiera crear o inventar algo nuevo, ya que estos tipos de hornos son de lo más sencillo y de lo mas antiguo, sino que hay que estar concientes de la necesidad que esto implica; el afán es simple pero no por ello deja de ser de interés.

El proyecto de construir el horno no surgió de la noche a la mañana; como todos sabemos, la población universitaria ha ido en aumento en los últimos años y dicho aumento nos ha llevado a diferentes necesidades, algunas de ellas es lograr mejoras en los laboratorios de nuestra Facultad, como es de todos conocido la situación económica actual del país no es muy buena en todos los aspectos, en todos los sectores y en todos los sentidos, y por ello la Universidad (U. N. A. M.) no quedo excluida de dicha situación; por esto se ha llegado a la necesidad de que surjan proyectos de tesis que aporten, ayuden y continúen la ampliación del instrumental universitario, al mismo tiempo dichos proyectos ayudan en el desarrollo profesional de los universitarios.

Otro punto a favor para la realización de este proyecto es que la materia prima para la fundición, son metales comunes y relativamente económicos; se pueden obtener fácilmente de muchas maneras. por ejemplo, haremos mención de una de las diferentes y sencillas maneras de obtenerlo. Existen varios materiales que tienen la característica de ser reciclables, y uno de tantos materiales es el aluminio; por mencionar un ejemplo, latas de refresco, sartenes viejos, ollas para cocinar etc. En fin; no nos desviaremos del tema pensando como se puede obtener el material que se va a fundir, ya que existen muchas maneras; lo que si debe quedar claro es que es un material muy común y comercial, y no

sería mucho problema obtenerlo para la Universidad (U. N. A. M.), o bien en un dado caso para los alumnos.

La realización de este proyecto puede llegar a motivar en un futuro a otros alumnos a realizar algo similar, o mejorar algunos de los proyectos ya hechos; sugiero que una manera para lograr la motivación a los alumnos, es que cuando los profesores se encuentren en el laboratorio, hicieran mención de ciertos instrumentos o dispositivos que se encuentran en laboratorio, y que han sido hechos por exalumnos, como proyectos de tesis; creo que esto estimularía a los alumnos en empezar a imaginar un proyecto similar y porque no realizarlo para beneficio de la Universidad y del estudiante.

El principio de la fundición es simple: se funde el metal, se vacía en un molde y se deja enfriar.

Las partes de fundición fluctúan en tamaño, desde pequeños componentes que pesan solamente unas cuantas onzas hasta grandes productos de más de 100 toneladas. La lista incluye coronas dentales, joyería, estatuas, estufas de hierro fundido, bloques y cabezas para motores automotrices, bases para máquinas, ruedas para ferrocarril, sartenes para freír, tubos y carcasas para bombas. Se pueden fundir todas las variedades de metales ferrosos y no ferrosos.

Existen diversos métodos para la fundición de formas, lo cual hace de este proceso uno de los más versátiles en manufactura. Sus posibilidades y ventajas son las siguientes.

- La fundición se puede usar para crear partes de compleja geometría, incluyendo formas externas e internas.
- Algunos procesos de fundición pueden producir partes de *forma neta* que no requieren operaciones subsecuentes para llenar los requisitos de la geometría y dimensiones de la parte.
- Se puede usar la fundición para producir partes muy grandes. Se han fabricado fundiciones que pesan más de 100 toneladas.
- El proceso de fundición puede realizarse en cualquier metal que pueda calentarse y pasar al estado líquido.
- Algunos métodos de fundición son altamente adaptables a la producción en masa

No obstante, también hay desventajas asociadas con la fundición y sus diferentes métodos, las cuales incluyen propiedades mecánicas relativamente bajas, como porosidad, baja precisión dimensional y acabado deficiente de la superficie, también hay riesgos en la seguridad de los trabajadores durante el procesamiento y problemas ambientales.

CAPITULO 1

TIPOS DE HORNOS.

Los tipos de hornos que se emplean con mayor frecuencia en los talleres de fundición son: 1) cubilotes, 2) hornos calentados a fuego directo, 3) hornos de crisol, 4) hornos de arco eléctrico y 5) hornos de inducción. La selección del tipo más apropiado de horno depende de factores tales como la aleación a fundir, su temperatura de fusión y de vaciado, la capacidad necesaria del horno; los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como los aspectos relativos a la contaminación ambiental.

1.1 Hornos de combustible.

1.1.1 Horno de Cubilote.

Un cubilote es un horno cilíndrico vertical equipado con un bebedero de sangrado cerca de su base. Aunque también se utilizan otros hornos, el mayor tonelaje de hierro fundido se procesa en cubilotes, pues éstos se usan solamente para fundición de hierro. La construcción general y características de operación del cubilote se ilustran en la figura 1.1. Consiste en una carcasa grande de plancha de acero revestida con refractario. La carga está constituida por hierro, coque, fundente y otros elementos de aleación que se cargan a través de una puerta localizada a mitad de la altura. El hierro es normalmente una mezcla de arrabio y chatarra (incluyendo las mazarotas, canales de alimentación y vertederos solidificados procedentes de fundiciones previas). El coque constituye el combustible para calentar el horno. A través de las aberturas cerca del fondo de la carcasa se introduce aire forzado para la combustión del coque. El fundente es cal. compuesto alcalino que reacciona con la ceniza de coque y otras impurezas para formar escoria. La escoria sirve para cubrir la fundición, protegiéndola de reaccionar con la atmósfera interior del cubilote y reduciendo las pérdidas de calor. Cuando la mezcla se calienta, se produce la fusión del hierro, el horno se sangra periódicamente para suministrar el metal líquido listo para el vaciado.

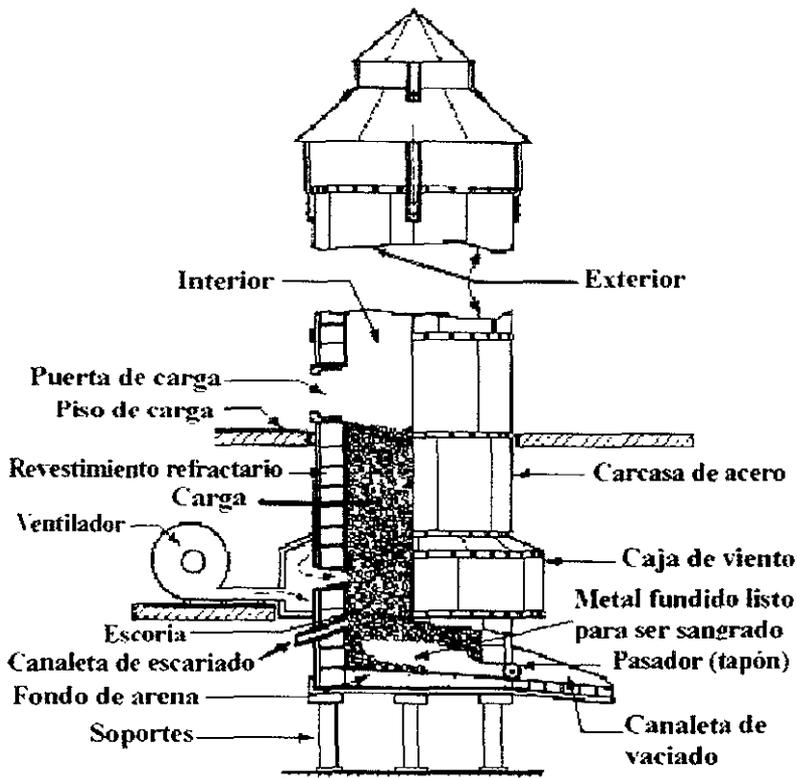


Figura 1.1 Cubilote para fundición de hierro.

1.1.2 Hornos calentados a fuego directo.

Un horno calentado a fuego directo contiene un pequeño hogar abierto, donde se calienta la carga de metal, mediante un quemador que se localiza a un lado del horno. El techo del horno contribuye a la acción de calentamiento, reflejando la flama hacia abajo contra la carga. El combustible típico es el gas natural, los productos de la combustión salen del horno a través de una chimenea. En el fondo del hogar hay un orificio de colada, por donde se extrae el metal fundido. Los hornos calentados a fuego directo se usan generalmente para fundir metales no ferrosos como aleaciones de cobre y aluminio.

1.1.3 Hornos de crisol.

En estos hornos se funde el metal, sin entrar en contacto directo con los gases de combustión. Por esta razón se llaman algunas veces hornos calentados indirectamente. Hay tres tipos de hornos de crisol que se usan en los talleres de fundición: (a) tipo crisol móvil, (b) estacionario o fijo y (c) basculante o inclinable, todos se ilustran en la figura 1.2. Utilizan un recipiente (crisol) hecho de un material refractario apropiado (por ejemplo, mezcla de arcilla y grafito) o acero aleado de alta temperatura para contener la carga. En el *horno de crisol móvil*, el crisol se coloca en un horno que usa aceite, gas o carbón pulverizado para fundir la carga metálica. Cuando el metal se funde, el crisol se levanta del horno y se usa como cuchara de colada. Los otros dos tipos llamados algunas veces *hornos de crisol (pot furnace)* con quemador integrado tienen un horno de calentamiento y un recipiente integrados. En el *horno de crisol estacionario con quemador integrado (stationary pot furnace)*, el horno es estacionario y el metal fundido se cucharea fuera del recipiente. En el *horno de crisol basculante con quemador integrado (tilting-pot furnace)*, el dispositivo entero se puede inclinar para vaciar la carga. Los hornos de crisol se usan para metales no ferrosos como el bronce, el latón y las aleaciones de zinc y de aluminio. Las capacidades de los hornos se limitan generalmente a varios cientos de libras.

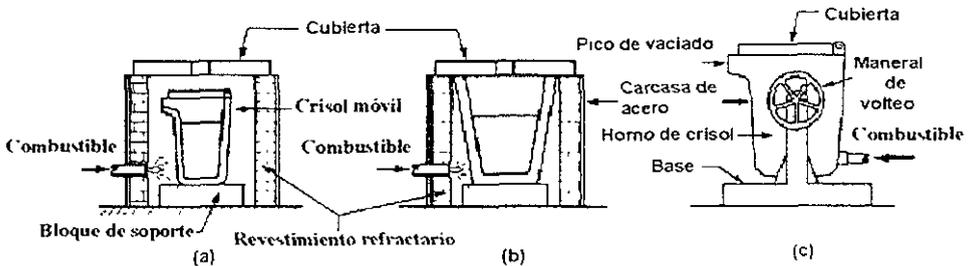


Figura 1.2 Tres tipos de horno de crisol. (a) crisol móvil, (b) crisol estacionario y (c) crisol basculante.

En la figura 1.3 se muestra específicamente, un horno de crisol fijo, montado sobre refractarios y rodeado de coque que es el combustible. El aire para la combustión se suministra mediante un soplador. Este método actualmente se utiliza sólo en pequeñas fundiciones

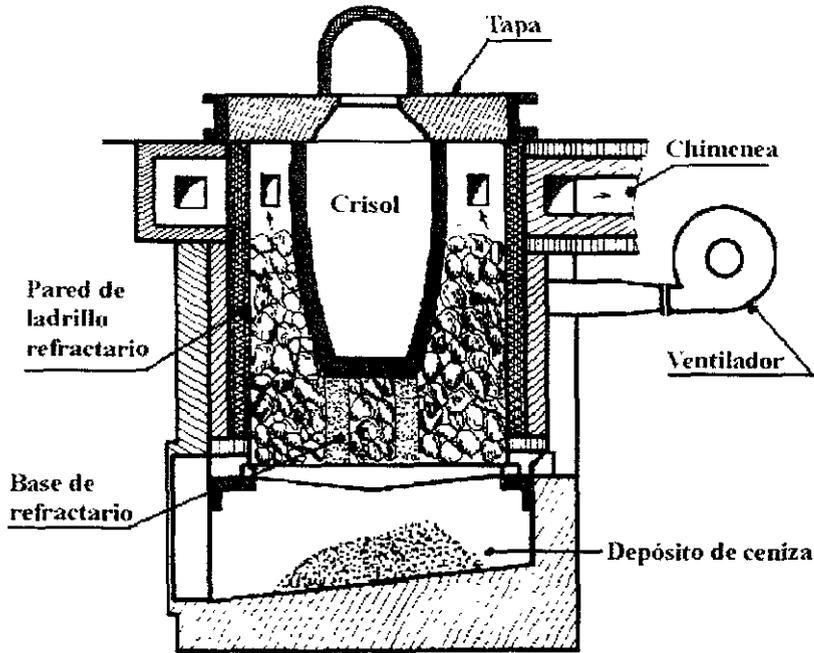


Figura 1.3 Horno de crisol fijo.

1.1.4 Horno de aire o reverbero.

Este horno consta de un hogar o cámara abovedada donde se depositan las materias primas que son: arrabio, chatarra seleccionada, fundentes y elementos aleantes. En la bóveda se encuentran las puertas de carga llamadas tapas. La combustión se efectúa en el hogar del horno, y se utiliza carbón pulverizado o combustóleo y aire.

La ventaja de este horno sobre el de cubilote, es que permite un control más preciso de los porcentajes de carbono y elementos aleantes. Esto se debe a que se pueden tomar muestras periódicas para su análisis, y a que el combustible no está en contacto con el metal.

Debido a que su costo inicial y el de operación son mayores que para el horno de cubilote, no tiene muchas aplicaciones, excepto para las piezas de hierro maleable (obtenidas a partir de la fundición blanca). La capacidad de estos hornos varía de 5 a 50 ton por colada. El horno Siemens-Martín es un ejemplo clásico de horno de reverbero.

1.1.5 Horno Siemens-Martín.

El horno Siemens-Martín de hogar esta recubierto por ladrillos refractarios ácidos o básicos; en la actualidad la mayoría son básicos, ya que con éstos se puede controlar o eliminar un mayor número de elementos (C, Si, Mn, P, S).

La capacidad del horno, es decir, la cantidad de toneladas de arrabio líquido que puede contener está determinada por el tamaño del hogar, generalmente varía de 60 a 300 ton (figura 1.4).

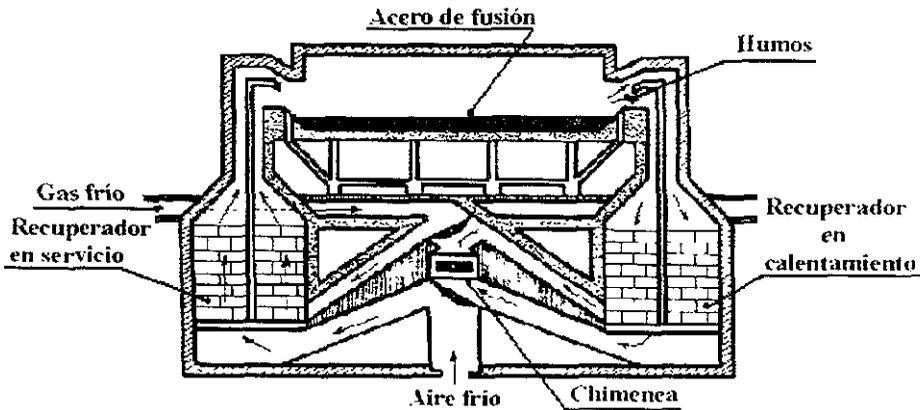


Figura 1.4 Horno Siemens-Martín.

Posee además, dos cámaras de ladrillos refractarios (cambiadores reticulares), que alternativamente precalientan aire para la combustión; en cierto momento, una de ellas cede calor al aire, en tanto que la segunda absorbe el calor de los gases quemados, invirtiéndose alternativamente la función de las cámaras. El horno se calienta mediante gas natural, gas de coque o por medio de combustible líquido. La carga del horno consiste en proporciones variables de chatarra, mineral de hierro, piedra caliza o cal (utilizadas como fundentes), y arrabio líquido procedente del alto horno, este último empleado en proporciones de 0 a 75% de la carga total. Una vez cargado éste, se inicia la combustión para aumentar la temperatura; la descarbonización se logra oxidando el carbón para formar CO_2 , esto se consigue mediante la inyección directa de O_2 o agregando magnetita o hematitas que ceden su oxígeno y se incorporan al acero

El silicio y otras impurezas que no reaccionan con el oxígeno, forman escoria con el fundente que no se mezcla con el acero. Cuando el acero está refinado se agregan los elementos de aleación. El horno se vacía a través de un orificio localizado en el fondo y en la parte posterior del crisol. Por este proceso se pueden obtener todos los tipos de acero.

1.1.6 Hornos oscilantes y giratorios.

Los hornos giratorios constan de un hogar que oscila o gira, de manera que la pared alternativamente se calienta, mientras no está en contacto con el metal, y cede calor al entrar en contacto con él; aumentando la eficiencia del proceso (figura 1.5).

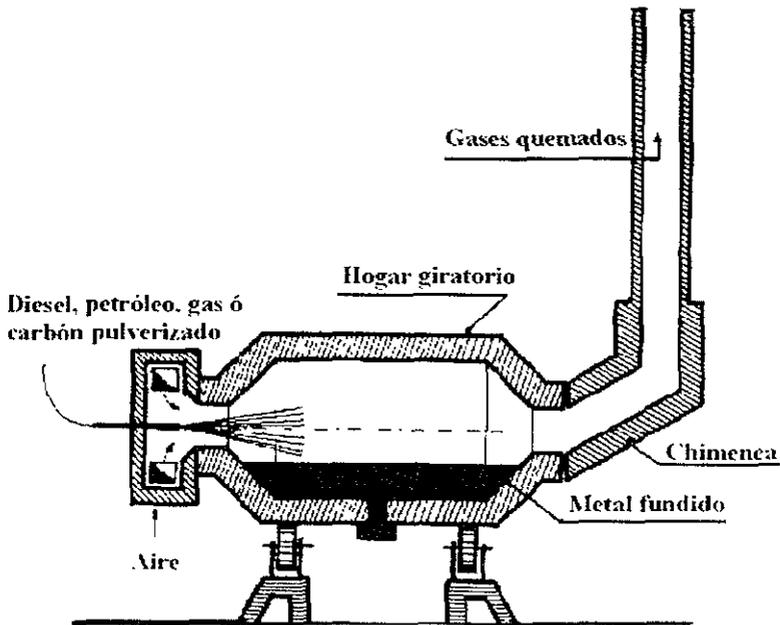


Figura 1.5 Horno giratorio para fundir metal.

1.2 Hornos eléctricos.

1.2.1 Hornos de arco eléctrico.

En este tipo de horno, la carga se funde por el calor generado en un arco eléctrico, esta energía es radiada hacia el metal. Se dispone de varias configuraciones con dos o tres electrodos (véase figura 1.6). El consumo de potencia es alto, pero los hornos de arco eléctrico pueden diseñarse para altas capacidades de fusión (25 a 50 ton / h) y se usan principalmente para fundición de acero.

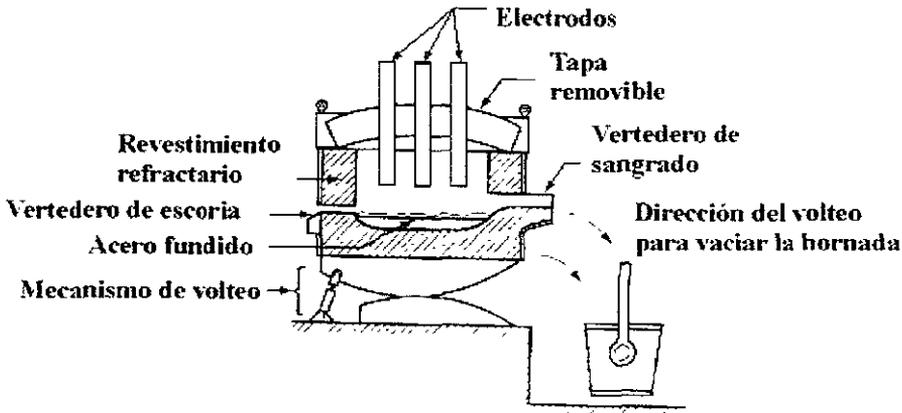


Figura 1.6 Horno de arco eléctrico

1.2.2 Hornos de inducción.

Un horno de inducción usa corriente alterna a través de una bobina que genera un campo magnético en el metal, el resultado de la corriente inducida causa un rápido calentamiento y la fusión del metal. En la figura 1.7 se ilustran las características de un horno de inducción para operaciones de fundición. El campo de fuerza electromagnética provoca una acción de mezclado en el metal líquido. Además, como el metal no está en contacto directo con ningún elemento de calefacción, se puede controlar cuidadosamente el ambiente donde tiene lugar la fusión. El resultado es una fundición de alta calidad y pureza. Los hornos de inducción se usan para casi cualquier aleación cuyos requerimientos de calidad sean importantes. Sus aplicaciones para fundir aleaciones de acero, hierro y aluminio, son comunes en los talleres de fundición.

