

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA “PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA”

CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO BASCULANTE A DIESEL PARA LA FUSIÓN DE 150 KG. DE COBRE PARA LA EMPRESA “4G-METALURGIA”

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGAS EN
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

**CORREA JARAMILLO PAULINA GABRIELA
ROBALINO GUTIERREZ SILVANA ISABEL**

DIRECTOR: ING. FAUSTO OVIEDO

Quito, Junio del 2007

RESUMEN

En la construcción de hornos basculantes que utilizan como combustible el diesel y en este caso especialmente es importante conocer todos los parámetros que necesita satisfacer la empresa auspiciante, de acuerdo a esto se inicia el estudio de aquellos factores que intervienen en el proceso de construcción siempre con la finalidad de mejorar la combustión y a la vez de aportar con el desarrollo de nuevos procesos en el área de fundición y de aquellas áreas que le rodean, sin olvidar la optimización de costos.

En cuanto al desarrollo por capítulos iniciamos con una breve descripción de los conceptos fundamentales, en primera instancia definiendo el cobre y las propiedades de este elemento para conocer el material a tratar. Es también importante un estudio general sobre transferencia de calor para conocer las diferentes temperaturas a las que se enfrenta esta construcción, a la vez analizamos parámetros generales como combustión y llama. Un aspecto importante de este capítulo es el estudio de los métodos de precalentamiento del Aire, con la finalidad de seleccionar el método más adecuado, sencillo y poco costoso para la mejorar la combustión.

A continuación analizamos los requisitos para mejorar la combustión, seleccionando adecuadamente el combustible, considerando aspectos como disponibilidad en el mercado y las recomendaciones en cuanto al uso y medio ambiente. Estudiamos el concepto y tipos de quemadores y en base a los requerimientos, seleccionamos a nuestra conveniencia el más indicado para satisfacer nuestras necesidades.

En el diseño técnico del horno se han desarrollado los cálculos en base al crisol seleccionado con la capacidad de carga especificada (150 Kg.), luego se realiza el cálculo de la cámara de combustión, paredes refractarias, paredes aislantes, la construcción de la chimenea, el sistema de precalentamiento del aire, la instalación del quemador y tapas refractarias. Una vez calculado todo el sistema se analiza el tipo de material que interviene en la construcción como: el material refractario, aislante y material metálico, para determinar si las propiedades contribuyen y satisfacen con las condiciones térmicas y físicas especialmente.

Una vez realizado el estudio de los elementos a intervenir y con el peso total se analizan los soportes. Se realiza el cálculo de esfuerzos que soporta el sistema y se escogen los perfiles más idóneos para el peso involucrado, sin dañar la estética del horno. Se escoge el sistema de basculación buscando el método más sencillo y de bajo costo, además se considera la disponibilidad de la empresa, este sistema debe tener una capacidad mayor al peso total del horno para no tener complicaciones en cuanto al uso.

Con un estudio de todo lo que implica la construcción y analizados los materiales desarrollamos el estudio por costos para determinar el monto requerido y realizar las adquisiciones de material. Es así como explicamos paso a paso la construcción del conjunto y a la vez señalamos la importancia de las pruebas de funcionamiento realizadas en cada proceso con el fin de evitar pérdidas de material y tiempo. Concluyendo finalmente con las experiencias adquiridas y colaborando con ciertas recomendaciones que serán de gran ayuda para futuras construcciones de este tipo de elementos de fundición.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto que se presenta a continuación contiene elementos y parámetros necesarios para la construcción de un Horno Basculante a Diesel, conocimientos fundamentales de fundición e incluye también resultados de estudios e investigaciones relacionadas al tema, los mismos que abordan e incursionan con una estrategia que intenta articular lo teórico con lo práctico.

Procuramos escribir un texto útil para las personas que desean conocer más sobre este tema destacando los conceptos y principios fundamentales que rigen al momento de seleccionar los materiales y al construir todo el sistema, evaluando todos los factores que intervienen.

Este proyecto contiene mucho énfasis en cuanto al cálculo de la parte térmica como al cálculo del sistema de basculación, considerando los pesos que intervienen y el sentido de inclinación alrededor de un eje horizontal para efectuar la colada. Para esta última parte en especial analizamos las cargas y esfuerzos con el cálculo por resistencia de materiales.

El tema presentado se encuentra desarrollado en un lenguaje accesible para los recientemente iniciados. El estudio y análisis de los diferentes temas propuestos están sólidamente involucrados con la práctica como se presenta más adelante.

INDICE GENERAL

DECLARACIÓN	i
CERTIFICACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCION	vii
I. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	1
1.1 COBRE	1
1.1.1 PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN.....	1
1.2 CANTIDAD DE CALOR	6
1.3 COMBUSTIÓN	9
1.4 TIPOS DE COMBUSTIÓN	10
1.5 LA LLAMA	11
1.6 TIPOS DE LLAMA	12
1.6.1 CLASIFICACIÓN.	12
1.7 CONDICIONES PARA QUE SE PRODUZCA LA LLAMA.	13
1.8 TEMPERATURA DE LA LLAMA	15
1.8.1 TEMPERATURA ADIABÁTICA DE LA LLAMA.....	16
1.9 MÉTODOS DE PRECALENTAMIENTO DEL AIRE.	16
1.10 ENRIQUECIMIENTO DEL AIRE CON OXÍGENO	20
II. QUEMADORES	23
2.1 REQUISITOS PARA UNA COMBUSTIÓN COMPLETA	23
2.1.1 SELECCIÓN DEL COMBUSTIBLE.....	25
2.2 DEFINICIÓN DE QUEMADORES.....	29
2.3 TIPOS DE QUEMADORES.....	31
2.4 SELECCIÓN DEL QUEMADOR.....	34

I. DISEÑO TÉCNICO DEL HORNO.....	35
1.1 ESTADO ESTABLE	35
1.2 DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO.....	37
1.3 SELECCIÓN DEL CRISOL.....	37
3.3.1 DEFINICIÓN Y TIPOS DE CRISOL.....	37
1.4 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL HORNO.....	41
1.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	42
1.6 DIMENSIONES DE LA PARED, TAPA Y BASE DEL HORNO.....	49
1.7 DETERMINACIÓN DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE.....	52
1.8 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA PARED, TAPA Y BASE DEL HORNO.....	53
II. SELECCION DEL SISTEMA DE BASCULACIÓN DEL HORNO.....	61
2.1 CÁLCULO DE REACCIONES EN EL TUBO Y SOPORTE.....	67
2.2 SISTEMA DE BASCULACIÓN.....	68
4.3 CÁLCULO DE REACCIONES EN EL TUBO Y SOPORTE.....	69
4.4 REACCIÓN EN LOS SOPORTES	72
4.5 COMPRESIÓN	73
V. COSTOS, CONSTRUCCIÓN, Y PRUEBAS.....	82
5.1 PLANOS DEL DISEÑO DEL HORNO.....	82
5.2 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	82
5.3 CONSTRUCCIÓN DEL HORNO	85
5.4 PRUEBAS.....	98
5.5 RESULTADOS	101
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES.....	105
ANEXOS.....	108

CAPÍTULO I

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

1.1 COBRE.

Su símbolo es Cu y es uno de los metales de mayor uso, de apariencia metálica y color pardo rojizo.

1.1.1 PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN.

Su conductividad térmica y eléctrica es muy alta. Es moderadamente duro, tenaz y resistente al desgaste. Posee una alta ductilidad. Las propiedades mecánicas y eléctricas del Cobre dependen en gran medida de las condiciones físicas, temperatura y tamaño de grano del metal. Entre sus características físicas y mecánicas podemos destacar las siguientes:

Características físicas

- Buen conductor del calor.
- Material abundante en la Naturaleza.
- Material fácil y barato de reciclar de forma indefinida.
- Forma aleaciones para mejorar las prestaciones mecánicas.
- Resistente a la corrosión y oxidación.

Características mecánicas

- De fácil mecanizado.
- Permite la fabricación de piezas por fundición y moldeo.
- Material soldable.
- Permite tratamiento térmico. Temple y recocido.
- En general sus propiedades mejoran con las bajas temperaturas lo que permite utilizarlo en aplicaciones criogénicas.

La tabla I indica algunas de las propiedades del cobre utilizadas para nuestro estudio.

NOMBRE	COBRE
Densidad (g/ml)	8,96
Punto de fusión (°C)	1083
Calor específico J/(kg·K)	380

Tabla I . Algunas propiedades del cobre

El cobre posee la estructura FCC (sistema cúbico centrado en las caras), como indica en la figura 1.



Fig. 1. Estructura Atómica del Cobre

Aplicaciones

Su principal aplicación es como material conductor. Entre otras aplicaciones importantes denotamos las siguientes:

- Tubos de condensadores y fontanería.
- Electroimanes.
- Motores eléctricos.
- Se tiende al uso del cobre en circuitos integrados en sustitución del aluminio de menor conductividad.
- Acuñación de moneda (aleado con níquel), construcción de campanas y otros usos ornamentales en aleaciones con cinc (latón), estaño (bronces) y plata (en joyería).

➤ **Aleaciones de Cobre**

El código UNS (siglas en inglés que se refieren al Sistema Unificado de Numeración de Metales y Aleaciones) para las aleaciones de cobre se compone de cinco dígitos después de la letra C (CXXXXX), los tres primeros dígitos corresponden a los números de aleación asignados por la CDA (Copper Development Association) y los dos últimos corresponden a modificaciones de la aleación original. La tabla II, indica la designación de las aleaciones de fundición de cobre desde C80000 hasta C99999.

NOMBRE GENÉRICO	NÚMERO UNS	COMPOSICIÓN
Cobres	C80100 – C81100	> 99 % Cu
Aleaciones ricas en cobre	C81300 – C82800	> 94 % Cu
Latones cobrizos y cobrizos emplomados	C83300 – C85800	Cu – Zn – Sn – Pb (75-89% Cu)
Latones ordinarios y ordinarios emplomados	C85200 – C85800	Cu – Zn – Sn – Pb (57-74% Cu)
Bronces al manganeso y bronce al manganeso emplomados	C86100 – C86800	Cu – Zn – Mn – Fe – Pb
Bronces al silicio, latones al silicio	C87300 – C87900	Cu – Zn- si
Bronces al estaño y bronce al estaño emplomados	C90200 – C94500	Cu – Sn – Zn – Pb
Bronces al níquel – estaño	C94700 – C94900	Cu – Ni – Sn – Zn – Pb
Bronces al aluminio	C95200 – C95810	Cu – Al – Fe – Ni
Cuproníqueles	C96200 – C96800	Cu – Ni – Fe
Platas níquel	C97300 – C97800	Cu – Ni – Zn – Pb – Sn
Cobres emplomados	C98200 – C98800	Cu – Pb
Aleaciones diversas	C99300 – C99750

Tabla II. Aleaciones de Cobre

De las aleaciones de cobre, las dos aleaciones más importantes son el latón (una aleación con zinc) y el bronce (una aleación con estaño).

➤ Latón

Es el resultado de la aleación cobre - zinc, se hace en diferentes proporciones dependiendo del uso posterior. Los latones pueden clasificarse en tres grupos principales utilizados en la industria:

- **Latones alfa (α).**- Contenido de zinc de 5% a 35%, se caracterizan por su fácil deformación en frío. Poseen relativamente buena resistencia a la corrosión y buenas propiedades de trabajo. El color de los latones alfa varía de acuerdo con el contenido de cobre desde rojo en las aleaciones al alto cobre, hasta amarillo en los contenidos de 62% de cobre.
- **Latones alfa + beta ($\alpha + \beta$).**- Contenido de zinc de 35% a 45%, se deforman plásticamente en caliente y son muy resistentes en frío, ideales para piezas forjadas y mecanizadas.
- **Latones beta (β).**- Contenido de zinc de 45% a 50%, se deforman muy bien en caliente, pero son demasiado frágiles en frío.

A un valor próximo al 50% de zinc comienza la aparición de la fase Y, que hace que el material sea frágil. La figura 2 señala el diagrama de fases del sistema cobre – zinc para comprender mejor la clasificación de los latones.

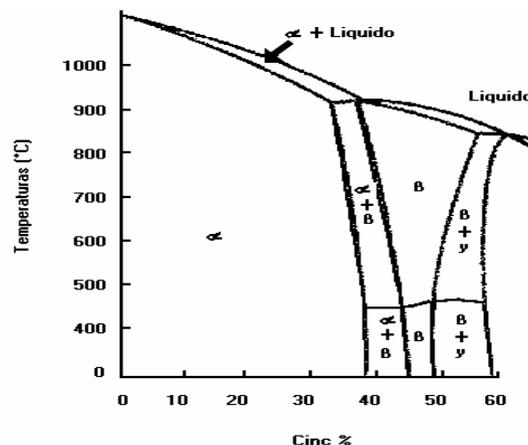


Fig. 2 Diagrama de fases del sistema cobre-zinc, comprendiendo los latones de aplicación industrial

Esta aleación se utiliza en orfebrería, en grifería, válvulas, piezas de contadores, tubos de condensador y terminales eléctricos, para accesorios en la construcción de barcos, entre otras.

Hay cuatro grupos de **latones de fundición**:

- Aleaciones de cobre – estaño – zinc (latones cobrizos, semi cobrizos y ordinarios o amarillos).
- Aleaciones de “bronce manganésico” (latones ordinarios de alta resistencia).
- Aleaciones de “bronce manganésico” al plomo (latones ordinarios de alta resistencia con plomo).
- Aleaciones de cobre – zinc – silicio (latones y bronce al silicio).

➤ **Bronce**

Es una aleación de cobre y estaño en diferentes proporciones. Es el elemento sólido más ligero, es más resistente y duro que cualquiera otra aleación común, excepto el acero, que le supera en resistencia a la corrosión y facilidad de lubricación.

Los bronce comerciales son sobre todo aleación de cobre y estaño, aluminio, silicio o berilio; además pueden contener fósforo, plomo, zinc o níquel.

Existen diferentes tipos de bronce nombrados a continuación:

- **Bronces al Silicio.**- Son las aleaciones más fuertes de las aleaciones al cobre endurecidas por trabajo.
- **Bronces al Berilio.**- Se utilizan para piezas con una combinación de excelente formabilidad, piezas que requieren resistencia a la corrosión, alta resistencia y relativamente alta conductividad eléctrica.
- **Cuproaleaciones.**-Son aleaciones cobre-níquel con un contenido e hasta30% de níquel. Solo pueden ser deformados en frío.
- **Plata alemana o latón al níquel.**- son de cobre, níquel y zinc.

Se utiliza para fabricar alambres y elementos de bisutería, medallas, piezas metálicas, de grifería, campanas, se emplea especialmente en aleaciones conductoras del calor, en baterías eléctricas, etc.

Igual que el caso de los latones también existen cuatro **bronces de fundición**:

- Aleaciones de cobre – estaño (bronces al estaño).
- Aleaciones de cobre – estaño – plomo (bronces al estaño emplomados).
- Aleaciones de cobre – estaño – níquel (bronces al estaño - níquel).
- Aleaciones de cobre – aluminio (bronces al aluminio.- contienen entre 4% y 11% de aluminio).

1.2. CANTIDAD DE CALOR

Definición de Calor

Es una energía que fluye de los cuerpos que se encuentran a mayor temperatura a los de menor temperatura, y para obtener esta fluidez se requiere una diferencia de temperaturas. En la figura 3 observamos que el cuerpo que recibe calor aumenta su temperatura provocando un descenso de la misma en el cuerpo que cede el calor.



Fig.3 Calor

Los cuerpos radian unos hacia otros pero el balance total del intercambio es favorable a uno y desfavorable al otro hasta que se alcanza el “Equilibrio térmico” que ocurre cuando la temperatura es la misma en todo el sistema, es decir el sistema no implica diferenciales de temperatura.

El calor es una energía de tránsito, sólo tiene sentido hablar de variación de calor mientras la energía fluye de un cuerpo a otro.

Los procesos físicos por los que se produce la transferencia de calor son:

- **Conducción:** es la transferencia de energía de partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas, debido a las interacciones entre ellas. La conducción sucede en sólidos, líquidos y gases.

En los gases y en los líquidos la conducción se produce por la colisión de las moléculas durante su movimiento aleatorio.

En los sólidos se produce por la combinación de las vibraciones de las moléculas de una estructura y a la energía transportada por electrones libres.

- **Convección:** Es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente que se encuentra en movimiento e implica los efectos combinados de la conducción y del movimiento de un fluido.

Cuanto mayor es el movimiento de un fluido mayor es la transferencia de calor por convección, y ante cualquier ausencia de movimiento de un fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente se da mediante convección pura.

- **Radiación:** Es la energía emitida por la materia mediante ondas electromagnéticas como resultado de los cambios por las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y de la convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio entre el sistema y sus alrededores.

La transferencia de energía por radiación es más rápida a la velocidad de la luz y no sufre atenuación en el vacío, un ejemplo de aquello es la manera en que la energía del sol llega a la tierra.

Con el objetivo de caracterizar cuantitativamente la emisión o la absorción del calor, se ha establecido el concepto “cantidad de calor.”

CANTIDAD DE CALOR (Q)

Se define como la energía que cede o absorbe un cuerpo de masa (m), cuando su temperatura varía en un número determinado de grados. La cantidad de calor (Q) está relacionada directamente con la naturaleza de la sustancia que compone el cuerpo. La dependencia de la cantidad de calor con la naturaleza de la sustancia se caracteriza por una magnitud denominada calor específico de la sustancia (tabla III.), el mismo que se representa con la letra C y se define como la energía requerida para elevar la temperatura de una masa unitaria de una sustancia en un grado.(1 °C).

El calor específico (C) se expresa en unidades de energía [joule (J), kilocaloría (kcal), caloría (cal), etc.] Por unidades de masa [(gramo (g), kilogramo (kg), libra (lb), etc.)] y temperatura [grado centígrado (°C), kelvin (°K)]. En la siguiente tabla podemos destacar el calor específico del cobre y estaño.

SUSTANCIA	CALOR ESPECÍFICO (J/KG·K)
Cobre	390
Estaño	230

Tabla III. Calor específico

La cantidad de calor (Q) de un cuerpo de masa (m) y calor específico (C), cuando su temperatura inicial (ti) varía hasta la temperatura final (tf), se puede calcular mediante la fórmula:

$$Q = C m (tf - ti).$$

El resultado numérico de la cantidad de calor (Q) se expresa en unidades de energía: J, kcal o cal. A partir de esta ecuación es posible apreciar que la cantidad

de calor (Q) es directamente proporcional a la masa (m) del cuerpo, su calor específico (C) y a la diferencia de temperaturas: ($t_f - t_i$).

Caloría.- Es la cantidad de calor necesaria para que 1g de agua aumente 1° su temperatura" (más exactamente para pasar de 14,5 ° a 15,5°), también tenemos que 1 caloría = 4,18 Julios.

1.3. COMBUSTIÓN

Se define como una reacción química durante la cual se oxida un combustible y se libera una gran cantidad de energía.

Comburente.- Es la sustancia en cuya presencia el combustible puede arder. De forma general, se considera al **oxígeno** como el comburente típico. Se encuentra en el aire en una concentración del 21% en volumen.

Los combustibles que presentan un alto número de átomos de oxígeno en su molécula no necesitan comburente para arder (peróxidos orgánicos).

Combustible.- Es la sustancia que en presencia de oxígeno y aportándole una cierta energía de activación, es capaz de arder. Los combustibles pueden clasificarse, según su naturaleza:

Combustibles sólidos:

- Carbón mineral (Antracita, carbón de coque, etc.), madera, plástico, textiles, etc.

Combustibles líquidos:

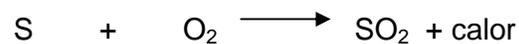
- Productos de destilación del petróleo (gasolina, gas-oil, fuel-oil, aceites, etc.), alcoholes, disolvente, etc.

Combustibles gaseosos:

- Gas natural, metano, propano, butano, etileno, hidrógeno, etc.

Los combustibles tienen una composición elemental en la que entran fundamentalmente: Carbono, hidrógeno y azufre como elementos verdaderamente combustibles, acompañados de otros elementos tales como: nitrógeno, oxígeno y trazas de otros como vanadio, níquel, sodio, etc.

Las principales reacciones de combustión son:



1.4. TIPOS DE COMBUSTIÓN.

Mencionamos los siguientes tipos de combustión:

➤ **Completa o perfecta.**

Se produce cuando todo el carbono en el combustible se transforma en CO_2 , todo el hidrógeno se transforma en H_2O y todo el azufre si lo hay se transforma en SO_2 . Hay una oxidación total de todos los elementos oxidables del combustible, con independencia del exceso de aire empleado.

➤ **Estequiométrica o Teórica.**

Es el proceso de combustión ideal durante el cual un combustible se quema por completo con aire teórico que es la cantidad mínima de aire necesaria para la combustión completa de un combustible. ¹

¹ Boles Michael., Termodinámica, Tomo II, Pág. 737

➤ **Incompleta.**

Cuando los gases de combustión contienen compuestos parcialmente oxidados, como el monóxido de carbono y resto de combustible sin oxidar, como hidrógeno, partículas de carbono, etc. Este tipo de combustión puede ser con exceso o defecto de aire.

1.5 LA LLAMA

Eckert & Drake afirman que “Muchos combustibles se queman con una llama luminosa, el color amarillo que posee la llama vienen de los hidrocarburos los cuales están contenidos en el combustible y son gradualmente rotos en la llama. Van formando moléculas las mismas que tienen un incremento en el porcentaje de carbono surgiendo partículas de carbono que otorgan el color amarillento. Estas partículas además emiten considerable radiación térmica. Solamente la antracita, coque y algunos gases (gas generado, hidrógeno, y gas de alto horno) al quemarse no tienen llama luminosas.

El frente de llama marca la separación entre el gas sin quemar y el gas quemado, y es la zona en donde tienen lugar las reacciones principales. El espesor del frente de llama varía según las condiciones, desde menos de 1 [mm] hasta la anchura total de la cámara de combustión.

La velocidad de propagación depende de la transferencia de calor entre los gases ya quemados y los inmediatos no quemados: cuando estos alcanzan la temperatura de ignición arden propagando la combustión.

La llama debe reunir ciertas características tales como:

- distribución específica apropiada de transferencia de calor radiante y convectiva.
- combustión completa
- mínimo de ruido
- ausencia de oscilaciones.

1.6 TIPOS DE LLAMA.

Los distintos tipos de llama se clasifican según:

- a. El punto donde tiene lugar la mezcla del combustible con el comburente.
- b. La velocidad de la mezcla aire combustible
- c. La posición de la llama con respecto a la boca del quemador.
- d. El tipo de combustible.

1.6.1 CLASIFICACIÓN

De acuerdo a los tipos de llama mencionados, la clasificación en el punto donde tiene lugar la mezcla del combustible con el comburente es:

Llamas de difusión.- Es cuando la mezcla del combustible con el comburente se produce en el instante de la combustión. También se las conoce como llamas sin mezcla previa.

Llamas de premezcla.- Ocurre cuando la mezcla de los fluidos se realiza total o parcialmente antes de alcanzar la cámara de combustión, en donde esta se efectúa en un medio constituido por una mezcla en íntimo contacto entre combustible y comburente.

