



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

## SEDE GUADALAJARA

PROLONGACIÓN CALZADA CIRCUNVALACIÓN PUENTE No. 40  
C.D. ORANJA C.P. 45010 ZAPopan, Jalisco, México  
TEL. 479-0700 FAX 479-0700

"DISEÑO DE UN PROTOTIPO DIDACTICO DE  
UN HORNO DE FUNDICION TIPO CRISOL Y  
SELECCION DEL SISTEMA DE COMBUSTION  
PARA EL ANALISIS DE LA FLAMA"

JOSE ARTURO GALVEZ NAVARRO

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en  
Ingeniería Electromecánica con Especialización de Valder  
Oficial de Estudios de la SEDE PARA LA EDUCACION PUBLICA,  
según acuerdo número 1937/97 con fecha 29-1-97.

Guadalajara, Jalisco, México de 1997

CLASIF: \_\_\_\_\_  
ADQUIS: 4414  
FECHA: 08/08/02  
DONATIVO DE \_\_\_\_\_  
\$ \_\_\_\_\_



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

## SEDE GUADALAJARA

PROLONGACIÓN CALZADA CIRCUNVALACIÓN PONIENTE No. 49  
CD. GRANJA C.P. 45010 ZAPOPAN, JALISCO MÉXICO  
TEL.: 679-0708 FAX: 679-0709

“ DISEÑO DE UN PROTOTIPO DIDACTICO DE  
UN HORNO DE FUNDICION TIPO CRISOL Y  
SELECCION DEL SISTEMA DE COMBUSTION  
PARA EL ANALISIS DE LA FLAMA “

JOSE ARTURO GALVEZ NAVARRO

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en  
Ingeniería Electromecánica con Reconocimiento de Validez  
Oficial de Estudios de la SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA,  
según acuerdo número 00933087 con fecha 29-I-93.

Zapopan, Jal., diciembre de 1997



**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**  
SEDE GUADALAJARA

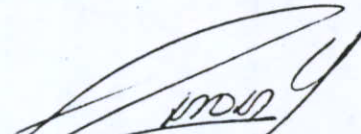
***DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN***

**JOSÉ ARTURO GÁLVEZ NAVARRO**

**Presente**

En mi calidad de Presidente de la Comisión de Exámenes Profesionales y después de haber analizado el trabajo de titulación en la alternativa tesis titulado "**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DIDACTICO DE UN HORNO DE FUNDICION TIPO CRISOL Y SELECCION DEL SISTEMA DE COMBUSTION PARA EL ANALISIS DE LA FLAMA.**", presentado por usted, le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado de Examen Profesional, por lo que deberá entregar ocho ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

**Atentamente**



**EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN**

Zapopan, Jal. enero 30 de 1998



UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
SEDE GUADALAJARA

Mayo 17 de 1995

COMITE DE EXAMENES PROFESIONALES  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA  
UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Hago constar que el alumno: JOSE ARTURO GALVEZ NAVARRO, ha terminado satisfactoriamente el trabajo de tesis titulado: "DISEÑO DE UN PROTOTIPO DIDACTICO DE UN HORNO PARA FUNDICION TIPO CRISOL Y SELECCION DEL SISTEMA DE COMBUSTION PARA EL ANALISIS DE LA FLAMA.", que presentó para optar por el título de la Licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Se extiende la presente para los fines que convengan al interesado.

A t e n t a m e n t e

A handwritten signature in cursive script, appearing to read "Maria del Rocio Rodriguez Hernandez".

ING. MARIA DEL ROCIO RODRIGUEZ HERNANDEZ  
Asesor de Tesis  
Escuela de Ingeniería Electromecánica

CC. JOSE ARTURO GALVEZ NAVARRO

DEDICATORIAS.

## *GRACIAS.....*

A DIOS.

Por estar siempre a mi lado en los momentos de angustia y desesperación.

A MIS PADRES.