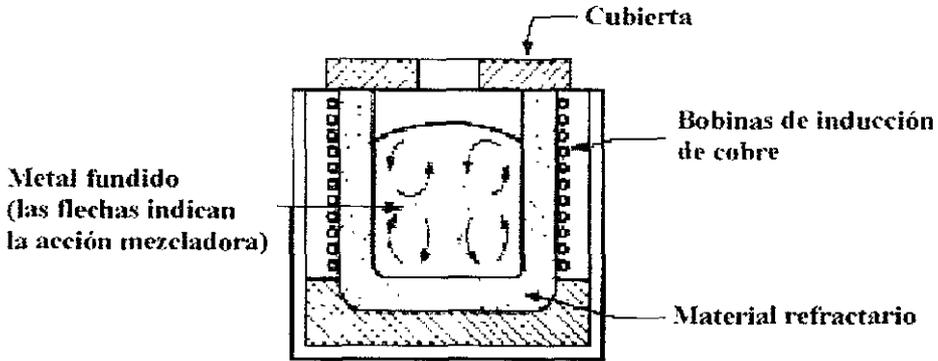


Figura 1.7 Horno de inducción.

Los hornos de inducción se dividen en hornos de frecuencia industrial (baja frecuencia), con núcleo de hierro y hornos de alta frecuencia sin núcleo magnético.

Hornos de inducción de baja frecuencia. La cámara de fusión consta de una sección principal y de anillo delgado que envuelve a un núcleo de hierro excitado por una bobina (figura 1.8), esto induce un voltaje en el metal contenido en el anillo, y como éste se encuentra en cortocircuito, circula una fuerte corriente que libera calor por Ley de Joule y funde el metal. Poco a poco, este calor se transmite a la cámara principal por conducción y convección, y toda la masa se funde. Los hornos chicos son monofásicos y los grandes trifásicos con tres anillos de fusión. El factor de potencia es aproximadamente de 0.7, por lo que generalmente se les acopla un condensador. Estos hornos no alcanzan temperaturas muy altas, por lo que no pueden fundir acero, sin embargo se pueden usar para fundir hierro colado, aleaciones y metales ligeros.

Hornos de inducción de alta frecuencia. Estos hornos se basan en que al colocar un metal en un campo magnético de frecuencia y densidad altas, dicho metal se calienta por la rápida vibración de sus dipolos magnéticos. Constan de un grupo motor-generador de alta frecuencia (500 Hz a 3000 Hz en la industria y hasta 20 000 Hz en laboratorio), conectado a una bobina con condensadores para mejorar el factor de potencia (F. P.) La bobina envuelve un crisol que contiene el metal a fundir. Su capacidad varía entre unos cuantos kilogramos, y de 10 a 12 ton (figura 1.9).

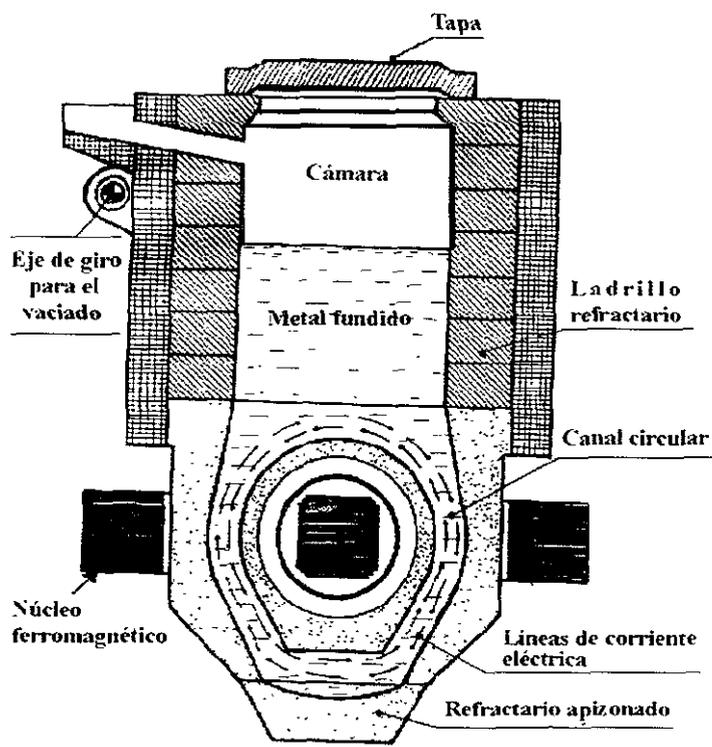


Figura 1.8 Horno de inducción de baja frecuencia.

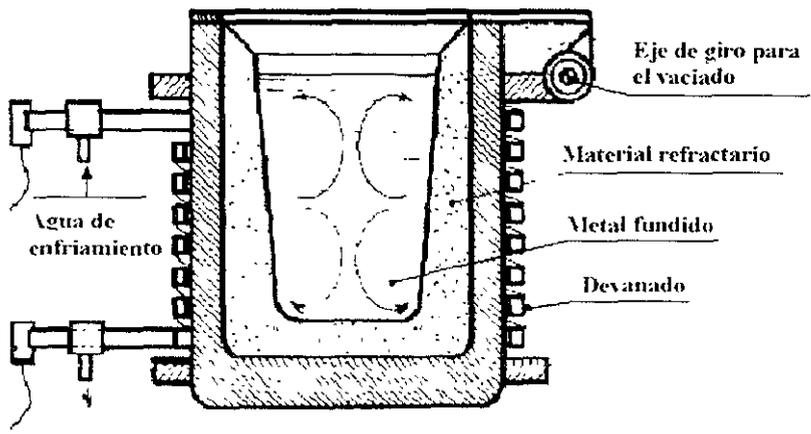


Figura 1.9 Horno de inducción de alta frecuencia.

1.2.3 Hornos de resistencia.

Los hay de resistencia no metálica (figura 1.10); ésta va montada en soportes de metal enfriados por agua, y atraviesa horizontalmente sobre la carga con corrientes de 2000 a 15000 A, se eleva la temperatura del electrodo a unos 2000 °C, y la cámara a 1650 °C, generalmente el hogar oscila para pasar el calor de las paredes a la carga por conducción, pero también los hay de crisol fijo y de reverbero (Figura 1.11). También los hay de resistencia metálica, en los que cintas o alambres de cromo-níquel se suspenden de la bóveda y se calientan al paso de la corriente a través de ellos; su construcción es similar a la de los de resistencia no metálica, y también en este caso pueden ser fijos, oscilantes y de reverbero. La temperatura de la resistencia no pasa de unos 1300 °C, por lo que sólo se usan para aleaciones con punto de fusión menor de 700 °C.

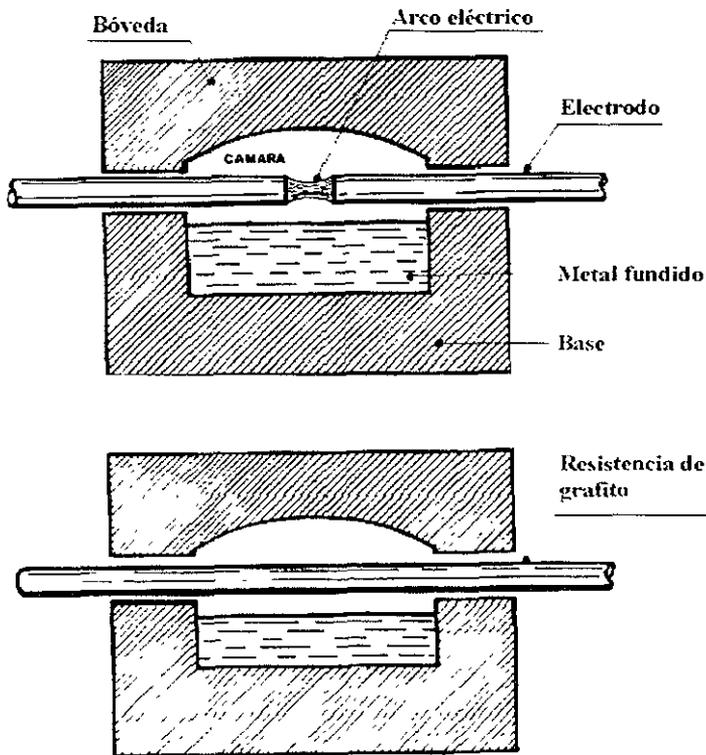


Figura 1.10 Horno eléctrico de resistencia no metálica

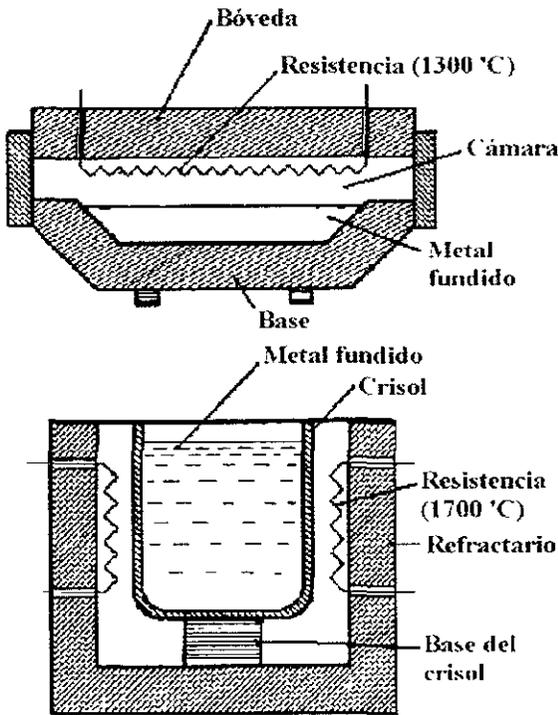


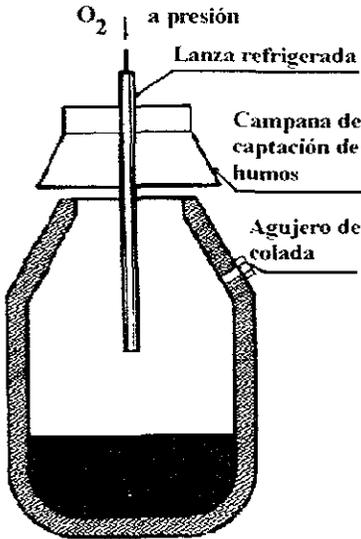
Figura 1.11 Hornos eléctricos de resistencia metálica de reverbero y de crisol.

1.3 Convertidores.

1.3.1 Convertidores de oxígeno básico y Bessemer de aire.

Los convertidores son recipientes donde se refina el arrabio para obtener acero; los hay de dos tipos: el Bessemer que funciona con aire comprimido inyectado por rendijas en la base; y el B. O. F., o de oxígeno básico, que funciona con oxígeno a presión inyectado por un tubo o lanza a través de la parte superior (figura 1.12). El procedimiento para la elaboración del acero se inicia una vez que el convertidor está a la temperatura adecuada (el revestimiento refractario se somete a un precalentamiento con gas combustible para protegerlo de los cambios bruscos de temperatura, o bien, se aprovecha el calentamiento causado por la operación anterior), se gira 30° sobre su eje y se carga con chatarra o hierro esponja al 20 o 30% de su capacidad

CONVERTIDOR QUE OPERA EN POSICIÓN VERTICAL



CONVERTIDOR QUE OPERA EN POSICIÓN INCLINADA

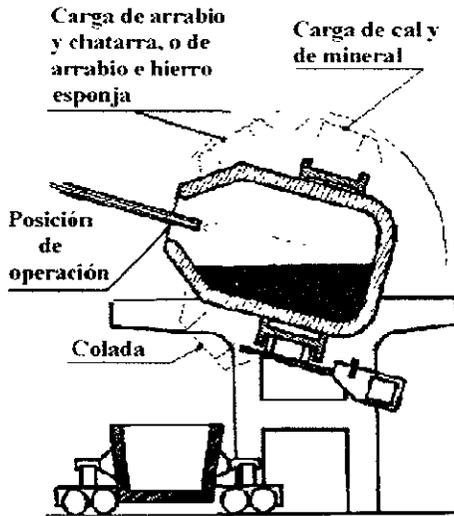


Figura 1.12 Convertidor de oxígeno básico (B. O. F.)

En la misma posición, se procede a cargar en forma lenta el arrabio que llega del alto horno en los carros termo, se coloca el convertidor en posición vertical (posición normal de operación), y se procede a la inyección de aire o se introduce la lanza de oxígeno para el soplado según sea el tipo de convertidor. El calor para el proceso, se genera al quemarse las impurezas del arrabio líquido con el oxígeno puro o con el aire, estas impurezas reaccionan con la cal para formar una capa de escoria.

Los aditivos como el fundente de cal, se agregan inmediatamente después de iniciar el soplado o la inyección y las aleaciones ferrosas necesarias, tales como: $FeMn$, $FeSi$, etc., se añaden en trozos pequeños durante las sangrías a través de un vertedor. La escoria se vacía en ollas especiales. El acero obtenido llena ollas de colada mediante un carro de transbordo accionado eléctricamente. De esta olla, transportada por una grúa, se vacía el acero en moldes lingoteros.

Normalmente la capacidad de los convertidores oscila entre 60 y 240 ton de acero por colada. En estos convertidores se puede producir cualquier tipo de acero, sin embargo,

por lo regular se producen aceros al carbono, ya que, debido a la rapidez del proceso, no se pueden controlar de una manera adecuada los porcentajes de los elementos aleantes.

Es también importante notar que el hierro esponja se puede usar en este proceso como sustituto de la chatarra. Esta innovación es ideal cuando la disponibilidad y calidad de la chatarra no son apropiadas.

CAPITULO 2

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN HORNO DE CRISOL.

2.1 Crisol.

Los crisoles son vasijas que se emplean con frecuencia en diversas operaciones químicas, y que han de poder resistir temperaturas elevadas sin fundirse, al mismo tiempo han de resistir cambios bruscos de temperatura sin resquebrajarse, y no han de ser atacados por el combustible y los productos de la combustión, y tampoco por las sustancias que en ellos se someten a la acción del calor.

Los más empleados son de grafito (figura 2.1). Se fabrican por moldeo y cocción a temperatura elevada, a partir de una pasta compuesta de grafito, arcilla y alquitrán principalmente. También se fabrican crisoles tallados directamente en bloques de grafito artificial.

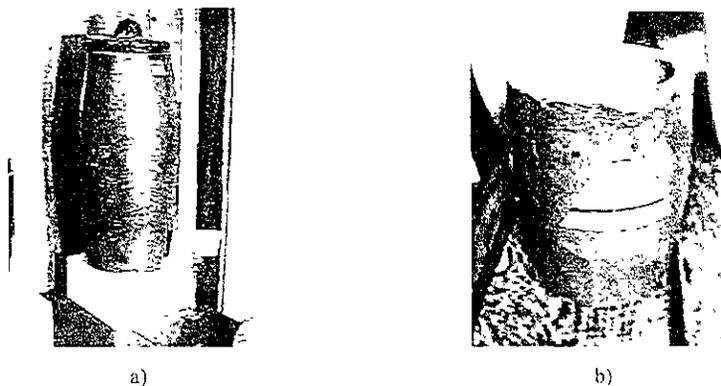


Figura 2.1 Crisoles de grafito; a) Crisol de grafito con tapa, b) Crisol de grafito "Salamander".

Cuando conviene concentrar el efecto calórico en una región determinada de los crisoles se recurre a disminuir el espesor de sus paredes en la parte que convenga, o bien a modificar la proporción de la mezcla de grafito y arcilla en las distintas zonas, haciendo por ejemplo, que la parte central sea más arcillosa a fin que pueda calentarse más que las porciones extremas

Si se quiere evitar el peligro de una carburación, se emplean crisoles de magnesio u otras sustancias, o bien se adoptan crisoles de grafito provistos de un revestimiento interior adecuado.

Como ya se mencionó, la mayoría de los crisoles están hechos de grafito o de carburo de silicio, y son sinterizados y vidriados con carbón aglutinado. Estos crisoles de grafito deberán protegerse de fracturas, deberán ser sacados para secarse y calentados antes de usarse (es decir, curarlos). Los de carburo de silicio son más resistentes al choque térmico, y pueden situarse en el horno para su operación, sin previo curado.

2.1.1 Clasificación de los crisoles.

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

- a) **Metálicos.**
- b) **No metálicos.**

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

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

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

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

2.1.2 Características de los crisoles.

Todo crisol para fundir metales deberá tener las características siguientes:

- a) **Buena conductividad térmica**, para ahorrar combustible y tiempo de fusión.
- b) **Alta refractariedad**, para resistir los cambios bruscos de temperatura
- c) **Resistencia al choque térmico**, para poder resistir los cambios de temperatura

- d) **Resistencia a la oxidación atmosférica**, para impedir que el recubrimiento exterior se gaste rápidamente.
- e) **Resistencia al ataque químico de óxido y fundentes**; debido a que las escorias entre otros, reaccionen violentamente con el crisol en la parte superior del metal fundido.
- f) **Resistencia a la erosión mecánica**, por metal sólido y fundido.
- g) **Resistencia mecánica a altas y bajas temperaturas**, para resistir el manejo descuidado.

2.1.3 Tipos de crisoles.

Los crisoles se construyen de muy diversos materiales, según el objetivo al que se destinen:

- a) **Crisoles de fundición**: la fundición muy rica en carbono resiste la acción de agentes que atacan a muchos metales, por eso se utilizan en algunos casos crisoles de hierro fundido.
- b) **Crisoles de plata**: se utilizan en análisis para el ataque de diversas sustancias, como los alcalinos.
- c) **Crisoles de platino**: son muy empleados en análisis y su manejo requiere determinadas precauciones a fin de que no se deterioren con facilidad.
- d) **Crisoles de Hess**: se fabrican con una arcilla que en promedio contiene 71% de sílice, 25% de alúmina y 4% de óxido férrico. A esta arcilla se le añade todavía de 1/3 a 1/2% de su peso de arena cuarzosa. Se distinguen por ser muy refractarios y por consiguiente muy apropiados para muchas operaciones químicas en las que se requieren elevadas temperaturas. Sin embargo a causa de su porosidad y de lo áspero de su superficie no son utilizables para ciertos trabajos de fusión, como por ejemplo la de metales nobles.
- e) **Crisoles de cemento**: se preparan con una mezcla de arcilla, arena silícea, cemento y otras materias análogas.

- f) **Crisoles de chamotte:** están formados por arcilla rica en sílice y alúmina, que se ha mezclado con polvo de arcilla refractario ya cocida, con arena cuarzosa y otros materiales semejantes.
- g) **Crisoles de Passau o de Ips:** se componen de una mezcla de arcilla refractaria y de grafito.
- h) **Crisoles ingleses:** se forman con una mezcla de dos partes de arcilla refractaria y una parte de coque.
- i) **Crisoles de plombagina:** se fabrican con una pasta que contiene cuatro partes de plombagina pulverizada y una parte de arcilla refractaria.
- j) **Crisoles brascados:** todos los crisoles cuyas paredes poseen carbón, obran como reductores sobre los óxidos metálicos que con ellos se someten a la acción de temperaturas elevadas. Son crisoles de arcilla refractaria cubiertos interiormente con una capa de carbón llamada brasca. Se emplean en las operaciones en las que hay que calentar una sustancia, sustrayéndola a la acción oxidante del aire, la brasca enrojecida absorbe el oxígeno del aire, que penetra en el crisol a pesar de la tapa.
- k) **Crisoles de magnesia.**
- l) **Crisoles de cristal de roca fundido:** pueden sustituir en muchos casos a los de platino. Son mucho más económicos y resisten no solamente elevadas temperaturas sino los cambios bruscos de calor.
- m) **Crisoles de Rose:** son crisoles de porcelana, provistos de una tapadera taladrada y de un tubo, todo de porcelana. Por el tubo se hace pasar una corriente de hidrógeno, con el cual se consigue calentar el contenido del crisol en un medio reductor y fuera del contacto del aire.
- n) **Crisoles de Gooch:** se llama así a unos crisoles de porcelana, cuyo fondo está agujereado en forma de criba y cubierto con un disco de papel de fieltro.
- o) **Crisoles de Neubauer:** con este nombre se designan unos crisoles de platino cuyo fondo está agujereado en forma de criba, y cubierto con una capa espesa de esponja de platino.