La clasificación de las llamas de acuerdo a la velocidad de la mezcla aire-combustible, pudiendo ser las llamas laminares o turbulentas.

Llama laminar.- Es cuando los fenómenos de la mezcla y de transporte ocurren a bajas velocidades².

Llama turbulenta.- Es cuando la velocidad de la mezcla aire-combustible es elevada. La razón teórica de aire-combustible es la relación entre la masa o moles de aire teórico siendo este la cantidad mínima de aire capaz de proporcionar el oxígeno suficiente para la combustión completa del carbono, hidrógeno entre otros elementos en el combustible susceptibles de ser oxidados; y la masa o moles del combustible.

² Reinhard Schuhman Jr., Ingeniería Metalúrgica, Tomo I, pág.178

En estas condiciones el gas sale con un silbido y la llama, que resulta más corta, adopta un aspecto de torbellino.

La clasificación de las llamas de acuerdo a su posición con respecto a la boca del quemador, se puede decir que desde el punto de vista existen llamas en movimiento también conocidas como llamas explosivas libres, y llamas estacionarias ya que el combustible se va quemando gradualmente a medida que pasa a través de una zona establecida del sistema, dando lugar a una llama aparentemente fija, siendo estas las llamas más importantes desde el punto de vista práctico.

1.7 CONDICIONES PARA QUE SE PRODUZCA LA LLAMA

Para que se origine la llama es necesario que el combustible alcance la temperatura de ignición. La tabla IV indica la temperatura de encendido de algunos combustibles considerados como principales.

COMBUSTIBLES	TEMPERATURAS DE ENCENDIDO °C.
Oxido de carbono	300
Hidrógeno	550
Metano	650
Carbono	700
Turba	230
Leña dura	300
Hulla	330
Coque	700
Gas de alumbrado	800
Gasolina	450
Gas-oil	400

Tabla IV. Temperatura de encendido de los principales combustibles³

³ Edoardo Capello., Tecnología de la fundición, Ed. Gustavo Pili, Barcelona, 1971.

En el caso de combustibles líquidos se utiliza usualmente el punto de inflamación, que es normalmente de 20 a 60 °C inferior a la temperatura de ignición.⁴

Cuando se alcanza el punto de inflamación el combustible empieza a arder al contacto de su superficie con una llama, pero la combustión termina al retirar la llama ya que el calor desprendido en la zona inicial no se transmite con bastante rapidez a las zonas inmediatas, y no se alcanza en ellos la temperatura de ignición

La **temperatura de ignición** se utiliza como fundamento para determinar, la temperatura máxima a alcanzar el combustible en su almacenamiento y transporte, así como la temperatura mínima a la que se debe mantener todos los puntos de la cámara de combustión.

La **inflamabilidad** obedece a la velocidad de propagación de la llama ya que la misma a su vez está relacionada con las condiciones de propagación del calor a través de la mezcla, que es mayor cuando aumenta la temperatura de la llama.

La mezcla estequiométrica combustible - comburente es siempre inflamable pues da una llama de temperatura bastante alta como para calentar las zonas contiguas hasta la ignición.

Si se diluye la mezcla por adición de un componente inerte, la temperatura de llama desciende y llega a un instante en que no hay propagación, existiendo dos composiciones límite de la mezcla que encierran el intervalo de inflamabilidad.

Estas composiciones límite dependen por otra parte, de las condiciones externas:

- presión
- geometría de la cámara de combustión.

Además de estos límites de inflamabilidad existe un campo de temperatura de la llama, definido también por una temperatura máxima y otra mínima, coincidentes con los puntos final e inicial del encendido de la llama respectivamente, a las que pueden encontrarse los gases que intervienen en la combustión.

⁴ Idea., Combustibles y su combustión, pág. 48.

Existen igualmente límites de presión que definen el intervalo de presiones dentro del que puede existir una llama. El límite inferior está por debajo de 133.3 [Pa] absolutos y se ha comprobado que las llamas tienden a extinguirse.

El límite superior es de difícil determinación debido a la peligrosidad de la mezcla a altas presiones. Ahora se puede decir que el límite superior está por encima de los 9.8 [GPa] ⁵

1.8 TEMPERATURA DE LA LLAMA

Es aquella con la que salen los productos de la combustión al terminar el proceso, dependiendo de ciertos factores tales como:

- Exceso de aire en el proceso
- Pérdidas de calor hacia el exterior e la cámara de combustión
- Eficiencia del proceso

La temperatura máxima se obtiene cuando la combustión es completa, es decir cuando más se aproxima a la teórica sin ningún exceso de comburente ni de combustible. Cada combustible tiene una determinada temperatura teórica de llama y debe ser mayor a la temperatura del metal que se va a fundir.

La temperatura de la llama de un determinado combustible depende de las condiciones experimentales utilizadas pudiéndose indicar que tienen una influencia determinante el poder calórico del combustible y su composición, el tipo de comburente y la velocidad total de la combustión (función de la reactividad del combustible, de la forma y eficiencia del sistema de combustión, y de la temperatura inicial de los reactivos).

⁵ Idea., Combustibles y su combustión, pág. 49

1.8.1 TEMPERATURA ADIABÁTICA DE LA LLAMA

Se denomina temperatura teórica de combustión, a la temperatura adiabática de combustión o temperatura de combustión calorimétrica a la que se obtendría en una combustión estequiométrica con una mezcla completamente homogénea y en un pequeño lapso de tiempo siendo esta temperatura la máxima que se puede alcanzar en un proceso de combustión.

Cuando el proceso de combustión se realiza de manera que no se pierde calor hacia los alrededores, la entalpía de los reactantes es igual a la entalpía* de los productos, por consiguiente, su valor es máximo debido a que toda la energía química liberada por el combustible se usa internamente para elevar la temperatura de los productos.

La temperatura real de la llama se encuentra en el rango de 48% a 75% de la temperatura adiabática calculada.⁶

1.9 MÉTODOS DE PRECALENTAMIENTO DEL AIRE

Los gases de la combustión que se desprenden de la zona de trabajo de los hornos, llevan consigo una gran cantidad de calor. Mientras más elevada sea la temperatura, mayor será la pérdida de calor a través de los gases de la combustión.

El método más efectivo para disminuir las pérdidas de calor en los gases que se desprenden del horno es mediante el calentamiento del aire y a veces del combustible antes de entrar en el proceso de combustión, utilizando para esto los mismos gases desprendidos y logrando el aumento de la temperatura de precalentamiento del aire, este aumento de la temperatura del horno da como resultado mayor productividad del mismo y se produce un ahorro de combustible.

* Magnitud termodinámica de un cuerpo, igual a la suma de su energía interna más el producto de su volumen por la presión exterior.

⁶ Reinhard Schuhman Jr., Ingeniería Metalúrgica, Tomo I, pág. 135 .

Para garantizar el precalentamiento del aire se emplean intercambiadores de calor como:

- Los recuperadores, y
- Los regeneradores.

➤ **Recuperadores**

Son intercambiadores de calor de acción continua, por donde circulan los gases calientes, el aire o el combustible por diferentes tabiques, a través de los cuales se transmite el calor.

Los recuperadores se construyen metálicos y de materiales cerámicos; los más utilizados son los metálicos, los que garantizan mayor tiempo de explotación, calentamiento suficientemente elevado del aire o combustible y es una construcción sencilla.

Se clasifican por:

a. La forma como fluyen los fluidos en el recuperador

- Recuperadores con flujo paralelo
- Recuperador de contra flujo.
- Recuperador con flujo cruzado.
- Recuperador con flujo mezclados.

b. El modo de transferencia de calor

- Recuperadores de radiación
- Recuperadores de convección
- Recuperadores combinados de convección – radiación.

c. El material empleado

- Metálicos
- Cerámicos

➤ **Regeneradores**

Son intercambiadores de calor de tipo regenerativo, contiene elementos almacenadores de calor que alternativamente absorben calor de los gases calientes de la combustión y lo ceden al aire frío.

El fluido caliente fluye a través del mismo espacio seguido de un frío en forma alternada con la menor mezcla física que sea posible entre las dos corrientes, la superficie que alternativamente recibe y luego libera la energía térmica es muy importante en este dispositivo.

Hay en uso dos tipos de regeneradores:

- a. Regeneradores de elemento movable, con flujo de gas continuo
- b. Regeneradores de elemento estacionario con flujo de gas intermitente.

De los dos métodos de precalentamiento de aire mencionados consideraremos el uso de intercambiadores de calor con **recuperadores** y de su clasificación nos basamos en la forma como actúan los fluidos en el recuperador. Obteniendo así la siguiente clasificación junto con la ilustración de la figura 4 sobre los tipos de recuperadores.

1. Recuperadores con flujo paralelo
2. Recuperador de contra flujo.
3. Recuperador con flujo cruzado.
4. Recuperador con flujo mezclados

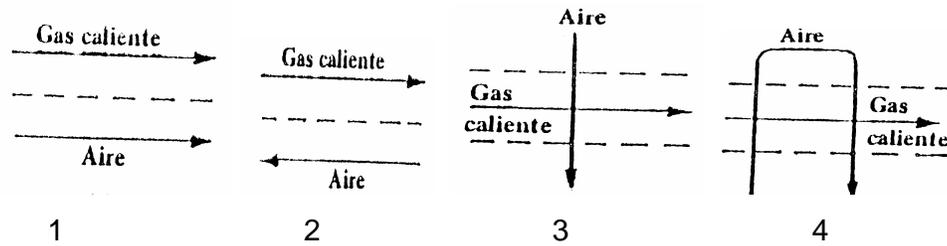


Fig. 4 Tipos de recuperadores

De esta clasificación tomaremos en cuenta los RECUPERADORES CON FLUJO PARALELO, este caso ocurre cuando los dos fluidos se mueven en el mismo sentido tal como se indica en la figura 1. Es el más sencillo de los casos de movimiento.

En este caso los gases calientes y el aire se encuentran divididos por una pared y circulan paralelos en el mismo sentido. Durante el movimiento a lo largo de la superficie de la pared del recuperador los gases calientes van disminuyendo su temperatura y la del aire aumenta. La figura 5 esquematiza el flujo en el recuperador junto con la cámara refractaria.

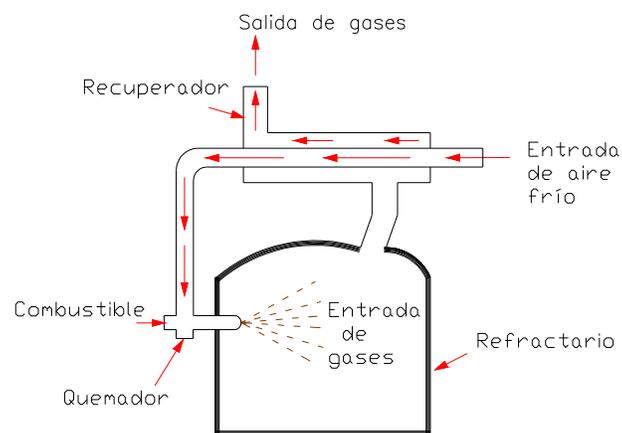


Fig. 5. Recuperador con flujo paralelo

1.10 ENRIQUECIMIENTO DE AIRE CON OXÍGENO

Radica en incrementar la relación de oxígeno en el aire que abastece al quemador, denominándose de aire enriquecido. Consiguiendo de esta manera elevar la temperatura adiabática de la llama.

Se debe tomar en cuenta ciertas precauciones al momento de utilizar este método para evitar:

- Deterioro de los equipos → incremento de temperatura de trabajo.

La figura 6 nos enseña el incremento de la temperatura adiabática con el aumento de enriquecimiento del aire con oxígeno, cuando no se utiliza un excedente de aire y cuando hay un excedente de aire del 10 al 20%.

Como podemos observar en la figura 6 los porcentajes se pronuncian en función de la masa de aire.

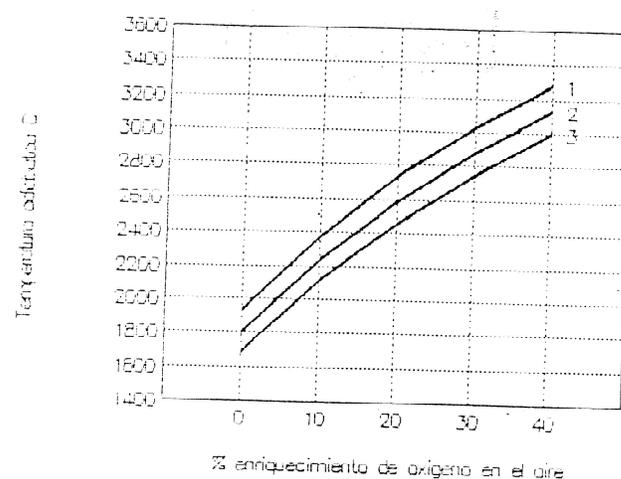


Fig.6 Temperatura adiabática [°C.] en función del porcentaje de enriquecimiento de aire con oxígeno

- Curva 1 → sin abundancia de aire
- Curva 2 → con 10% de exceso de aire
- Curva 3 → con 20% de aire

Las siguientes figuras (6a y 6b) se presentan las mismas reacciones tomando en cuenta las máximas y mínimas temperaturas reales respectivamente.

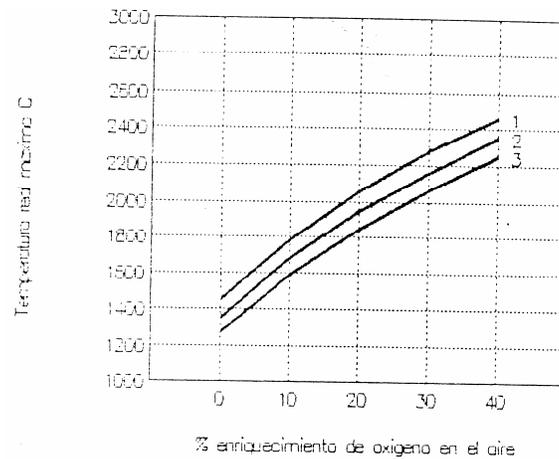


Fig.6a Temperatura real máxima [°C.] en función del porcentaje de enriquecimiento de aire con oxígeno

- Curva 1 → sin abundancia de aire
- Curva 2 → con 10% de exceso de aire
- Curva 3 → con 20% de exceso de aire

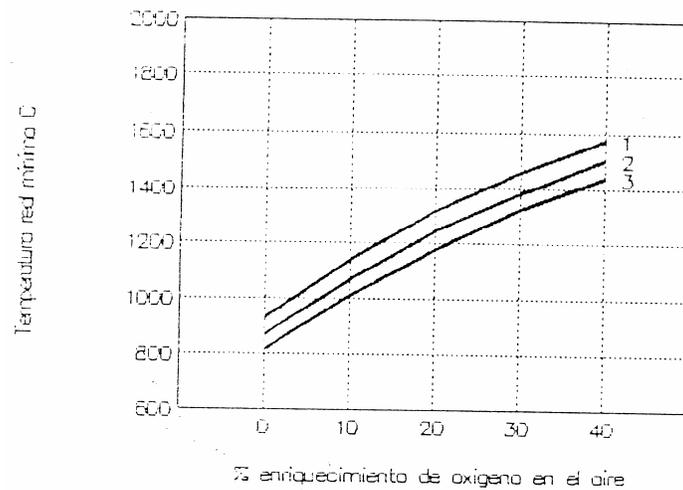


Fig.6b Temperatura real mínima [°C.] en función del porcentaje de enriquecimiento de aire con oxígeno.

- Curva 1 —> sin abundancia de aire
- Curva 2 —> con 10% de exceso de aire
- Curva 3 —> con 20% de exceso de aire

El 79% de nitrógeno que se encuentra en el aire que se utiliza en el proceso de la combustión no reaccionan en hornos, los cuales son calentados con combustibles saliendo una gran cantidad de este aire por la chimenea. La poca cantidad de nitrógeno que circula en el sistema de combustión se da por el enriquecimiento del aire con oxígeno ocurriendo una sustitución de aire de combustión por oxígeno puro.

Se obtiene un mejor resultado reemplazando todo el aire con oxígeno desde un 21 a 30% pero este reemplazo resulta muy costoso.

OXÍGENO —> Incremento de la temperatura de la llama

PRODUCE

- > Incremento de la temperatura del metal fundido
- > Regulación de la temperatura del metal fundido con la variación del caudal del oxígeno
- > Disminución de la cantidad de aire para la combustión
- > Disminución de productos de combustión por chimenea
- > Mejora el en rendimiento de la combustión
- > Disminución del consumo de combustible

CAPÍTULO II

2. QUEMADORES

2.1 REQUISITOS PARA UNA COMBUSTIÓN COMPLETA

El propósito de toda combustión completa es quemar totalmente todos los elementos oxidables del combustible.

Los requisitos para una combustión completa son:

- a. Control de la relación aire –combustible, el asegurar una adecuada relación aire-combustible se traduce en un mayor rendimiento y como consecuencia, en un ahorro de combustible, evitando la presencia de gases combustibles y no quemados sólidos en los productos de la combustión.

Por lo tanto para tener una adecuada relación aire-combustible se debe controlar el exceso de aire, para un flujo de combustible dado.

- b. El suministro de aire debe ser de tal que se obtenga una mezcla con el combustible, para lo cual la turbulencia del aire es importante.

La turbulencia es consecuencia de la diferencia entre las velocidades del aire y del combustible. Las variaciones de la turbulencia son producto de los cambios en la presión del combustible. La presión del combustible es controlada por el quemador.

- c. La atomización del combustible debe ser lo más fina posible. Esto no se podría producir sin una previa preparación del combustible tendiente a conseguir la subdivisión en partículas del tamaño más reducido como sea posible.

Este proceso se lo conoce como atomización, el cual se lo consigue con ayuda del quemador.

La atomización consiste en disgregar las partículas del combustible es decir dividir las gotas del mismo en partes sumamente pequeñas, también conocido este proceso como pulverización. Generalmente el diámetro de estas gotas se encuentra en un rango de 10 y 200 micras⁷, también pueden ser gotas con un mayor espesor.

La atomización es correcta cuando permite una mezcla más homogénea del aire con el combustible.

Los factores que intervienen en la atomización de un líquido son:

- Velocidad: A mayor velocidad relativa entre el aire y el combustible, más fina será la atomización.
- Viscosidad: Propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas, esta propiedad se opone a la deformación y a la división en pequeñas gotas del líquido ya que cuando poseen una alta viscosidad es necesario precalentarlos para disminuir la misma, y mejorar su atomización.
- Tensión superficial de los líquidos: A medida que incrementa el coeficiente de la tensión superficial aumenta el tamaño de las gotas en la atomización, y el coeficiente de tensión superficial disminuye al aumentar la temperatura.

d. Para la combustión, el aire y el combustible deben encontrarse a una temperatura superior al punto de ignición que es a la temperatura por encima de la cual la combustión una vez iniciada se mantiene por si misma y por debajo de esta no tiene lugar.

e. Debe proporcionarse el tiempo necesario para que se produzca la combustión.

⁷ Idea., Combustibles y su combustión, pág. 48

f. Efectos tales como la suciedad y el desgaste de la boquilla del quemador por productos abrasivos del combustible y anomalías en el suministro de aire reducen la eficiencia de la combustión.

2.1.1 SELECCIÓN DEL COMBUSTIBLE

Se debe analizar las reacciones de combustión, utilizando como combustible el **diesel** y como su comburente el oxígeno del **aire**, dentro de este estudio presentamos las características de los mencionados anteriormente.

➤ **Diesel**

Es un combustible que proporciona energía calorífica que se emplea para nuestro proceso de fusión del metal, este es un combustible líquido derivado del petróleo.

Para construir del horno basculante se determina el uso del combustible diesel N° 2 premium debido a:

- Disponibilidad del combustible en el mercado nacional
- Costo
- Facilidad de transporte y almacenamiento
- Capacidad para el control de la combustión
- Facilidad de manejo.

Diesel Ecológico "PREMIUM" ⁸

(Diesel N°2 de bajo contenido de azufre para uso automotriz).

El diesel ecológico Premium es un combustible obtenido de la destilación primaria del petróleo. Es un destilado medio que se encuentra entre el keroseno y el aceite lubricante. Sus componentes elementales son el carbono, el hidrógeno y el

⁸ INEN 1489:99., Productos Derivados del Petróleo Diesel Requisitos; cuarta revisión; Quito 1999-2006

azufre. El producto ecológico tiene un máximo de 0.05% de azufre. Esta característica cumple con la Ordenanza Municipal que prohíbe el expendio de diesel que esté fuera de las especificaciones de la Norma **INEN 1489**. La tabla V señala las características del Diesel Premium seleccionado.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método Ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1047
Agua y sedimento	% en volumen	-	0.05	NTE INEN1494
Residuos carbonoso sobre el 10 % del residuo de la destilación	% en peso	-	0.15	NTE INEN 1491
Cenizas	% en peso	-	0.01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90 %	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37.8 °C	cSt	2.5	6.0	NTE INEN 810
Azufre	% en peso	-	0.05	NTE INEN 1490 ASTM D 42 94
Corrosión a la lámina de cobre	-	-	N°3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45 50		NTE INEN 1495

Tabla V. Características del Diesel Premium

Ventajas del uso del producto.

El menor porcentaje en peso de contenido de azufre en el diesel Premium reduce las emisiones gaseosas tóxicas como el dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre, (SO₃); gases que cuando entran en contacto con el agua, H₂O, forman la llamada lluvia ácida", cuyo efecto es tóxico y nocivo para los ecosistemas. Disminuye el efecto corrosivo en los motores y accesorios metálicos de los vehículos, aumentando la vida útil de los mismos y mejora la calidad del aire.

Usos

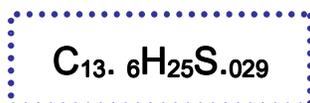
El Diesel Premium es utilizado en vehículos, que por regulaciones ambientales de control de emisiones, los motores están diseñados para funcionar con combustibles con muy bajo contenido de azufre.

La composición media del combustible diesel ecuatoriano está indicada en la tabla VI.⁹

Carbono	81.8%
Hidrógeno	12.5%
Azufre	0.5%
Elementos no combustibles	5.2%
El poder calórico inferior es de 41851 [KJ / K]	
Gravedad específica 33.7 [API]	

Tabla VI. Composición media del combustible diesel ecuatoriano

De acuerdo a esta composición la ecuación química del combustible diesel es:



⁹ Vaca A., Determinación del poder calórico de combustibles livianos y pesados en el Ecuador . Tesis, U.C., pág. 78-79

➤ **Aire**

Es una mezcla gaseosa incolora e inodora que llena todos los espacios ordinariamente considerados como vacíos.

En la tabla VII podemos observar los elementos que componen el aire tomando en cuenta que solo el nitrógeno y el oxígeno se encuentran en grandes proporciones como se explica más adelante:

ELEMENTOS DEL AIRE
Nitrógeno
Oxígeno
Anhídrido carbónico
Argón
Neón
Helio
Criptón
Xenón
Hidrógeno
Óxidos de nitrógeno

Tabla VII. Elementos del aire

Según las circunstancias meteorológicas y geográficas pueden manifestarse otros elementos tales como: monóxidos de carbono, anhídrido sulfuroso, hidrocarburos ligeros, ozono, vapor de agua y partículas de polvo.