Por haberme apoyado durante todo este tiempo.  
Reciban este logro como si fuera suyo.

A MIS HERMANAS .

Sandra y Karla por ayudarme siempre.  
Las quiero con toda mi alma.

A MI NOVIA.

Muchas gracias por estar siempre  
A mi lado mientras que que esta tesis  
Fuera lo que es ahora.  
Te amo.

A MIS MAESTROS Y AMIGOS.

Por haber confiado en mi dedicación y esfuerzo.  
Nunca los defraudare.

A MIS COMPAÑEROS.

Por haber compartido parte de sus vidas,  
los fracasos y los éxitos. Nada nos podrá separar.

A MI UNIVERSIDAD.

Espero algún día formar parte de ti  
y compartir mi experiencia.

A TODA LA GENTE QUE CONFIO EN MI.

No podré olvidarlos.

Y sobre todo

A MI MADRE LETICIA NAVARRO.

Por que siempre estuviste al pendiente de mi  
en esos momentos que más te necesite.

Te amo con toda mi alma.

Nunca nos separaremos.

## ÍNDICE

### PAGINA

<b>INTRODUCCIÓN.</b> -----	8
<b>1. ASPECTOS TEÓRICOS.</b> -----	10
1.1 La estequiometría de las reacciones. -----	10
1.2 Procesos de combustión reales.-----	11
1.3 Temperatura de combustión adiabática. -----	12
1.4 Transferencia de calor. -----	14
1.4.1 Conducción. -----	14
1.4.1.1 Cuando tenemos paredes compuestas.-----	15
1.4.2 Convección. -----	18
1.4.3 Radiación.-----	19
<b>2. GENERALIDADES.</b> -----	22
2.1 Procesos de fundición. -----	22
2.2 Procedimiento de moldeo.-----	22
2.3 Selección de las arenas. -----	23
2.4 Pruebas de arenas.-----	24
2.5 Métodos de moldeo. -----	26
2.6 Equipo acondicionador de arenas. -----	27
<b>3. CLASIFICACIÓN DE LOS HORNOS.</b> -----	28
3.1 Hornos que producen calor empleando un combustible o energía alternativa. ----	28
3.1.1 Hornos donde la carga se calienta en contacto directo con el combustible---	28
3.1.1.1 Hornos Abiertos-----	28
3.1.1.2 Hornos de Cuba-----	28

3.1.2 Hornos en los que la carga de mineral esta separada del combustible -----	29
3.1.2.1 Hornos de reverbero -----	29
3.1.2.2 Hornos eléctricos -----	29
3.1.2.2.1 Hornos de resistencia que calientan por efecto Joule -----	29
3.1.2.2.2 Hornos de arco eléctrico -----	30
3.1.2.3 Horno tipo crisol -----	30
3.2.1 Combustibles para hornos. -----	31
3.3 Recomendaciones técnicas para el proyecto de este horno. -----	33
3.3.1 Capacidad del crisol. -----	33
3.3.2 Pedimento térmico. -----	34
3.3.3 Movimiento de los gases dentro del horno. -----	34
3.3.4 Duración del horno. -----	34

**4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS. ----- 35**

4.1 Refractarios. -----	35
4.2 Propiedades. -----	35
4.3 Propiedades químicas. -----	36
4.4 Porosidad. -----	36
4.5 Punto de fusión. -----	36
4.6 Astillado. -----	37
4.7 Resistencia. -----	37
4.8 Resistencia a los cambios de temperatura. -----	37
4.9 Conductividad térmica. -----	37
4.10 Capacidad calorífica. -----	38
4.11 Variedades de materiales refractarios. -----	38
4.12 Ladrillos de sílice. -----	38
4.13 Refractarios de alta alúmina. -----	39