Los crisoles para la fusión del acero se fabrican en chamotte (arcilla) o de grafito. Tienen de 24 a 39 cm de altura y se cargan con 15 a 45 kg de acero. Se disponen aparejados o en grupos de cuatro, rodeados de carbón vegetal o de coque, en un horno de viento, o bien 20 o más en uno de reverbero, en cuyo hogar se quema hulla, o mejor aún en un horno Siemens-Martín con recuperador de calor.

Se hacen de cuarcita, arcilla y una pequeña cantidad de arcilla refractaria que se mezclan y calcinan.

Los que vemos en la figura 2.2 corresponden a modelos usados para ensayos de laboratorio.

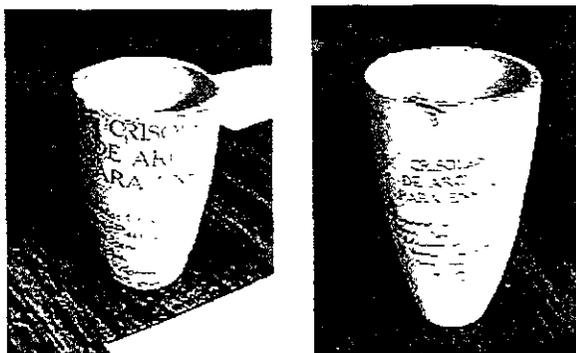


Figura 2.2 Crisoles de arcilla para ensayos.

2.1.4 Cuidados de los crisoles.

Como ya se sabe, los crisoles son costosos y la manera para obtener una vida duradera de ellos es el conocimiento de ciertas reglas de cuidados y uso.

Porque un crisol es una cazuela cerámica, se debe manejar cuidadosamente, como cualquier pieza cerámica.

Cuando obtenemos un crisol nuevo, se debe inspeccionar defectos que pueda tener. Debemos cubrir el crisol con una ligera malla de cuero, no demasiado duro, para protegerlo de algún golpe. También debemos golpearlo ligeramente para que nos dé un sonido claro como una nota musical clara, es decir, como una campana. Si no suena bien

es que probablemente este roto o tenga alguna fisura o burbuja interna. De ser así, debemos cambiar el crisol de inmediato.

Se deben comprar los crisoles en una tienda donde estos no se encuentren en una área húmeda; si se colocan detrás o a un lado del corazón, o núcleo de un horno sería perfecto; para que se elimine la humedad del crisol. Si se coloca el crisol húmedo en un horno y lo encendemos, el crisol podría llegar hasta estallar.

Si el crisol es muy grande para cargarlo en nuestros brazos, no debemos rodarlo ni de costado ni de la base, lo que debemos hacer es cargarlo con unas pinzas o en un carrito.

A continuación se mencionarán los cuidados más importantes que se deben considerar 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 material totalmente seco, y lejos del suelo; nunca sobre el suelo
- c) No se deben poner los crisoles unos dentro de otros.
- d) No almacenar los crisoles en temperaturas inferiores a 0 °C.

- 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.
- e) No utilice ladrillos refractarios como peanas.
- f) No utilice arena entre la peana y el crisol.

- Carga.

- a) Cargar o depositar el material en el crisol con mucho cuidado para no dañarlo. Si los lingotes están muy juntos y llenan el crisol completamente, debemos tener precaución; no meterlos a presión, ya que si lo hacemos, cuando estos se dilatan con las altas temperaturas estos podrían cuartear el crisol o romperlo. También debemos dejar caer los lingotes con precaución ya que si golpean fuerte, el fondo lo podrían quebrar, así que con unas pinzas sería una muy buena idea.
- b) 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.
- c) Siempre que sea posible cargue el crisol estando éste en posición vertical.
- d) De ser posible cargue primero chatarra ligera a fin de que sirvan de colchón a las piezas pesadas.
- e) Utilice tenazas para cargar las piezas pesadas o grandes, evitando así dañar el crisol.
- f) Coloque las piezas grandes y los lingotes en posición vertical para evitar acuñaamiento.
- g) 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) No deje que se solidifique el metal dentro del crisol.
- c) No vierta el metal fundido en un crisol frío.
- d) No tire ni deje caer el metal sólido en los crisoles.
- e) Evitar sobrecalentar la colada Fundir siempre a la temperatura más baja que permita el proceso o la pieza a fundir

- f) 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.
- g) Evitar retrasos entre fusiones y procurar utilizar el crisol lo más posible.
- h) Mantener un control de temperatura lo más posible, cualquier exceso innecesario de temperatura será una consecuencia directa del ataque de estos fundentes al crisol con la consiguiente reducción de su vida.
- i) Siempre fundir con una ligera flama de óxido para lograr una mínima absorción de gas, para la fundición y esto nos puede ayudar también para una larga vida del crisol. Podemos comprar un dispositivo llamado orsat, si así lo deseamos para medir el porcentaje de monóxido de carbono y dióxido de carbono o ajustar el horno para el punto donde la combustión hace la máxima cantidad de ruido. En este punto debemos colocarnos lo más cercano al punto neutro llamado neither-oxidizing no reducido. Si la flama esta oxidando, entonces tiene una insuficiente cantidad de oxígeno para la combustión.
- j) Cuando el horno este produciendo el máximo ruido, nosotros simplemente incrementamos el aire del soplador hasta quemar los gases, mandándolos fuera por el agujero de ventilación que se encuentra en la tapa del horno, mostrando un tinte verdoso sobre alrededor de la flama. En este punto existen condiciones previas de oxidación. Una flama que humea tintes rojizos o amarillentos a través de los agujeros de ventilación de la tapa nos indicará que las condiciones son altamente reducidas.
- k) Siempre se debe colocar el crisol en el centro del horno, con una pieza de cartón acanalado entre el pedestal y el fondo del crisol. El cartón auxilia al crisol de no fundir el pedestal. Es un proceso el cual puede dañar el fondo del crisol cuando este es removido del quemador. Si el horno se encuentra caliente, simplemente debemos remojar el cartón en agua y colocarlo sobre el pedestal y rápidamente colocar el crisol sobre él. Cuando el crisol esta colocado en el centro del horno, este se esta calentando plenamente y no es fatigado.

- Limpieza.

El crisol debe limpiarse entre fusiones, rascando y quitando todas las adherencias y escorias, mientras todavía este caliente. No debe utilizarse fuerza excesiva, tal como un cincel golpeando con mazo o martillo para descarapelar las concentraciones. Las escorias que se quedan en el crisol disminuyen rápidamente el espesor de la pared del crisol en fusiones subsecuentes 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.

2.2 Materiales refractarios.

En toda la industria siderúrgica, uno de los problemas fundamentales al que se debe dedicar especial atención es al estudio de los materiales refractarios que se emplean en la construcción de los hornos (paredes, revestimientos, bóvedas, etc.). Dichos materiales deben soportar las elevadas temperaturas que se generan en el interior de los hornos, y frecuentemente deben resistir la acción destructora de aleaciones y metales fundidos, de escorias y gases calientes que intervienen en las operaciones de fabricación del hierro y el acero.

Un **material refractario** es aquel material cerámico que resiste temperaturas hasta de 1350 °C sin ablandarse, dicho de otra forma, un material refractario debe retener su forma, así como una determinada resistencia a la temperatura de operación.

La mayor parte de los materiales refractarios son materiales cerámicos fabricados generalmente por cocción y están constituidos por óxidos de elevada temperatura de fusión.

Los materiales refractarios 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 ejemplo el revestimiento de horno.

2.2.1 Clasificación de los materiales refractarios.

La clasificación de los materiales refractarios se hace de la siguiente manera:

- a) **ácidos**
- b) **básicos**
- c) **neutros**

Dicha clasificación se basa en la naturaleza de los óxidos que contienen los materiales refractarios.

a) Refractarios ácidos.

En los refractarios ácidos, el principal constituyente es la sílice (SiO_2), sustancia que tiene la característica de reaccionar a altas temperaturas con los refractarios, escorias y fundentes; todos estos básicos forman silicatos cuyos puntos de fusión son inferiores al punto de fusión de los constituyentes. Por este motivo, no se deben usar en un mismo horno este tipo de refractarios ácidos con fundentes básicos o escorias, por que los silicatos fundirán primero antes que el material de interés, o reaccionaran permanentemente con las paredes del horno.

b) Refractarios básicos.

En los refractarios básicos, el material predominante es el óxido de calcio (CaO) o el óxido de magnesio (MgO). Estos óxidos, a temperaturas muy elevadas, reaccionan también con los refractarios, escorias o fundentes ácidos, por lo cual tampoco se recomienda su uso con refractarios ácidos, ya que forman silicatos de punto de fusión relativamente bajo. En este caso tienen también validez las advertencias del párrafo precedente

La dolomita tiene carácter básico y se emplea siempre después de ser calcinada. En esta forma sus principales constituyentes son CaO y MgO, empleándose generalmente en forma de granulado para preparar las soleras de los hornos. Su composición aproximada es:

CaO = 55%

MgO = 40%

SiO₂ = 3%

c) Refractarios neutros.

En los materiales refractarios neutros predomina la cromita (Cr₂O₃) y el grafito (estado alotrópico del carbono). Se denominan materiales neutros, porque no reaccionan de manera sensible con ningún otro tipo de material refractario, escorias o fundentes.

Los ladrillos de cromita de carácter neutro, están constituidos principalmente por óxidos de cromo, óxido de magnesio y óxido de hierro.

2.2.2 Propiedades de los materiales refractarios.

Para poder seleccionar un material refractario, se debe tener en cuenta las propiedades y características de estos, para prever el comportamiento y conocer las posibilidades de utilización de los mismos. Las propiedades de los materiales refractarios se mencionarán a continuación:

a) Temperatura de fusión.

La temperatura de fusión de una misma sustancia refractaria puede variar dependiendo de la cantidad de impurezas que esta contenga. Estas impurezas, al entrar en contacto con las escorias u otros cuerpos que hay en los hornos forman mezclas que funden a temperaturas inferiores a las de los materiales puros, lo cual disminuye notablemente sus posibilidades de utilización.

b) Resistencia a la compresión a diversas temperaturas.

En la elección de un material refractario debe tomarse en cuenta también la variación de la capacidad para soportar cargas a altas temperaturas.

c) Temperatura de reblandecimiento.

La temperatura de reblandecimiento, es la temperatura a la cual los materiales sufren un sensible ablandamiento que limita la utilización del material.

d) Resistencia al desmoronamiento bajo carga a elevada temperatura.

Una idea bastante clara de las posibilidades de utilización de un material refractario se tiene por la máxima temperatura que resiste sin desmoronarse bajo la acción de una carga de 2 kg/cm^2 , carga que es aproximada a la carga de trabajo.

e) Coeficiente térmico de expansión o contracción.

En la construcción de los hornos de fusión, es muy importante que las altas temperaturas no afectan las dimensiones en forma significativa de los elementos refractarios utilizados.

Las variaciones de volumen de los refractarios sílico-aluminosos son relativamente pequeñas e inferiores a las que corresponden a los ladrillos de magnesita y de sílice.

Las expansiones muy elevadas son peligrosas y, si no se dejan en las juntas excesos adecuados, crean fuertes presiones en los ladrillos de las paredes de los hornos durante el calentamiento, y se pueden producir importantes deformaciones, y en ocasiones, roturas de la misma estructura.

f) Resistencia al choque térmico.

La resistencia a los cambios bruscos de temperatura, varía bastante de una clase de refractario a otro. En todos los casos, esa resistencia está relacionada con el tamaño del grano del material, con su conductividad y con el método de fabricación empleado. Para conocer la resistencia de un refractario al choque térmico, se somete a calentamientos a alta temperatura (900 a $950 \text{ }^\circ\text{C}$), seguidos de enfriamientos rápidos en agua o al aire. Esta propiedad se define entonces con el número de pruebas que resiste el material antes de romperse.

g) Conductividad térmica.

La conductividad térmica de un material es la propiedad de transmitir el calor entre las moléculas del mismo, y se indica en $\text{kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$.

La conductividad térmica de los ladrillos refractarios varía bastante de unos ladrillos a otros. Así, por ejemplo, mientras los ladrillos de carburo de silicio y de magnesita son los mejores conductores, sobre todo a baja temperatura, los ladrillos de sílice aluminosos son peores conductores de calor y en ellos en todo momento aumenta la conductividad al elevarse la temperatura.

2.3 Combustibles.

Con el nombre de combustibles se designan las sustancias utilizadas para obtener calor. Según sea el estado físico de esas sustancias, los combustibles se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos.

De la definición anterior se desprende que la propiedad fundamental de las sustancias combustibles es su poder calorífico, es decir, la cantidad de calor que pueda desarrollarse por la combustión de la unidad de combustible (1 kg , 1 m^3 , etc.). Precisamente esta propiedad permite expresar las cantidades de energía en unidades equivalentes de combustible.

2.3.1 Combustibles sólidos.

El carbón (con sus variantes), la leña (biomasa), los residuos sólidos, etc., son representantes típicos de combustibles sólidos.

Aunque el carbón desempeñó en su día el papel primordial entre todos los combustibles, hoy en día ha sido desplazado por los combustibles líquidos y gaseosos. Sin embargo, como las reservas de carbón siguen siendo las más importantes de todos los combustibles (con excepción de los nucleares), van cobrando importancia las nuevas tecnologías de hidrogenación y gasificación, que permiten obtener combustibles líquidos y gaseosos a partir de aquella forma sólida.

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 carbono.

hidrógeno y oxígeno, tales como azúcares, almidón, celulosa, lignita y otras sustancias complejas que forman la estructura de la planta.

2.3.2 Combustibles líquidos.

Dejando aparte a los alcoholes como combustibles (metanol, etc.), los combustibles líquidos más usuales son los derivados del petróleo. Prescindiendo de los carburantes (gasolina), los combustibles para motores (diesel y queroseno), las fracciones del petróleo usadas como combustibles propiamente dicho son el gasóleo y el fuel-oil.

Como las distintas fracciones petrolíferas contienen gran cantidad de especies químicas, resulta impropio intentar caracterizar cada fracción por su composición. El factor de caracterización más importante para designar una fracción petrolífera es la **masa volúmica o densidad**. Para ello se emplean los grados API, definidos por:

$$^{\circ}\text{API} = (141.5 / \text{SG}) - 131.5$$

siendo SG la densidad relativa de la sustancia con respecto al agua, medidas ambas 50 °F (15 °C).

Las fracciones petrolíferas son fundamentalmente mezclas de hidrocarburos, según sea su masa volúmica o °API, varía la relación másica de carbono-hidrógeno. También un tercer componente, el azufre, se halla en mayor proporción en las fracciones pesadas.

El American Petroleum Institute, ha propuesto una serie de fracciones petrolíferas con distintos °API, que abarca los posibles tipos de combustibles de refinería. En la tabla 2.1 se produce esa clasificación adaptada a unidades SI.

Tabla 2.1 Clasificación de los combustibles líquidos de refinerías, según API

°API	0	5	10	15	20	25	30	35
SG	1.076	1.037	1.00	0.966	0.934	0.904	0.876	0.850
% Azufre	2.95	2.35	1.80	1.35	1.00	0.70	0.40	0.30
% Inertes	1.15	1.00	0.95	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60
C / H	8.80	8.55	8.06	7.69	7.65	7.17	6.79	6.50

Otra propiedad importante de los combustibles líquidos es la **viscosidad**, ya que de ella depende la facilidad de transporte por tubería y la de pulverización necesaria para la combustión.

Existen varias ventajas acerca de los combustibles líquidos sobre los sólidos, son las siguientes:

- a) **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.
- b) **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 .
- c) **Fácil regulación del consumo.** El combustible líquido se regula por medio de abrir o cerrar válvulas.
- d) **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.

2.3.3 Combustibles gaseosos.

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

El gas natural es; tal vez, el que se aproxima más 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.

Las ventajas de los combustibles gaseosos sobre los sólidos son las siguientes.

- a) El combustible gaseoso es limpio y fácil de utilizar.

- b) La posibilidad de obtener la combustión perfecta con un volumen de aire ligeramente superior al necesario teóricamente, se debe a la íntima mezcla de gas con el aire.
- c) Se logra temperaturas muy elevadas, precisamente por ser casi perfecta la combustión y menor que en otros casos, el volumen de los productos resultantes.
- d) El combustible como el aire pueden entrar ya calientes en el hogar, aprovechando para ello el calor perdido del horno.
- e) Las características de poder regular con facilidad las cantidades de gas y aire, con lo cual es posible mantener una temperatura uniforme en el horno.

2.4 Ventiladores.

Un ventilador esencialmente es una bomba de gas en vez de líquido. Por lo tanto un ventilador es una turbomáquina hidráulica generadora para gases.

Un ventilador es una turbomáquina que absorbe energía mecánica y restituye energía a un gas, comunicándole un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad puede despreciarse.

Los ventiladores se usan cuando se requieren bajas presiones y grandes volúmenes comparativamente. Funcionan a velocidades relativamente pequeñas, estando, por lo general, la cubierta y el rodete contruidos de plancha de hierro.

Los ventiladores se pueden subdividir en tres grupos:

- 1) ventiladores de baja presión.**
- 2) ventiladores de mediana presión.**
- 3) ventiladores de alta presión.**

Los ventiladores se construyen según su tipo de acción que puede ser:

- a) centrífuga.**
- b) axial**

Para poder escoger un ventilador, después de haber calculado el caudal, debe consultarse a las curvas características establecidas por el constructor y anotar para cada tipo de máquina el rendimiento y la velocidad deseada.

Los ventiladores de baja presión desarrollan una presión total inferior a 10 mbar. Los ventiladores de media presión desarrollan una presión superior a 10 e inferior a 30 mbar. Los ventiladores de alta presión desarrollan una presión superior a 30 e inferior a 100 mbar (estos últimos el efecto de la compresibilidad ya es apreciable).

Los ventiladores centrífugos son los más indicados para presiones fuertes y caudales débiles. Ya que aspiran el flujo lateralmente, a través de una o varias aberturas y lo expulsan a una voluta que juega el papel de difusor. Sus rendimientos máximos son del orden de 0.6 a 0.7. Se adaptan a los tres tipos, de baja, media y alta presión. Los de baja presión a veces son de tipo Sirocco o de tambor.

La figura 2.3 representa un ventilador centrífugo Sirocco de baja presión (5 mbar) con rodete de tipo de tambor, construido por la casa Sulzer, para $Q = 8000 \text{ m}^3/\text{h}$, $n = 720 \text{ rpm}$; $D_2 = 500 \text{ mm}$. En este ventilador: los álabes están curvados hacia delante ($\beta_2 > 90^\circ$); la embocadura de la entrada es una tobera de perfil aerodinámico para reducir pérdidas; la sección transversal de la caja espiral, construida de chapa reforzada con angulares, es rectangular; el rodete está instalado en voladizo. Carece de prensaestopas porque la presión es baja.

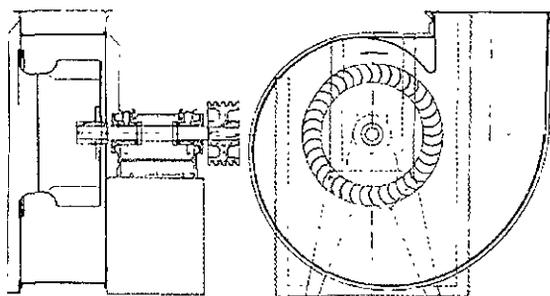


Figura 2.3 Ventilador de baja presión de rodete de tambor de 500 mm de diámetro construido por la casa Sulzer para $8000 \text{ m}^3/\text{h}$, 720 rpm y 5 mbar de presión

La figura 2.4 representa un ventilador centrífugo de alta presión (70 mbar) construido también por la Sulzer, para $Q = 16000 \text{ m}^3/\text{h}$, $n = 2950 \text{ rpm}$; $D_2 = 700 \text{ mm}$. En este ventilador, los álabes están curvados hacia atrás ($\beta_2 > 90^\circ$); la caja espiral es de

fundición; el rodete también está instalado en voladizo. Tiene prensaestopas, porque las presiones son más elevadas.

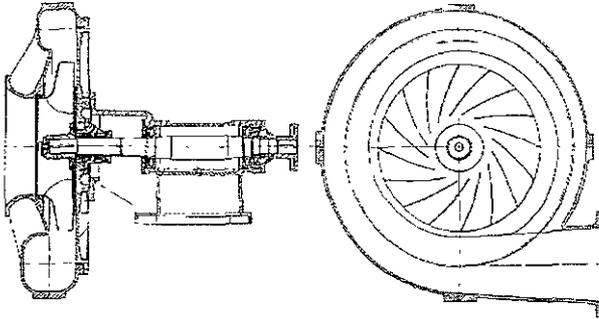


Figura 2.4 Ventilador de alta presión construido por la casa Sulzer para 2950 rpm con un caudal de 16000 m³/h y una presión de 70 mbar con un diámetro exterior del rodete de 700 mm.