Para procesos de combustión se desprecian todos los gases inertes presentes en el aire, es decir, se considera al aire formado solamente por sus dos principales elementos indicados en la tabla VIII:

OXÍGENO	21% en volumen
NITRÓGENO	79% en volumen

Tabla VIII. Porcentaje de los principales elementos del aire

Al momento de considerar de esta manera al nitrógeno se lo denomina nitrógeno atmosférico considerándole un peso molecular de 28.16 y no de 28.016 que es su peso real, pero de esta manera compensa el haber despreciado a los otros elementos.

El aire teórico es la cantidad mínima de aire capaz de proporcionar el oxígeno suficiente para una combustión completa del carbono, hidrógeno entre otros elementos en el combustible que son susceptibles a ser oxidados. Se puede decir que en una combustión completa no puede haber oxígeno entre los productos de la combustión, pero en la práctica no es posible una combustión totalmente completa solo si se emplea una cantidad de aire mayor a la teórica.

En procesos de combustión es necesario una mayor cantidad de aire, que la cantidad teórica de aire, para lograr una combustión completa.

Cuando la cantidad de aire suministrada en una combustión es menor que el aire teórico necesario, la combustión es incompleta, formando monóxido de carbono CO en lugar de dióxido de carbono CO₂. El exceso de aire recomendado para combustibles líquidos es del 5 al 20 % es decir del 1.05 al 1.2 del aire teórico¹⁰.

2.2 DEFINICIÓN DE QUEMADORES

Una de las condiciones para garantizar la combustión completa de cualquier combustible es lograr una mezcla homogénea entre el combustible y el aire. Además, para producir una rápida inflamación del combustible y la más alta temperatura de combustión es necesario también lograr una correcta dosificación del oxígeno o del aire, así como una adecuada atomización del mismo. Para tales fines se utilizan los dispositivos denominados **quemadores**.

Cuando estos quemadores no producen una correcta atomización del combustible, el proceso de inflamación es muy lento o no se produce, esto pro-

¹⁰ Faires V., Termodinámica, pág.582

voca una disminución en la temperatura de la llama obtenida, pues parte del calor se emplea en calentar el aire excesivo de la mezcla.

Después de lograr el encendido en un quemador es preciso mantener la estabilidad de la llama. Sino es así, la combustión podrá extinguirse o dar como resultado varias pulsaciones que dañen los equipos del horno. En los casos extremos se puede producir explosiones con efectos desastrosos.

Para mantener la estabilidad de la llama en un punto es necesario que la velocidad de los gases se iguale a la velocidad de propagación de la llama este es el caso de los quemadores.¹¹

Los problemas frecuentes de estabilidad de la llama puede atribuir al sistema de transporte de combustible o al sistema de alimentación del aire donde se puede originar variaciones transitorias en la relación de aire - combustible, incluso cuando las condiciones promedio son favorables.

Las condiciones básicas que deben reunir un quemador son:

- Margen de regulación, índice de la relación entre caudal máximo y mínimo de combustible que gasta un quemador, debe ser adecuado a las necesidades del proceso. Debe existir la estabilidad en un quemador definiendo ésta como la capacidad de mantener la llama dentro de los límites de sus campos de regulación.
- Debe poder controlarse la forma y dimensiones de la llama, que vienen determinadas fundamentalmente por la potencia del quemador.
- Debe seleccionarse de acuerdo con la cámara de combustión.

¹¹ Idea., Combustibles y su combustión , pág. 48

2.3 TIPOS DE QUEMADORES

Por todo lo mencionado es imprescindible en la práctica hacer una correcta selección del tipo de quemador, tomando en cuenta el combustible a utilizar, así como la temperatura a obtener. El estado del quemador es muy importante.

En nuestro caso estudiaremos los quemadores para combustibles líquidos debido a que el combustible seleccionado es el diesel.

Existe gran variedad de quemadores para combustibles líquidos y todos ellos se pueden clasificar en cuatro grupos principales:

1. Quemadores de baja presión de aire.
2. Quemadores de alta presión de aire o de vapor.
3. Quemadores de atomización mecánica.
4. Quemadores de copa rotativa

➤ Quemadores de baja presión de aire

A este grupo pertenecen aquellos quemadores que están diseñados generalmente para trabajar el aire suministrado por los sopladores a una presión de 0.425 a 4.25 [psi]. El tipo de combustible determina la presión de aire necesario.

Al seleccionarse la presión de aire es recomendable emplear la mayor dentro de los límites establecidos, pues esto asegura una mejor atomización.

En la figura 7 representamos en forma esquemática un ejemplo de quemador de baja presión y de gran eficiencia, el cual puede emplear todo tipo de fuel-oil. La presión del combustible es de 4.25 a 21.29 [psi] y la presión del aire de 0.425 a 4.25 [psi]. Su capacidad es de 1 hasta 1 500 [l/h], según el tamaño del mismo.

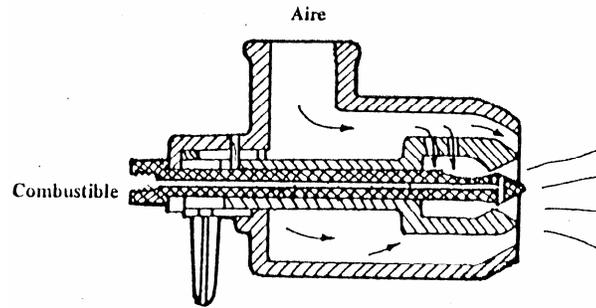


Fig. 7 Quemador de baja presión de aire

La cantidad de aire requerida para la correcta atomización del combustible y para la combustión, está afectada por varios factores que se deben tener presentes, tales como; la presión de tiro del horno, presión del aire en el quemador, tipo de combustible, temperatura máxima de la llama y el volumen de la cámara de combustión.

➤ **Quemadores de alta presión o vapor:**

Son aquellos quemadores cuya presión de aire es superior a 4.25 [psi], sin embargo algunos autores solamente consideran en este grupo a los que emplean presiones superiores a 28.38 [psi].

La cantidad de aire requerida para la atomización depende de los mismos factores señalados para los quemadores de baja presión. En algunos casos estos quemadores emplean vapor de agua en la atomización del combustible. El vapor debe ser seco si se quiere obtener buenos resultados. La figura 8 indica el esquema de este tipo de quemador

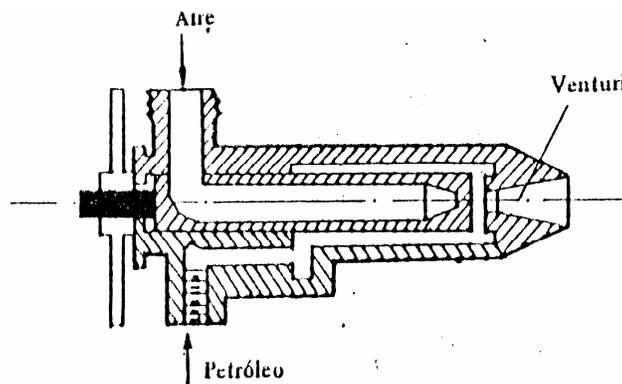


Fig. 8 Esquema de un quemador de alta presión de aire

➤ Quemadores de atomización mecánica

Estos quemadores atomizan el combustible y lo hacen pasar a altas presiones por una tabla o boquilla (diseñada especialmente), que lo hace fluir en forma de abanico cónico. Este es uno de los métodos más económicos de atomización.

La presión puede ser de 70.96 a 283.87 [psi], lo que depende del tipo de combustible empleado. Las instalaciones deben estar construidas acorde con la presión de trabajo. La figura 9 representa este tipo de quemador.

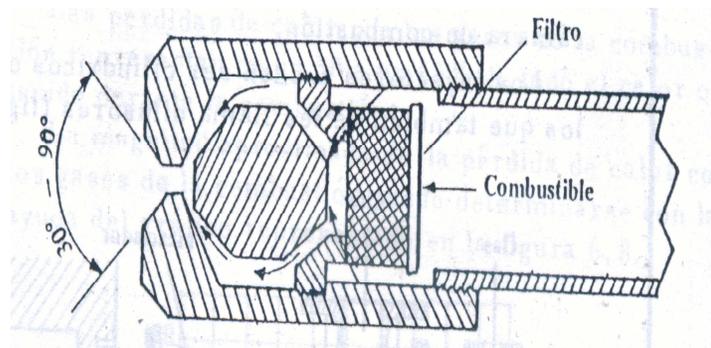


Fig.9 Esquema de un quemador de atomización mecánica

➤ Quemadores de copa rotativa

También llamados de rotación, atomizan el combustible por efectos de una copa cónica metálica que al girar a alta velocidad, expulsa el petróleo atomizado por la fuerza centrífuga.

Esta copa está unida, a través de una prolongación a un ventilador o soplador centrífuga de baja presión que suministra el aire.

Estos quemadores tienen la capacidad de acuerdo con su tamaño y varía entre los límites de 5-1000 [l/h]. La figura 10 esquematiza el quemador mencionado.

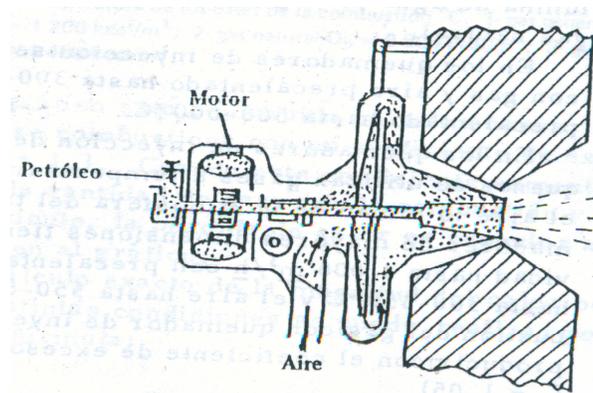


Fig. 10 Esquema de un quemador de copa rotativa

2.4 SELECCIÓN DEL QUEMADOR

De los tipos de quemadores mencionados anteriormente y considerando la necesidad de una correcta atomización del combustible a una presión que esté dentro de los límites señalados (100 a 150 [psi.]) Presentamos el quemador seleccionado y las razones por las cuales se descartan los anteriores.

1. Quemadores de baja presión de aire.- Por poseer baja presión no son adecuados para nuestros requerimientos.
2. Quemadores de alta presión de aire o de vapor.- Aún su presión sigue siendo baja a la especificada, además en el caso de emplear vapor de agua el proceso se vuelve costoso.
3. Quemadores de atomización mecánica.- Este tipo de quemador cumple con los rangos de presión especificados, además es uno de los métodos más económicos de atomización y se lo encuentra fácilmente en el mercado. De acuerdo a lo mencionado es de nuestra selección.
4. Quemadores de copa rotativa.- Este tipo de quemadores son más complejos y por ende más costosos.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO TÉCNICO DEL HORNO

INTRODUCCIÓN

Dentro del diseño técnico del horno se considera los siguientes aspectos:

- Estado inestable
- Estado estable

El estado inestable estudia el comportamiento que tienen las paredes y la carga en función del tiempo.

El estado estable comprende el dimensionamiento y selección de los materiales para la construcción del mismo.

Dentro de este capítulo solo se analiza el estado estable del horno.

3.1 ESTADO ESTABLE

En un sistema, el estado estable es la etapa en la cual las propiedades de este no varían con el tiempo. Se considera el estado estable para nuestro estudio, debido a que en este punto los espesores de las paredes del horno alcanzan su mayor temperatura.

El dimensionamiento del horno se basa en ciertos requerimientos de diseño obteniendo su división en dos sistemas:

- Físico
- Energético

El sistema físico comprende todos los elementos constituidos de la estructura del horno, mientras que el sistema energético comprende todas las energías que intervienen en el proceso.

Como se indica en la figura 11, se analiza el sistema físico que comprende:

- A. Crisol
- B. Tapa
- C. Cámara de combustión
- D. Base
- E. Pared
- F. Sistema de basculación

Además se añade en el sistema físico el quemador y la chimenea.

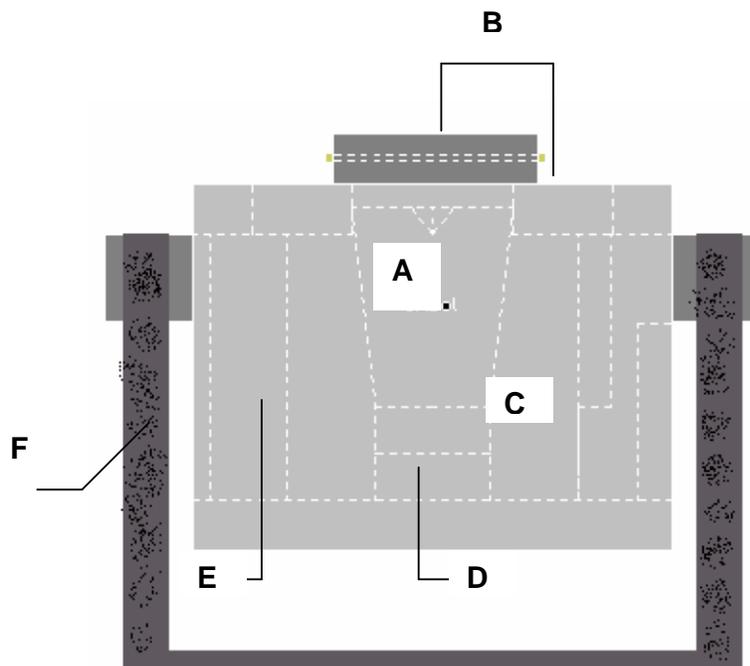


Fig.11 Esquema de un Horno de Crisol Basculante.

3.2 DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO

El dimensionamiento del horno comprende:

- Selección del crisol
- Dimensionamiento de la cámara de combustión
- Dimensionamiento de la base, pared, tapa y chimenea del horno
- Determinación de los materiales a utilizarse

3.3 SELECCIÓN DEL CRISOL

La selección del crisol se basa en:

- El tipo de aleación o metal se va a fundir
- El combustible a emplear
- El tipo de horno
- El material del crisol

3.3.1 DEFINICIÓN Y TIPOS DE CRISOLES

Crisol es el recipiente que contiene el metal líquido dentro del horno. Son vasijas en forma de taza, de material refractario, empleadas para operaciones de fusión, está rodeado por fuego y existen de diferentes tamaños, materiales y dimensiones, además para su uso deben cumplir con las siguientes características:

1. Refractarios, para resistir altas temperaturas sin cambiar sus propiedades, por lo tanto **no son quebradizos**.
2. Deben ser capaces de resistir a los cambios de temperatura bruscos.
3. No deben ser atacados ni corroídos por los materiales que se funden en ellos

Las dos primeras características dependen del material con el cual fue hecho el crisol, la tercera dependen del grano del crisol, es decir un crisol de grano grueso es menos susceptible para romperse o rajarse que un crisol de grano fino, de la misma manera se aplica al momento de calentar el crisol, es por eso que con crisoles de grano fino se debe tener mucho cuidado.

Los crisoles de grano grueso son más atacados por los fundentes y cenizas del combustible, de manera que estas dos propiedades no deben alcanzar un máximo en el mismo crisol.

En hornos basculantes el crisol va sujeto dentro del horno, ayudando de esta manera a la manipulación y a los cambios bruscos de temperatura aumentando así la vida útil del crisol.

Se usa tres tipos de crisoles:

- De arcilla, o potes blancos
- Crisoles de plombagina o lápiz plomo
- Crisoles de plombagina recocidos

Los crisoles de arcilla se construyen con varias mezclas de arcilla refractaria, pedazos molidos de crisoles, polvo de carbón.

Los crisoles de plombagina consisten en una mezcla de plombagina con arcilla suficiente para amasarse bien. Son utilizados en la fusión de metales y aleaciones siendo más refractarios y menos atacados que los crisoles de arcilla.

Los crisoles de plombagina recocida no necesitan el mismo cuidado y el gradual calentamiento que los otros. Se componen especialmente de grafito en grano grueso y se barnizan para impedir que se absorba la humedad. Estos crisoles se los puede introducir en el horno prontamente sin peligro de rajadura.

En las siguientes figuras, pueden apreciarse los crisoles de distintas casas que los producen, como son la casa Rousseau, de Argenteuil (Fig. 12) y Muller, de Ivry (Fig. 13), francesas, los americanos Dixon (Fig. 14) y los ingleses Morgan (Fig. 15).

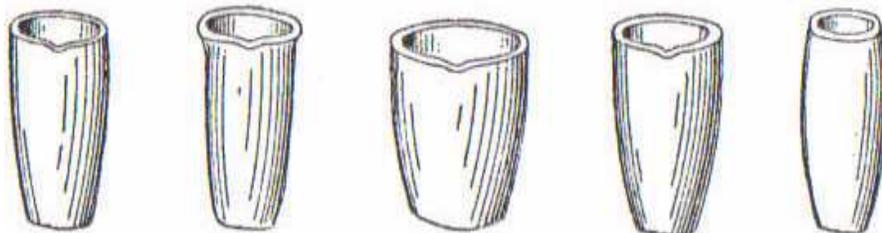


Fig. 12



Fig. 13

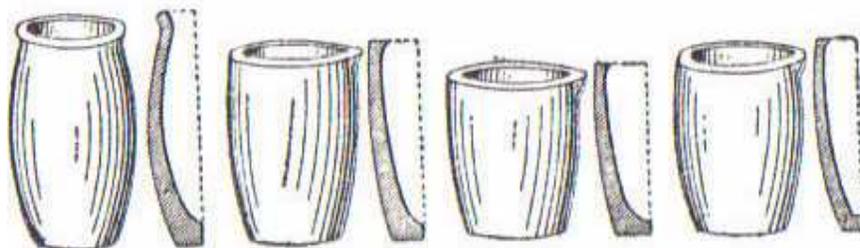


Fig. 14

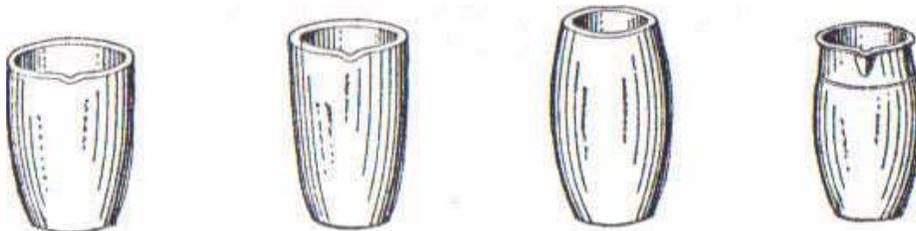


Fig. 15

Selección del crisol

Para una adecuada selección del crisol se debe conocer que tipo de aleación o metal se va a fundir, el combustible a emplear, el tipo de horno que se tiene, el material con el cual es fabricado el crisol debe presentar una excelente conductividad térmica y una buena resistencia a la acción de escorias. Además hay que considerar las necesidades de la empresa en cuanto a la capacidad de producción.

El combustible seleccionado es Diesel N°2 Premium, el tipo de metal a fundir es el cobre y sus aleaciones, la cantidad especificada por la empresa es de 150 [Kg.], y el horno es de crisol basculante.

De acuerdo a lo anterior escogemos un crisol de plumbagina recocida, principalmente por disponibilidad en el mercado nacional y por la cantidad de metal a fundir requerida por la empresa. El crisol N° 150 seleccionado cumple con estas características, además previo a la adquisición es analizado en el catálogo que se emplea por la compañía **GMBH SCHMELZTIEGELWERK**¹²

Este catálogo establece las siguientes dimensiones para el número de crisol escogido, de acuerdo a esto se procede a realizar los cálculos de la cámara de combustión y del horno en general:

- Diámetro superior: 370mm.
- Diámetro inferior: 260mm.
- Altura: 450mm.
- Espesor: 25.4mm



¹² MARS INTERNACIONAL.; Manual de comercialización de crisoles; Catálogo 2004

3.4 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO TÉCNICO DEL HORNO

Los parámetros principales que permiten establecer las dimensiones y las características del horno son los que se mencionan a continuación en la tabla IX:

Carga a fundir	Metal → Cobre Cantidad → 150 [Kg.]
Temperatura de fusión	1083 °C
Temperatura de sobrecalentamiento	1200°C
Tiempo de fusión	2 hora 45 minutos
Tipo de crisol	Nº 150 de plombagina recocida
Tipo de horno	Basculante Tipo de combustible: diesel N°2 premium Ángulo de giro : 100° Altura del piso al conducto de colado cuando éste ha girado los 100°: 50 cm
Mecanismo de basculación	Tecele de 2 Toneladas

Tabla IX Parámetros para el diseño técnico del horno

3.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Para el dimensionamiento de la cámara de combustión se utiliza el método de Trinks. Todo el dimensionamiento se basa de acuerdo a los diámetros del crisol establecidos y manteniendo un espacio de 147 [mm] a cada lado de la pared, de manera que circule la llama con total facilidad; para realizar los cálculos se debe considerar lo siguiente:

DATOS

$$m = 150 \text{ [Kg]}$$

$$n = 20 \% = 0.2$$

$$T^{\circ} f = 1083 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$T^{\circ} = 20 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

Donde:

m = masa

n = rendimiento del horno

$T^{\circ} f$ = temperatura de fusión del Cu

T° = temperatura ambiente.

➤ **Calor total : $Q_T = Q_n / n$**

Es la energía total a suministrarse a la carga y al crisol.

Q_T = calor total

Q_n = calor para fundir y recalentar el metal

Q_s = calor necesario para calentar el metal hasta la temperatura para fundirse

Q_f = calor para fundir

Q_R = calor de recalentamiento

C_s = calor específico para calentar el metal

ΔT° = diferencia de temperatura

C_L = calor latente

C_{Li} = calor líquido

$$Q_n = Q_s + Q_f + Q_R$$

$$Q_n = m (C_s \Delta T^\circ + C_L + C_{Li} \Delta T^\circ)$$

$$Q_n = 150 \text{ [Kg.]} \times (0.094 \text{ [Kcal]/[Kg.}^\circ\text{C]} \times (1083 - 20)^\circ\text{C} + 43 \text{ [Kcal]/[Kg.]} +$$

$$0.156 \text{ [Kcal]/[Kg.}^\circ\text{C]} \times (1500 - 1083)^\circ\text{C})$$

$$Q_n = 31196.1 \text{ [Kcal]}$$

$$Q_T = Q_n / n$$

$$Q_T = 31196.1 \text{ [kcal]} / 0.2$$

$$Q_T = 155980.5 \text{ [Kcal.]}$$

➤ Poder calorífico del combustible

Se entiende por poder calorífico de un combustible, la cantidad de calor producida por la combustión. Para el diesel se considera: 9820 [Kcal / Kg.]

$$9820 \text{ [Kcal]} \quad \text{[Kg.]}$$

$$155980.5 \text{ [Kcal]} \quad \times$$

$$X_{\text{DIESEL}} = 15.88396 \text{ [Kg.]} = \mathbf{15883.96 \text{ [gr.]}}$$

$$\delta_{\text{DIESEL}} \approx 0.81 \text{ [gr / cm}^3\text{]}$$

$$0.81 \text{ [gr.]} \quad \text{[cm}^3\text{]}$$

$$15883.96 \text{ [gr.]} \quad \text{X}$$

$$\text{X cm}^3 = 19609.82877 \text{ [cm}^3\text{]}$$

La carga del crisol es de 150 [Kg.] y su peso es de 31.5 [Kg.]. Tomando en consideración las dimensiones del crisol establecidas en el catálogo, realizamos un esquema de la cámara de combustión y crisol como ilustra la figura 16.