4.14 Refractarios de alúmina cristalina o de silicatos de aluminio.-----	40
4.15 Ladrillo seleccionado. -----	40
<b>5. CAPACIDAD TÉRMICA DEL HORNO.-----</b>	<b>41</b>
5.1 Determinación del calor.-----	41
5.2 Calculo de las cantidades de calor por kilogramo de aluminio.-----	41
5.3 Calor de fusión del aluminio. -----	42
<b>6. ESTEQUIOMETRÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.-----</b>	<b>47</b>
6.1 Calor cedido por los gases de combustión.-----	47
6.1.1 Balance estequiometrico. -----	48
6.1.2 Calculo de la temperatura de flama. -----	51
<b>7. CÁLCULOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.-----</b>	<b>55</b>
7.1 Temperatura de los gases de combustión. -----	55
7.2 Cálculos del calor que absorbe la carga. -----	62
7.3 Calor perdido por radiación -----	63
7.4 Perdidas de calor a través de los muros -----	65
7.5 Calor proporcionado por los gases de combustión.-----	69
7.6 Calor teórico del proceso de fundición.-----	73
<b>8. CALCULO DE LA CHIMENEA.-----</b>	<b>75</b>
8.1 Presión en los hornos. -----	75
8.2 Chimeneas. -----	76
8.3 Chimeneas localizadas arriba del nivel del mar (este caso).-----	78
8.4 Flujo de los gases de combustión.-----	79
8.5 Calculo del área transversal de la chimenea. -----	80

8.6 Tiro producido por la chimenea. -----	81
8.7 Velocidad de los gases de combustión. -----	84
8.8 Corrección a las dimensiones de la chimenea. -----	85
<b>9. MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HORNO.--</b>	<b>87</b>
<b>10. COSTO. -----</b>	<b>91</b>
<b>11. PRACTICAS RECOMENDADAS. -----</b>	<b>92</b>
11.1 Practicas de combustión. -----	92
11.2 Practicas de fundición. -----	96
<b>12. DIBUJOS DEL HORNO.-----</b>	<b>98</b>
<b>CONCLUSIONES. -----</b>	<b>100</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.-----</b>	<b>101</b>
<b>APÉNDICE. -----</b>	<b>102</b>

## INTRODUCCIÓN.

Uno de los problemas que se ha encontrado en algunas Universidades es la falta de laboratorios que satisfagan completamente las necesidades de las carreras de ingeniería.

Un problema por el cual pasan los alumnos de ingeniería al término de la carrera, es el desconocimiento total o parcial de muchos de los elementos físicos de procesos importantes existentes en la industria actual mexicana.

En estos tiempos no es conveniente que el estudiante tenga solamente como fuente de información los libros y las experiencias de los profesores, sino que la pueda adquirir, directamente de procesos simulados y realizados bajo la supervisión directa o indirecta del profesor.

Estos problemas se han tratado de combatir con las visitas que los alumnos hacen a diferentes plantas, pero eso no es suficiente, ya que no pueden participar directamente en el proceso.

De acuerdo con el perfil que se le está dando al ingeniero electromecánico es necesario que conozca más a fondo muchos de los procesos, así como la instrumentación necesaria para llevar a cabo todo lo relacionado con el mismo.

En un principio la Universidad Panamericana sede Guadalajara, planteó el programa de Ingeniería Electromecánica para ser capaz de realizar diseños ingenieriles, por lo que los alumnos deben contar con laboratorios lo suficientemente equipados para poder reproducir las condiciones más comunes que los procesos puedan presentar.

Debido a la revolución industrial que está experimentando la industria mexicana, el ingeniero electromecánico debe conocer los adelantos técnicos o por lo menos la base de la tecnología; esto lo debe aprender desde la universidad, para que cuando se integre a la vida productiva, dichos adelantos no sean nuevos para él.

Es por ello que las coordinaciones de Ingeniería estuvieron de acuerdo en que los alumnos deben tener más contacto con actividades reales con mas experiencia o prácticas simuladas por los laboratorios.