En la figura 2.5 se representa un ventilador axial construido por la casa Siemens para ventilación de minas, con motor eléctrico refrigerado por aire, $n = 2900$ rpm. Su rendimiento es elevado, 80%, gracias a que los ocho álabes de que consta su rodete de siluminio antideflagrante están diseñados como perfil de ala de avión.

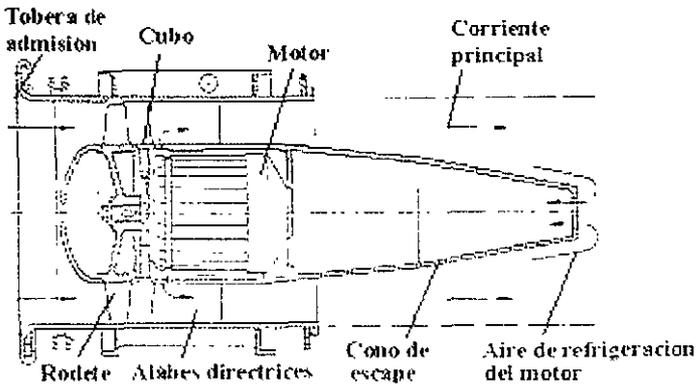


Figura 2.5 Ventilador axial de aire construido por la casa Siemens para ventilación de minas para 2900 rpm y elevado rendimiento (80%)

2.5 Quemadores.

Los quemadores son los dispositivos que permiten realizar la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada y regulable, asegurando la aportación adecuada de ambos para conseguir la potencia calorífica especificada, y distribuyendo la zona de reacción (llamas) y la circulación de los productos de combustión de modo que se transfiera la carga, del modo más eficiente posible, todo el calor producido.

Según sea el combustible utilizado, los quemadores se clasifican en quemadores de gas, de combustibles líquidos y de combustibles sólidos. En el caso de estos últimos, si la aportación del sólido se realiza neumáticamente (carbón pulverizado, por ejemplo) existe una cierta homogeneidad con respecto al equipo utilizado para los otros combustibles; pero en otros casos, como en el empleo de parillas, por ejemplo, existe una diferenciación evidente.

El carácter específico del equipo en función de la clase de combustible utilizado obliga a realizar su estudio separadamente, lo cual, por otra parte, exigirá repetir ciertos conceptos de común aplicación, así como suplir, por analogía, razonamientos generalmente válidos.

2.5.1 Quemadores industriales de gas.

Criterios de selección.

Para especificar el equipo de combustión se han de aplicar criterios de selección de carácter general relativos al quemador, y de carácter específico, teniendo en cuenta la aplicación concreta y el tipo de horno. Los criterios de selección se mencionan a continuación:

a) Criterios genéricos.

- 1) **Temperatura a alcanzar.** Lo que implicará principalmente tasas de aireación, reciclado, precalentado y oxigenación
- 2) **Naturaleza de los productos de combustión.** Selección del carácter oxidante o reductor de la atmósfera del horno, concentraciones de NO_x ,

3) **Flexibilidad de regulación.** Relación de las tasas de aireación extremas entre las que el quemador funciona correctamente.

4) **Ruido.**

b) Criterios específicos.

- La receptividad térmica del producto, que depende de:

- 1) **Conductividad térmica.**
- 2) **Coefficiente de absorción de la radiación.**
- 3) **Superficie específica.**
- 4) **Oxibilidad.**

- Receptividad térmica del horno:

- 1) **Aislamiento térmico.**
- 2) **Inercia térmica.**
- 3) **Paredes térmicas: crisoles, muflas, semimufas, tubos radiantes.**
- 4) **Vestíbulos de precalentamiento de la carga.**
- 5) **Recuperadores de precalentamiento de aire.**

Clasificación.

A falta de un sistema de clasificación universalmente aceptado, se adopta aquí un sistema pragmático basado en el modo de alimentación del gas y del aire, tal como se visualiza en la figura 2.6.

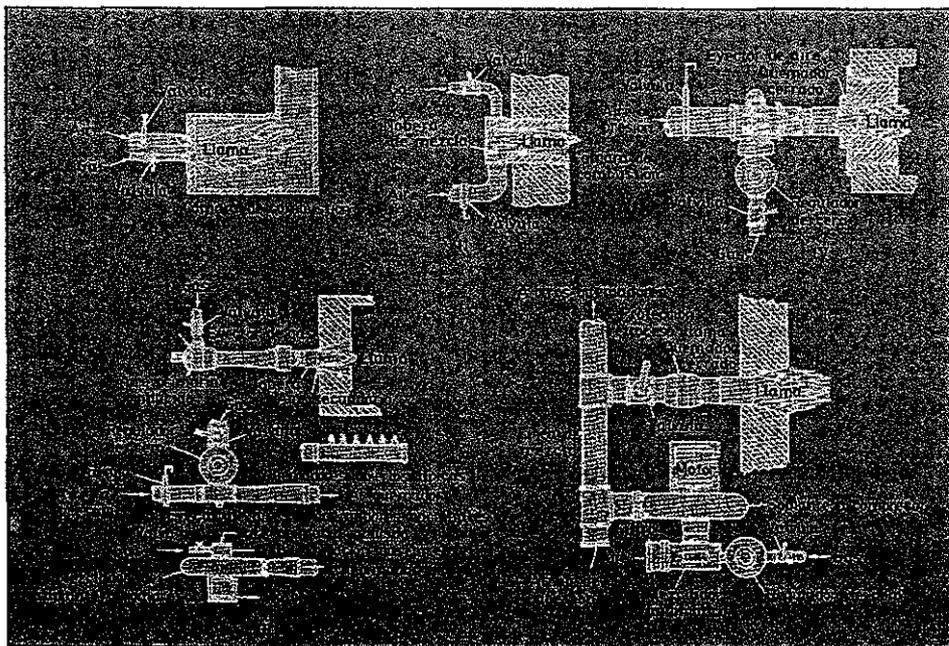


Figura 2.6 Clasificación de los quemadores de gas según el sistema de mezcla. Para cada tipo se indican las aplicaciones más importantes.

1) Quemadores de premezcla.

Quemadores de premezcla a presión.

Suelen ser de premezcla total; los fenómenos a tener en cuenta son los de retorno y desprendimiento de llama.

a) Fenómeno de colado o retorno de llama.

Una pared fría ejerce una acción inhibitoria de la combustión. Existe un diámetro límite que es el mínimo requerido para que se propague la combustión. Su valor depende de la naturaleza de la mezcla y de la temperatura de la pared.

También se define una distancia de seguridad, en la que se tiene en cuenta el calentamiento de las paredes por llama.

A bajos caudales puede producirse un retroceso de llama hacia el mezclador, excepto si el orificio de salida tienen un diámetro inferior a la distancia de

seguridad, o colocando una rejilla de malla inferior a la distancia de seguridad, o colocando una rejilla de malla inferior a esa distancia (quemador Meker); o celdillas de refractario con diámetros adecuados.

En equipos potentes, estas protecciones son inaplicables, y el sistema se protege garantizando un caudal mínimo.

También puede protegerse el retorno de llama, colocando en el tubo de premezcla rejillas o esponjas metálicas de mallas inferiores a la distancia de seguridad.

b) Fenómeno de desprendimiento o soplado.

Cuando aumenta el caudal, la llama se hace aérea e inestable y puede llegar a desprenderse.

Se emplean dispositivos que contrarrestan el fenómeno; estabilizadores (figura 2.7). Uno muy frecuente consiste en rodear la llama principal de llamas auxiliares de baja velocidad (llamas piloto), cuando se trabaja al aire libre (antorchas); en los hornos, la estabilización se consigue con los refractarios.

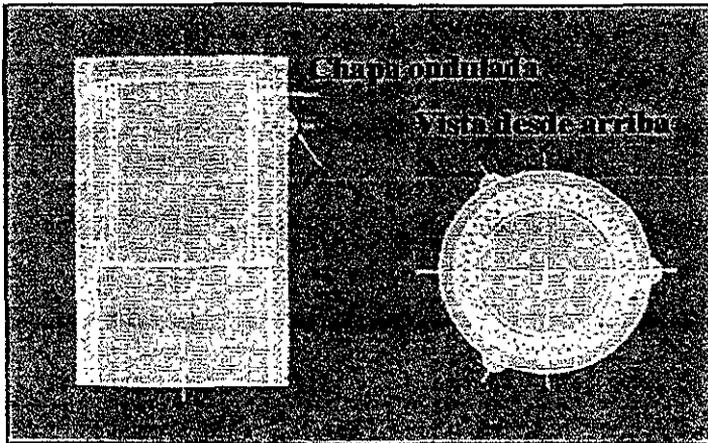


Figura 2.7 Corona estabilizadora de chapa ondulada; su finalidad consiste en generar una corona de pequeñas llamas que rodean a la llama principal y la estabilizan

c) Características de funcionamiento.

Su flexibilidad es limitada:

- a) En potencia, por los límites de estabilidad. Raramente se consiguen en equipos industriales flexibilidades superiores a 1/4.
- b) En tasa de aireación, por razón de los límites de inflamabilidad.
- c) El retorno de llama se evita, como se ha visto, reduciendo los orificios de alimentación. De ahí que la potencia de estos quemadores de límite a 200 KW para los de premezcla total y 500 KW para los de premezcla parcial.
- d) La recuperación también se dificulta en estos tipos por el riesgo de calentar las mezclas.

Sin embargo, se siguen utilizando por su:

- 1) Elevada intensidad de combustión y temperaturas altas de llama.
- 2) Elevada potencia específica del frente de la llama.

Se emplean en trabajos a la llama y aplicaciones de altas temperaturas que se requirieren desarrollo puntual de calor.

Quemadores atmosféricos (gas a presión que induce aire).

En ellos el gas induce el aire atmosférico en el tubo de mezcla, en cuyo extremo se forma la llama.

No se requiere, pues, ventilador de aire ni órganos mecánicos que regulen el caudal de aire en función del caudal del gas.

Cuando en un quemador atmosférico de inyector fijo se hace variar la presión del gas, varía el caudal de éste, pero el caudal de aire aspirado no varía proporcionalmente.

Estos quemadores se usan, principalmente, en los aparatos domésticos de gas y tienen aplicaciones industriales limitadas, raramente sobrepasan potencias entre 50 y 200 KW (ver figuras 2.8 y 2.9).

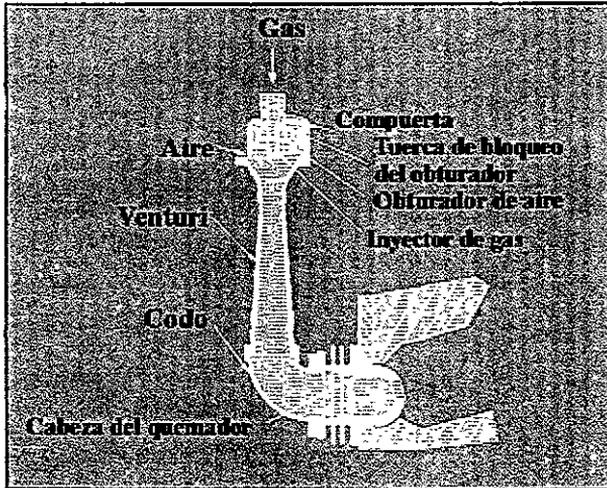


Figura 2.8 Quemador atmosférico para horno industrial.

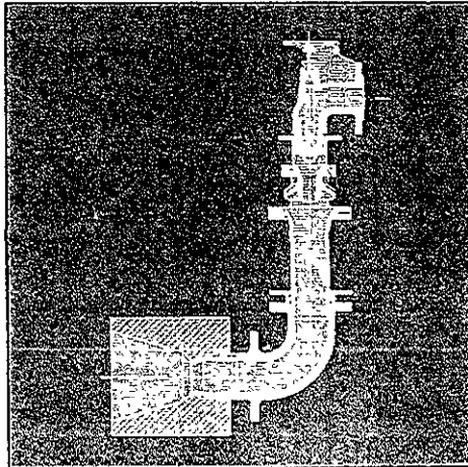


Figura 2.9 Quemador industrial para gas manufacturado a presión, con doble inducción atmosférica; el primer inyector es de gas, el segundo de mezcla aire-gas, que vuelve a inducir más aire

Quemadores oxi-gas.

Se requieren cuando se desean temperaturas elevadas o flujos puntuales de calor (sopletes).

2) Quemadores de mezcla en boca de salida con aire a baja presión.

Se designan como tales cuando el aire tiene una presión del orden de 0.1 mbar y velocidades del orden de los 10 a 15 m/s. siendo el combustible el que aporta la energía de mezcla.

En ellos se forman llamas de difusión axiales.

Las llamas de difusión axiales han de estabilizarse, en la práctica, en hornos de más de 800 °C; esto se logra con recirculación de productos calientes, si la temperatura es inferior, con llamas piloto o pantallas de choque.

Para disminuir la longitud de llama puede enviarse el gas sobre la vena de aire mediante un cabezal con varios orificios (de 2 a 6) divergiendo en más de 22 °.

Con ello los chorros de gas penetran en la vena de aire y se acelera la mezcla, disminuyendo la longitud de llama.

En las figuras 2.10 a 2.13 se representan quemadores de estos tipos.

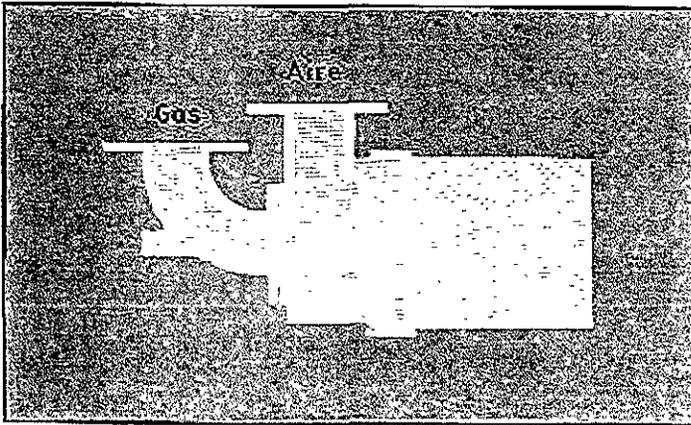


Figura 2.10. Quemador de difusión con mezcla en boca de salida de flujos convergentes de gas y aire

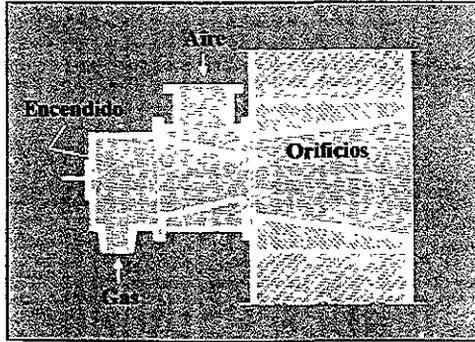


Figura 2.11. Quemador de difusión con chorro de gas central y salida de aire en chorros concéntricos.

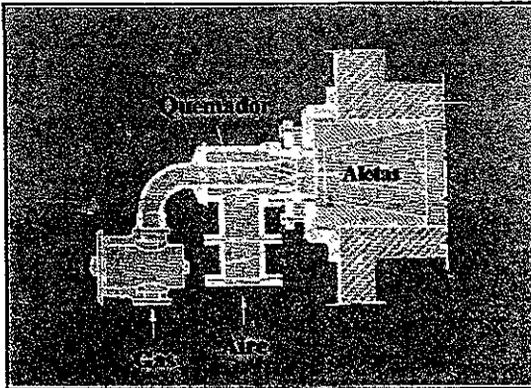


Figura 2.12. Quemador de difusión con rotación del flujo mediante aletas.

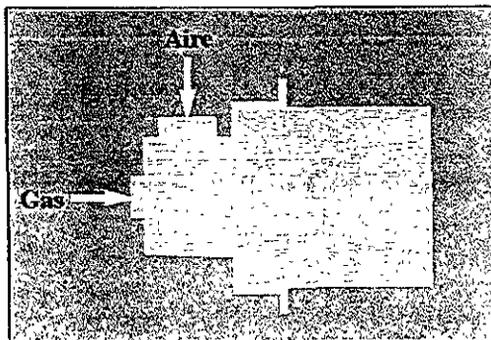


Figura 2.13 Quemador de difusión con chorro central de gas y salida de aire en coronas sucesivas concéntricas

Como características generales de estos quemadores pueden citarse:

- a) **Campo de aplicación.** El uso de aire a baja presión es obligado en el caso de que se emplee en recuperadores cerámicos, ya que estos provocan grandes pérdidas de presión si se usase aire a presión; a su vez el empleo de recuperadores cerámicos viene determinado por la exclusión de los metálicos, lo cual ocurre cuando las temperaturas sobrepasan los 400 a 500 °C. Casos típicos vidrio y siderurgia.
- b) **Características térmicas.** En términos generales, las temperaturas efectivas son tanto más elevadas cuanto más rápidamente se realiza la mezcla. La transferencia de calor en el horno es tanto mejor cuanto más elevada es la temperatura.

3) Quemadores de mezcla en la boca de salida y aire a presión.

Se entiende por aire a presión con ventiladores centrífugos con valores del orden de los 50 a 70 mbar, e incluso a 100 mbar, pudiendo hallarse precalentado a temperaturas de hasta 400 a 500 °C en recuperadores metálicos. Las velocidades del aire son del orden de los 100 m/s, con lo que las impulsiones de la vena de aire son muy importantes.

Llamas axiales.

El aire puede llegar por inyector central o por varias toberas; pero la longitud de llama es imposible de calcular. Sin embargo:

- a) Dada la velocidad del aire, la longitud de llama y de mezcla son máximas cuando el gas y el aire tienen la misma velocidad.
- b) Dada una velocidad de gas, la longitud de llama y de mezcla disminuyen al aumentar la velocidad del aire, pero la transferencia de calor al horno aumenta.
- c) La transferencia de calor es mínima cuando ambas velocidades son iguales.

Derrame concurrente.

Inciden ambas corrientes según diversos dispositivos y sin posibilidad de dar reglas generales de los procesos de mezcla y estabilización.

Derrame giratorio del gas.

Entre las variantes, las más importantes se encuentran:

a) Llama mural, o efecto pared o efecto coanda.

La llama de muy débil espesor se desarrolla a lo largo de la pared, y se originan corrientes que aportan corrientes hacia el centro los productos quemados.

Se origina una importante radiación de la pared. Permite evitar contacto de llama al producto y reducir el volumen de la cámara combustión.

b) Llamas en bola.

Permiten desarrollar llamas de gran intensidad. Pueden realizarse fácilmente en versión mixta.

c) Derrame a contrarrotación.

La contrarrotación se realiza con aire y gas a baja presión o con aire contra gas a alta presión. Se logran mezclas muy intensas y combustión rápida.

Este grupo de quemadores es el de mayor flexibilidad de funcionamiento y el que halla aplicación más extendida en el campo industrial.

En cuanto al cambio de combustible, se logra fácilmente por regulación.

d) Recuperación y precalentamiento de aire.

Es uno de los sistemas de elevar la temperatura de combustión. Cuando las condiciones son, aproximadamente, las estequiométricas, la elevación de la temperatura del aire de 100 °C eleva en 50 °C la de llama.

4) Quemadores especiales.

a) Quemadores especiales.

Se denominan así, cuando una parte importante de la transferencia de calor se realiza por radiación por medio, en general, de una superficie de refractario (Figuras 2.14 a 2.16).

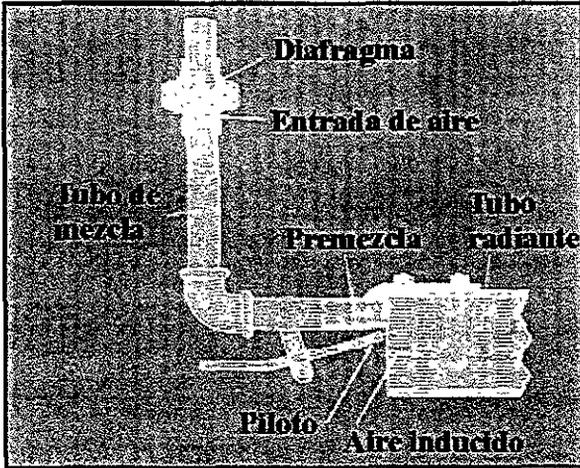


Figura 2.14 Tubo radiante de baja temperatura, con quemador de premezcla de gas manufacturado.