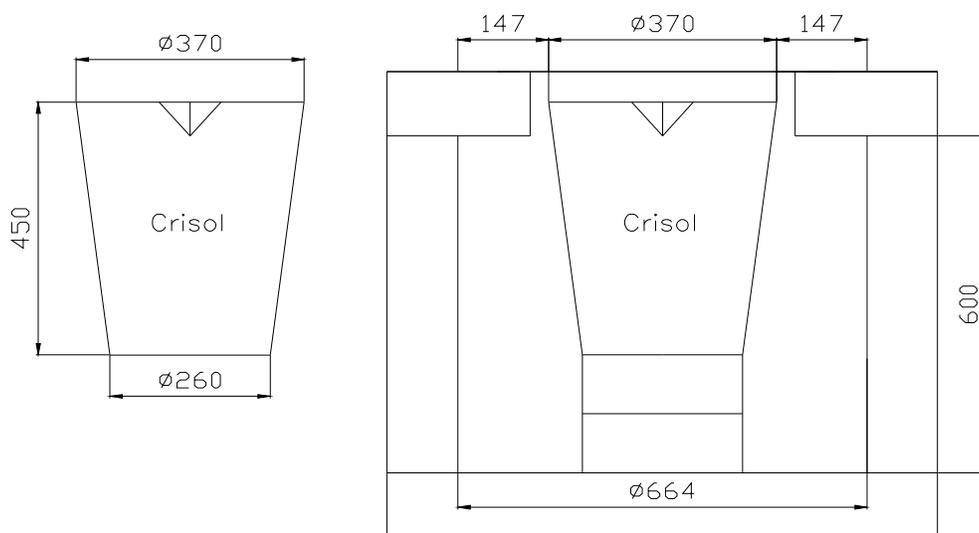


Fig. 16. Esquema de la cámara de combustión y crisol (medidas en mm.)

$$\emptyset \text{ cámara} = 0.664 \text{ [m]} ; r = 0.332 \text{ [m]} ; h = 0.6 \text{ [m]}$$

$$\emptyset \text{ mayor del crisol} = 0.370 \text{ [m]} ; R = 0.185 \text{ [m]}$$

$$\emptyset \text{ menor del crisol} = 0.260 \text{ [m]} ; r = 0.130 \text{ [m]} ; h = 0.450 \text{ [m]}$$

➤ **Determinar el peso**

El peso a calentarse corresponde la suma del peso del metal correspondiente a la carga, más el peso del crisol.

P_c = peso total

P_{cr} = peso del crisol

P_M = peso del metal

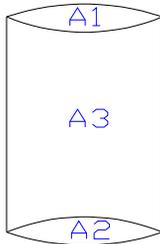
$$P_c = P_{cr} + P_M$$

$$P_c = (31.5 + 150) \text{ [Kg.]}$$

$$P_c = 181.5 \text{ [Kg.]}$$

➤ **Área a calentarse: A_c**

Corresponde al área interna de la cámara de combustión.



$$A_1 = A_2$$

$$A_1 = 2 \pi r^2 = 2 * \pi * (0.332)^2$$

$$A_3 = 2 \pi r h = 2 \pi (0.332)(0.6)$$

$$\{A_1 - A_{\text{crisol}}\} = \{2 * \pi * (0.332)^2 - [(0.37 + 0.26) / 2] * 0.45\}$$

$$A_c = A_1 + A_3 + \{A_1 - A_{\text{crisol}}\}$$

$$A_c = 2.494976148 \text{ [m}^2\text{]}$$

➤ **Capacidad de calentamiento : R_f ($t = 2.75$ horas)**

Se expresa como el peso del metal que puede alcanzarse en una unidad de tiempo a una determinada temperatura.

Pc = peso del crisol

h = tiempo

Ac = área a calentar

$$R_f = \frac{P_c}{h \times A_c}$$

$$R_f = \frac{181.5[\text{Kg.}]}{2.75 [\text{h}] \times 2.494976148[\text{m}^2]}$$

$$R_f = 26.4550 \text{ [Kcal / Kg.]}$$

➤ **Energía a suministrar por unidad de peso : Eup**

Es el calor que debe entregarse a la carga y al crisol para elevar la temperatura desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de sobrecalentamiento (1200 °C).

$$E_{up} = \frac{Q_T}{P_c}$$

$$E_{up} = \frac{155980.5 \text{ [Kcal]}}{181.5 \text{ [Kg.]}}$$

$$E_{up} = 859.3966 \text{ [Kcal / Kg.]}$$

➤ **Flujo de calor por área : F_1**

Es el producto entre la capacidad de calentamiento y la energía por kilogramo, nos da lugar al calor por unidad de área.

$$F_1 = R_f \times E_{up}$$

$$F_1 = \frac{26.45315889 \text{ [Kg.]}}{[\text{h} \times \text{m}^2]} \times \frac{859.3966 \text{ [Kcal]}}{[\text{Kg.}]} \times \frac{1 \text{ [h]}}{3600 \text{ [s]}}$$

$$F_1 = 6.3149318 \text{ [Kcal / m}^2 \times \text{s]}$$

➤ **Condición de Trinks. (Tercera condición)**

Trinks sugiere el valor de 88.97 [Kcal / m³ x s].¹³

Es el cociente de dividir el valor de calor por unidad de área, con la constante de Trinks indica la relación de volumen con un área.

$$\frac{6.3149318 \text{ [Kcal / [m}^2 \times \text{seg.]}}{88.97 \text{ [Kcal / m}^3 \times \text{seg.]}} = 0.0709782 \text{ [m}^3 \text{ / m}^2\text{]}$$

$$0.0709782 \text{ [m}^3\text{]} \quad [\text{m}^2]$$

$$\times \quad [2.494976148 \text{ m}^2]$$

$$X = 0.1770889563 \text{ [m}^3\text{]} \quad (t = 2.75 \text{ horas} = 2 \text{ h } 45 \text{ min.})$$

¹³ Trinks W., Hornos Industriales ; Ed. Urma, 1975; pág 66.

Por la condición de Trinks se puede decir que el volumen por una determinada área nos da para este cálculo $0.07097 \text{ [m}^3\text{]}$ que ingresan por cada $\text{[m}^2\text{]}$.

Se observa que se tiene un área a calentar de $2.4948 \text{ [m}^2\text{]}$ de tal manera que se necesita $0.17708 \text{ [m}^3\text{]}$.

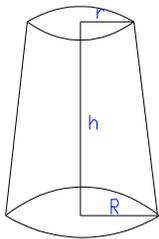
➤ **Volumen de la cámara**

Volumen físico de la cámara de combustión: es el espacio comprendido entre el crisol y la pared del horno, que permite la combustión.

Horno: $V_H = \pi r^2 h = \pi (0.332)^2 \times 0.6$

$$V_H = 0.2077673452 \text{ [m}^3\text{]}$$

Crisol:



$$V \text{ crisol} = \frac{\pi h (R^2 + r^2 + R \times r)}{3}$$

$$V \text{ crisol} = \frac{\pi \times 0.45 (0.185^2 + 0.13^2 + 0.185 \times 0.13)}{3}$$

$$V \text{ crisol} = 0.03542538 \text{ [m}^3\text{]}$$

V = volumen de la cámara

V_H = volumen del horno

V_{cr} = volumen del crisol

$$V = V_H - V_{cr}$$

$$V = 0.172342061 \text{ [m}^3\text{]}$$

Las dimensiones de la cámara de combustión quedan determinadas cuando se iguala el volumen físico de la cámara de combustión y el volumen calculado de la cámara de combustión, en este caso los valores tienen una diferencia mínima por lo que se adoptan las medidas.

Las dimensiones seleccionadas para la cámara de combustión son:

Diámetro de la cámara: $D_c = 664$ [mm]

Altura de la cámara: $L_c = 600$ [mm]

3.6 DIMENSIONAMIENTO DE LA PARED, TAPA Y BASE DEL HORNO

Para dimensionar la tapa, base y pared del horno se consideran las temperaturas a más de las medidas del horno que intervienen en este proceso como indica la figura 17.

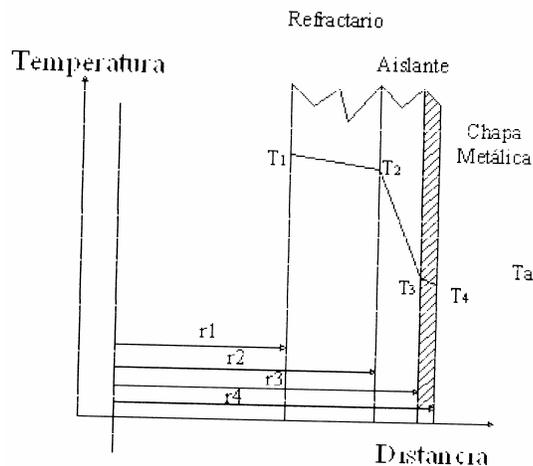


Fig.17. Temperaturas en los diferentes componentes del horno

T_1 = temperatura de la pared interior del horno [°C]

T_2 = temperatura del refractario con la capa aislante [°C]

T_3 = temperatura de la pared aislante y la chapa metálica [°C]

T_4 = temperatura exterior del horno [°C]

Ta = temperatura ambiente [°C]

r1 = radio interior del horno

r2 = radio de del refractario y la capa aislante

r3 = radio de la capa aislante y la chapa aislante

r4 = radio exterior del horno

Aquí hay una transferencia de calor por conducción en estado estacionario.

La conducción es considerada como la transferencia de energía, de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia de acuerdo a la manera que interactúen.

Para el dimensionamiento se considera el flujo de calor a través de las paredes, tapa, y base del horno, el mismo se encuentra en el ambiente a más que debe de cumplir con la relación que se muestra a continuación.

$$Q = Q_{\text{refr}} + Q_{\text{aisl}} + Q_{\text{Chm}} + Q_{\text{amb}}$$

Q refr = flujo de calor a través del ladrillo refractario

Q aisl = flujo de calor a través de la capa aislante

Q chm = flujo de calor a través de la chapa metálica

Q amb = flujo de calor que sale al medio ambiente

Los espesores en paredes cilíndricas perciben gradientes* de temperatura en dirección radial unidimensional.

De acuerdo a resistencias eléctricas se tiene¹⁴:

* Gradiente: Razón entre la variación del valor de una magnitud en dos puntos próximos y la distancia que los separa.

¹⁴ Rosero B; Diseño de un Horno de Crisol Basculante para el Laboratorio de Fundición del Departamento de Materiales de la Escuela Politécnica Nacional; Tesis; 2005

$$\frac{T_1 - T_4}{\frac{1}{2\pi l} \left(\frac{r_2}{K_{refr}} + \frac{r_3}{K_{aisl}} + \frac{r_4}{K_{chap}} \right)} = \frac{T_4 - T_a}{\frac{1}{2\pi r_4 l (h_c + h_r)}}$$

Considerando que:

hr = coeficiente de transferencia por radiación

hc = coeficiente de transferencia por convección

K = conductividad térmica característica del material

l = altura del horno

Desarrollando la ecuación anterior y tomando como referencia la tesis adjunta en el pie de página se obtiene los siguientes resultados representados en la tabla X:

Pared Cilíndrica del horno								
Espesor	Espesor	Espesor	T	T	T	T	Flujo de Calor	Diferencia entre las paredes y ambiente
Refractario	Aislante.	Chapa Metálica.	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	W	W
(m)	(m)	(m)	°C	°C	°C	°C		
0.249	0.068	0.004	1200	954.6	80.03	80	836.01	0.92
0.21	0.05	0.004	1200	943	100.04	100	984.5	3.9
0.116	0.049	0.004	1200	1056.48	110.05	110	922.99	0.78
0.135	0.04	0.004	1200	1003.11	120.06	120	1044.8	42.07

Tabla X. Hoja de cálculos de la pared cilíndrica del horno

Se utiliza los valores de la tabla X, denotando que en la tesis de referencia se utiliza como aislante Manta Cerámica con una conductividad térmica de 0.091 [W / m -°C] y en el caso de el horno que se está analizando se utiliza como aislante Diatomita con una conductividad térmica de 0.093 [W / m -°C], por lo tanto se concluye que la diferencia es mínima y no existe mayor cambio en la temperatura final (T4).

Por consiguiente se utiliza la opción tres:

	Tabla [m]	Datos Pared [m]	Datos Tapa [m]	Datos Base [m]
Esesor de la capa refractaria →	0.116	0.114	—	—
Esesor de la capa aislante →	0.049	0.040	—	—
Esesor de la chapa metálica →	0.004	0.003	0.003	0.003

Para determinar el espesor de la chimenea se considera que está localizada en el interior del horno y por este motivo se encuentra sometido a temperaturas elevadas, es así que se usa un material refractario y aislante al mismo tiempo como el cóncrax 1700, en un espesor de 0.214 [m]; aquí se determina un espesor mayor ya que es por donde circulan y se evacuan los gases de la combustión que se encuentran en el interior del horno.

3.7 DETERMINACIÓN DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE

La base, pared y tapa del horno tienen funciones principales que son: evitar las pérdidas de calor al exterior y conducir las llamas procedentes del quemador.

La estructura interna del equipo esta conformada como señala la figura 18 por: capa refractaria, capa aislante y chapa metálica de acuerdo al gráfico siguiente:

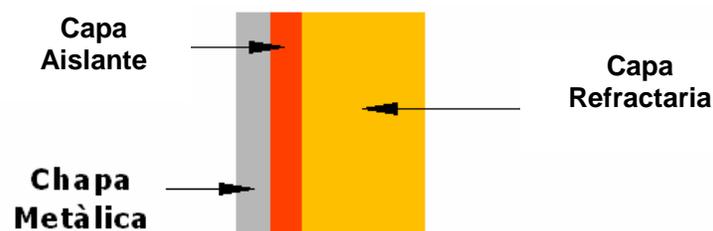


Fig. 18 Conformación de tabique refractario.

➤ **Capa refractaria.**

La capa refractaria está compuesta por materiales resistentes a temperaturas elevadas, superiores a los 1500 °C. En estos, el lugar de temperatura de fusión, más bien se los define por la llamada resistencia pirosfópica y se especifica como la característica al pandeo que sufren conos elaborados con mezclas refractarias y diseñados para que se doblen sobre sí mismos en un estrecho rango de temperaturas.

➤ **Capa aislante**

Esta capa cumple doble propósito: reducir las pérdidas de calor y conseguir por el mismo efecto, en el entorno del horno, condiciones ambientales suficientemente aceptables.

➤ **Chapa metálica**

Se utiliza como medio de soporte del horno y protección contra el medio exterior. El espesor de la chapa metálica esta dado por las necesidades del sistema de soporte y basculación, en cuando a los esfuerzos mecánicos que debe soportar la estructura.

3.8 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA PARED, TAPA Y BASE DEL HORNO

➤ **Materiales refractarios**

Los materiales refractarios se definen como aquellos cerámicos de estructura no metálica que resisten la degradación de gases, líquidos o sólidos corrosivos a temperaturas elevadas. Estos materiales deben soportar el choque térmico causado por calentamiento o enfriamiento rápido, fallos atribuibles a tensiones térmicas, fatiga mecánica por contacto con otros materiales y ataques químicos activados por la elevada temperatura de trabajo.

Se utilizan para la fabricación de la mayoría de los productos cerámicos y se necesitan específicamente en estufas, secaderos, hornos y piezas de maquinaria que deben soportar temperaturas elevadas.

Internacionalmente se ha llegado al acuerdo de denominar materiales refractarios a aquellos que poseen una refractariedad al calor mayor o igual a 1500° C.

Clasificación.

Los materiales refractarios se clasifican en tres categorías:

- a. **Refractarios Básicos.** En este tipo predomina la sílice.
- b. **Refractarios Ácidos.** En los refractarios ácidos predomina el óxido de calcio o de magnesio.
- c. **Materiales Neutros.** En estos últimos predomina la alúmina, la sillimanita, la cromita o el grafito.

La tabla XI, señala la clasificación de los elementos que componen los diferentes materiales refractarios.

Ácidos ↓	Óxido de zirconio Zircón Sílice Semisílice Arcilla refractaria Caolín Arcilla refractaria alúmina Sillimanita Mullita
------------------------	---

Neutros ↓	Bauxita Alúmina Carbono Carburo de silicio Óxido de cromo Óxido de cromo alúmina Óxido de cromo magnesita
Básicos	Magnésita Periclasa Dolomita Forsterita

Tabla XI. Clasificación de los refractarios.

La tabla XII, indica el porcentaje en peso de su composición.

REFRACTARIO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Otros
Ácidos:				
Ladrillo de sílice	95 – 99			
Ladrillo refractario para altas temperaturas	53	42		
Ladrillo refractario de alta resistencia	51 – 54	37 – 41		
Circonio	32			66 ZrO ₂
Básicos:				
Magnesita	0,5 – 5		91 – 98	0,6 – 4 CaO
Dolomita (cocida)			38 – 50	38 – 58 CaO
Neutros				
Carburo de silicio	6	2		91 SiC
Ladrillo de alta alúmina	0 – 50	45 – 99 +		
Magnesita-Cromo	2 - 7	6 - 13	50 – 82	18 – 24 Cr ₂ O ₃

Tabla XII. Composiciones de refractario típicos (porcentaje en peso)

Propiedades.

La refractariedad no es suficiente para definir la aptitud de un determinado material para ser empleado en los hornos, sino que deben considerarse otras propiedades como:

- a. La resistencia a la compresión en frío.
- b. La temperatura de reblandecimiento bajo la carga de 2 [kg/cm²]
- c. La dilatación lineal en caliente.
- d. La resistencia a los cambios bruscos de temperatura.
- e. La resistencia a la acción de las escorias y del gas.

La conductividad térmica es la propiedad de transmitir el calor entre las moléculas del mismo cuerpo.

Hay que tenerla muy en cuenta al momento de elegir un determinado material.

Para la construcción del horno se considera el ladrillo y cemento refractario así como el cóncrax para cumplir con los requerimientos establecidos en el diseño de algunas partes del horno. La figura 19 representa los tipos de ladrillos refractarios.

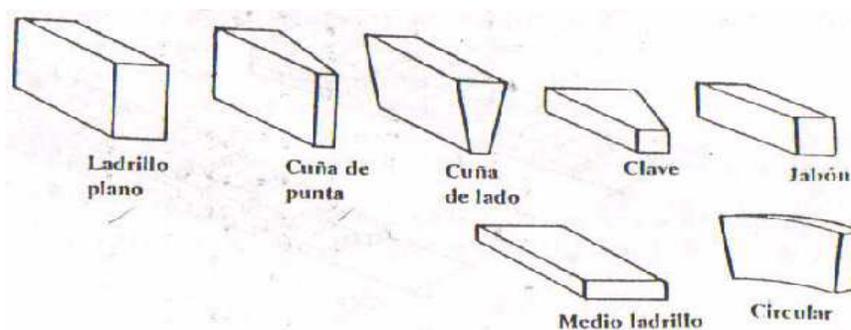


Fig. 19. Tipos de ladrillos refractarios.

Como se observa en la figura 19, los ladrillos se muestran en forma, tamaño y espesores diferentes, pero para la construcción se considera los existentes en el mercado nacional como es el caso del **ladrillo refractario U-33** que satisface las exigencias del horno, de acuerdo con las máximas temperaturas de operación establecidas.

Sus principales propiedades son:¹⁵

Temperatura de ablandamiento	1743 [°C]
Conductividad térmica a : 1100°C	1.20 [W/m - °K]
Densidad aparente	2000 [Kg / m ³]
Calor específico	0.92 [Kj / Kg - °K]

Tabla XIII. Ladrillos refractarios.

De este catálogo los ladrillos seleccionados para la tapa, pared y base son los indicados en la figura 20.

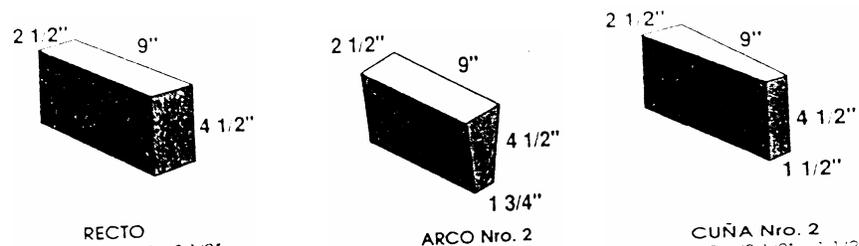


Fig. 20. Ladrillos seleccionados

➤ **Concreto Refractarios**

Este material permanecerá en contacto directo con el calor producto de la combustión, las características principales que le definen son:

¹⁵ Erecos, Catálogo de Productos, Colombia Pag. 46

- Excelente resistencia mecánica a elevadas temperaturas y mínima contracción por secamiento.
- Elevada resistencia a la desintegración por choques térmicos a altas temperaturas.
- Bajo coeficiente de expansión térmico.
- Bajo grado higroscópico.
- Su granulación debe ser perfectamente controlada.

De este tipo de concretos refractarios mencionamos el Cóngrax 1700, clase C según la clasificación CONTEC – 814, ASTM C – 40.

Su presentación está dada por sacos de 50 [Kg.] y sus principales propiedades se indican a continuación en la tabla XIV:

Cono pirométrico Equivalente (PCE)	> 37
Temperatura Equivalente ICONTEC – 706, ASTM C – 24	> 1820 [°C]
Máxima temperatura de servicio Recomendada. ICONTEC 814	1650 [°C]
Máximo tamaño de grano [mm]	3
Material seco requerido por metro Cúbico [Kg.]	2500 – 2600
Agua de preparación cc. de agua/Kg. de Material seco. ICONTEC – 988, ASTM C – 860.	95 – 105
Densidad volumétrica ASTM C – 134 [°C – g / cc]	110 2.50 – 2.60 1000 2.35 – 2.40 1480 2.60 – 2.65.

Tabla XIV. Concreto Refractario.

➤ **Motero refractario.**

Este tipo de cemento en el presente trabajo se utiliza para la compactación de los ladrillos básicamente. De los Morteros Refractarios Sílico – Aluminosos, se selecciona el Universal que posee las propiedades que establece la tabla XV:

Clasificación ICONTEC – 765 Y –851	Super Refractario
Tipo de Mortero	Seco de fraguado térmico
Temperatura equivalente, [°C] ICONTEC –706, ASTM C –199	1717
Máximo tamaño de grano [mm]	0.6
Presentación	sacos de 30 [Kg.]

Tabla XV. Mortero Refractario

➤ **Aislante**

El aislante debe tener la menor conductividad térmica posible. El material seleccionado para este propósito es la **diatomita** o sílice fósil. Este material se encuentra en la naturaleza y es de procedencia nacional.