Otra causa que debemos tomar en cuenta es que los laboratorios universitarios pueden dar nacimiento a nuevas técnicas, que cuales se pueden aplicar a procesos ya establecidos; además los laboratorios también pueden ser herramientas para asesorías a industrias que no tengan los recursos o simplemente el tiempo necesario para desarrollar investigaciones tecnológicas.

Se debe buscar también satisfacer la necesidad que tienen los alumnos de realizar los diferentes procesos que se plantean en las materias de Metalurgia e Ingeniería Térmica.

Tomando en cuenta que la carrera de Ingeniería Electromecánica es relativamente nueva en la Universidad Panamericana, sede Guadalajara y que las materias antes citadas apenas llevan dos años, se quiere:

- Evitar la necesidad de ir a otras instituciones para realizar practicas.
- Tener la libertad de realizarlas cuantas veces sean necesarias.
- Al tener equipo se pueden desarrollar nuevas técnicas.
- Fomentar en el alumno el interés de investigación.

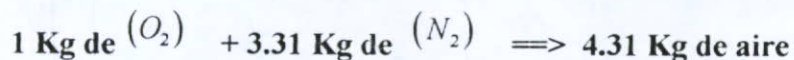
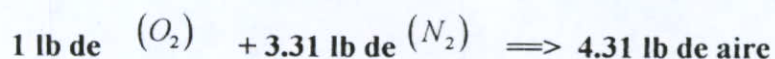
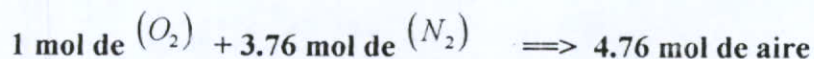
## 1. ASPECTOS TEÓRICOS.

### 1.1 LA ESTEQUIOMETRÍA DE LAS REACCIONES.

Aunque en una reacción química pueden estar presentes reactivos de diferentes tipos, nuestro interés se dirigirá hacia las **reacciones de combustión**. En general, una reacción de combustión es aquella que incluye un combustible, un oxidante y liberación de energía. El oxidante puede ser oxígeno o aire y el bióxido de carbono ( $CO_2$ ) y el agua ( $H_2O$ ) son los productos primarios. La combustión completa requiere la presencia del oxígeno suficiente para que todo el carbono y el hidrógeno del combustible se convierta en ( $CO_2$ ) y ( $H_2O$ ) Durante una combustión incompleta aparecerán otros productos, el más importante de los cuales será el monóxido de carbono ( $CO$ ).

La quema de los combustibles en la práctica industrial por lo general se lleva a cabo empleando el aire como oxidante. Se considera que los componentes principales del aire son aproximadamente: **21% de Oxígeno, 78% de Nitrógeno** y el 1% de Argón, en volumen. Encontrándose también pequeñas cantidades de bióxido de carbono y otros gases.

Es conveniente suponer que el aire está compuesto de 21% de Oxígeno y 79% de Nitrógeno, en volumen. Esto quiere decir que se supondrá que hay 21 moles de Oxígeno por cada 79 moles de Nitrógeno en el aire atmosférico. Escribiéndolo entonces:



La masa molecular promedio del aire es 28.97 que en la mayor parte de los cálculos, tomaremos como 29. Cuando se utiliza aire como fuente de Oxígeno, la mayor fracción de la fuente de oxidante es Nitrógeno diatómico ( $N_2$ ). El nitrógeno es en general un elemento estable que no reacciona químicamente con las demás sustancias presentes.

Aunque esto es cierto a temperaturas normales, a las temperaturas que se producen en una llama caliente el Nitrógeno sí reacciona con el Oxígeno para formar óxido de Nitrógeno ( $NO$ ) y bióxido de Nitrógeno ( $NO_2$ ).