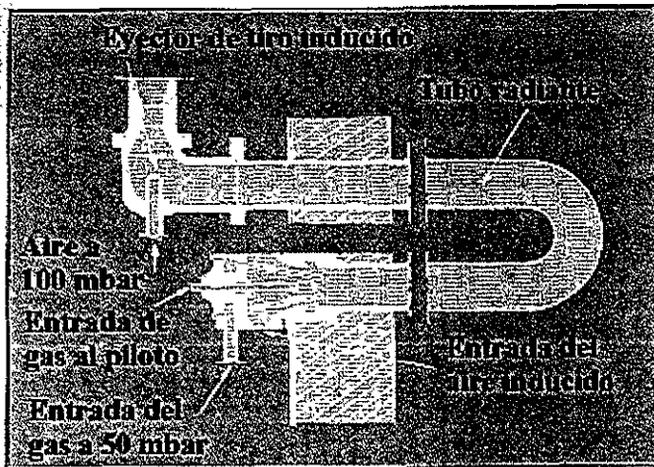


Figura 2.15 Tubo radiante de alta temperatura, alimentado con gas a 50 mbar que induce aire atmosférico. Para la descarga de los productos quemados, debe inducirse el tiro mediante un eyector con aire a 100 mbar.

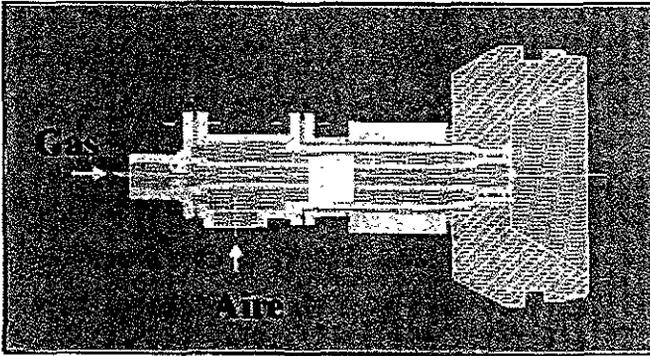


Figura 2.16 Quemador radiante de llama de difusión (mezcla en la boca de salida).

Se denomina rendimiento de radiación a la proporción de energía que se transmite por radiación.

Entre los distintos tipos, se pueden citar los paneles radiantes, en los que se utiliza en general un mezclador de inducción. Dan rendimiento del 40 al 50%.

Los de alta temperatura, que se alimentan en premezcla total, queman el gas en multicanales de unos 20 mm de diámetro. El rendimiento es el orden del 20%.

Quemadores Jet.

Lanzan a gran velocidad (>100 m/s) los productos de una combustión completa o casi. El chorro se lanza sobre el producto a caldear, o sobre la atmósfera provocando su recirculación. Constan de un dispositivo de mezcla, una cámara de combustión y un orificio o tobera de salida. (Figuras 2.17 y 2.18).

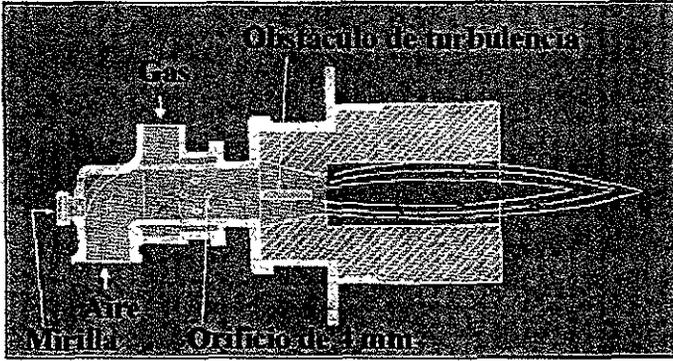


Figura 2.17 Quemador túnel de alta velocidad, alimentado con gas y aire a presión, mezclados en la boca de salida, y mezcla activada mediante la turbulencia provocada por un obstáculo.

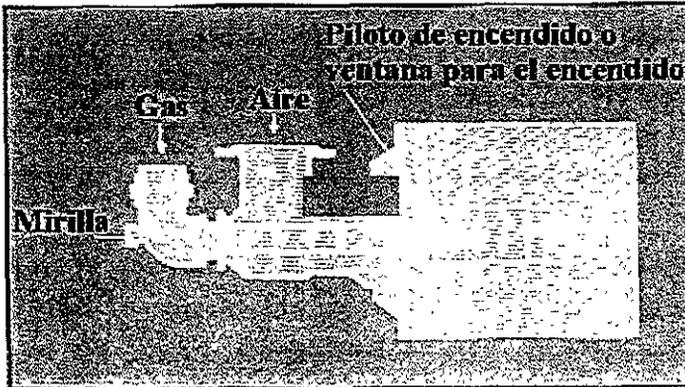
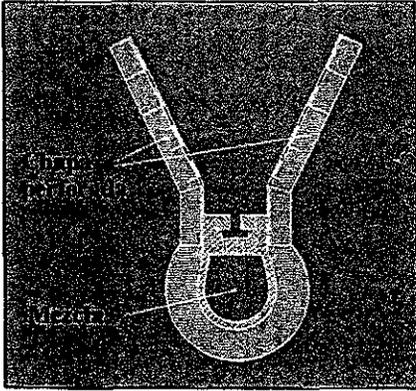


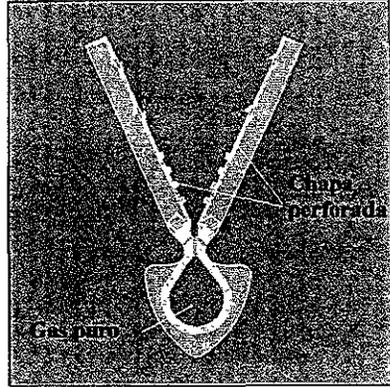
Figura 2.18 Quemador de difusión (mezcla en boca de salida), de alta velocidad

Quemadores de vena de aire.

Se han desarrollado para calentar aire de secado o calefacción. Se construyen de tipo modular para permitir constituir formas diversas. La potencia lineal máxima es de 500 a 1000 KW/m en los alimentados con gas puro y 1000 KW/m en los de premezcla. Se alcanzan temperaturas de 400 °C (Figura 2.19)



(a)



(b)

Figura 2.19 Quemadores de vena de aire; a) con llamas de premezcla (sección del quemador lineal), b) con llama de difusión (se observarán los obstáculos).

A veces se instalan para asegurar la incineración de efluentes, en cuyo caso, la condición es que el O_2 sea $> 18\%$ y la temperatura de ataque $< 540^\circ C$, y la incineración se hace de 800 a $850^\circ C$ y potencia lineal > 900 kW/m.

Quemadores para altas temperaturas.

Se denomina, generalmente, como zona de altas temperaturas, la que se extiende por encima de los $3000^\circ K$ hasta la región de las temperaturas de las reacciones nucleares, $\cong 10^8^\circ K$.

Los medios para alcanzar la zona inmediatamente próxima de la descrita, comprendida entre los 2000 y $3000^\circ K$ se limitan, casi exclusivamente a la reacción química: la combustión de combustibles convencionales. Estos, en general, proporcionan temperaturas del orden de los $2000^\circ K$, las cuales pueden elevarse

- a) Por enriquecimiento del comburente con oxígeno, que permite alcanzar los $2700^\circ K$.
- b) Pre calentamiento del aire de combustión con el calor de los humos; según el sistema adoptado, son alcanzables los 2500 a $2600^\circ K$ (figura 2.20)

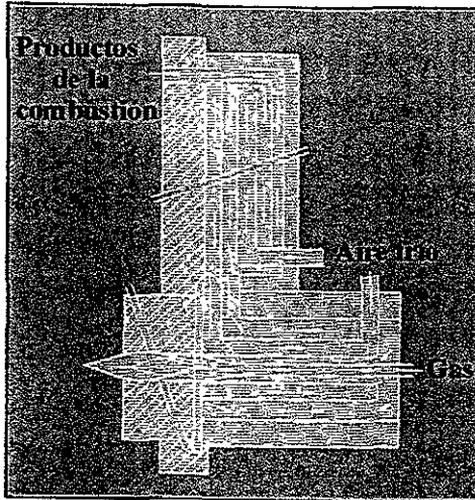


Figura 2.20 Quemador de doble recuperación. Se obliga a los productos de la combustión y al aire de combustión a un largo recorrido, primero en un cambiador adosado a la pared, y luego en otro alrededor del quemador.

- c) Mediante el uso de la electricidad (electro-quemadores) para producir ionización o generar plasma, pudiendo así alcanzar e incluso superar los 3000 °K.

De hecho, no existen procesos comerciales en los que se supere la temperatura de 3000 °K.

2.5.2 Quemadores para combustibles líquidos.

Existen dos clases fundamentales de quemadores de combustibles líquidos:

- 1) **Quemadores de gasificación o vaporización**, en los que la llama, por radiación sobre la superficie del combustible líquido, produce la vaporización de éste, el cual se incorpora a la llama y mantiene la combustión. Este sistema tiene una doble limitación de uso: por un lado, se aplica a quemadores pequeños (15 KW); por el otro, sólo es aplicable con combustibles ligeros.

- 2) **Quemadores de pulverización**, que son los generalmente utilizados. El combustible, para ser pulverizado, debe tener baja viscosidad, del orden de los 10 centistokes, o 2 grados Engler que sólo presentan a baja temperatura los gasóleos, y que requiere calentar 110 °C el fuel-oil pesado.

Existen tres métodos para pulverizar el aceite:

- 1) **Por rotación**. El aceite llega por un tubo central a una copa giratoria que, al girar a gran velocidad, rompe el líquido en gotas que el aire arrastra. Se regula el caudal de aceite.
- 2) **Por presión de aceite**. El aceite, a una presión de 10 a 100 bar, sale por una tobera a la cámara de combustión, pulverizándose por la expansión. Se regulan modificando la sección de la tobera o por recirculación del aceite.
- 3) **Por inyección**, que puede ser de aire, vapor de agua o, incluso, gas combustible. Una corriente de aceite a baja velocidad es arrastrada y pulverizada por una corriente de fluido de alta velocidad. El aire utilizado (aire primario) es más o menos importante, según se utilice a baja presión (30 a 100 mbar); a media presión (100 mbar a 1 bar); o alta presión (de 3 a 6 bar). La aireación primaria es, respectivamente de 0.5 a 1; de 0.1 a 4; y de 0.01 a 0.05.

Un cuarto método, actualmente en vías de desarrollo, utiliza técnicas de ultrasonidos.

Quemadores de gasificación.

Ejemplos típicos de estos quemadores son los vaporizadores de gasolina, los quemadores de queroseno (petróleo lampante) con mecha, y los antiguos quemadores domésticos en los que el combustible se vaporizaba sobre una placa calentada por llama.

Quemadores de pulverización por aire a baja presión.

La presión del aire es del orden de los 30 a 100 mbar, y debe emplear caudales relativamente importantes, que pueden representar más del 50% del aire estequiométrico, aunque existen diseños en que se logra utilizar sólo el 10%. El combustible utilizado en

estos quemadores es de baja viscosidad, inferior a 20 cst o 3 °E, y debe llegar al quemador a presiones del orden de los 70 a 350 mbar. Su operación y control son simples, no tiene partes móviles ni delicadas y es flexible a variaciones de carga (figura 2.21).

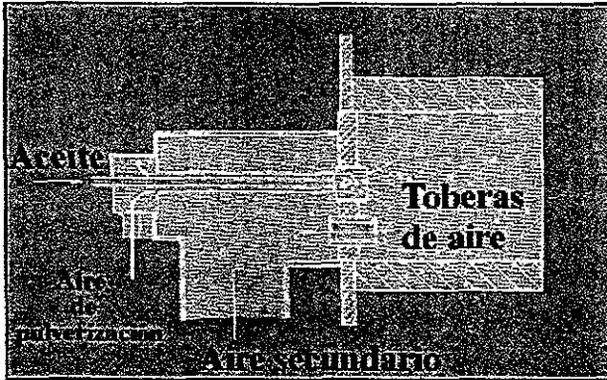


Figura 2.21 Quemador de pulverización con aire a baja presión. El aire secundario entra por un conjunto de toberas independientes que rodean a la llama.

Quemadores de pulverización por aire o vapor a presión.

Utilizan presiones de aire o vapor de agua desde los 100 a 350 mbar hasta los 10 mbar. El consumo de vapor varía de 0.1 a 0.5 kg por kg fuel-oil, y el de aire, de 0.2 a 0.8 kg/kg, según el diseño y dimensiones del atomizador y la viscosidad del combustible.

Existen diseños con mezcla exterior, en los que el aceite y el fluido impulsor llegan separadamente a la boquilla; o de mezcla interior, realizada en una cámara de mezcla y descarga en una tobera (figura 2.22). En los del primer tipo, se recomiendan presiones de aceite del orden de los 300 a 800 mbar; en los del segundo tipo, la presión del aceite ha de ser de la misma que la del fluido de arrastre.

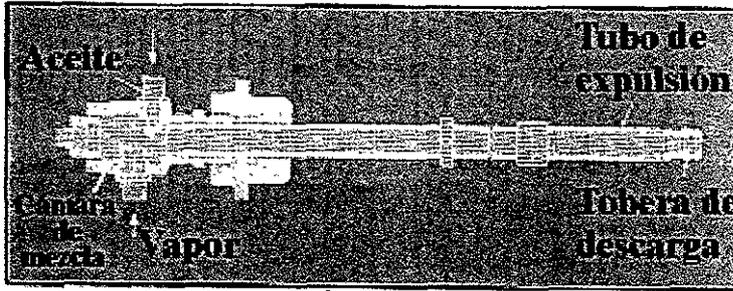


Figura 2.22 Quemador de pulverización por vapor a alta presión y cámara de mezcla.

Quemadores de pulverización mecánica.

Trabajan con presiones de aceite que dependen de su viscosidad. En general, se recomienda que ésta no supere los 8 cst (1.8 °E), pero hay diseños que permiten los 20 cst (3 °E).

Permiten trabajar con bajos excesos de aire (del 5 al 10%); se pueden obtener llamas de gran tamaño; la potencia de pulverización es pequeña; al no existir partes móviles expuestas a la radiación, constituyen un sistema muy seguro; la regulación es sencilla (por presión de aceite), pero poco flexible, por lo que en grandes instalaciones se deben instalar varios elementos con regulación individual todo-nada.

Quemadores de copa rotativa (pulverización centrífuga).

En ellos el aceite se inyecta a baja presión en una copa troncocónica que gira de 2500 a 7000 rpm, impulsando así al líquido en forma de lámina cónica que rompe en forma de finas gotas. El aire, a baja presión, se introduce en el espacio anular.

La forma de la llama puede ajustarse variando la velocidad del aire (al aumentar ésta, la llama se alarga) y la velocidad de giro (al aumentar, la llama tiende a ensancharse).

Quemadores de pulverización mixta (mecánica y fluido de arrastre).

Como su nombre indica, combinan ambos sistemas, lo que les confiere gran flexibilidad, manteniendo ángulos de pulverización constantes

Se trabaja con presiones de aceite de 1 a 20 bar y consumos de fluido de arrastre del orden de 0.05 kg de aceite.

Una variante de este tipo de quemadores es el dual, en el que el gas es fijo y la regulación se realiza con el fuel-oil.

Forma de la llama. Como en el caso de los quemadores de gas, la forma de la llama viene determinada, principalmente, por la presión de la mezcla, la proporción de aire primario y la calidad del mezclado. Así, en general:

- a) La llama se hace más larga y estrecha al aumentar la presión.
- b) La llama se acorta si aumenta la aireación primaria.
- c) Un buen mezclado y la turbulencia acorta y concentra la llama.

Estabilidad. También son aplicables a los mismos conceptos generales ya señalados para los quemadores de gas.

En los quemadores de fuel-oil tiene importancia el control del desprendimiento de la llama, lo que se logra principalmente:

- a) Utilización de grandes velocidades de aire e imprimiéndole circulaciones giratorias.
- b) Provocando fuertes recirculaciones, forzadas o inducida, de los gases quemados, con lo que se consigue aportar calor suplementario a la base de las llamas.
- c) Utilizando aire precalentado.
- d) Forzando turbulencias en las mezclas.

2.5.3 Quemadores para combustibles sólidos.

Aunque el carbón contiene materias volátiles que en mezcla con el aire dan lugar a llamas, la mayor parte de su materia combustible es sólida, y a ella tiene que llegar el oxígeno para que tenga lugar la reacción de combustión. Esta etapa de difusión es la más lenta, por lo que debe activarse aumentando el contacto sólido-aire, lo que implica reducir al tamaño del carbón.

Los sistemas utilizados para realizar el contacto aire-carbón son:

- a) Quemadores de carbón pulverizado.
- b) Cámaras de combustión tipo ciclón.
- c) Parrillas.
- d) Cámaras de combustión de lecho fluido.

Quemadores de carbón pulverizado.

El carbón debe secarse, pulverizarse a tamaños que dependen de la clase de carbón (así, la hulla se pulveriza de modo que el 80% sea inferior a 0.1 mm), y se transporta neumáticamente al quemador, de modo que el aporte de aire suele representar del 20 al 40 % del aire de combustión, según sea el contenido de humedad y cenizas (figura 2.23).

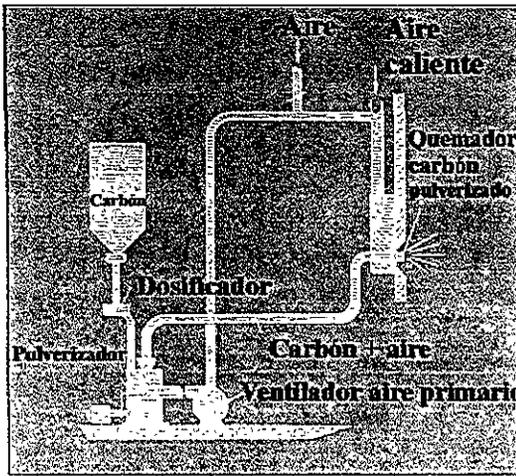


Figura 2.23 Instalación de combustión de carbón pulverizado.

El quemador es similar al usado para combustibles líquidos: pero debido a que el tiempo de combustión es más largo, se dan velocidades de salida más bajas, que llegan incluso de 5 a 10 m/s. Se pueden construir con potencias de hasta 46 MW.

Debe tenerse especial cuidado con las temperaturas: en la entrada, para asegurar la estabilidad, no se puede bajar de los 55 °C, y no se pueden sobrepasar, la temperatura de

coquización, que es de 70 °C si el contenido en volátiles es mayor que el 25%, por ejemplo. Pero también en la cámara de combustión pueden aparecer problemas en la formación de las cenizas (óxidos de silicio, aluminio, calcio, etc.).

Cámaras de combustión tipo ciclón.

La combustión tiene lugar a elevadas temperaturas en una cámara recubierta de escoria fundida, que así hace de aislante, evita pérdidas de calor y asegura temperaturas elevadas (figura 2.24).

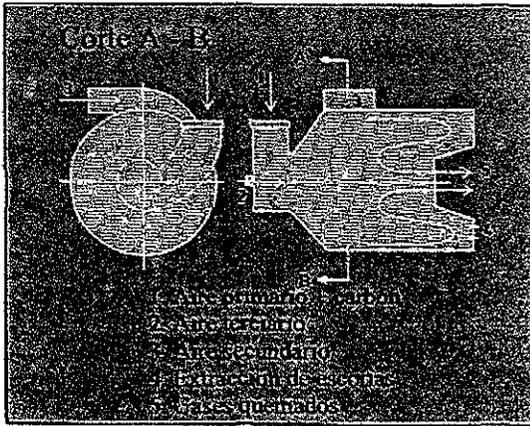


Figura 2.24 Quemador tipo ciclón.

El carbón pulverizado entra con el aire primario tangencialmente, y de modo independiente, también se alimenta el aire secundario. Las partículas mayores de carbón tienden hacia la pared, donde son captadas, mientras que las finas, arrastradas por el aire, son quemadas completamente. Se consiguen potencias por unidad de volumen de cámara de hasta 9 MW/m^3

Lechos fluidizados.

Sólo se emplean como cámaras de combustión de calderas de vapor cuando se han de emplear combustibles con alto contenido de cenizas o cuando se desea desulfurizar, de

modo que el azufre pase a las cenizas en forma de sulfato de calcio, magnesio y sodio; a veces puede incorporarse carbonato cálcico, para conseguir ese efecto. Este resultado se alcanza mejor en este tipo de hogares que en un hogar normal, porque la temperatura puede mantenerse en el orden de 800 a 900 °C.