Las principales propiedades se detallan en la tabla XVI y son:¹⁶

Temperatura máxima de servicio	1050 [°C]
Conductividad térmica a :	
100 [°C]	0.08 [W/m - ºK]
300 [°C]	0.11[W/m - ºK]
500 [°C]	0.13 [W/m - ºK]
Densidad aparente	500 [Kg / m ³]
Calor específico	0.84 [Kj / Kg - ºK]

Tabla XVI. Aislante

¹⁶ C.A.D.E.N., Op., Cit., N°15 – PC0019/82

➤ **Chapa metálica.**

Este material es utilizado para la cubierta exterior del horno y se considera como protección para los materiales que se encuentran en su interior, a su vez es parte del acabado final del horno.

El espesor de la chapa metálica es de 3 mm. Este valor se obtiene de consultas de trabajos anteriores afines al tema, los mismos que se destacan en el pie de página citado.

El material seleccionado es un acero AISI 1020¹⁷, las propiedades de este material son las citadas en la tabla VII:

LÁMINA DE ACERO		
Propiedades Típicas	Unidad	Valor
Densidad	Kg./m ³	7832
Cp	J/Kg. K	434
Conductividad térmica de un acero medio carbono		
Temperatura media 300 ° K	W / m ° K	63.9

Tabla N° XVII. Propiedades de Chapa Metálica¹⁸

¹⁷ Correa J., Optimización del horno de crisol Basculante utilizado en el laboratorio de Fundición para alcanzar temperaturas hasta 1400 – 1450 [°C], 1990

¹⁸ ROLDAN J.; Prontuario de Mecánica Industrial Aplicada; Tercera Edición; México; 2002.

CAPITULO IV

4. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE BASCULACIÓN DEL HORNO

Optamos por una estructura de acero la misma que soporta todo el peso del horno, los perfiles seleccionados están diseñados de tal manera que soportan los siguientes elementos:

- Crisol
- Metal fundido
- Ladrillos refractarios
- Mortero refractario
- Material aislante
- Cuerpo metálico

Estos elementos involucran pesos y fuerzas que se transfieren hasta la estructura del horno.

En la tabla XVII se determina el peso de cada elemento y la sumatoria como resultado del peso total que soporta la estructura en la cual va a bascular el horno.

ESTRUCTURA	PESO EN [Kg]
Ladrillos refractarios	586.97
Plancha metálica	386.36
Material aislante	65.67
Mortero refractario	200
Metal fundido	150
crisol	31.5
TOTAL	1420.5

Tabla XVIII. Determinación del peso del horno

Al valor obtenido, se agrega un valor de sobrecarga del 10% ¹⁹, como se señala en la tabla XIX. Estos datos finales son los utilizados para realizar los cálculos.

Peso calculado	1420.5 [Kg.]
Sobrecarga (10%)	142.05 [Kg.]
TOTAL	1562.55 [Kg.]

Tabla XIX. Determinación del peso total del horno

Antes de realizar los cálculos con respecto a la resistencia de conviene determinar si el horno es simétrico o no.

De esta manera calculamos primero el volumen de la chimenea. Para una mejor referencia de la dimensiones analizamos la figura 21.

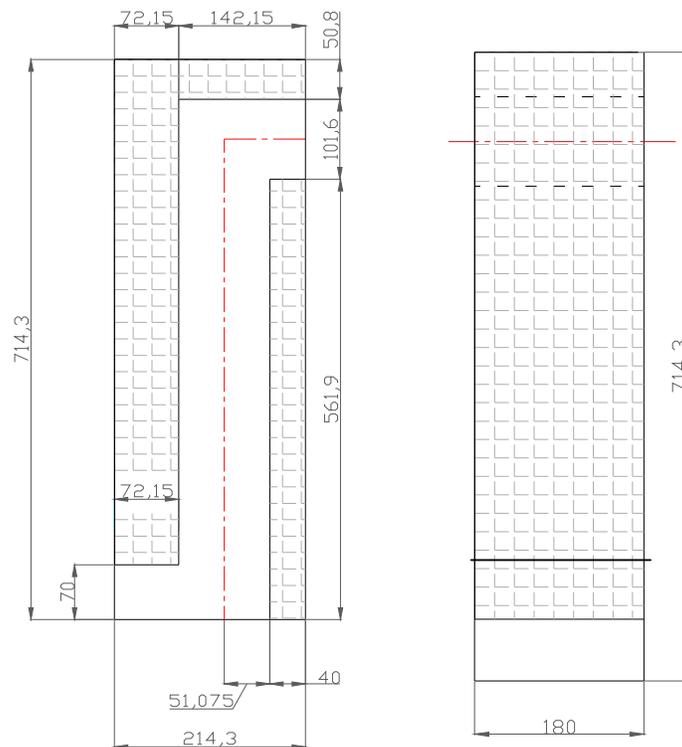


Fig.21 Dimensiones de la chimenea

¹⁹ Rosero B.; Diseño de un Horno de Crisol Basculante para el Laboratorio de Fundición del Departamento de Mteriales de la Escuela Politécnica Nacional; Tesis; 2005.

Para visualizar el volumen total de la chimenea total, nos basamos en el esquema que presenta la figura 22.

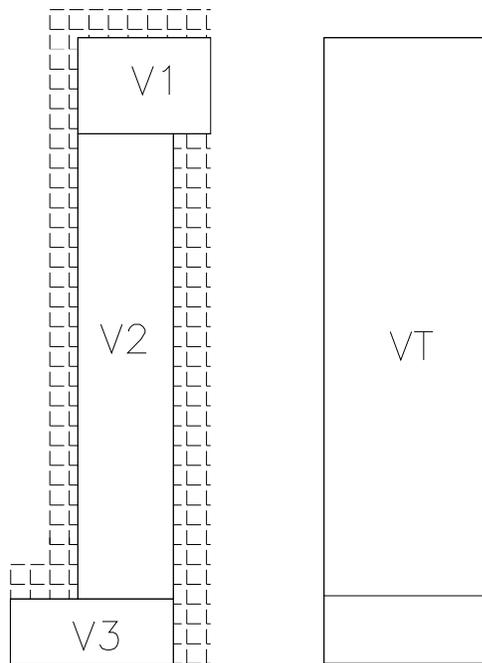


Fig.22. Esquema de los volúmenes de la chimenea

Donde:

V = volumen

h = altura

a = ancho

e = espesor

$$V_T = h * a * e$$

$$V_T = 714.3 * 214.3 * 180$$

$$V_T = 27553408.2 \text{ mm}^3$$

$$\mathbf{V_T = 0.027 \text{ m}^3}$$

$$V_1 = 101.6 * 142.15 * 180$$

$$V_1 = 2599639.2 \text{ mm}^3$$

$$\mathbf{V_1 = 0.0025 \text{ m}^3}$$

$$V_2 = 377.6 * 102.15 * 180$$

$$V_2 = 6942931.2 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = 0.0069 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 70 * 174.3 * 180$$

$$V_3 = 2196180 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = 0.002 \text{ m}^3$$

$$V = V_T - (V_1 + V_2 + V_3)$$

$$V = 0.015 \text{ m}^3$$

Para determinar que las dos partes del horno son simétricas es necesario realizar el cálculo de la chimenea como si estuviera compuesta de ladrillos en lugar de cóncrax.

Por lo tanto es necesario determinar el volumen de ladrillo refractario Arco N° 2

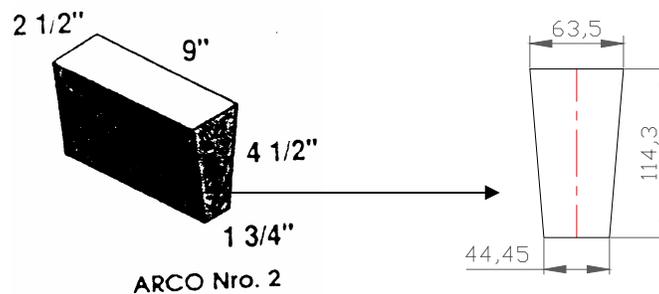


Fig.23 Ladrillo refractario Arco N° 2

Donde:

A = área base

B = base mayor (6.35 cm.)

b = base menor (4.44 cm.)

h_1 = altura (11.43 cm.) ; h_2 = (22.86 cm.)

VL = volumen

ρ = densidad (0.00223 Kg. / cm³)

m = masa

$$A = \left[\frac{B + b}{2} \right] \times h_1$$

$$A = 61.66 \text{ cm}^2$$

$$A = 0.006166 \text{ m}^2$$

$$V L = A * h_2$$

$$V L = 61.66 * 22.86$$

$$V L = 1409 \text{ cm}^3$$

$$V L = 0.001409 \text{ m}^3$$

$$m = \rho * V L$$

$$m = 0.00223 \text{ Kg} / \text{cm}^3 * 1409 \text{ cm}^3$$

$$m = 3.14 \text{ Kg.}$$

Con los datos calculados se determina la cantidad de ladrillos que se estarían sustituyendo al cóncrax.

Donde:

N = Número de ladrillos

$$N = V T / V L$$

$$N = 0.01595 \text{ m}^3 / 0.001409 \text{ m}^3$$

$$N = 11 \text{ ladrillos}$$

Estos 11 ladrillos refractarios que se asumen y se encuentran en la chimenea, poseen un peso de 34.54 Kg. y el peso del cóncrax es de 75 Kg. lo que difiere 40.46 Kg.

Por lo tanto se considera el peso del horno con:

Cónrax **1562.55 Kg.** y ladrillo refractario **1522.09 Kg.**

Es así que para realizar la consideración que se mencionó en un principio es necesario determinar en porcentaje el error.

Donde:

E = error

V r = valor real (1562.55 Kg.)

V c = valor calculado (1522.09 Kg.)

$$E = \frac{V_r - V_c}{V_r}$$

$$E = \frac{1562.55 - 1522.09}{1562.55}$$

$$E = 0.025 \quad \Rightarrow \quad 2.5 \%$$

Como se puede apreciar el error es del 2.5% que representa 39.06 Kg. y ya que el error es mínimo en relación al peso total del horno que es de 1562.55 Kg, se concluye que el **“HORNO ES SIMÉTRICO”**

Luego de realizar esta conclusión, procedemos a la realización de los cálculos por resistencia de materiales.

4.1 CÁLCULO DE REACCIONES EN EL TUBO Y SOPORTE.

REACCIONES EN EL TUBO

La figura 24 indica un esquema del peso total del horno junto con las reacciones que intervienen en el sistema.

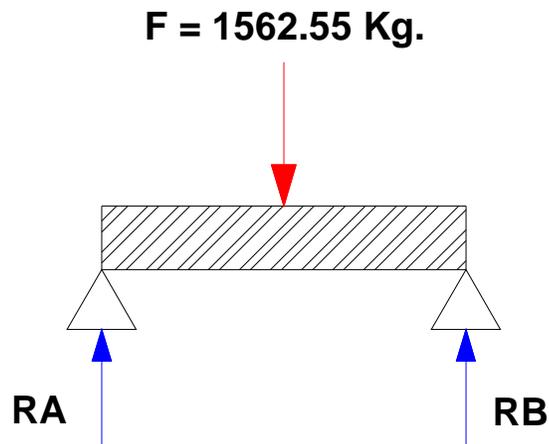


Fig.24 Esquema de reacciones

Donde:

$F =$ Peso total

$RA =$ Reacción en el punto A

$RB =$ Reacción en el punto B

$$RA + RB = 1562.55 \text{ Kg.}$$

Considerando que es simétrico tenemos

$$RA = RB$$

$$2 RA = 1562.55 \text{ Kg.}$$

$$RA = 781.27 \text{ Kg.}$$

$$RB = 781.27 \text{ Kg.}$$

4.2 SISTEMA DE BASCULACIÓN

Debido al gran peso que posee el horno se determina para el soporte un sistema de basculación como muestra en la figura 25 señalando también las reacciones que intervienen. Este sistema adopta la forma de una figura indeformable y más resistente como es el caso del triángulo equilátero en el cual se encuentra distribuido el peso.

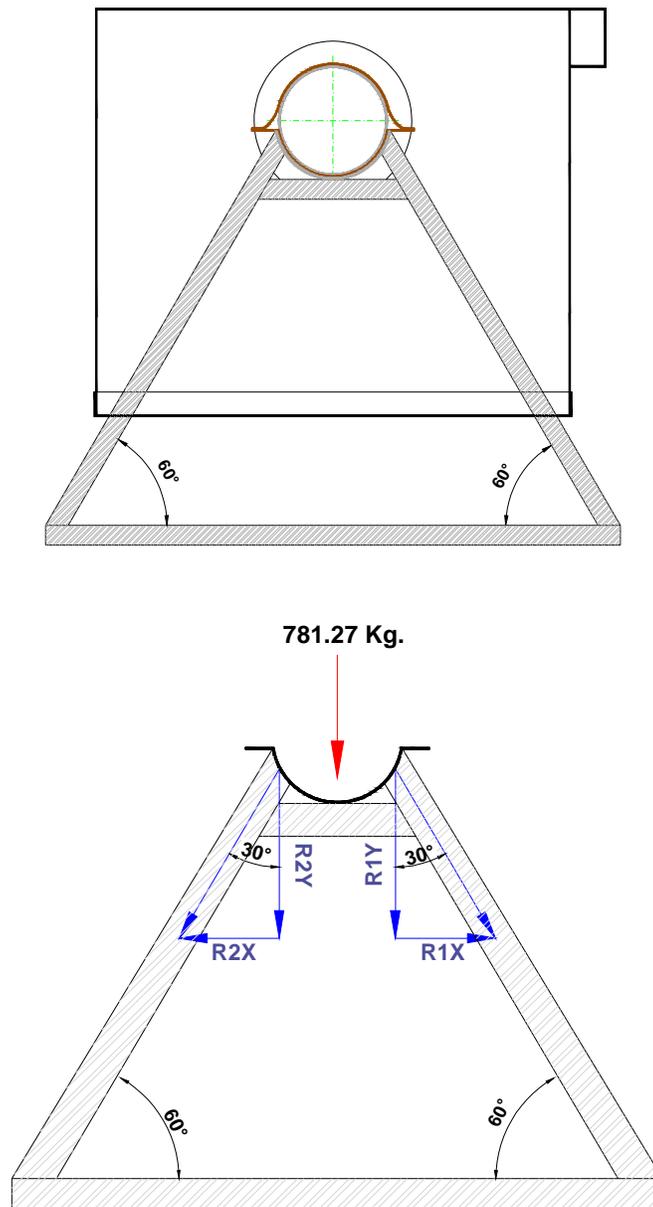


Fig.25 Reacciones en los soportes

$$R1Y = R2Y$$

$$R1X = R2X = 0$$

$$R1Y = - R1 \cos 30$$

$$R2Y = - R2 \cos 30$$

$$-781.27 = - R1 \cos 30 - R2 \cos 30$$

$$781.27 = 2 R1 \cos 30$$

$$R1 = 781.27 \text{ Kg} / 2 \cos 30$$

R1 = 451.06 Kg. es la fuerza de reacción que ejerce la bincha sobre el soporte.

4.3 CÁLCULO DE REACCIONES EN EL TUBO Y SOPORTE.

REACCIÓN EN EL TUBO

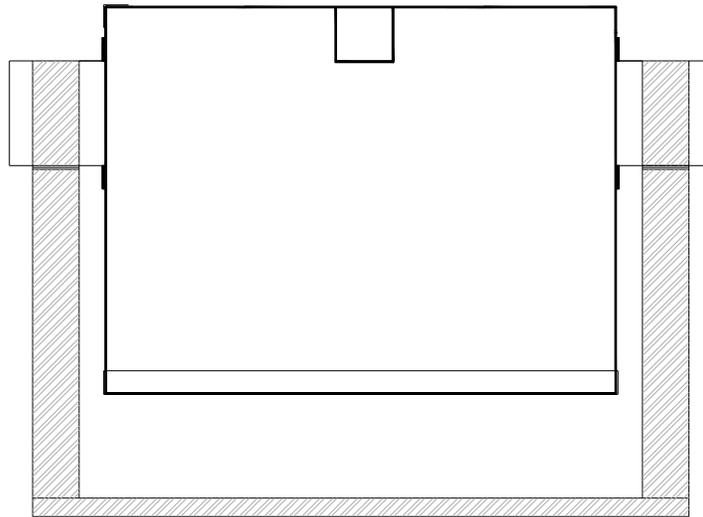


Fig. 26 Estructura de soporte para el horno basculante

La figura 26, señala la estructura que sirve como soporte del horno, mientras que la figura 27 indica los tubos de basculación, los cuales son de 203.2 [mm.] de diámetro por una longitud de 200 [mm.] los mismos se encuentran soldados al cuerpo del horno junto con una brida la cual le brinda mayor estabilidad al momento de bascular.

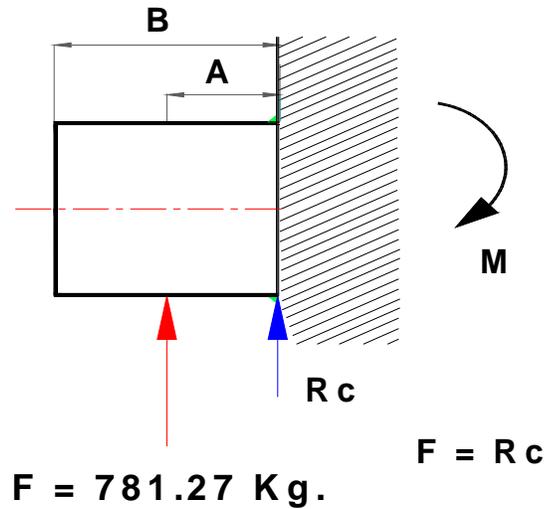


Fig.27 Reacciones en el tubo de basculación

Donde:

$M_{\text{máx}}$ = momento

B = longitud total del tubo (20 cm.)

A = longitud media (10cm.)

R_c = reacción en en punto C

F = fuerza, la misma que es igual al peso (P) distribuido en ese punto.

f = flecha es la desviación del punto original al punto donde actúa la carga

E = módulo de elasticidad del acero $2.1 \times 10^6 \text{ Kg. / cm}^2$.

I = momento de inercia

D_{ext} = diámetro exterior (20.32 cm)

D_{int} = diámetro interior (19.52cm)

S_y = esfuerzo de fluencia



comp. = esfuerzo de compresión



adm. = esfuerzo admisible



cal = esfuerzo calculado

$R_c = P$

C = radio del tubo

$$M_{\text{máx}} = P (B - A)$$

$$M_{\text{máx}} = 781.27 \text{ Kg} (20 - 10) \text{ cm}$$

$$\mathbf{M_{\text{máx}} = 7812.7 \text{ Kg cm}}$$

$$f = (P B^3) / (3 E I)$$

$$I = \frac{\pi (D_{\text{ext}}^4 - D_{\text{int}}^4)}{64}$$

$$\mathbf{I = 1242.11 \text{ cm}^4}$$

$$f = [781.27 \text{ Kg.} (20)^3 \text{ cm}^3] / [3 (2.1 \times 10^6 \text{ Kg.} / \text{cm}^2) 1242.11 \text{ cm}^4]$$

$$\mathbf{f = 7.98 \times 10^{-4} \text{ cm.}}$$

$$\text{flex} = [M * C] / I$$

$$\text{flex} = [7812.7 \text{ Kg. cm} * 10.16 \text{ cm}] / 1242.11 \text{ cm}^4$$

$$\mathbf{\text{flex} = 63.90 \text{ Kg.} / \text{cm.}^2}$$

Se utiliza tubo de acero A36 que posee un $S_y = 2400 \text{ kg.} / \text{cm.}^2$, principalmente por disponibilidad en el mercado nacional. Además luego se constata claramente en la construcción que la selección fue la más adecuada ya que no presenta problemas y son resistentes para el uso asignado. La fotografía 1 indica claramente el material utilizado para la construcción de los ejes de basculación.



Fotografía 1. Material de los tubos de basculación

REACCIÓN EN LA BINCHA

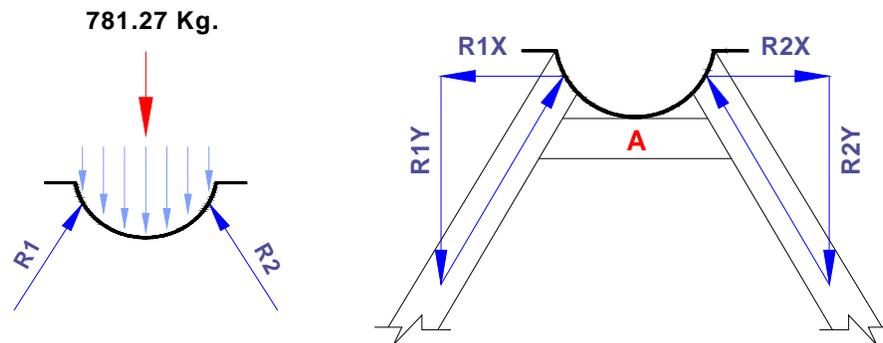


Fig.28 Reacción en la bincha

La bincha es el lugar en el cual se apoyan los tubos de basculación, ésta se encuentra soldada a los perfiles laterales incluido el perfil inferior denominado "A". Todo el sistema forma un solo cuerpo y absorbe todas las fuerzas que actúan en él. Por esta razón se observa en la figura 28, que la bincha no es un lugar crítico ya que actúa solamente como apoyo.