Unas de las consideraciones básicas en el análisis de los procesos de combustión, es la reacción teórica o estequiométrica para un combustible dado. Por definición, en una reacción la cantidad de aire (Oxígeno) requerido en una reacción estequiométrica es muy importante en los estudios sobre la combustión; para la combustión completa de carbono e Hidrógeno y su conversión en ( $CO_2$ ) y ( $H_2O$ ), se pueden emplear los términos de requerimientos teóricos, estequiométrico o químicamente correcto de Oxígeno o aire. Si en un proceso no se usa esta cantidad, se habla entonces del porcentaje teórico de Oxígeno o aire empleado realmente. La cantidad estequiométrica es el 100% del requerimiento teórico. Si se emplea una cantidad menor, el porcentaje teórico de Oxígeno se encuentra entre el 0 y 100%, mientras que un exceso de Oxígeno (de aire ) significa que está empleando un valor superior al 100%.

Además de la nomenclatura recién descrita, a menudo se da la relación existente entre el combustible y el aire proporcionado al proceso de combustión en términos de la relación de aire y combustible o de combustible y aire. La relación de aire combustible (AC) se define como la masa de aire proporcionado por unidad de masa de combustible suministrado. La relación de combustible y aire (CA) es el recíproco de la anterior definición.

## **1.2 PROCESOS DE COMBUSTIÓN REALES.**

En la sección anterior, la discusión y los ejemplos se basaron en la premisa de que se disponía de la información completa acerca de los reactivos que intervenían en un proceso de combustión. Además de eso, fue preciso suponer que, en presencia de un exceso de aire, todo el carbono de un combustible se convertía por completo en bióxido de carbono. Sin embargo, es una experiencia común, basada en las mediciones de productos

gaseosos que, a menudo, se encuentra presente monóxido de carbono en cantidades significativas, aún si se ha empleado un exceso de aire. Además, existen varias aplicaciones para las cuales es difícil obtener una medición real de la relación de aire y combustible. El flujo de combustible, sea éste sólido, líquido o gaseoso, que entra a la cámara de reacción, por lo general se conoce muy bien; por el contrario, el flujo de aire es difícil de medirse con precisión. Para superar estos problemas, se puede llevar a cabo un análisis de los productos gaseosos con un aceptable grado de precisión. De este análisis se puede extraer una gran cantidad de información acerca del proceso de combustión total.

Es posible utilizar muchos métodos experimentales para determinar la concentración de diversos componentes en los productos gaseosos reales de la combustión. El análisis de los gases de combustión comúnmente se reporta con base en un criterio “seco” o uno “húmedo”. Según el criterio seco, no se reporta el porcentaje que hay de vapor de agua en la corriente gaseosa. El ya bien establecido analizador de **Orsat** es un equipo que hace el reporte del análisis total según ya el criterio “seco”. Aunque en dicha medición no se reporta la fracción mol del vapor de agua de la muestra original de gas, eso no limita la utilidad de la técnica.

### **1.3 TEMPERATURA DE COMBUSTIÓN ADIABÁTICA.**

En ausencia de efectos de trabajo y de cualquier cambio apreciable de la energía cinética de la corriente de flujo, la energía liberada por una reacción química en un reactor de flujo estacionario aparece en dos formas: pérdida de calor hacia los alrededores y aumento de la temperatura de los productos. Cuanto menor sea la pérdida de calor, mayor será la elevación de la temperatura de los productos. En el límite de operación adiabática del reactor, ocurrirá el máximo ascenso de temperatura de los productos. En muchas de las aplicaciones ingenieriles de los sistemas reactivos, tales como la propulsión por cohete y los ciclos de turbinas de gas, es deseable poder predecir cuál será la máxima temperatura que alcancen los productos. Esta temperatura máxima se conoce como temperatura de

flama adiabática o de combustión adiabática de la mezcla reactiva. El balance de energía para una mezcla reactiva en flujo estacionario y en condiciones adiabáticas es:

$$\sum_{\text{productos}_i} N_i (\Delta h_{f,298}^0 + h_i - h_{298}) = \sum_{\text{reactivos}_i} N_i (\Delta h_{f,298}^0 + h_i - h_{298}) \quad 1.3-1)$$

Donde:

$\Delta h_{f,298}^0$  la entalpía de formación.