Otra aplicación de los lechos fluidizados es para el calentamiento de sólidos pulverizados, alimentando entonces el combustible (gas o líquido) de modo independiente.

Parillas.

Se distinguen por la forma de alimentación del combustible y así pueden ser:

- a) **Parillas fijas con alimentación desde arriba.**
- b) **Parilla móvil (banda transportadora), con transporte horizontal del combustible hacia la cámara de combustión.**
- c) **Parilla fija con alimentación desde abajo.**

En todos los casos el aire de combustión debe atravesar la parilla, por lo que se consigue un equilibrio entre el transporte de calor desde la zona de reacción a la parilla y de la entrega de calor de ésta al aire de combustión. (Figura 2.25).

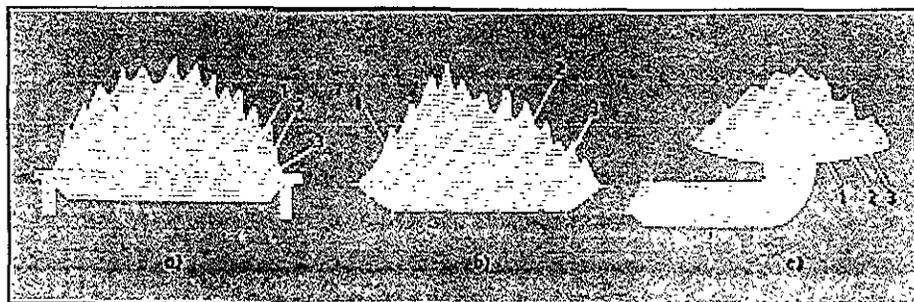


Figura 2.25 Parillas para combustión de carbón: a) fija; b) móvil (cinta transportadora); c) con alimentación inferior. Las capas indicadas son: 1) carbón fresco; 2) zona de gasificación; coque; 3) cenizas

La potencia específica conseguida (por unidad de superficie de parilla) es del orden de 1 a 1.7 MW/m², lo que corresponde a un consumo de 100 a 200 kg / h.m² de carbón.

2.6 Termopares.

Los termopares o termocuplas son transductores de temperatura muy frecuentemente usados, económicos y sólidos. Un termopar se crea a partir de la unión de dos metales no similares, el contacto de estos dos metales producen un voltaje pequeño de circuito abierto que es función de la temperatura.

Normalmente se sabe que un termocupla consiste en un par de alambres disímiles unidos en un extremo. Este punto de unión es conocido como la unión de medición, pero de hecho, la unión en si misma realmente no mide. Ésta simplemente une los dos alambres en un lugar, y asegura que no pueda haber una diferencia potencial eléctrica entre los alambres en ese punto. Así, el sólo propósito de la unión es establecer un punto de arranque desde el cual un voltaje termoeléctrico pueda desarrollarse.

Hay un popular y muy engañoso concepto erróneo de cómo opera una termocupla. En este modelo erróneo, se imagina que la unión caliente de la termocupla de algún modo funciona como una fuente eléctrica, y que la propia unión produce la pequeña señal de voltaje. Este concepto simplemente no es verdadero. El efecto termoeléctrico realmente es extendido y continuo a lo largo de toda la longitud de los conductores de la termocupla. El proceso se produce por la diferencia de temperaturas, o gradientes, que hay en la zona donde pasan los conductores.

El punto clave aquí es la fuerza electromotriz (Fem.), o voltaje, que se desarrolla al medir desde el punto de medición, es decir, la unión. La Fem. continua a lo largo del circuito más allá de este punto de arranque o unión, por lo que los conductores de la termocupla deben aislarse eléctricamente uno de otro, y debe permanecer funcionando bajo todas las condiciones de operaciones, para que la señal de salida pueda leerse.

Una manera útil de visualizar una termocupla es considerar la siguiente hipótesis, que consiste en tener tres zonas de temperatura como se muestra en la figura 2.25. La zona donde la temperatura está siendo medida, es uniformemente caliente. La otra zona que contiene la unión de referencia y conexiones al instrumento, se toma como una zona fría a temperatura ambiente. Y entre estas zonas se asume que existe una zona en donde la temperatura varía de una manera lineal con la distancia, disminuyendo suavemente de la temperatura más caliente a la temperatura más fría.

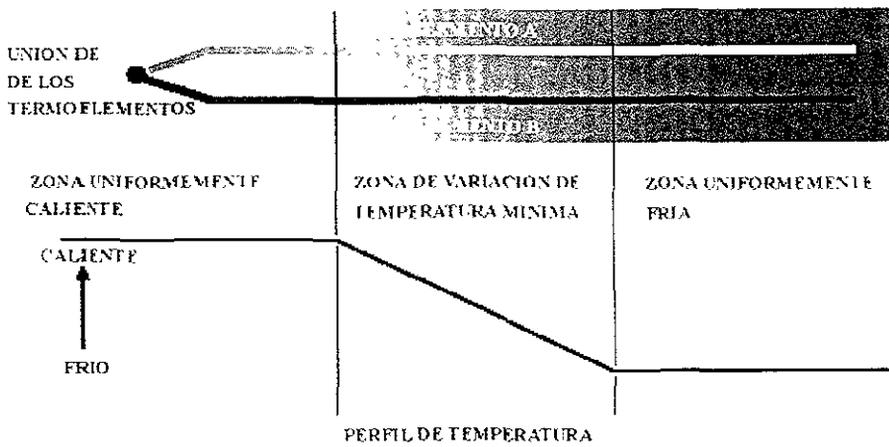


Figura 2.25 Perfil de temperatura de un termopar.

La Figura 2.26 muestra gráficamente la relación entre temperatura y la Fem. en cada uno de los termoelementos para la termocupa de la Fig. 2.25. Debido a la conexión en la unión de medición, no hay diferencia de potencial eléctrico entre los alambres en este punto. De hecho, no puede existir ninguna diferencia de Fem. entre los alambres en cualquier parte dentro de la zona caliente (uniforme), ya que bajo las supuestas condiciones de temperatura, no hay ningún gradiente de temperatura que podría producir ahí una Fem. Por la misma razón, ningún cambio adicional en diferencia del Fem. entre los alambres ocurrirá dentro de la zona uniformemente fría, esto es, la zona de temperatura ambiente.

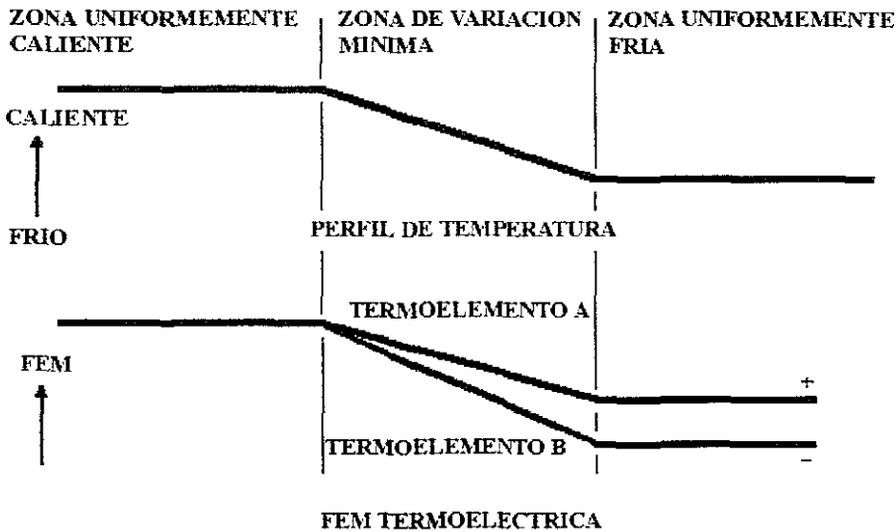


Figura 2.26 Relación entre temperatura y la Fem., en cada uno de los termoelementos del termopar de la figura 2.25.

Toda la actividad termoeléctrica tiene lugar por consiguiente en el centro de la zona de temperatura decreciente. Los dos cables que componen la termocupla, o termoelementos, son distintos por diseño. Esto quiere decir que cada conductor se compone de elementos químicos que esencialmente difieren de aquellos del otro alambre, y la presencia de estas diferencias causa que cada elemento responda a los estímulos externos (en este caso, un cambio de temperatura) de una manera distinta.

El potencial eléctrico a lo largo de cualquier alambre cambiará como cambia la temperatura local. Así, una disminución de temperatura producirá una reducción de la Fem. para ambos termoelementos, pero la cantidad de esta reducción en un alambre no será igual que para el otro debido a sus diferentes composiciones. La pequeña diferencia en los cambios de fem. entre los dos alambres distintos constituye la señal de salida de la termocupla. Para una elección apropiada de un par de termocuplas, la señal de salida de la Fem debe ser una función que muestre en forma fidedigna la diferencia de temperatura entre los extremos de los alambres.

Así se aprecia que cables seleccionados con diferentes propiedades termoeléctricas conocidas, sujeto a un gradiente de temperatura, producirán una útil señal eléctrica que varía con la temperatura en una manera predecible. Debe estar claro que si la temperatura no cambia a lo largo de una longitud particular del par de termoelementos, entonces la Fem. no cambiará a lo largo de esa longitud. También dice que una diferencia de temperatura de cualquier magnitud no puede producir una Fem. termal entre dos conductores que cruzan a esta diferencia si los conductores son termoeléctricamente idénticos.

CAPITULO 3

MEMORIA DE CALCULO.

3.1 Conceptos de transferencia de calor.

Siempre que exista una diferencia de temperatura, se presentará un flujo de energía de la temperatura más alta a la más baja. Un estudio de la transferencia de calor se refiere a la determinación de las velocidades instantáneas de flujo de energía en toda situación. Determinamos las velocidades de transferencia de calor en watts (W). Estas velocidades pueden ser constantes en situaciones donde la diferencia de temperatura es constante, pero variable (transitoria) en el caso que la diferencia de temperaturas varíe, ya sea debido a transferencias de calor o a otros cambios de energía, como una reacción química interna.

Existen tres métodos de transferencia de energía:

- 1) **Conducción**, que es la de mayor importancia en cuerpos sólidos, pero que también ocurre en fluidos donde a menudo queda minimizado por la convección;
- 2) **Convección**, que ocurre en fluidos cuando la energía se transfiere debido al movimiento del fluido;
- 3) **Radiación**, que ocurre entre dos sistemas de temperaturas distintas que no se necesitan estar en contacto siempre y cuando cualquier medio entre ellos sea transparente a la radiación.

En la práctica, los tres métodos ocurren de manera simultánea y es necesario alcanzar un equilibrio en alguna frontera. Por ejemplo, la energía puede ser conducida a la superficie de un calentador de almacenamiento eléctrico y después transmitida por convección y radiación a sus alrededores. Por lo tanto, los cálculos pueden resultar complejos, y en ese caso en particular, donde la energía es agregada en ciertos momentos, se trata de una situación continuamente variable.

3.1.1 Conducción.

La conducción es un proceso mediante el cual fluye el calor desde una región de temperatura alta a una región de temperatura baja, dentro de un medio (sólido, líquido o gaseoso) o entre medios diferentes en contacto físico directo. En el flujo de calor por conducción, la energía se transmite por comunicación molecular directa sin desplazamiento apreciable de las moléculas. La transferencia de calor mediante un cuerpo sólido homogéneo por conducción es expresado por la fórmula:

$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (3.1)$$

donde:

Q = flujo de calor transmitido por conducción (W).

k = factor de conductividad térmica (W / m °K).

A = área del cuerpo (m²).

$\frac{dT}{dx}$ = diferencial de temperatura.

3.1.2 Convección.

La convección es un proceso de transporte de energía por la acción combinada de conducción de calor, almacenamiento de energía y movimiento de mezcla. La convección tiene gran importancia como mecanismo de transferencia de energía entre una superficie sólida y un líquido o un gas. La transferencia de energía por convección, desde una superficie cuya temperatura es superior a la del fluido que la rodea, se realiza en varias etapas. Primero, el calor fluirá por conducción desde la superficie hacia las partículas adyacentes al fluido. La energía así transferida servirá para incrementar la temperatura y la energía interna de esas partículas del fluido. Entonces, las partículas del fluido se moverán hacia una región del fluido con temperatura más baja, donde se mezclarán y transferirán una parte de su energía a otras partículas del fluido. El flujo, en este caso, es de fluido y de energía. Realmente la energía es almacenada en las partículas del fluido y transportada como resultado del movimiento de masa. Para su operación este mecanismo no depende únicamente de la diferencia de temperatura y, por lo tanto, no está

estrictamente de acuerdo con la definición de transferencia de calor. Sin embargo, el efecto neto es un transporte de energía y, puesto que éste ocurre en la dirección de un gradiente de temperatura, está clasificado como un modo de transferencia de calor y conocido como flujo de calor por convección. La transferencia de calor mediante convección se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

donde:

Q = flujo de calor por convección (W).

h = coeficiente de convección (W / m² °K).

A = área del cuerpo sólido (m²)

ΔT = diferencia de temperaturas (°K).

3.1.3 Radiación.

La radiación es un proceso por el cual fluye calor desde un cuerpo de alta temperatura a un cuerpo de baja temperatura, cuando éstos están separados por un espacio, que incluso puede ser el vacío. El término radiación es generalmente aplicado a todas las clases de fenómenos de ondas electromagnéticas, pero en transferencia de calor únicamente son de interés los fenómenos que son resultado de la temperatura y por medio transparente o a través del espacio. La energía transmitida en esta forma recibe el nombre de calor radiante. La transferencia de calor por radiación esta dada por la fórmula siguiente: [4]

$$Q = \sigma \varepsilon A \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

donde:

Q = flujo de calor (W).

σ = constante de Stefan-Boltzmann.

ε = factor de emisividad.

A = área de la superficie (m²)

T₁ = temperatura del cuerpo que radia calor (°K)

T_2 = temperatura del cuerpo que recibe el calor radiado ($^{\circ}\text{K}$).

3.2 Diseño del horno.

El elemento más importante para operaciones de fundición es un horno apropiado para derretir metales. El horno que se va a diseñar será de dimensiones pequeñas, ya que es totalmente didáctico. En la figura 3.1 se muestra un bosquejo del horno que se va a diseñar.

Acot: cm

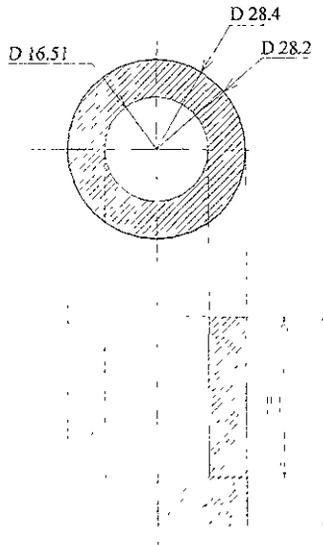


Figura 3.1. Dimensiones del horno

Refiriéndose a la figura 3.1, la parte que está azhurada, es el material refractario. En la figura 3.2 se muestra el bosquejo de la tapa del horno.

Acot: cm



Figura 3.2 Dimensiones de la tapa del horno.

3.3 Diseño térmico del horno.

El diseño térmico del horno se hará en función de las propiedades del aluminio, ya que este horno se ocupará básicamente para fundir metales de bajo punto de fusión.

3.3.1 Calor suministrado a la carga.

El calor necesario para fundir el aluminio se obtiene mediante la fórmula:

$$Q_{\text{carga}} = W \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

donde:

Q_{carga} = Calor que se tiene que suministrar para fundir la carga de aluminio (W)

W = peso de la carga de aluminio (kg).

c_p = calor específico del aluminio (J / kg . °K)

ΔT = Diferencial de temperatura (°K).

El crisol de carburo de silicio que se utilizará tiene una capacidad de 1 62 kg de aluminio al 100% de su capacidad. En la práctica, el crisol se va a usar al 80% (1.296 kg) de su capacidad de carga.

El calor específico del aluminio es de 904 J / kg . °K

El diferencial de temperatura es: la temperatura de vaciado del aluminio fundido (800 °C = 1073.16 °K) menos la temperatura del aluminio antes de encender el horno (20 °C = 293.16 °K, temperatura ambiente).

$$Q_c = (1.296 \text{ kg})(904 \text{ J / kg } ^\circ\text{K})(1073.16 ^\circ\text{K} - 293.16 ^\circ\text{K})$$

$$Q_c = 913 \ 835.52 \text{ W} \cdot \text{s}$$

Si se quiere suministrar este calor en media hora (30 minutos = 1800 segundos)

$$Q_c = (913 \ 835.52 \text{ W} \cdot \text{s}) (1 / 1800 \text{ s})$$

$$Q_c = 507.68 \text{ W}$$

3.3.2 Pérdida de calor por conducción a través de la pared del horno.

La pérdida de calor por conducción a través de la pared del horno esta determinada por la fórmula siguiente:

$$Q = \frac{T_0 - T_2}{\frac{\ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right)}{2 \pi k_1 L} + \frac{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{2 \pi k_2 L}} \dots\dots\dots (3.5)$$

donde:

- T₀ = Temperatura de la pared interna del horno.
- T₂ = Temperatura de la superficie externa del horno.
- r₀ = radio de la pared interna de refractario.
- r₁ = radio de la pared externa del refractario.
- r₂ = radio de la pared externa del horno.
- k₁ = conductividad térmica del refractario.
- k₂ = conductividad térmica de la pared externa del horno (la pared es de acero).
- L = altura del horno.

El material refractario que se va a ocupar en este horno va a ser el **HW SUPER PLASTIC CS (REF PLASTIC)**; mencionándose las propiedades de este cemento refractario en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Propiedades del cemento refractario que se utilizara en el horno.

Producto	Temperatura máxima recomendada °C	% de Alúmina promedio	Módulo de ruptura kg / cm ²	Conductividad Térmica Temperatura °C k (W / m °K)	Densidad g / cm ³
HW				760 – 1.1937	
Super Plastic	1763	46	16	800 – 1.2015	2.32

Considerando las dimensiones que se muestran en la figura 3.3 y las condiciones siguientes, se tiene:

$$T_0 = 800 \text{ °C } (1073.16 \text{ °K})$$

$$T_2 = 80 \text{ °C } (353.16 \text{ °K})$$

$$r_0 = 0.0825 \text{ m}$$

$$r_1 = 0.141 \text{ m}$$

$$r_2 = 0.142 \text{ m}$$

$$k_1 = 1.2015 \text{ W / m °K}$$

$$k_2 = 52.5 \text{ W / m °K}$$

$$L = 0.254 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1073.16 - 353.16}{\frac{\ln\left(\frac{0.141}{0.0825}\right)}{2\pi(1.2015)(0.254)} + \frac{\ln\left(\frac{0.142}{0.141}\right)}{2\pi(52.2)(0.254)}}$$

$$Q_{\text{pared}} = 2575.86 \text{ W}$$

Acot: cm

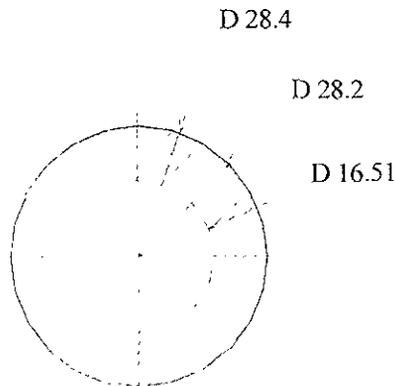


Figura 3.3 Vista superior del horno

3.3.3 Pérdida de calor por conducción a través del piso del horno.

La pérdida de calor por conducción a través del piso del horno esta dada por la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{T_0 - T_2}{\frac{L_1}{Ak_1} + \frac{L_2}{Ak_2}} \dots\dots\dots (3.6)$$

donde:

T_0 = Temperatura de la pared interna del horno.

T_2 = Temperatura de la superficie externa del horno.

L_1 = longitud de la pared de refractario.

L_2 = longitud de la pared externa del horno.

k_1 = conductividad térmica del refractario.

k_2 = conductividad térmica de la pared externa del horno (la pared es de acero).

A = área de la superficie de transferencia de calor.

$$T_0 = 800 \text{ }^\circ\text{C} (1073.16 \text{ }^\circ\text{K})$$

$$T_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C} (353.16 \text{ }^\circ\text{K})$$

$$L_1 = 0.0762 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.001 \text{ m}$$

$$k_1 = 1.2015 \text{ W / m }^\circ\text{K}$$

$$k_2 = 52.5 \text{ W / m }^\circ\text{K}$$

$$A = (\pi/4)(0.282 \text{ m})^2$$

$$A = 0.0624 \text{ m}^2$$

$$Q = \frac{1073.16 - 353.16}{\frac{0.0762}{(0.0624)(1.2015)} + \frac{0.001}{(0.0624)(52.5)}}$$

$$Q_{piso} = 708.19 \text{ W}$$

3.3.4 Pérdida de calor por conducción a través de la tapa del horno.

La pérdida de calor por conducción a través de la tapa del horno esta dada por la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{T_0 - T_2}{\frac{L_1}{Ak_1} + \frac{L_2}{Ak_2}} \dots\dots\dots(3.7)$$

donde:

T_0 = Temperatura de la pared interna del horno.