4.4 REACCIÓN EN LOS SOPORTES

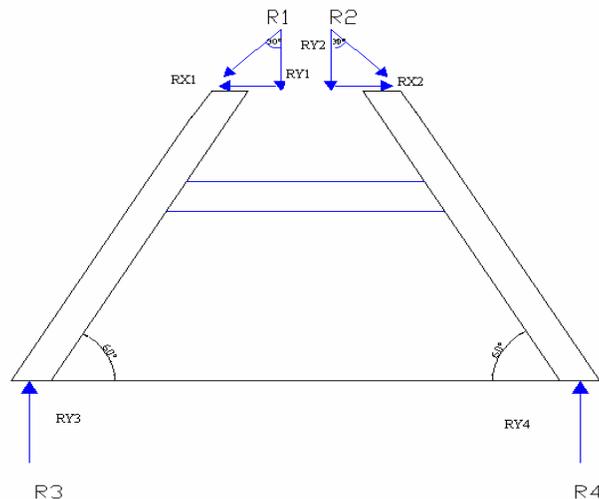


Fig.29 Reacción en los soportes

La figura 29 señala los puntos de reacción en la estructura, definiendo claramente los lugares a calcular.

$$R1 \text{ y } R2 = 451.06 \text{ Kgf.}$$

$$\Sigma FX = 0$$

$$\Sigma FY = 0$$

$$\Sigma FY = R3$$

$$\Sigma FY = R4$$

$$RX = R1 \text{ sen } 30^\circ$$

$$RX = 451.06 \text{ sen } 30^\circ$$

$$RX = 225.53 \text{ Kgf.}$$

$$RY = R1 \text{ cos } 30^\circ$$

$$RY = 451.06 \text{ cos } 30^\circ$$

$$RY = 390.63 \text{ Kgf.}$$

$$R1Y = R2Y$$

$$\Sigma FY = 0$$

$$\Sigma FY = - R1Y - R2Y + R3Y + R4Y$$

$$R3 = R4$$

$$\Sigma FY = 2 (-292.97) + 2(R3)$$

$$\Sigma FY = -585.95 + 2 R3$$

$$R3 = -585.95 / 2$$

$$R3 = -292.97 \text{ Kgf.}$$

4.5 COMPRESIÓN

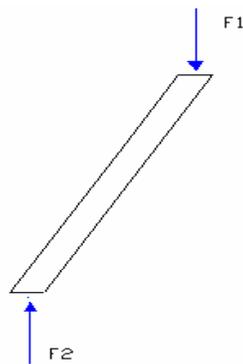


Fig.30 Esfuerzos de compresión

$$\text{comp} = F1 / \text{Area}$$

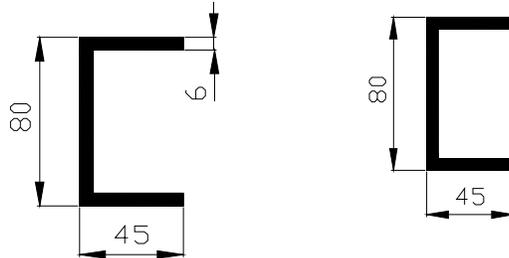


Fig.31 Representación y dimensiones de las vigas

$$A1 = 45 * 6$$

$$A1 = 270$$

$$A1 = A2$$

$$A1 + A2 = 540 \text{ mm}^2$$

$$A3 = 6 * 68$$

$$A3 = 408 \text{ mm}^2$$

$$A \text{ total} = A1 + A2 + A3$$

$$A \text{ total} = 948 \text{ mm}^2$$

$$\text{comp} = 451.06 \text{ Kgf} / 9.48 \text{ cm}^2$$

$$\text{comp} = 47.58 \text{ Kgf.} / \text{cm}^2$$

La AISC recomienda un factor de seguridad para compresión $n = 2$

$$\text{adm} = Sy / 2$$

$$\text{adm} = 2400 / 2$$

$$\text{adm} = 1200 \text{ Kgf} / \text{cm}^2$$

La fotografía 2, indica la estructura del sistema de basculación con los perfiles utilizados junto con la bincha, podemos observar que todo el sistema del soporte se encuentra soldado formando un solo cuerpo.



Fotografía 2. Estructura del sistema de basculación

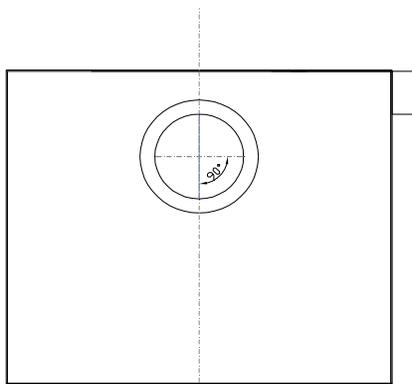
La fotografía 3 indica el sistema de basculación junto con la estructura metálica del horno.



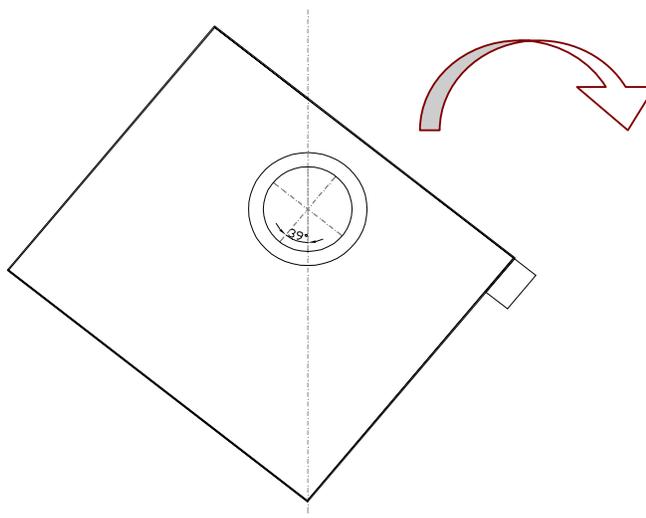
Fotografía 3. Estructura del sistema de basculación junto al horno.

El método más sencillo que consideramos para bascular el horno, tomando en consideración su peso total, es a través de un tecele con capacidad para 2 toneladas, el cual nos permite girar los 100° analizados para obtener el metal líquido en su totalidad. Se escogió este sistema de basculación por la sencillez y facilidad que presenta, además por los requerimientos y disponibilidad de la empresa auspiciante.

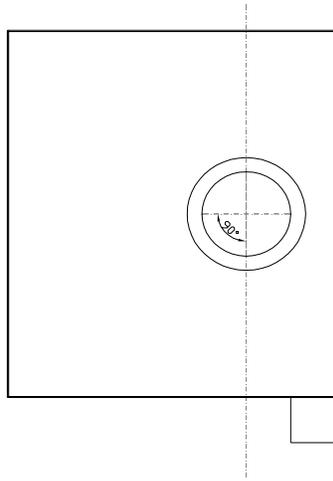
Las siguientes formas de la figura 32, indican un esquema general del giro que va realizando el horno desde la posición inicial hasta el colado del metal líquido.



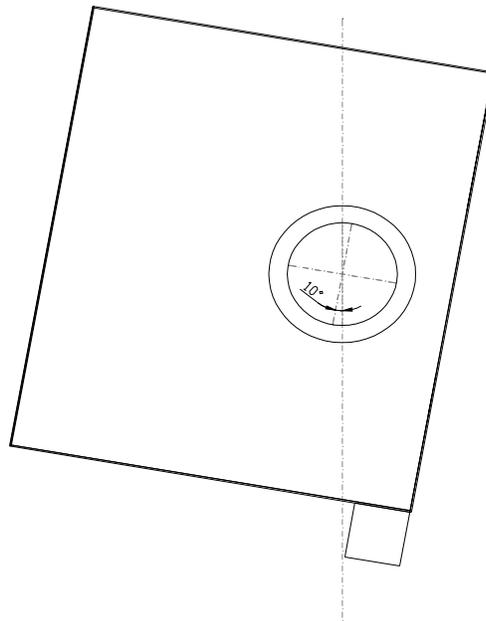
Posición inicial del horno



Giro del horno en sentido horario indicando el tope máximo del mismo en su parte inferior.



Giro a 90° desde su posición inicial



Giro a 100° desde su posición inicial donde se garantiza completamente la salida del metal fundido.

Fig.32 Esquema general de basculación

Para lograr este método de colado con el tecele se colocó un gancho para el horno de $\text{Ø}1''$ en la parte posterior en inferior del mismo, como indica la fotografía 4. Este se sujetará con el gancho del tecele para permitir su basculación.



Fotografía 4. Gancho del horno

GANCHO DEL TECLE.

Se debe utilizar un gancho con capacidad de carga de 2 toneladas.

La figura 33, esquematiza las secciones consideradas para nuestros requerimientos, mientras que la tabla XX, señala los espesores considerados para la carga establecida.

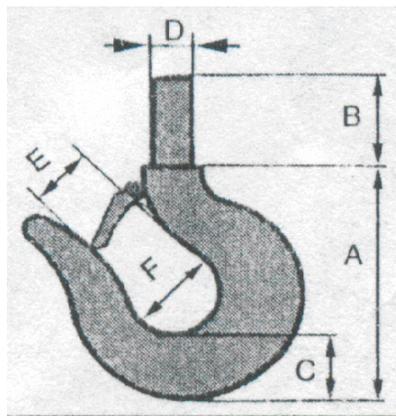


Fig.33 Esquema del gancho del tecele.

Espesor de las secciones del gancho	Carga máx. de trabajo: 2000 Kg
A	141mm
B	55mm
C	40mm
D	25mm
E	38mm
F	52mm

Tabla XX. Espesores establecidos para la carga máx. de trabajo.

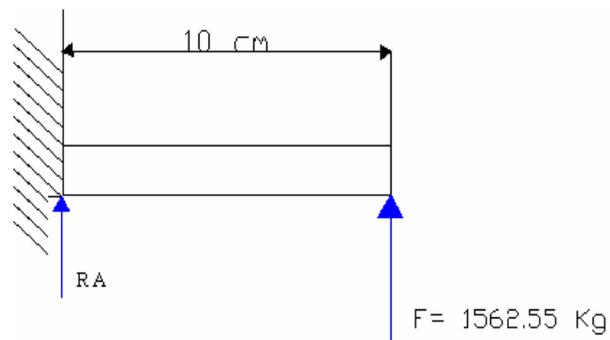


Fig.34 Esquema de la fuerza total

Donde:

M máx. = momento máximo

P = peso

L = longitud

$$RA = P$$

$$M \text{ máx.} = P * L$$

$$M \text{ máx.} = 1562.55 * 10$$

$$M \text{ máx.} = 15625.5 \text{ Kgf. cm.}$$

$$f = P * L^3 / 3 * E * I$$

$$f = 1562.55 * 10^3 / 3 (2.1 * 10^6) (3.017)$$

$$f = 0.82208 \text{ cm.}$$

$$I = \pi r^4 / 4$$

$$I = \pi 1.4^4 / 4$$

$$I = 30.17 \text{ cm.}^4$$

En la fotografía 5, observamos el enlace entre el gancho del horno y el tecla, notando que no existe ninguna complicación al momento de bascular, como indica la fotografía 6.



Fotografía 5. Enlace del gancho del horno al gancho del tecla



Fotografía 6. Esquema general del horno

CAPÍTULO V

5. COSTOS, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

En este capítulo se analizan los elementos considerados importantes para la construcción del horno, los mismos que incluyen los siguientes literales:

- Planos del diseño del horno
- Costos de construcción.
- Construcción del horno.
- Pruebas de funcionamiento.

5.1 PLANOS DEL DISEÑO DEL HORNO

Los planos de diseño del horno se presentan por numeración de acuerdo a cada actividad indicada, los mismos se encuentran en la parte de los anexos para su revisión.

5.2 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

Los costos de los materiales considerados como los más elementales para la construcción, se detallan a continuación en la tabla XXI:

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Plancha galvanizada 120*240*3	3	90.16	270.48
Disco de desbaste metal 180x8x22	1	4.51	4.51
Disco de piedra I 180x8x22	1	35	35.00

Disco de corte metal 180x3x22	1	1.34	1.34
Broca para concreto 6"x5/8	4	3.45	13.81
Broca para metal carb/ tungst 5/8"	2	23.84	47.69
Pintura anticorrosivo	1 galón	13.26	13.26
Thíinner	1 galón	8.45	8.45
Electrodos 6011 1/8"	3 kilos	3.35	10.05
Tubo 3/4" cédula 40 de 8"	5.80 m	65.09	377.60
Ladrillo refractario recto	90	3.13	281.7
Ladrillo refractario arco N2	62	3.09	191.58
Ladrillo refractario cuña N2	20	2.67	53.40
Aislante diatomita	3 quintales	10	30
Cóngrax 1700x 25 kg.	8 sacos	1.65	330
Mortero seco 35 kg	2	0.51	35.70
Crisol	1	231	231
Tanque plástico 55 galones	1	58.08	58.08
Manguera 1/2" caucho	15 metros	3.28	49.33
Anillos	20	0.08	1.60

Abrazaderas ½"	15	0.18	2.70
Venterol eléctrico	1	192.07	192.07
Tubo ½"	6m	19.92	19.92
Quemador	1	726	726
Materiales para soporte		88	88
		SUBTOTAL	3073.27
		IVA 12%	368.79
		TOTAL \$.	3442.06

Tabla XXI. Costos de materiales para la construcción.

A este valor sumamos el costo por corte y máquinas utilizadas para la construcción del horno.

Corte con plasma, Corte con cizalla, Dobladora, Borolada, Dobladora de tubos, con un costo de \$134.40

La sumatoria total de de la construcción del horno es:

TOTAL= \$3576.46

5.3 CONSTRUCCIÓN DEL HORNO

La construcción del horno está dividida en tres partes:

- Cuerpo metálico
- Cuerpo refractario
- Instalación del quemador

➤ **Cuerpo metálico**

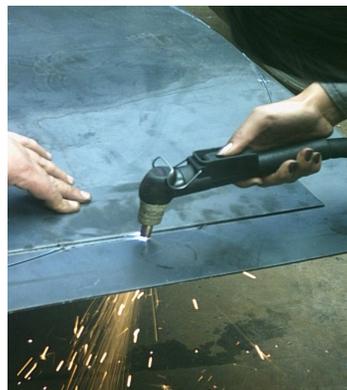
Para construir la estructura metálica del horno y una vez adquiridos los materiales necesarios trazamos en las planchas las medidas establecidas en los planos correspondientes a la base, paredes y tapa del horno, como se puede observar en los planos **N°106-107-108-109**

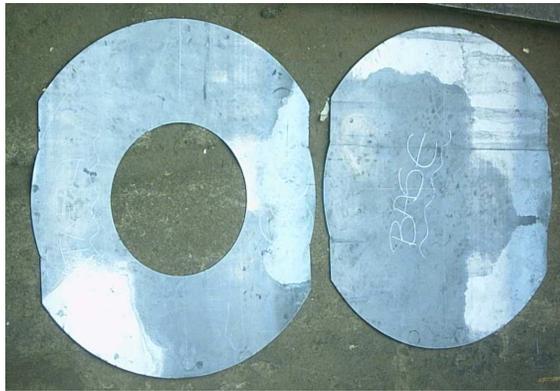
El pie de fotografía 7, indica los cortes realizados con plasma en aquellas secciones con mayor complejidad como es el caso de los diámetros y con una cortadora para las secciones con menor complejidad (paredes del horno, tapa pequeña, anillo inferior del horno, pletinas para sujetar la tapa principal, omegas). La cortadora utilizada está diseñada para planchas de hasta 5 mm. de espesor, para nuestras planchas fue suficiente ya que poseen un espesor de 3 mm. Además la fotografía señala también las formas obtenidas con los cortes realizados.

CORTADORA.



PLASMA





Fotografía 7. Corte de material y formas obtenidas

En el cuerpo del horno, se realizan las perforaciones con plasma para ubicar los tubos de basculación, los cuales corresponden a un diámetro de 8”.

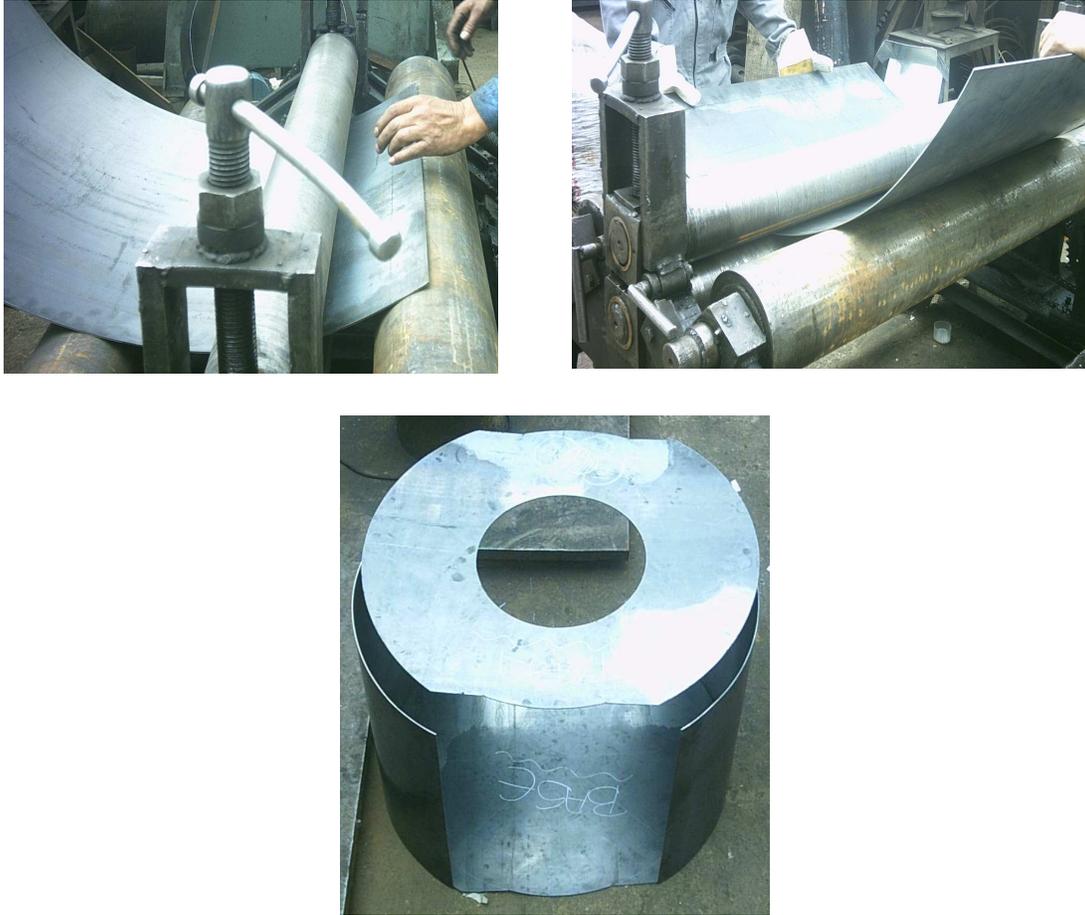
Se realiza la perforación correspondiente a la entrada de aire para el sistema de pre-calentamiento del mismo con un diámetro de 3” y con la ayuda de un taladro se realizan las perforaciones para ubicar la tapa que va empernada al cuerpo, el orificio por el cual ingresa el canal de combustible.

Además se perfora en el cuerpo de la tapa pequeña los lugares por los cuales atraviesan las varillas de ½” que sirvieron para una mejor sujeción de los ladrillos refractarios. (**Plano N°101**)

Una vez realizados los cortes y perforaciones necesarias, barolamos la chapa metálica de acuerdo a los diámetros especificados en los planos.

Para asegurar y obtener un buen resultado de este procedimiento se recurre a la realización de plantillas para conseguir que las medidas establecidas en el diseño se cumplan en la construcción, también por esta razón se barola por secciones, verificando siempre con las plantillas que el barolado sea el adecuado. Esto podemos apreciar en la fotografía 8.

Junto con el cuerpo del horno, se barola la tapa pequeña y el anillo que posteriormente se coloca en la parte inferior de las paredes.



Fotografía 8. Material barolado y formas obtenidas

Se doblaron aquellas partes que se unen al cuerpo del horno (omegas y pletinas de la tapa grande) para luego ensamblar el conjunto. (**Plano N°103**). Una vez baroladas y dobladas las partes indicadas anteriormente se procede a soldarlas. Primero las paredes con la base, posteriormente se colocan tres omegas en la base para brindar mayor resistencia ayudando de esta manera a que el material de la base no pandee, de igual forma se sueldan los tubos de basculación con unas bridas que le brindan mayor resistencia y firmeza.

Se coloca un tubo adicional para la conexión con el venterol el mismo que debe estar tangencial al diámetro de la cámara y a continuación se suelda el anillo en la parte inferior del horno de manera que proporcione mayor rigidez a la estructura. Se coloca en la parte superior delantera del horno la piquera para la salida del metal líquido y una piquera pequeña en la parte inferior a la altura de la cámara

como auxiliar en el caso de una emergencia para extraer por esa sección el metal líquido. Se sueldan siete ángulos a la tapa fija, los mismos que tienen sus respectivas perforaciones para empernar y que de esa manera quede sujeto al cuerpo del horno. (Plano N° 102). Todo el proceso de soldadura se lo realiza con electrodo E6011 ya que posee una alta penetración, se puede trabajar en todas las posiciones a más que es sencillo al momento de remover la escoria. La fotografía 9, indica la soldadura en el cuerpo, tapa y soporte metálico.

CUERPO METÁLICO**TAPA PEQUEÑA****SOPORTE****Fotografía 9.** Material ensamblado mediante la soldadura.

Una vez ya armado toda la parte metálica, se recubre uniformemente la superficie del metal con pintura antioxidante. La fotografía 10, indica cada una de las partes del horno pintadas y listas para su siguiente proceso.



Fotografía 10. Recubrimiento con pintura antioxidante.

➤ **Cuerpo refractario:**

Los ladrillos seleccionados para la construcción de la pared, tapa y base del horno son refractarios U33, para fijar los mismos se utiliza cemento refractario, y también se trabaja algunas secciones con cóncrax 1700; las hojas técnicas de estos materiales se presentan en los anexos.

Base: Se utilizan 50 ladrillos rectos enteros y 7 se cortan para rellenar los espacios pequeños para de esta manera evitar al máximo las pérdidas de calor, cubriendo con los ladrillos un diámetro de 1092.6mm. (**Plano N° 104-105**). Como indica la figura 35.

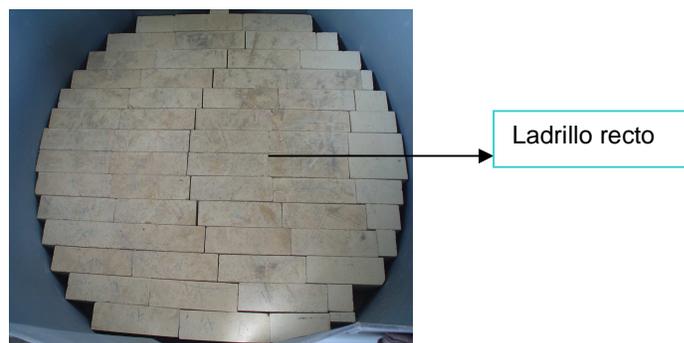


Fig.35 Esquema de los ladrillos de la base.

Pared: se selecciona el ladrillo: Arco N°2 intercalados con ladrillos rectos los cuales son distribuidos de la siguiente manera:

Cada cinco ladrillos arco N°2 se coloca un ladrillo recto alrededor de todo el horno en dos columnas, esto ayuda a que exista la mínima separación entre ladrillo y ladrillo a más que se evita en gran porcentaje fugas de calor. La figura 36, muestra la manera en la cual se colocaron y pegaron los ladrillos junto con su resultado final.



Fig.36 Esquema de los ladrillos de la pared

De acuerdo al diseño de la cámara de combustión, esta abarca una altura igual a 600mm. Al colocar los ladrillos (**Plano N° 110**) en dos columnas la altura alcanzada es de 457.2 mm., con una diferencia de 142.8 mm. Esta diferencia es cubierta con cóncrax 1700 sin mayor inconveniente debido a que es un material con características refractarias similares a la que poseen los ladrillos y la razón por la cual no se utiliza este material en toda la cámara es porque el ladrillo se puede cambiar fácilmente por secciones en caso de rotura a diferencia del cóncrax que involucra toda una masa o bloque.

Los ladrillos se deben encontrar unidos sin provocar movimientos relativos en forma radial y transversal en relación al cuerpo del horno además pensando siempre en evitar la pérdida de calor.

Utilización del cóncrax en la chimenea y pared

Luego de construir la pared con ladrillos se continúa con la construcción de la chimenea y el resto de pared con cóncrax.

En el caso de la chimenea y por facilidad de construcción primero se realiza un modelo en espuma flex (Indicado en la figura 37), con la forma y dimensiones a las planteadas para que al momento de fundir con cóncrax ésta tome la forma requerida.

Esta parte del horno es importante ya por aquí salen los gases de combustión que se produce en el horno.