$h_i$  es la entalpía de compuesto a la temperatura determinada.

$h_{298}$  es la entalpía de referencia.

***Por convección, se asigna el valor cero a la entalpía de todos los elementos estables en el estado de referencia estándar de 1 atm y 25°C.***

Una estimación de la máxima temperatura de combustión hecha en esta forma suele ser conservadora. Es decir, el valor calculado será a menudo varios cientos de grados mayor que el valor medido. En la práctica, no se obtiene la temperatura de combustión calculada debido a varios efectos. En primer lugar, la combustión rara vez es completa. En segundo lugar, las pérdidas de calor pueden reducirse a un mínimo, pero no se pueden ser eliminadas por completo. Por último, algunos de los productos de combustión se disociarán en otras sustancias como resultado de las altas temperaturas presentes. Estas reacciones de disociación generalmente son endotérmicas y consumen algo de energía liberada por la reacción total.

Para poder entender el fenómeno de la transferencia de calor definiremos las principales formas en la que se propaga el calor.



## **1.4 TRANSFERENCIA DE CALOR**

El calor es energía en tránsito, debido a la diferencia de temperaturas. Transferencia de calor es el área de ingeniería que trata los mecanismos encargados de la transferencia de energía de un lugar a otro cuando existe una diferencia de temperaturas. En el estudio de la termodinámica, el estudiante se ocupa de la conservación de energía, y la dirección en que se puede transferir energía. En el estudio de transferencia de calor, encontramos ambos procesos de equilibrio y desequilibrio. La ciencia de la transferencia de calor nos permite determinar la razón, con respecto al tiempo, de energía transferida provocada por un desequilibrio de temperaturas. El área de la transferencia de calor tiene un gran impacto en todos los problemas relacionados con energía, cubre un amplio espectro que varía desde la tarea rutinaria de calentamiento o enfriamiento de edificios, hasta los problemas complejos de que aparecen relacionados con la generación de energía nuclear.

### **1.4.1 CONDUCCIÓN.**

Los primeros adelantos acerca de la conducción de calor se deben, en gran parte, a los esfuerzos del matemático francés Fourier (1822), que propuso la ley que hoy se conoce como ley de la conducción de calor de Fourier. La ley de Fourier es una generalización empírica. Dicha ley predice cómo se conduce el calor a través de un medio, partiendo de una región de alta temperatura a una región de baja temperatura. El ejemplo que se considera es el de un horno de fundición tipo crisol, el cual está caliente en su parte interior y frío en su exterior. La razón de calor transferido, desde dentro del horno hasta el exterior, es directamente proporcional al área de la superficie de la pared  $A$ , que se encuentra normal a la dirección del flujo de calor, directamente proporcional a la conductividad del material, directamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre las paredes, ( $T_{in} - T_{out}$ ), e inversamente proporcional al espesor de las paredes ( $L$ )

$$Q = \frac{-kA(T_{in} - T_{ext})}{L} \quad 1.4.1-1)$$

donde, k es la constante de proporcionalidad y se la llama conductividad térmica de la pared. Dicha constante es una propiedad física del material en cuestión. Debe insistirse en que, para mantener las temperaturas con valores  $T_{in}$  y  $T_{ext}$ , se debe suministrar a la cara de la pared que tiene temperatura  $T_{in}$ , una cantidad de calor, Q, como la dada por la ecuación anterior.