T_2 = Temperatura de la superficie externa del horno.

L_1 = longitud de la pared de refractario.

L_2 = longitud de la pared externa del horno.

k_1 = conductividad térmica del refractario.

k_2 = conductividad térmica de la pared externa del horno (la pared es de acero).

A = área de la superficie de transferencia de calor.

Considerando las dimensiones que se muestran en el figura 3.4 y las condiciones siguientes, tenemos:

$$T_0 = 800 \text{ }^\circ\text{C} (1073.16 \text{ }^\circ\text{K})$$

$$T_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C} (353.16 \text{ }^\circ\text{K})$$

$$L_1 = 0.064 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.001 \text{ m}$$

$$k_1 = 1.2015 \text{ W / m }^\circ\text{K}$$

$$k_2 = 52.5 \text{ W / m }^\circ\text{K}$$

Acot: cm

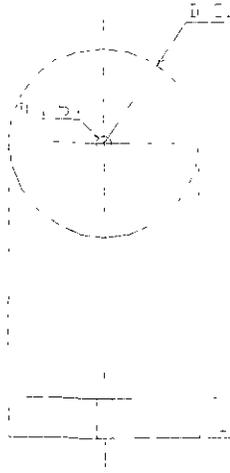


Figura 3.4 Dibujo de la tapa del horno.

$$A = (\pi / 4)(0.31 \text{ m})^2$$

$$A = 0.0754 \text{ m}^2$$

$$Q = \frac{1073.16 - 353.16}{0.064} + \frac{0.001}{(0.0754)(1.2015) + (0.0754)(52.5)}$$

$$Q_{\text{tapa}} = 1018.8 \text{ W}$$

3.3.5 Pérdida de calor por convección.

La pérdida de calor por convección del horno hacia el medio ambiente esta dada por la fórmula:

$$Q_{\text{conv}} = h \cdot A \cdot (T_2 - T_1) \quad \dots \dots (3.8)$$

donde:

Q_{conv} flujo de calor por convección (W).

h coeficiente de convección ($\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

A = área del horno (m²).

T₁ = temperatura del aire que alrededor del horno (°C)

T₂ = temperatura de la superficie del horno (°C)

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L = 0.3302 \text{ m}$$

el coeficiente de convección para flujo laminar esta dado por la fórmula: [2]

$$h = 1.42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4} \dots\dots\dots (3.9)$$

$$h = 1.42 \left(\frac{80 - 20}{0.3302} \right)^{1/4}$$

$$h = 5.2135 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A = A_{\text{pared}} + A_{\text{piso}} + A_{\text{tapa}}$$

$$A_{\text{pared}} = \pi (0.284 \text{ m})(0.254 \text{ m}) = 0.2266 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{piso}} = \frac{\pi (0.284)^2}{4} = 0.0633 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tapa}} = \frac{\pi (0.31)^2}{4} = 0.0754 \text{ m}^2$$

$$A = 0.2266 \text{ m}^2 + 0.0633 \text{ m}^2 + 0.0754 \text{ m}^2$$

$$A = 0.3653 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{conv}} = (5.2135 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{C}) (0.3653 \text{ m}^2) (80 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{conv}} = 114.27 \text{ W}$$

3.3.6 Pérdidas de calor por radiación.

Las pérdidas de calor por radiación del horno hacia el medio ambiente están dadas por la fórmula: [4]

$$Q_{\text{rad}} = \sigma A \varepsilon \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

donde:

Q_{rad} = flujo de calor radiado (W).

σ = constante de Stefan-Bultzman ($W / m^2 \text{ } ^\circ K^4$).

A = área de la superficie expuesta (m^2).

ε = emisividad de la superficie expuesta.

T_1 = temperatura de la superficie externa del horno ($^\circ K$).

T_2 = temperatura del aire alrededor del horno ($^\circ K$).

$\sigma = 5.71 \text{ W} / m^2 \text{ } ^\circ K^4$

$A = 0.3653 \text{ m}^2$

$\varepsilon = 0.96$ (emisividad del acero)

$T_1 = 20 \text{ } ^\circ C$ ($293.16 \text{ } ^\circ K$)

$T_2 = 80 \text{ } ^\circ C$ ($353.16 \text{ } ^\circ K$)

$$Q_{\text{rad}} = (5.71 \text{ W} / m^2 \text{ } ^\circ K^4) (0.3653 \text{ m}^2) (0.96) \left[\left(\frac{353.16}{100} \right)^4 - \left(\frac{293.16}{100} \right)^4 \right]$$

$$Q_{\text{rad}} = 163.58 \text{ W}$$

3.3.7 Potencia térmica neta.

Las pérdidas totales por flujo de calor a través del horno, se pueden calcular con la fórmula siguiente:

$$Q_N = Q_{\text{carga}} + Q_{\text{Tcond}} + Q_{\text{conv}} + Q_{\text{rad}} \quad \dots \dots (3.11)$$

donde:

Q_N = pérdidas totales por flujo de calor (W).

Q_{carga} = calor que se tiene que suministrar a la carga para fundirla (W).

Q_{Tcond} = pérdidas totales por flujo de calor por medio de conducción (W).

Q_{conv} = pérdidas por convección (W).

Q_{rad} = pérdidas por radiación (W).

$$Q_{\text{carga}} = 507.68 \text{ W.}$$

$$Q_{\text{conv}} = 114.27 \text{ W}$$

$$Q_{\text{rad}} = 163.58 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Tcond}} = Q_{\text{pared}} + Q_{\text{piso}} + Q_{\text{tapa}} = 2575.86 \text{ W} + 708.19 \text{ W} + 1018.8 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Tcond}} = 4302.85 \text{ W}$$

Por lo tanto

$$Q_N = Q_{\text{carga}} + Q_{\text{conv}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{Tcond}}$$

$$Q_N = 507.68 \text{ W} + 114.27 \text{ W} + 163.58 \text{ W} + 4302.85 \text{ W}$$

$$Q_N = 5088.38 \text{ W}$$

3.3.8 Potencia térmica instalada.

La potencia térmica instalada es aquella potencia total que se tiene que suministrar al horno. Esta potencia se define con la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{inst}} = \frac{Q_N}{\text{eficiencia del quemador}} \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

donde:

$$Q_{\text{inst}} = \text{potencia térmica instalada (W)}$$

$$Q_N = \text{potencia térmica neta (W)}$$

$$Q_N = 5088.38 \text{ W}$$

En la tabla 3.2 se muestran las eficiencias las eficiencias típicas para los distintos tipos de quemadores.

Tabla 3.2. Eficiencias de quemadores

Tipo de quemador	Eficiencia %
Atmosférico	30 - 35
Mezcla en boquilla (sin recuperación)	35 - 50
Mezcla en boquilla (recuperador tipo chimenea)	50 - 65
Mezcla en boquilla (Recuperador tipo tapón)	60 - 65
SER	65 - 70
Resistencias eléctricas	80 - 99

En el horno que se está diseñando, se va a utilizar un quemador de premezcla con aire a baja presión [mezcla en boquilla (sin recuperación)]. Por lo tanto la eficiencia más baja del quemador es del 35%, y la potencia térmica instalada es:

$$Q_{inst} = \frac{5088.38 \text{ W}}{0.35}$$

$$Q_{inst} = 14\,538.22 \text{ W}$$

3.3.9 Gasto de combustible.

El horno va a quemar gas LP, el cual tiene un poder calorífico de 11000 kcal/kg. El gasto de combustible se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$G. C. = \frac{Q_{inst}}{P_c} \dots\dots\dots (3.13)$$

donde:

- G. C. = gasto de combustible (m³ / h).
- Q_{inst} = potencia térmica instalada (W).
- P_c = poder calorífico del gas L. P.

$$Q_{inst} = 14\,538.22 \text{ W}$$

$$P_c = 11\,000 \text{ kcal / kg [13]}$$

Por lo tanto:

$$P_c = 12\,793 \text{ W.h / kg}$$

$$G.C. = \frac{14538.22 \text{ W}}{12793 \text{ W.h / kg}}$$

$$G. C. = 1.13 \text{ kg / h}$$

3.3.10 Gasto de aire estándar.

Se sabe que para quemar un metro cúbico de gas LP es necesario suministrar 26.6 m³ de aire a presión y temperatura estándar, con lo que se tendrá una relación estequiométrica de aire-gas (26.6 : 1), o sea una combustión perfecta. Así que el volumen de aire para la combustión será:

$$G. A. E. = (\text{Gasto de combustible}) \times (\text{Relación de aire-gas}) \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

$$G. A. E. = (1.13 \text{ kg / h}) \times (26.6)$$

$$G. A. E. = 30 \text{ kg / h}$$

Como se puede ver, es necesario suministrar ese flujo másico de aire para lograr la combustión.

3.3.11 Gasto de aire corregido por la altura.

El gasto de aire-combustión que se calculó es el requerido a nivel del mar. Como el horno será instalado en la zona metropolitana de la Ciudad de México lo que significa que el volumen del aire debe ser mayor por causa de la altitud de la ciudad y, su efecto sobre la densidad.

La tabla 3.3 muestra la variación de la presión barométrica y la densidad de aire con la altitud

Tabla 3.3 Variación de la presión en la altitud.

Elevación sobre el nivel del mar. m	Presión absoluta		Peso específico del aire a 15.6 °C kg / m ³	Densidad relativa del aire estándar (G).
	Mbar	mm Hg		
0	10.13	713	1.225	1.0000
2000	795.0	596	1.007	0.8220
2200	775.5	582	0.987	0.8057
2400	756.3	567	0.967	0.7894
3000	701.2	526	0.909	0.7420

La zona metropolitana de la Ciudad de México se encuentra a 2 285 metros sobre el nivel del mar (Cuautitlán Izcalli, Edo. de México), así que utilizaremos la densidad del aire (G = 0.7987) como factor de corrección para la altitud de 2 285 metros.

El gasto de aire corregido por la altura se define por la fórmula:

$$G . A . C . = \frac{G . A . E}{G} \dots\dots\dots (3.15)$$

$$G.A.C. = \frac{30 \text{ kg}}{0.7987 \text{ h}}$$

$$G . A . C . = 37.63 \text{ kg / h}$$

$$G . A . C . = 10.45 \times 10^{-3} \text{ kg / s}$$

$$G . A . C . = 8.68 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

3.3.12 Características del ventilador.

Como se menciono anteriormente, se necesita un caudal de aire de $8.68 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$. Para la realización de esta tesis se cuenta con un ventilador, pero no se sabe si es el adecuado para suministrar el caudal de aire que se requiere. Por lo tanto, se realizaron mediciones prácticas sobre la velocidad del aire que expulsa el ventilador, y el diámetro

por donde es expulsado el aire que genera el ventilador. Las mediciones fueron las siguientes:

La velocidad del aire a la salida del ventilador es:

$$v = 8 \text{ m / s}$$

y el diámetro de salida del aire que genera el ventilador es:

$$D = 0.0508 \text{ m (2 plg.)}$$

Con las mediciones que se hicieron, posteriormente se calcula el caudal de aire que suministra el ventilador que se tiene.

El caudal de aire se obtiene por la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot A \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

donde:

v: velocidad del aire (m / s)

A : área de salida del aire (m²)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

$$A = \frac{\pi(0.0508)^2}{4}$$

$$A = 2.0268 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

por lo tanto:

$$Q = (8 \text{ m/s}) (2.0268 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$Q = 16.21 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

Por lo tanto se puede concluir, que si se puede utilizar el ventilador, porque este suministra $16.21 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$ de aire, y lo que se necesita es $8.68 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$ de aire. El aire que suministra el ventilador, se puede controlar con una válvula, para suministrar solamente el aire requiendo

3.3.13 Respiros, canales de humos y chimeneas.

Los respiros, canales de humos y chimeneas son ductos por donde escapan hacia la atmósfera los productos de combustión (humos) producidos en los hornos.

El propósito de los respiros y chimeneas no es tanto la creación de un tiro, sino el desalojo seguro de los productos de combustión.

Una columna de aire caliente pesa menos que una columna de aire frío de igual altura. La diferencia en peso produce una diferencia de presiones que se conoce como tiro, y que se expresa en milímetros de agua.

Los hornos calentados por gas o por aceite no necesitan chimeneas, sino solamente canales de humos cortos, en los que se refiere a su funcionamiento. Los productos de combustión se descargan por canales de humos cortos en la nave de trabajo. Si no se desea su presencia, se puede disponer una campana o recogedor con una salida a través del tejado. Las chimeneas son necesarias en los hornos con regenerador, cualquiera que sea el combustible y también en muchos hornos con recuperador.

Los hornos con calefacción por carbón, cualquiera que sea su tipo (incluso los hornos calentados con gas pobre sin refinar), descargan productos de combustión perjudiciales, humosos y sulfurosos, los cuales se descargan generalmente por chimeneas.

En relación con las condiciones de presión en los hornos deben observarse dos reglas importantes, como sigue:

1. En el calentamiento de metales, la presión en la cámara de calentamiento debe ser la atmósfera o algo superior a ésta, con cualquier velocidad de calentamiento.
2. Cuanto más baja es la temperatura de calentamiento del material mayor es la necesidad de una circulación completa de los gases en la cámara de calentamiento, especialmente si se trata de material apilado o enrollado que ha de calentarse rápidamente y con gran uniformidad.

La razón por la que debe existir presión atmosférica en la cámara de calentamiento para conseguir un funcionamiento correcto, es obvia. Si fuera mayor que la atmosférica, saldrían llamas o gases calientes por las aberturas y, si fuese más pequeña, entraría aire a través de las puertas y el material sería oxidado, formándose cascavilla. Sin embargo,

debe indicarse que el aire en la cámara de calentamiento no es perjudicial si se calientan productos de cerámicos.

Los respiros, canales de humos y chimeneas, deben situarse de tal forma, que los gases de combustión no recorran un circuito corto del quemador al respiro, canal de humo ó chimenea, sino que circulen lo suficientemente para calentar la carga.

Los respiros, canales de humos y chimeneas localizados en o cerca de la base del hogar generalmente son más satisfactorios que los colocados cerca o en el techo. Esta última condición no sólo facilita los trayectos cortos, sino que tiende a facilitar que la cámara de combustión actúe como una chimenea, la cual succionará el aire frío al fondo del horno, pero los productos de combustión salen del horno quemados de forma incompleta y sin haber tenido tiempo de ceder su calor a la carga. La circulación es un factor muy crítico en los procesos de baja temperatura en los que en la mayoría, el calor se transmite por convección; en comparación con los procesos de alta temperatura en los que en la mayoría, el calor se transmite por radiación.

Con el fin de sobredimensionar ligeramente los respiros y canales de humos, deben determinarse las dimensiones que se necesitan para un consumo de calefacción máximo. Las dimensiones requerida son función del volumen y temperaturas de los productos de combustión que fluyen en la unidad de tiempo, y la pérdida admisible de carga.

En estos cálculos es de utilidad el siguiente dato: la liberación de una cantidad unitaria de kilocalorías origina un peso casi constante de productos de combustión, independientemente del tipo de combustible (con excepción del gas del alto horno).

En consecuencia, el volumen de gases quemados que pasan a través de los respiros y canales de humos por unidad de tiempo se conoce con exactitud suficiente, si se conocen el calor liberado en la unidad de tiempo y la temperatura de los gases quemados. Aproximadamente, **la liberación de 25.2 kcal/h produce 0.02837 m³/h de productos de combustión**, referidos a la presión atmosférica y a la temperatura ambiente. [11]

A partir de estos resultados se calcula fácilmente el caudal de los productos de combustión que va a producir el horno, partiendo de el calor suministrado a este.

Con estos resultados se calculan fácilmente las dimensiones de los respiros y canales de humos, si se conoce la velocidad a la que se desplazan los gases por ellos. Esta

velocidad está determinada por las resistencias pasivas que ofrecen al flujo de gases, los respiros y canales de humos. Un respiro, que no es más que un agujero en la bóveda o en las paredes laterales, ofrece la resistencia debida a la formación de la altura dinámica. **Un canal de humos muy corto puede considerarse como un respiro, y este no produce un tiro, o en otras palabras, la pérdida de presión es casi nula.**

La velocidad de los productos de combustión se determina a partir de la temperatura de estos, y de la caída de presión en el respiro, canal de humos o chimenea. Para determinar la velocidad de los productos de combustión se utilizará la gráfica que se muestra en la figura 3.5.

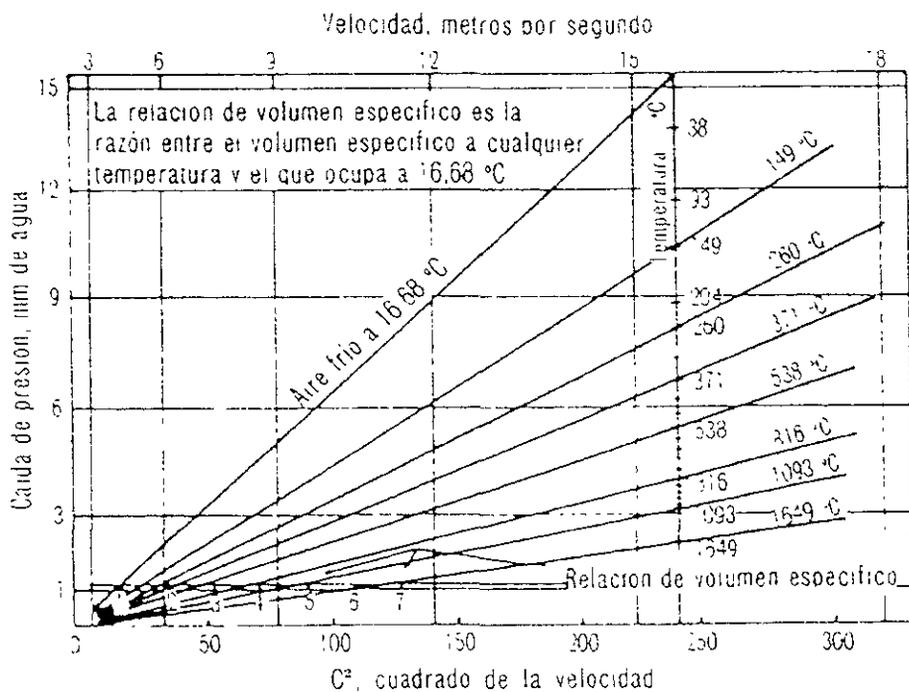


Figura 3.5 Relaciones entre la velocidad, el volumen específico y las pérdidas de tiro para velocidades bajas.

Si se ha de evitar una presión excesiva en los hornos, la caída de presión en los respiros es mínima, aproximadamente de 1 mm de agua, o menos.

Para un horno muy pequeño (canal de humos bajo y sección transversal pequeña) y para bajas temperaturas (650 °C), la velocidad a través de los canales de humos y respiros debe de ser baja (4.25 m/s). Para un horno que trabaja aproximadamente a 800 °C de temperatura, la velocidad a través de los canales de humos y respiros debe ser alrededor de 8 m/s, si se ha de evitar una presión excesiva en el horno (caída de presión de alrededor de 1 mm de agua). En hornos grandes con elevada temperatura (1200 °C), las velocidades admisibles alcanzan hasta 12 m/s. [11]

El diseño de los respiros del horno, se hacen de la siguiente manera:

La potencia total que se tiene que suministrar al horno es: 14 538.22 W.

Como se mencionó anteriormente, 25.2 kcal/h producen 0.02837 m³/h de gases de combustión. Por lo tanto, tenemos que:

25.2 kcal/h = 29.3076 W, por lo tanto, se tiene que:

29.3076 W producen 0.02837 m³/h de gases de combustión.

Si 29.3076 W producen 0.02837 m³/h de gases de combustión, por lo tanto:

14 538.22 W producen 14.0731 m³/h de gases de combustión.

El caudal de productos de combustión generado por el horno es:

$$Q = 14.0731 \text{ m}^3/\text{h} = 3.9091 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Si el caudal esta determinado por la fórmula:

$$Q = v \cdot A$$

donde:

v = velocidad del fluido.

A = área de paso del fluido.