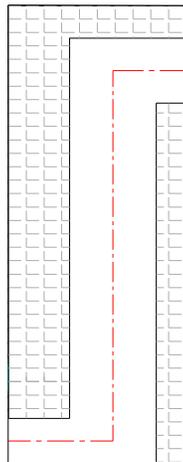


Fig.37. Esquema de la chimenea

La cantidad de agua que se coloca en el cóncrax se menciona en las hojas técnicas que se presentan en los anexos.

El resumen de la fotografía 11, indica la mezcla del cóncrax y la ubicación del molde previo a la fundición de la chimenea.



MEZCLA DE CÓNCRAX CON
AGUA



UBICACIÓN DEL MOLDE PREVIO
A LA FUNDICIÓN CON CÓNCRAX



CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA



OBTENCIÓN DE LA CHIMENEA,
PARTE EXTERIOR



OBTENCIÓN DE LA CHIMENEA,
PARTE INTERIOR

Fotografía 11. Construcción de la chimenea

Se elabora un molde hecho en espuma flex para cubrir el espacio que sobra de ladrillo, de acuerdo a esto se realiza un cono truncado el cual sirve de apoyo para la tapa fija.

Para la piquera se realiza un molde en espuma flex el cual dirige la salida del metal desde el crisol hacia la parte exterior.

En total se utilizan 62 ladrillos arco N° 2 y 14 ladrillos rectos, cinco sacos de cóncrax 1700 para la chimenea y tres sacos de cóncrax 1700 de 25 Kg. cada uno para la pared.

Aislamiento: ya que el horno va a estar trabajando a altas temperaturas es necesario un material que no permita la pérdida de calor hacia la parte exterior es por eso que se utiliza diatomita.

Este material se encuentra en la naturaleza y viene en forma de piedras, es así que para aislar el calor de las paredes es necesario apisonar como indica la fotografía 12 hasta volverla polvo o pedazos pequeños.

Al momento de colocar en el horno se apisona en cada sección buscando la compactación y firmeza especialmente para que al momento de bascular no se desprenda el material.



Fotografía 12. Apisonado y colocación del material aislante.

Tapa mayor: se seleccionan ladrillos cuña N° 2 y ladrillos rectos los cuales fueron cortados en diagonal como indica la fotografía 13, para una mejor sujeción entre ladrillo y ladrillo, estos fueron distribuidos como se muestra a continuación:

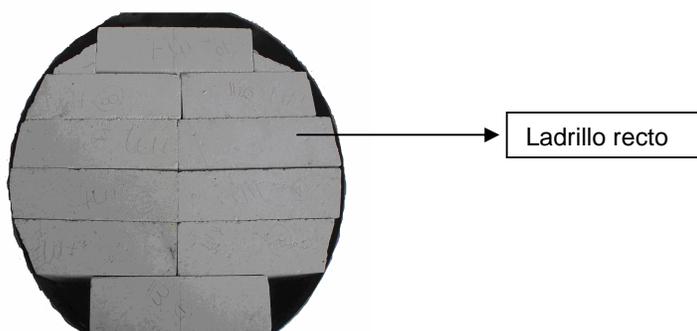


Fotografía 13. Construcción de la tapa mayor.

En la tapa mayor los ladrillos se distribuyen de la siguiente manera: 1 ladrillo recto, 4 ladrillos cuña N°2, 1 ladrillo recto, 6 ladrillos cuñas N°2, 2 ladrillos rectos, y 6 ladrillos cuña N°2.

De esta manera, en total se utilizan 41 ladrillos, 26 ladrillos enteros y 14 ladrillos cortados. Así se cubre un diámetro de 887.2mm. (**Plano 111**)

Tapa pequeña: se utilizan 10 ladrillos rectos como indica la fotografía 14, los ladrillos que se perforan para colocar las varillas, las mismas que les dan fijación y soportan todo el peso del ladrillo. De esta manera se cubre un diámetro de 470mm y precisamente no permite que se escape el calor, ya que esta tapa se encuentra localizada sobre el crisol.



Fotografía 14. Construcción de la tapa menor.

Una vez armado el horno se realiza el curado con leña como muestra la fotografía 15, esto es necesario para sacar la humedad que se encuentra en los ladrillos y se efectúa en un tiempo de ocho horas por dos días.



Fotografía 15. Curado del horno

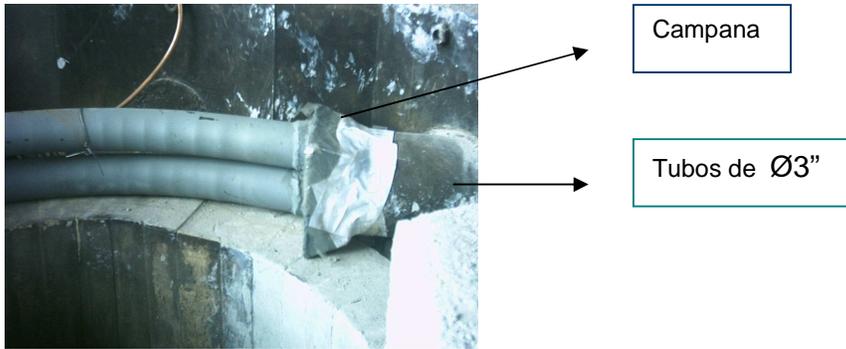
➤ **Instalación del quemador**

Para la instalación del quemador se construye el sistema de aire pre-calentado utilizando 2 tubos de $\text{Ø } 2''$ los mismos que rodean la cámara de combustión por sobre las dos filas de ladrillo de las paredes, estos están conectados en cada extremo respectivamente por campanas y las campanas a la vez se conectan a tubos de $\text{Ø } 3''$. En el un extremo del sistema el tubo de $\text{Ø } 3''$ se conecta la boca del ventilador que es por donde ingresa el aire, atraviesa por los tubos de $\text{Ø } 2''$ y llega al otro extremo en donde se encuentra conectada la boquilla del combustible. Con esto, al mezclar la presión del aire pre-calentado con la presión del combustible se logra atomizar el combustible y se optimiza la combustión gracias al aire pre-calentado. Esto indica las fotografías 16 y 17 explicando las partes que componen el sistema.

TUBERÍA

Tubo= $\text{Ø } 2''$; 2 u

Campanas: 2u



Fotografía 16. Entrada del aire y sistema de precalentamiento.

Por la tubería de Ø3\"



Fotografía 17. Boca del quemador.

CONEXIÓN DEL QUEMADOR AL SISTEMA DE AIRE PRE-CALENTADO

La fotografía 18 señala claramente la entrada del combustible en el sistema de pre-calentado del aire.



Fotografía 18. Ingreso del combustible.

BOMBA DEL COMBUSTIBLE

El motor ayuda a que el combustible salga con tal presión que al ser combinado con el aire se logre una mejor atomización del mismo. La fotografía 19 indica la ubicación de la bomba del combustible.



Fotografía 19. Bomba del combustible.

PRUEBAS DEL QUEMADOR

Luego de realizar la instalación del quemador se realizan las pruebas para colocar la parte faltante de la pared y a la vez para ubicar la canaleta que sale desde la boca del quemador hacia la cámara de combustión, con el fin de dirigir mejor la salida del combustible. La fotografía 20 indica las pruebas realizadas antes de terminar con toda la construcción como garantía de funcionamiento y para después evitar pérdidas de material y tiempo.



Fotografía 20. Bomba del combustible.

5.4 PRUEBAS

Previo a las pruebas se realiza un calentamiento paulatino del crisol para que no sufra de cambios bruscos de temperatura y a la vez para evitar fractura y pérdida del mismo, esto se hace también tomando en consideración las recomendaciones del catálogo.

➤ Primera Prueba

Antes de fundir bronce fue necesario probar el funcionamiento del horno. Por esto primero se fundió aluminio.

El aluminio es de color plateado y muy ligero, su masa atómica es 26,9815g; tiene un punto de fusión de 660 °C y una densidad de 2,7 g / cm³.

Se funde 41 Kg. de aluminio. Previo a la cargada del material se calienta el horno por un lapso de 5 minutos y se coloca los retazos de aluminio en el crisol en paquetes de 10 Kg., de manera que funda progresivamente.

Se observa que hay un consumo de combustible de 5.5 galones de diesel; se constata con ayuda de un pirómetro los datos obtenidos en la tabla XXII:

Temperatura de la llama	1400°C
Temperatura de aluminio líquido	1100°C
Temperatura durante el colado	750°C
Tiempo	1hora 15 min

Tabla XXII. Datos de la primera prueba

En esta primera prueba se manifiesta lo siguiente:

- Se observa que al inicio es necesario bajar la boquilla del quemador para direccional la llama de tal manera que envuelva al crisol y este se pueda calentar uniformemente.
- Para llegar a la temperatura de fusión en un menor tiempo es recomendable trabajar con el horno tapado

➤ **Segunda Prueba**

De la misma forma se realiza esta prueba con aluminio el día 18 de Noviembre 2006 previo a fundir Bronce, se calienta el horno por 5 minutos y a continuación se carga el crisol en paquetes de 15 Kg. De aquí obtenemos los datos señalados en la tabla XXIII:

Encendido	9 :35
1º carga	10: 05
2º carga	10:14
3º carga	10:25
Metal Fundido	10:40

Tabla XXIII. Datos de la segunda prueba

El metal fundido consume 2.75 galones de combustible.

Conclusión:

- Según los resultados obtenidos se concluye que en la fusión del aluminio al no tener inconvenientes se puede fundir el bronce.

➤ **Fundición de Bronce**

Se carga 55 Kg. de chatarra de bronce, retirando todos los materiales no necesarios como es el acero, plástico, entre otros. La tabla XXIV, indica la hora de encendido del horno y luego señala la hora a la cual se realiza la segunda carga:

Encendido	10:55
2º carga	11:40

Tabla XXIV. Datos de la fundición con bronce

Empleando el pirómetro se conoce los siguientes datos de temperaturas mostrados en la tabla XXV:

1º Temperatura en la superficie del refractario	900°C
2º Temperatura en la superficie del refractario	1250°C
Temperatura del crisol y piqueta	1200°C
Temperatura del metal	1100°C

Tabla XXV. Cuadro de temperaturas obtenidas

Para la optimización del tiempo es necesario inyectarle oxígeno el mismo que ayuda a mejorar la combustión. Esto se realiza a las 13:03.

Se constata que el metal se encuentra líquido a las 13:33 y se prosigue a colar a las 13:45; el consumo de combustible es de 6.5 galones.

5.4 RESULTADOS

- Fue necesario colocar chocoto, este es un tipo de refractario y se colocó en la tapa móvil que estaba apoyada a la tapa fija (como indica la fotografía 21) con la finalidad de evitar pérdidas de calor de esta manera, lograr una mejor uniformidad en el calentamiento de la carga.
- La utilización del pirómetro fue complicada ya que el horno emanaba mucha cantidad de gases por la utilización de oxígeno.
- Es necesario dejar prendido el venterol luego de colar ya que se necesita refrigerar la boquilla del quemador y así evitar el pronto deterioro.



Fotografía 21. Colocación de Chocoto.

Las siguientes fotografías indican el proceso de fusión del bronce, una vez realizada la prueba con aluminio, hasta la obtención del metal líquido y el proceso de colado.



Fotografía 22. Calentamiento del crisol.



Fotografía 23. Colocación de chatarra de bronce.



Fotografía 24. Verificación de la fundición.



Fotografía 25. Colado del metal.



Fotografía 26. Colocación del metal en los moldes.

CONCLUSIONES

- El objetivo trazado en el proyecto se logró al fundir 150 kg. de bronce en un tiempo de 2 horas 50 minutos como se había colocado en los cálculos y se puede observar que es un tiempo muy cercano al planteado pero se demandó la utilización de oxígeno para alcanzar la temperatura en el tiempo establecido.
- Se adapta muy bien los cálculos de transferencia de calor para este proyecto los mismos que fueron tomados de la tesis que lleva el tema de Diseño de un horno de Crisol Basculante para el Laboratorio de Fundición del Departamento de Materiales de la Escuela Politécnica Nacional.
- Los materiales existentes en el mercado son los adecuados para realizar este tipo de proyectos.
- En las pruebas efectuadas se puede observar que la chimenea interna que posee el horno ayuda a conservar el calor de mejor manera que una chimenea externa generando un mejor rendimiento del horno.

RECOMENDACIONES

- Investigar sobre temas afines a la construcción del horno basculante para encontrar diferentes maneras de solucionar los problemas que se pueden presentar y a la vez para optimizar su rendimiento de esta manera se puede cumplir con los objetivos trazados.
- Se recomienda realizar un cronograma de actividades para evitar pérdida de tiempo, material y a la vez evitar posibles accidentes.
- Cumplir con todos los requerimientos necesarios en el caso de los materiales para la construcción, ya sea en la construcción metálica como en la refractaria utilizando siempre los materiales adecuados y de mayor resistencia siempre y cuando no se dañe la estética del horno.
- Se recomienda realizar los curados necesarios para sacar la humedad tanto del refractario como del crisol, así evitar posibles daños de material.
- Se recomienda realizar las pruebas necesarias en cada proceso, para seguir avanzando con la construcción.
- Se debe continuar con investigaciones para conseguir nuevos métodos que ayuden a mejorar cada vez el rendimiento de estos hornos industriales.
- Se recomienda que las cucharas o los crisoles de segundo vaciado sean previamente calentados para evitar posibles explosiones.

- Se debe aislar las chimeneas del tráfico peatonal para evitar quemaduras.
- Se debería hacer un tratamiento de los gases de combustión para evitar de alguna manera daños al medio ambiente.
- Se debe utilizar equipo de seguridad industrial debido a que los materiales que se utilizan en la construcción de hornos industriales son dañinos y al exponerse a largos períodos puede causar cáncer.
- Se debe tener el equipo adecuado contra incendios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAPELLO EDOARDO; Tecnología de la fundición; Ed. Gustavo Pili; Barcelona;1971.
- INEN 1489:99;Productos Derivados del Petróleo Diesel Requisitos; cuarta revisión; Quito 1999-2006
- VACA A., Determinación del Poder Calórico de Combustibles Livianos y Pesados en el Ecuador; Tesis, U.C., pág. 78-79
- FAIRES V; Termodinámica ; pág.582
- REINHARD SCHUHMAN Jr; Ingeniería Metalúrgica; Tomo I; pág. 135 .
- ERECOS ; Catálogos
- TRINKS W; Hornos Industriales; Vol1; Ediciones URMA; Primera edición; Madrid; 1975
- MANTILLA W; Investigación y desarrollo de un Proceso para Fundir Hierros Colados en un Horno Basculante; Proyecto CONUEP; 1991.
- HWESTPHAL WILHELM; Prácticas de Física; V edición; editorial LABOR;1952
- GOLDEN SIMON; Calculista de Estructuras
- ROSERO B; Diseño de un Horno de Crisol basculante para el laboratorio de Fundición del departamento de Materiales de la Escuela Politécnica Nacional; Tesis ; 2005.
- CENGEL A. YUNUS., BOLES A. MICHAEL; Termodinámica; II Edición; McGrawHill;1996

ANEXOS

ANEXO 1

CATÁLOGO DE CRISOLES MARS INTERNATIONAL

MARS – QUALITÄT SEIT ÜBER 100 JAHREN

MARS-Schmelztiegel sind das Produkt bester Rohstoffe, innovativer Technik und jahrzehntelanger Erfahrung in der Tiegelherstellung.

MARS ISOMELT Schmelztiegel werden hergestellt nach isostatischem Pressverfahren MARS ISOPRESS, das modernste Form- und Fertigungsverfahren der Feuerfest-Industrie.

AUG. GUNDLACH GMBH hat als erster Tiegelhersteller erfolgreich das isostatische Pressen zur Herstellung von Schmelztiegeln angewandt und ist führend auf diesem Gebiet.

Dieses spezielle Tiegelpressverfahren wurde für die AUG. GUNDLACH GMBH durch entsprechende Patente weltweit geschützt.

MARS ISOMELT =

- energiesparend durch schnelle Aufheizzeiten
- gleichmäßige Wärmeleitung
- weitgehend widerstandsfähig gegen chemische Angriffe
- geringer Schlackenansatz

Spezialanfertigung in allen Qualitäten nach Zeichnung oder Maßvorgabe.

MARS – QUALITY FOR MORE THAN 100 YEARS

MARS melting crucibles are the result of superior raw materials, innovative technology and more than 100 years experience in crucible manufacture.

MARS ISOMELT crucibles are manufactured by the isostatic pressing system MARS ISOPRESS, the most modern forming and manufacturing system known in the refractory industry.

AUG. GUNDLACH GMBH was the first to successfully apply isostatic pressing for the manufacture of crucibles and is leading in this field.

This special crucible pressing system was protected worldwide for AUG. GUNDLACH GMBH by patents.

MARS ISOMELT =

- energy saving through rapid heating
- consistent thermal conductivity
- high resistance against chemical attack
- reduced slag deposits

Non-standard shaped and sized crucibles and accessories can be manufactured in all qualities to customers own specifications.

MARS – LA QUALITE DEPUIS PLUS DE 100 ANS

Les creusets de fusion MARS sont fabriqués à partir de matières premières de haute qualité, d'après une technologie d'avant-garde, bénéficiant d'une expérience centenaire.

Les creusets **MARS ISOMELT** sont fabriqués selon le système de presse isostatique MARS ISOPRESS, le plus récent système de presser et fabriquer connu dans l'industrie réfractaire.

AUG. GUNDLACH GMBH fut le premier fabricant de creusets à appliquer le pressage isostatique et, par conséquent, possède une avance technologique. Le système de pressage isostatique de creusets a été protégé pour AUG. GUNDLACH GMBH par brevets dans le monde entier.

MARS ISOMELT =

- économies d'énergie par mise en chauffe rapide
- pouvoir calorifique constant
- bonne résistance aux attaques chimiques
- dépôts de crasses réduits

Creusets et accessoires de formes et dimensions sur demande, dans toutes les qualités, selon dessin ou dimensions particulières à nous indiquer.

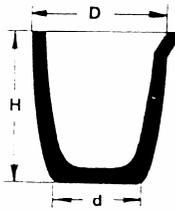
QM-System cert. by Lloyd's Register Quality Assurance



Zertifikat
Register-Nr.
200 763

MARS GLOBAL	Plastisch gedrehte Grafit-Schmelztiegel in Standardgrößen und Sonderformaten, Zubehör und Sonderprodukte für alle Metalle und hypereutektischen Aluminiumlegierungen.
	Traditional graphite crucibles in standard sizes and shapes, as well as to drawing, accessories and special products for all metals and hypereutectic aluminium alloys.
	Creusets en graphite traditionnels en dimensions et formes standards, ainsi qu'accessoires et produits spéciaux selon plan, pour tous métaux et alliages d'aluminium hypereutectiques.
MARS ISOMELT - Aufkleber blau - blue label - étiquette bleue	Isostatisch gepresste Grafit-SiC-Schmelztiegel zum Schmelzen und Warmhalten von Aluminium und Messing sowie für die Zinkdestillation und für Induktionsöfen.
	Isostatically pressed Graphite-SiC-crucibles for melting and holding of aluminium, for brass, zinc distillation and induction furnaces.
Klebeband -blau adhesive tape blue bande gommée bleue	Creusets en graphite-carbure de silicium, isopressés, pour la fusion et le maintien d'aluminium, laiton, distillation de zinc et pour fours à induction.
MARS ISOMELT IM - Aufkleber rot - red label - étiquette rouge	Keramisch gebundene, isostatisch gepresste Grafit-SiC-Schmelztiegel mit spezieller Glasurbehandlung und zweifachem Brennprozeß, besonders zum Schmelzen und Warmhalten von Aluminium in Elektro-Öfen und für Messing.
	Isostatically pressed, ceramic bonded graphite-silicon carbide crucibles, with special glazing and double burning, mainly for the melting and holding of aluminium in electric-furnaces and for brass.
Klebeband rot adhesive tape red bande gommée rouge	Creusets en graphite-carbure de silicium isopressés, à prise céramique, avec une glaçure spéciale, à double cuisson, particulièrement adaptés à la fusion et au maintien d'aluminium en fours électriques et pour laiton.
MARS uniCstar X - Aufkleber grün - green label - étiquette verte	Harzgebundene, isostatisch gepresste Siliciumkarbidtiegel für hohe Beanspruchungen in brennstoffbeheizten Öfen, zum Schmelzen von Leicht- und Schwermetallen.
	Isostatically pressed, resin-bonded heavy duty silicon carbide crucibles for melting of light and heavy metals in fuel fired furnaces.
Klebeband grün adhesive tape green bande gommée verte	Creusets en carbure de silicium isopressés, à liant résine, à haut rendement, pour la fusion des métaux légers et lourds en fours à combustibles.
MARS uniCstar X0 - Aufkleber gelb - yellow label - étiquette jaune	Harzgebundene, isostatisch gepresste Siliciumkarbidtiegel für höchste Beanspruchung in brennstoffbeheizten Öfen, zum Schmelzen von Leicht- und Schwermetallen, für Widerstandsöfen zum Schmelzen von Schwermetallen und für Schrott-Recycling.
	Isostatically pressed, resin-bonded heavy duty silicon-carbide crucibles for maximum strain, melting of light and heavy metals in fuel fired furnaces, for melting of heavy metals in electric resistance furnaces and for scrap recycling.
Klebeband beige adhesive tape beige bande gommée beige	Creusets en carbure de silicium isopressés, à liant résine, pour la charge maxima, pour la fonte des métaux légers et lourds en fours à combustibles, pour la fonte des métaux lourds en fours à résistance électriques et pour recycler de déchets.