**Donde:**

**Q = razón de flujo de calor Btu/h o W**

**A = área de la pared normal al flujo de calor, pie<sup>2</sup> o m<sup>2</sup>**

**$T_{in}$  = temperatura de la superficie interior en F o C**

**$T_{ext}$  = temperatura de la superficie exterior en F o C**

**k = conductividad térmica del material de la pared, Btu/ h-pie-F o W/m-C**

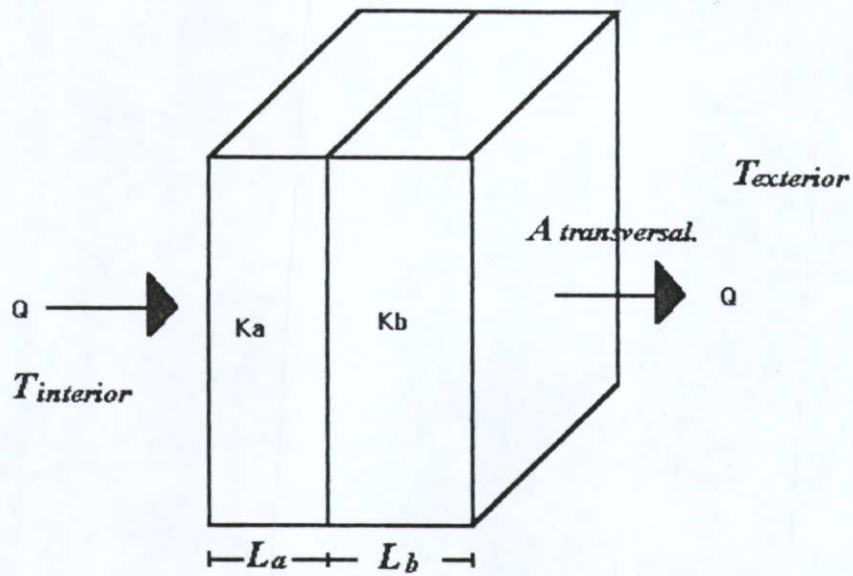
**L = longitud o espesor de la pared en contacto al flujo de calor en pie o m**

En forma diferencial la ecuación queda de la forma siguiente:

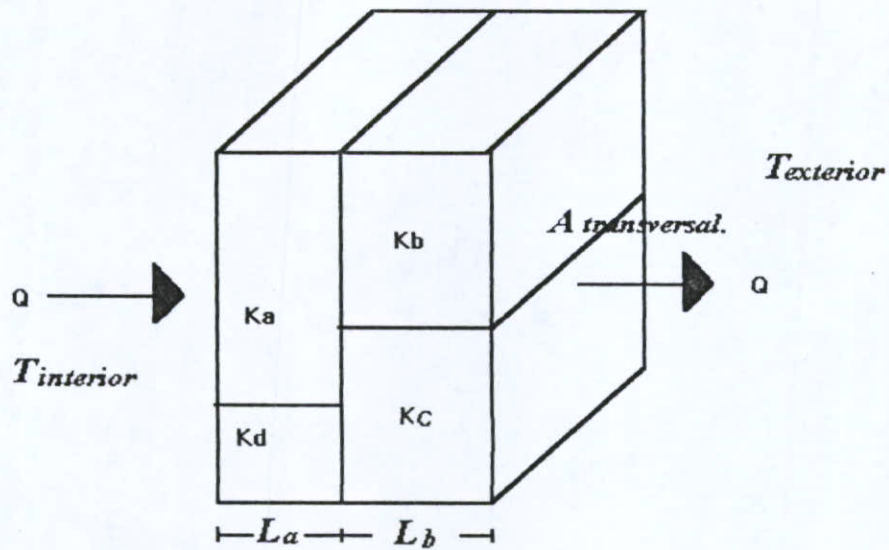
$$Q = \frac{-kA(dT)}{(dX)} \quad 1.4.1.1-2)$$

#### 1.4.1 .1 CUANDO TENEMOS PAREDES COMPUESTAS.

Hay varias formas de tener paredes compuestas una es teniendo paredes en serie como la figura. 1 y en paralelo como en la figura. 2.