Por lo tanto, el área de paso del fluido es:

$$A = Q / v$$

La velocidad de los productos de combustión se obtuvo a partir de la figura 3.5, con la temperatura de los gases de combustión (800 °C) y la pérdida de presión en el respiro (1 mm de agua), la velocidad de los gases es de 8 m/s.

$$A = \frac{3.9091X 10^{-3} m^3 / s}{8 m/s}$$

$$A = 4.88 X 10^{-4} m^2$$

Si el área del respiro esta determinada por la formula:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Por lo tanto, el diámetro del respiro es:

$$D = \frac{4A}{\pi}$$

$$D = \frac{(4)(4.88X10^{-4})}{\pi}$$

$$D = 0.0249 m$$

$$D = 2.49 cm$$

Podemos concluir, que la potencia que se tiene que suministrar al horno es de 14538.22 W, está energía produce 14.0731 m³/h de gases de combustión. Para desalojar estos gases, se tiene que hacer un respiro, cuyo diámetro es de 2.49 cm.

CAPITULO 4

FABRICACION DEL HORNO.

4.1 Fabricación del piso, pared y tapa del horno.

Afortunadamente, se puede fabricar un horno con artículos que se pueden conseguir fácilmente. Para hacer un horno de crisol, se conseguirá básicamente, un bote vacío de lamina de acero (con una capacidad de 20 litros), y cemento refractario.

Véase la figura 4.1, para tener una idea de lo que se hizo. Se barreno un par de orificios de 2.54 cm (1 plg.) de diámetro, en las paredes del bote de pintura; uno sobre 10.16 cm (4 plg.) desde el fondo; y el otro sobre 5.08 cm (2 plg.) desde la cima del horno, hacia abajo. No importa como los orificios se espacien, pero si se cortan sobre lados opuestos del bote, el horno emitirá la salida caliente de los gases desde el lado opuesto del quemador. Al bote se le hicieron unos soportes, para que el horno no este soportado directamente sobre el suelo.

Acot: cm



Figura 4.1 Diseño del horno pequeño de crisol, realizado a partir de un bote vacío de 20 litros.

Lo primero que se fabricó del horno, fue el pedestal. Se hizo un pedestal cilíndrico de cemento refractario, con un diámetro de 10 cm, y 10 cm de altura.

Se mezcló una cantidad de cemento refractario con agua. Se vertió 7.62 cm (3 plg.) de cemento refractario en el fondo del bote (esta capa de cemento refractario es el piso del horno). Se dejó un orificio en el centro del piso del horno, de 10 cm de diámetro, y 5 cm de profundidad (a partir del nivel superior del suelo); para después colocar en este agujero el pedestal.

Ya fabricado el piso del horno, se procedió a la realización de las paredes del horno, ocupándose para ellas un cilindro metálico, de 15.24 cm (6 ½ plg.) de diámetro, y 25.4 cm (10 plg.) de longitud.

Se colocó el cilindro dentro del bote, encima del piso del horno; centrándose el cilindro lo mejor posible dentro del bote. Se debe de proveer de tubos de 2.54 cm (1 plg.) de diámetro para los orificios de entrada (de combustible y aire) y salida (de gases). Los orificios deben de entrar y salir del horno tangencialmente como se muestra en la figura 4.2.

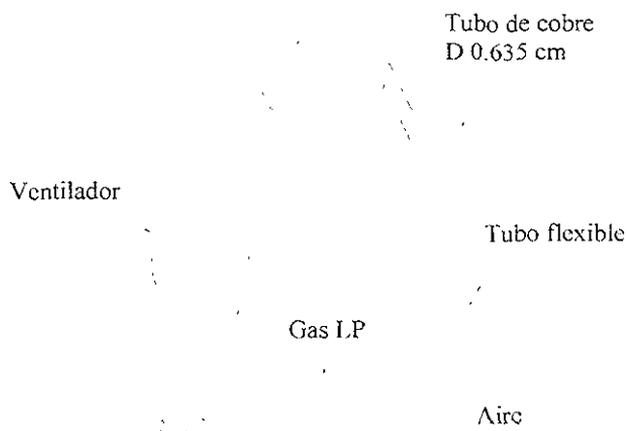


Figura 4.2 Vista superior del horno de crisol, muestra el ventilador y la entrada del gas LP, hacia el horno.

Cuando todo ya estuvo listo, se lleno el espacio entre el cilindro y el bote, de cemento refractario; vaciándose cuidadosamente una cantidad pequeña de cemento refractario, y se apisono, para eliminar el vacío.

Además, se hizo una tapa para el horno; apartándola del bote, que ya esta relleno de cemento refractario. La tapa se hace de forma cilíndrica, de 6.35 cm (2 ½ plg.) de altura y 31 cm de diámetro, como se aprecia en la figura 4.3. En el centro de la tapa se hizo un orificio de 2.54 cm (1 plg.) de diámetro. El molde de la tapa, se hizo metálico; y con sus respectivas manijas para agarrar la tapa del horno. Una vez que se vertió el cemento refractario en el molde de la tapa, ya no se quita el molde, ya que servirá de protección para el cemento refractario.

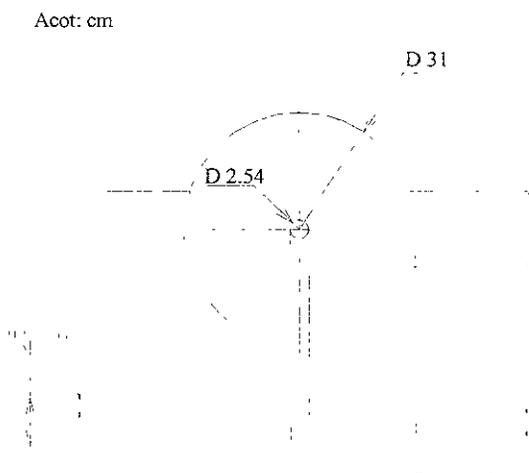


Figura 4.3 Diseño de la tapa del horno

Las dimensiones que se describen para este horno, es para utilizar un crisol del número 6, o en dado caso, un crisol mas pequeño.

4.2 El quemador y el ventilador.

El horno es alimentado de gas L. P. y aire, a través del tubo (quemador) que se encuentra cerca del fondo del horno. La llama producida por el gas L. P. y el aire, forma un vórtice sobre la pared interior del horno, y los gases de combustión escapan mediante los orificios de salida, que es el agujero que esta en la pared y en la tapa del horno. El ventilador de aire se requiere que obtenga la necesaria alta temperatura en la llama. El

aire y el gas se mezclan en un tubo de acero inoxidable de 2.54 cm (1 plg.) de diámetro que es el tubo de entrada (quemador).

Se debe de poner una válvula en la línea de gas, para regular la cantidad de gas que es alimentada al horno. La cantidad de aire se regula también con una válvula, que se debe poner en la línea de aire.

De la figura 4.4 a la figura 4.8 se muestran las vistas finales del horno.

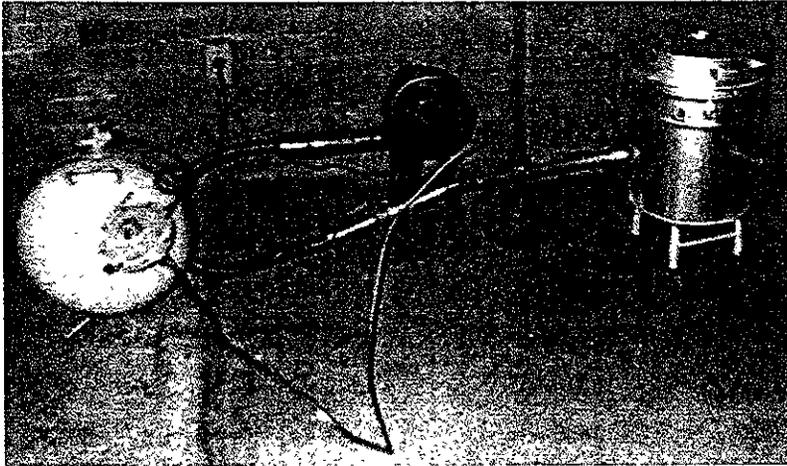
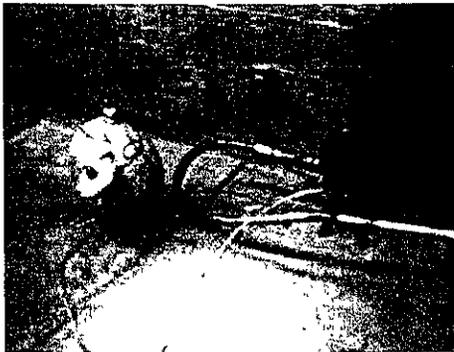


Figura 4.4 Vista de conjunto del horno.



a)

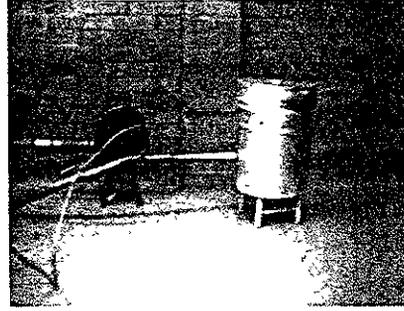


b)

Figura 4.5 Vistas laterales derechas del horno



a)

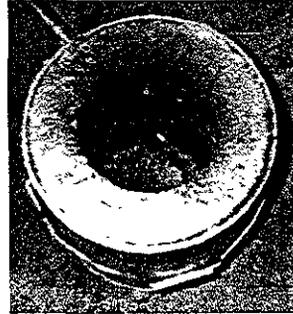


b)

Figura 4.6 Vistas frontales del horno.



a)



b)

Figura 4.7 Vistas superiores del horno.



a)



b)

Figura 4.8 Vistas superiores del horno con crisol

4.3 Puesta en operación del horno.

Inicialmente, como se trata de un horno nuevo se opero durante lapsos muy pequeños (de 3 a 5 minutos); siguiéndose la secuencia que a continuación se menciona:

1. Se abrió la válvula que controla el flujo de gas.
2. Al tubo de entrada (quemador), que se encuentra en la parte inferior dentro del horno, se acerca un papel encendido (por ejemplo, papel periódico).
3. Se regula el flujo de gas; de tal manera, que la flama producida (de color amarillo) apenas sobresalga del horno.
4. Se puso en operación el ventilador.
5. Se abre lentamente la válvula que controla el flujo de aire, hasta que la combustión es adecuada, la cual se reconoce por un sonido característico producido por el humo, y la llama de color azul (figura 4.9).
6. Se mantiene el horno encendido durante un tiempo, en el rango de 3 a 5 minutos.

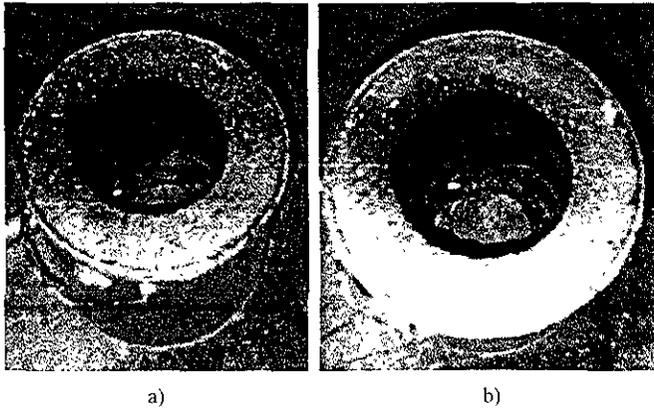


Figura 4.9 Vista superior del horno en operación.

Para apagar el horno simplemente se cierra la válvula que controla el flujo de gas, y finalmente se apaga el ventilador.

Después de realizar este proceso en tres ocasiones, el horno queda listo para su operación normal.

4.4 Costo de fabricación del horno.

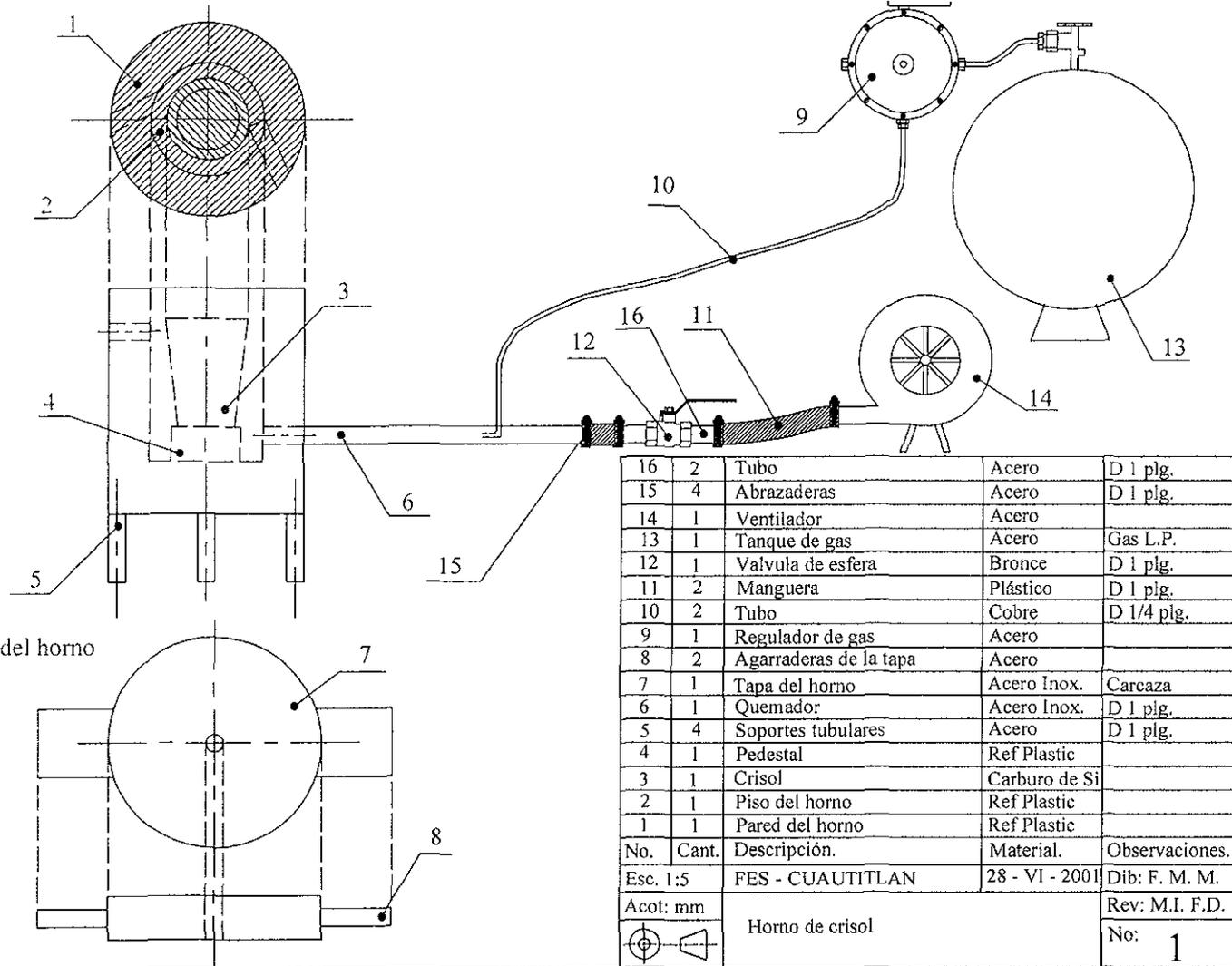
Para la fabricación del horno se cubrieron los siguientes costos:

Producto	Precio (pesos)
Bote vacío	20
Cemento refractario (50 kg)	450
Crisol (No. 6)	250
Ventilador	300
Tubería	120
Válvula para regular el aire	80
Regulador de gas	100
Abrazaderas	20
Tanque de gas de 10 kg	250
Pintura alta temperatura (1litro)	50
Pinzas para sacar el crisol.	150
Molde de la tapa	130
Patas para el bote	60

El costo total del horno aproximadamente para poder fabricarlo es de 1980.00 pesos

4.5 Dibujo de conjunto del horno de crisol.

El dibujo de conjunto del horno de crisol que se fabricó, se puede ver en la siguiente página.



Tapa del horno

16	2	Tubo	Acero	D 1 plg.
15	4	Abrazaderas	Acero	D 1 plg.
14	1	Ventilador	Acero	
13	1	Tanque de gas	Acero	Gas L.P.
12	1	Valvula de esfera	Bronce	D 1 plg.
11	2	Manguera	Plástico	D 1 plg.
10	2	Tubo	Cobre	D 1/4 plg.
9	1	Regulador de gas	Acero	
8	2	Agarraderas de la tapa	Acero	
7	1	Tapa del horno	Acero Inox.	Carcasa
6	1	Quemador	Acero Inox.	D 1 plg.
5	4	Soportes tubulares	Acero	D 1 plg.
4	1	Pedestal	Ref Plastic	
3	1	Crisol	Carburo de Si	
2	1	Piso del horno	Ref Plastic	
1	1	Pared del horno	Ref Plastic	
No.	Cant.	Descripción.	Material.	Observaciones.
Esc.	1:5	FES - CUAUTITLAN	28 - VI - 2001	Dib: F. M. M.
Acot:	mm	Horno de crisol		Rev: M.I. F.D.
				No: 1

CONCLUSIONES.

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

- 1) Para el diseño del horno es fundamental el análisis de la transferencia de calor, mediante conducción, convección y radiación.
- 2) Es posible la fabricación del horno, utilizando los medios disponibles que hay en el país.
- 3) Se muestra como es posible el equipamiento de los laboratorios de la Universidad, mediante el diseño y fabricación de equipos, que hacen posible el desarrollo de prácticas y tesis.
- 4) Se estimulan a los alumnos para que puedan hacer tesis prácticas.
- 5) Se comprueba la relación que existe entre la teoría y la práctica.
- 6) El tesista adquiere experiencia en la solución de problemas que se presentan en el proceso de diseño de equipos, ya que al desarrollar un equipo, se encuentran muchos problemas.
- 7) Por medio de la tesis conocemos físicamente procesos de fabricación, equipos, instrumentos de mediación, etc.; que solo se comentaban en clase.

BIBLIOGRAFIA.

1. V. Isachenko, V. Osipova, A. Sukomel.
Transmisión del Calor.
Ed. Marcombo.
España. 1979.

2. J. P. Holman.
Heat Transfer.
Ed. McGraw-Hill.
Japón. 1976.
Página 253.

3. Donald Q. Kern
Procesos de Transferencia de Calor.
Ed. CECOSA
México. 1998.

4. United States Steel.
The Making, Shaping and Treating of Steel.
Published by Association of Iron and Steel Engineers.
Estados Unidos. 1985.
Página 108.

5. B H Amstead, Ph. F. Ostward, M.L.Begeman.
Procesos de Manufactura Versión S. I.
Ed. CECOSA.
México 1996

6. Manuel Márquez Martínez.
Combustión y quemadores.
Ed. Marcombo.
España. 1989.

7. Ulrich Scharer Sauberli.
Ingeniería de Manufactura.
Ed. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V.
México. 1991.

8. Vic Chiles, Stewart C. Black, A. J. Lissaman, S. J. Martín.
Principios de Ingeniería de Manufactura.
Ed. CECSA.
México. 1999.

9. Mikell P. Groover.
Fundamentos de Manufactura Moderna.
Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.
México. 1997.

10. Leo Altng.
Procesos para Ingeniería de Manufactura.
Ed. Alfaomega.
México 1990.

- 11 W. Trunks, M H. Mawhinney.
Hornos Industriales.
Ed Urmo S. A.
España 1975

12. William A. Cannon.
How to Cast Small Metal and Rubber Parts.
Ed. McGraw-Hill.
Estados Unidos de América. 1986.
- 13 www.conae.gob.mx/programas/vapor/anexovap5.html
14. www.nalejandria.com.ar/01/otto-krause/museo_tecnologico/crisoles.htm
15. <http://termocupla.homepage.com/principal.htm>
16. Aguilar de la Rosa J. Guadalupe, Carrillo Ortiz Oscar Manuel,
Monroy Rodríguez José Valentín.
Horno de Combustión de Gas para Tratamientos Térmicos.
Tesis. UNAM. Licenciatura. 2000.
17. Jiménez Pérez Oscar, Miranda Blanquel Miguel Ángel.
Diseño de un horno de crisol basculante.
Tesis. UNAM. Licenciatura. 1998.
18. Ortega Cedillo Margarita Patricia.
Fundición del Cobre y sus Aleaciones.
Tesis. UNAM. Licenciatura. 1994
19. Zarate Chavéz Alberto.
Hornos de fusión utilizados en la industria.
Tesis. UNAM. Licenciatura. 1990