A/AX/AXO

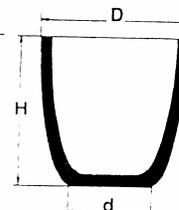


No. oder ca. kg Cu	AX	H mm	D mm	d mm
6/0 ¹⁾		29	25	19
5/0 ¹⁾		35	32	25
4/0 ¹⁾		51	41	29
3/0 ¹⁾		54	48	32
2/0 ¹⁾		57	51	35
0 ¹⁾		70	60	41
1/2 ¹⁾		80	70	43
1 ¹⁾		90	90	55
1 1/2 ¹⁾		100	95	60
2 ¹⁾		110	102	65
3 ¹⁾		130	110	70
4 ¹⁾		140	115	75
5 ¹⁾		150	125	85
6 ¹⁾		165	130	90
7 ¹⁾		175	140	95
8 ¹⁾		180	155	110
10		200	160	115
12		210	170	120
14		220	175	120
15		230	180	120
16		230	185	125
18		240	195	130
20		255	200	140
25		260	220	150
30	•	290	230	160
40	•	310	260	190
50	•	330	270	195
60	•	345	285	200
70	•	360	295	205
80	•	375	305	215
90	•	380	315	225
100	•	400	325	230
120	•	410	345	245
130	•	420	350	250
150	•	450	370	260
175	•	480	380	270
200	•	500	400	285
250	•	515	420	300
300	•	540	440	315
350	•	590	475	330
400 ²⁾	•	600	500	340
500 ²⁾	•	650	510	350
600 ²⁾	•	680	530	380
800 ²⁾	•	800	560	380
1000 ²⁾	•	820	635	420
1100 ²⁾	•	890	635	420
1500 ²⁾	•	900	780	435
1600 ²⁾	•	1000	780	435
1700 ²⁾	•	1000	880	450
1800 ²⁾	•	1100	880	450
1900 ²⁾	•	1000	950	550
2000 ²⁾	•	1250	950	550

¹⁾ ohne Glasur
unglazed
sans glaçure

²⁾ ohne Ausgußlippe
without lip
sans bec de coulée

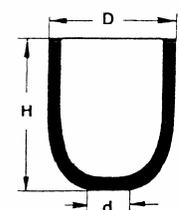
BU/BUX/BUXO



No. oder ca. kg Al	BUX	Aquiva- lent	H mm	D mm	d mm
BU 100	•	BC 166	400	527	305
BU 125	•	BC 167	450	527	305
BU 150	•	BC 168	490	527	305
BU 175	•	BC 169	550	527	305
BU 200	•	BC 171	600	527	305
BU 210	•	BC 202	500	615	355
BU 250	•	BC 302	630	615	355
BU 300	•	BC 401	700	615	355
BU 350	•	BC 402	800	615	355
BU 350 H	•	BU 450	900	615	355
BU 500	•	BC 247	750	775	435
BU 600	•	BC 263	900	780	435
BU 700	•		1000	780	435
BU 750	•		880	870	450
BU 800	•		1000	870	450
BU 800 H	•	max.	1250	880	450
GP 1800 H*	•	max.	1250	880	350
GP 1800/1*	•	BU 800	1000	880	350
BU 900	•		1000	950	550
BU 900 H	•		1250	950	550

Tiegel mit Pyrometer-Tasche auf Anfrage.
Crucibles with pyrometer sheath on requere
Creusets avec gaine pyrométrique sur demande.
*)LbsAl

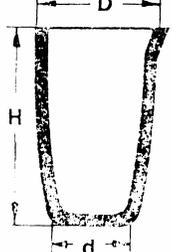
B/BX



No. oder ca. kg Al	BX	Aquiva- lent	H mm	D mm	d mm
B 35	•	MD 2	345	395	200
B 50	•	MD 3	395	395	200
B 60	•	MD 4	430	395	200
B 75	•	MD 5	375	465	235
B 100	•	MD 6	400	525	255
B 125	•	MD 7	450	525	255
B 150	•	MD 9	490	525	255
B 175	•	MD 10	550	525	255
B 200	•	MD 11	600	525	255
B 225	•	MD 15	630	600	250
B 300	•		700	650	250
	•	MD 12	680	650	250
	•	MD 13	700	730	380
	•	MD 14	500	625	480
B 400 *	•		450	700	305
B 500 *	•		525	715	305
B 600 *	•		585	720	305
B 700 *	•		630	730	305
B 700/1 *	•	max.	700	730	305

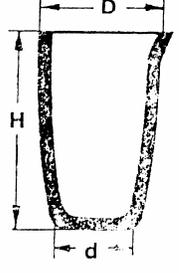
*)IBS Al

C/CX



No. oder ca. kg Cu	CX	H mm	D mm	d mm
50		370	250	180
60		400	255	190
80		440	275	205
100		480	295	210
120		520	310	230
150	•	550	330	240
200	•	600	350	250
250	•	630	380	280

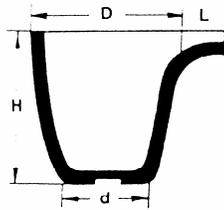
SC/SCX



No.	SCX	H mm	D mm	d mm
50	•	285	190	135
60	•	320	205	150
80	•	355	225	160
100	•	375	235	185
120	•	405	260	190
150	•	440	275	195
200	•	470	290	210
250	•	535	300	210
300	•	565	325	245
600	•	695	420	285
602	•	630	415	285

TP/TPX/TPXO

mit langem Ausguß
with long spout
avec bec de coulée prolongé



No.	TPX	Aquiva- lent	H mm	D mm	d mm	L mm
TP 287	●	BU 200 K	600	530	305	130
TP 287 H	●		700	530	305	130
TP 387	●	BU 250 K	630	615	355	160
TP 412	●	BU 350 K	800	615	355	160
TP 412 H	●	BU 400 K	900	615	355	160
TP 587	●	BU 600 K	900	780	435	200
TP 587 H	●	BU 700 K	1000	780	435	200
TP 800	●	BU 800 K	1000	880	450	200
TP 800 H	●	max.	1250	880	450	200
GP 1800/1S*	●		1000	880	350	200
GP 1800 HS*	●	max.	1250	880	350	200

*)LbsAl

TP/TPX/TPXO

mit langem Ausguß
with long spout
avec bec de coulée
prolongé

No.	TPX	Cap.ca. kg Cu	H mm	D mm	d mm	L mm
TP 173 G	●	120	490	325	240	75
TP 173	●	120	490	300	235	95
TP 184	●	200	600	350	260	120
TP 400 G	●	225	615	350	260	120
TP 723 G	●	270	635	350	260	120
TP 600	●	300	805	355	260	130
TP 843	●	300	675	420	255	155
TP 982	●	430	800	435	295	135
TP 89	●	500	740	545	325	135
TP 12	●	500	940	440	295	150
TP 16	●	900	970	540	360	160

TP/TPX/TPXO

ohne Ausguß
without spout
sans bec de coulée

No.	TPX	ca. kg Cu	H mm	D mm	d mm
TP 903	●	75	725	260	190
TP 901	●	120	760	290	235
TP 904	●	200	915	345	240
TP 6	●	300	675	420	285
TP 14	●	500	1015	420	255
TP 8	●	400	800	440	295
TP 10	●	540	940	440	295
TP 388	●	600	760	540	360
TP 15	●	950	970	540	360
TP 833	●	1100	1130	540	330
TP 830	●	1260	1190	540	360
TP 980	●	1700	1230	680	395

KF/KFX/KFXO

No.	KFX	H mm	D mm	d mm
KF 200	●	770	350	260
KF 300	●	870	440	295
KF 500	●	990	485	320
KF 600	●	1090	485	320
KF 750/1	●	1130	540	330
KF 1000/1	●	1130	590	370
KF 1500/1	●	1130	680	395
KF 2000/1	●	1130	785	435
KF 2500	●	1250	800	435

K/KX/KXO

No. oder ca. kg Cu	KX	H mm	D mm	d mm
100	●	520	290	200
150	●	600	320	240
200	●	620	350	250
250*	●	650	370	260
300*	●	720	445	280
350*	●	750	450	290
400	●	800	460	320
500*	●	840	465	320
600	●	940	485	320

* auch mit langem Ausguß
also with long spout
aussi avec bec de coulée prolongé

BIL/BILX

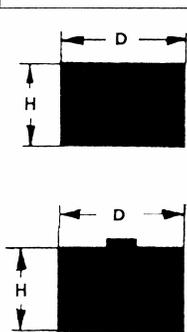
No.	BILX	H mm	D mm	d mm
70	●	390	283	318
80	●	397	297	322
90	●	410	310	335
100	●	424	318	343
125	●	440	330	357
150	●	470	350	375

Bei Bestellungen bitten wir die Art des
metals, die Art des Ofensy-
stems und die Art des Brennstoffes zur Verwendung kom-

When ordering please indicate the
metal to be melted, the type of furnace,
and the type of fuel that will be used.

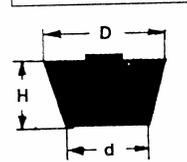
Lors de vos commandes, nous vous pri-
ons d'indiquer la nature des matériaux
à fondre, le genre de four utilisé et le
type de combustible qui sera utilisé.

UZ/UKZ



H mm	D mm									
	200	230	250	280	300	320	360	400	440	540
65	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
100	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
150	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
200	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
250	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
280									•	
300						•	•	•	•	
350							•		•	
380									•	

UR



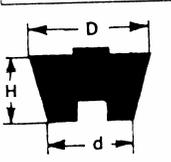
No.	H mm	D mm	d mm
R 0950	140	255	185
R 1105	125	270	255
R 1405	120	345	290
R 758	160	355	220
R 760	215	435	305

Der Knopf ist bei allen Untersätzen 10 mm hoch mit 90 mm Ø.

On all stands the knob is 10 mm high with a diameter of 90 mm.

Tous les tétons ont une hauteur de 10 mm Ø 90 mm.

UKKB



No.	H mm	D mm	d mm
UKKB 1025	100	250	180
UKKB 1225	120	250	180
UKKB 1525	150	250	180
UKKB 2025	200	250	180
UKKB 1030	100	300	180
UKKB 1230	120	300	180
UKKB 1530	150	300	180
UKKB 1830	180	300	180
UKKB 2030	200	300	180

Andere Abmessungen auf Anfrage

Other dimensions on request

Autres dimensions sur demande

AF

Aufsätze und Ringe auf Anfrage
Muffle rings on request
Rehausses sur demande



GR

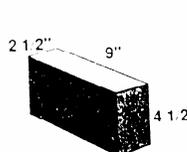
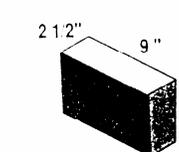
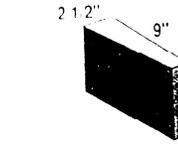
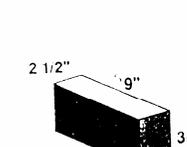
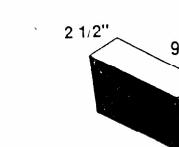
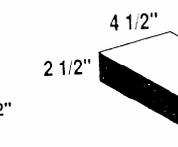
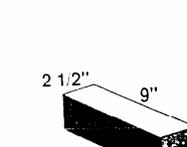
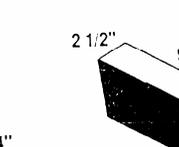
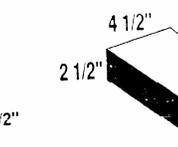
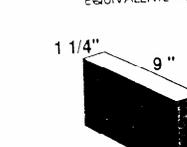
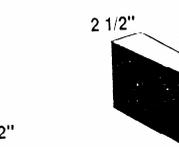
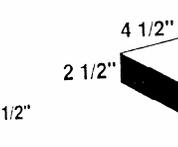
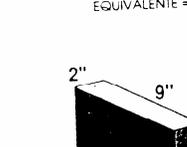
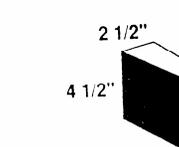
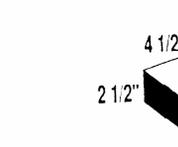
Gießbrinnen nach Zeichnung
Launders per drawing
Chenaux de coulée selon plan



ANEXO 2



FORMAS NORMALES
SERIE 9 x 4 1/2 x 2 1/2" (229 x 114 x 64 mm.)

 <p>RECTO $9 \times 4 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{2}$" $229 \times 114 \times 64$ mm. EQUIVALENTE = 1</p>	 <p>ARCO Nro. 1 $9 \times 4 \frac{1}{2} \times (2 \frac{1}{2} - 2 \frac{1}{8})$" $229 \times 114 \times (64 - 54)$ mm. EQUIVALENTE = 0.93</p>	 <p>CUÑA Nro. 2 $9 \times 4 \frac{1}{2} \times (2 \frac{1}{2} - 1 \frac{1}{2})$" $229 \times 114 \times (64 - 38)$ mm. EQUIVALENTE = 0.80</p>
 <p>RECTO PEQUEÑO $9 \times 3 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{2}$" $229 \times 89 \times 64$ mm. EQUIVALENTE = 0.78</p>	 <p>ARCO Nro. 2 $9 \times 4 \frac{1}{2} \times (2 \frac{1}{2} - 1 \frac{3}{4})$" $229 \times 114 \times (64 - 45)$ mm. EQUIVALENTE = 0.95</p>	 <p>LLAVE Nro. 1 $9 \times (4 \frac{1}{2} - 4 \frac{1}{2}) \times 2 \frac{1}{2}$" $229 \times (114 \times 102) \times 64$ mm. EQUIVALENTE = 0.94</p>
 <p>JABON $9 \times 2 \frac{1}{4} \times 2 \frac{1}{2}$" $229 \times 57 \times 64$ mm. EQUIVALENTE = 0.50</p>	 <p>ARCO Nro. 3 $9 \times 4 \frac{1}{2} \times (2 \frac{1}{2} - 1)$" $229 \times 114 \times (64 - 25)$ mm. EQUIVALENTE = 0.70</p>	 <p>LLAVE Nro. 2 $9 \times (4 \frac{1}{2} - 3 \frac{1}{2}) \times 2 \frac{1}{2}$" $229 \times (114 \times 89) \times 64$ mm. EQUIVALENTE = 0.89</p>
 <p>TABLETA $9 \times 2 \frac{1}{2} \times 1 \frac{1}{4}$" $229 \times 114 \times 32$ mm. EQUIVALENTE = 0.50</p>	 <p>CUÑA 1X $9 \times 4 \frac{1}{2} \times (2 \frac{1}{2} - 2 \frac{1}{4})$" $229 \times 114 \times (64 - 57)$ mm. EQUIVALENTE = 0.95</p>	 <p>LLAVE Nro. 3 $9 \times (4 \frac{1}{2} - 3) \times 2 \frac{1}{2}$" $229 \times (114 \times 76) \times 64$ mm. EQUIVALENTE = 0.83</p>
 <p>TABLETA - 2" $9 \times 4 \frac{1}{2} \times 2$" $229 \times 114 \times 51$ mm. EQUIVALENTE = 0.80</p>	 <p>CUÑA Nro. 1 $9 \times 4 \frac{1}{2} \times (2 \frac{1}{2} - 1 \frac{7}{8})$" $229 \times 114 \times (64 - 48)$ mm. EQUIVALENTE = 0.88</p>	 <p>LLAVE Nro. 4 $9 \times (4 \frac{1}{2} - 2 \frac{1}{4}) \times 2 \frac{1}{2}$" $229 \times (114 \times 57) \times 64$ mm. EQUIVALENTE = 0.75</p>

ANEXO 3

LADRILLOS REFRACTARIOS SILICO -ALUMINOSOS PROPIEDADES TIPICAS

MARCA	U-30	U-32	U-33	ER-40
Clasificación ICONTEC -773, ASTM C-27	Medianamente Refractarios Medium Duty	Altamente Refractarios High Duty	Super Refractarios Super Duty	Super Refractarios Super Duty
Análisis Químico				
Al ₂ O ₃	40.0	40.5	42.5	41.5
SiO ₂	54.5	54.0	52.5	53.5
Fe ₂ O ₃	2.4	2.1	1.5	1.4
TiO ₂	1.6	2.1	2.0	1.9
CaO	0.2	0.3	0.3	0.4
MgO	0.6	0.3	0.3	0.4
Alcalis	0.7	0.4	0.5	0.6
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	31 1/2	32 1/2	34	34
Temperatura equivalente, ICONTEC -706, ASTM C-24	°C 1699	1724	1763	1763
Porosidad aparente, ICONTEC -674, ASTM C-20	% 21.0-25.0	22.0-26.0	20.0-24.0	16.0-20.0
Densidad aparente, ICONTEC -674, ASTM C-20	g/cc 2.05-2.15	2.03-2.13	2.13-2.23	2.16-2.26
Resistencia a la compresión en frío ICONTEC -682, ASTM C-133	kg/cm ² 200-300	170-250	250-370	350-500
Módulo de ruptura en frío ICONTEC -682, ASTM C-133	kg/cm ² 70-130	60-120	75-135	120-180
Cambio lineal permanente ICONTEC -688, ASTM C-113	% 0.2C-0.2E 1400	0.0-0.2C 1400	0.5C-2.0C 1600	0.5C-1.5C 1600
Deformación bajo carga en caliente ICONTEC -1107, ASTM C-16	% 0.5-1.0 1350	0.1-0.7 1350	2.0-3.5 1450	1.0-2.0 1450

Los datos anteriores se basan en los resultados promedios de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial de ladrillos normales prensados de 9" utilizando los procedimientos descritos en las normas ICONTEC y ASTM donde ellas sean aplicables y no deben emplearse para efecto de especificaciones garantizadas. Pueden presentarse variaciones de los resultados dependiendo del tamaño, forma o proceso de fabricación.

C=Contracción
E=Expansión

Enero 1993

ANEXO 4

MORTEROS REFRACTARIOS SILICO-ALUMINOSOS PROPIEDADES TÍPICAS

MARCA	REPEL X	UNIVERSAL	SUPER-AEROFRA ^x
Clasificación ICONTEC -765 y -851	Altamente Refractario	Super Refractario	Super Refractario
Tipo de Mortero	Húmedo de fraguado al aire	Seco de fraguado térmico	Húmedo de fraguado al aire
Análisis Químico	%		
Al ₂ O ₃	40.0	41.5	43.0
SiO ₂	53.5	52.5	50.3
Fe ₂ O ₃	1.6	2.0	1.8
TiO ₂	2.0	2.4	2.1
CaO	0.2	0.4	0.2
MgO	0.3	0.4	0.3
Alcalis	2.0	0.5	2.0
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	32	32	32 1/2
Temperatura equivalente, ICONTEC -706, ASTM C-24	1717	1717	1724
Refractariedad (el mortero no fluye de la junta a) ICONTEC -861, ASTM C-199	1500	1600	1600
Máximo tamaño de grano	mm 1.0	0.6	0.6
Agua de preparación, ml/Kg mortero para aplicar con palustre para aplicar por Inmersión	(*) N.A	360 500	(*) 60
Kg de mortero requerido para pegar 1000 ladrillos de 9 * 4 1/2 * 2 1/2" con palustre por Inmersión	190 N.A	129 81	180 ↗ 160
Presentación	tambores 35 kg.	sacos 30 kg.	tambores 35kg.

N.A: No se debe aplicar por Inmersión.

(*): Mortero húmedo para aplicar tal como se entrega.

Los datos anteriores se basan en los resultados promedios de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial, utilizando los procedimientos descritos en las normas ICONTEC y ASTM donde ellas sean aplicables y no deben emplearse para efectos de especificaciones garantizadas.

Enero 1993

ERE

ANEXO 5

MARCA	PROPIEDADES TÍPICAS					
	AR - 1400	AR - 1600	CM - 16	RE - 12	CONCRAX 1700	CORINDAL 1900
Clasificación ICONTEC-814, ASTM C-401	Clase C	Clase E	Clase E	Clase D	Clase C	Clase G
Análisis Químico % Al ₂ O ₃ SiO ₂ Fe ₂ O ₃ TiO ₂ CaO MgO Alcalis	54.0 36.0 1.8 1.4 6.0 0.3 0.5	56.3 33.7 0.8 1.2 7.2 0.3 0.4	55.5 36.5 1.1 1.5 4.5 0.3 0.4	76.0 4.8 6.2 3.5 9.5 0.4 0.4	86.0	92.7 1.5 0.4 1.5 3.3 0.3 0.3
Como Pírométrico Equivalente (PCE) Temperatura equivalente, ICONTEC-706, ASTM C-24	32 1/2 1724	35 785	35 1785	32 1777	>37 >1820	>38 >1850
Máxima temperatura de servicio recomendada ICONTEC 814	1430	1600	1650	1540	1650	1800
Máximo tamaño de grano mm	10	5	10	3	3	6
Material seco requerido por metro cúbico	2030-2200	1950-2050	2100-2200	2450-2650	2500-2600	2900-3000
Agua de preparación cc. de agua/kg. de material seco ICONTEC -988, ASTM C-850	120-130	120-140	110-120	110-120	95-105	75-85
Densidad volumétrica ASTM C-134	110 2.05-2.15 1000 1.99-1.65 1370 1.95-2.00	110 2.04-2.10 1000 1.97-2.01 1600 2.16-2.20	110 2.10-2.20 1000 2.05-2.10 1600 2.15-2.30	110 2.81-2.60 1000 2.31-2.40 1480 2.41-2.50	110 2.50-2.60 1000 2.35-2.40 1480 2.60-2.65	110 2.65-2.95 1000 2.80-2.85 1600 2.90-3.00
Módulo de ruptura en frío ICONTEC -988, ASTM C-133	110 70-110 1000 55-65 1370 100-110	110 90-100 1000 80-70 1600 80-110	110 55-90 1000 30-60 1600 130-160	110 35-65 1000 30-40 1480 253-300	110 60-90 1000 35-45 1480 200-250	110 70-100 1000 50-60 1600 250-300
Resistencia a la compresión en frío ICONTEC -682, ASTM C-133	110 300-420 1000 250-300 1370 360-450	110 400-450 1000 240-400 1600 300-400	110 250-450 1000 180-300 1600 350-500	110 233-430 1000 163-170 1480 503-700	110 180-380 1000 150-170 1480 500-700	110 200-400 1000 200-280 1600 600-800
Cambio lineal permanente ICONTEC -988 ASTM C-401 y C-865	1000 0.0 - 0.0 1370 0.8C-1.0C	1000 0.0-0.0 1600 0.25C-0.65C	1000 0.1C-0.3C 1600 1.5C-2.0C	1000 0.1C-0.1C 1480 0.5C-1.0C	1000 0.1C-0.1C 1480 2.0C-2.5C	1000 0.0C-0.1C 1600 0.5C-1.0C
Presentación	Sacos 50 kg.	Sacos 50 kg.	Sacos 50 PZ.	Saco 80 kg.	Sacos 50 kg.	Sacos 50 kg.

ANEXO 6



ACP 611

IDENTIFICACION: WESTARCOE-6011
 CLASIFICACION: AWS E - 6011
 ESPECIFICACION: AWS A5.1, ASME SFA5.1
 APROBADO: ABS (Grado 2), Lloyd's (Grado 2)

CARACTERISTICAS SOBRESALIENTES

Su revestimiento celulósico - potásico, para alta penetración. Su penetración es comparable a la del XL - 610 al trabajar con corriente alterna. Trabaja en todas las posiciones. La remoción de escoria es muy fácil y tiene muy buena calidad radiográfica.

APLICACIONES TÍPICAS

Tiene gran aplicación en construcciones navales, recipientes a presión, para soldar aceros al carbono y en aplicaciones similares a las del XL 610 en las cuales también puede trabajar con corriente alterna.

RECOMENDACIONES PARA SU APLICACION

Use corriente alterna o continua polaridad positiva (+). En posición vertical o sobrecabeza utilice electrodos hasta de 4.8 mm. Puede trabajar con arco corto o largo y se puede aplicar con ó sin oscilación.

PROPIEDADES MECANICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia a la tracción:	43.5 - 50.5 kg/mm ² (62-72 Ksi)
Límite de fluencia:	36.5 - 43.5 kg/mm ² (52-62 Ksi)
Elongación:	22 - 32 %
Reducción de área:	40 - 70 %
Resistencia al impacto Charpy en V a -29°C :	27 - 100 joules

NOTA: Ensayos realizados según AWS A5.1

DIMENSION	AMPERAJES RECOMENDADOS
2.4 x 300 mm (3/32")	50 - 80 A
3.2 x 350 mm (1/8")	70 - 115 A
4.0 x 350 mm (5/32")	90 - 160 A
4.8 x 450 mm (3/16")	120 - 210 A
6.4 x 450 mm (1/4")	170 - 250 A

EMPAQUE: Caja de 20 kg peso neto. Ver recomendaciones de almacenamiento al final del catálogo.

Electrodos para soldar aceros al carbono