**Figura 1.**  
Flujo de calor a través de paredes en serie.



**Figura 2.**  
Flujo de calor a través de paredes paralelas.

Para el caso en que encontramos paredes en serie, o sea una en seguida de la otra, situación semejante a la de un circuito eléctrico que consta de dos resistencias o mas en serie y una batería actuando a través de ella; la resistencia total a través de la pared compuesta está dada por:

$$R_T = \frac{L_a}{k_a A_a} + \frac{L_b}{k_b A_b}$$

$$R_a = \frac{L_a}{k_a A_a}$$

$$R_b = \frac{L_b}{k_b A_b}$$

1.4.1.1-3)

donde:

$A$  = área de la pared normal al flujo de calor,  $pie^2$  o  $m^2$

$k$  = conductividad térmica del material de la pared,  $Btu/h-pie-F$  o  $W/m-C$

$L$  = longitud o espesor de la pared en contacto al flujo de calor en  $pie$  o  $m$

y proporciona un flujo de calor total,  $Q$ , de

donde  $T_{in} > T_{ext}$

$$R_T = \frac{T_{in} - T_{ext}}{\frac{L_a}{k_a A_a} + \frac{L_b}{k_b A_b}}$$

1.4.1.1-4)

en cuya expresión el denominador se conoce como la resistencia térmica total, en general, escribimos

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R}$$

1.4.1.1-5)

en donde  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura sobre el total y  $\sum R$  es la suma de las resistencia térmicas individuales.

Para el caso en que encontramos paredes en paralelo, o sea una sobre otra, situación semejante a la de un circuito eléctrico que consta de dos resistencias o más en paralelo y

una batería actuando a través de ella; la resistencia total a través de la pared compuesta está dada por el recíproco de su resistencia.

$$Q = \frac{T_{int} - T_{ext}}{\left( \frac{1}{\frac{L_a}{k_a A_a}} \right) + \left( \frac{1}{\frac{L_b}{k_b A_b}} \right)} \quad 1.4.1.1-6)$$

### 1.4.2 CONVECCIÓN.

La convección ocurre siempre que una superficie está en contacto con un fluido que tiene temperatura diferente a la de la superficie en cuestión. Por ejemplo, considere una pared caliente vertical y en contacto con un fluido muy frío. Con el transcurso del tiempo, el fluido se hará menos denso. Debido a la diferencia de densidad, se obtiene una fuerza de flotación resultante, provocando que el fluido más ligero se eleve y lo reemplace otra cantidad de fluido más frío, repitiéndose continuamente este proceso. Puesto que el movimiento del fluido queda establecido por fuerzas naturales, a este tipo de convección se le llama convección natural o libre. En la práctica los ingenieros usan la siguiente expresión para determinar razones de transferencia de calor por convección:

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \quad 1.4.2-1)$$

donde:

**Q= calor transferido de la superficie al fluido circulante, Btu/h o W**

**A= área de la superficie, pie<sup>2</sup> o m<sup>2</sup>**

**T<sub>s</sub>= temperatura de la superficie F o C**

**T<sub>∞</sub>= Temperatura del fluido circundante en F o C**

**h=coeficiente convectivo de transferencia de calor Btu/h-pie<sup>2</sup>-F o W/ m<sup>2</sup>-K**

Se puede introducir el concepto de resistencia térmica para el flujo de calor por convección en forma semejante a la presentación de calor a través de una pared. Partiendo de la ecuación general 1.4.2-1 para la transferencia de calor por convección se tiene que:

$$Q = hA(T_s - T_\alpha)$$

podemos reescribirla de la forma siguiente

$$Q = \frac{(T_s - T_\alpha)}{\frac{1}{hA}} \quad 1.4.2-2)$$

donde  $1/hA$  es la resistencia térmica entonces nos queda

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R} \quad 1.4.2-3)$$

### 1.4.3 RADIACIÓN.

A diferencia de transferencia de calor por convección, no se requiere que intervenga un espacio lleno de materia para que las superficies intercambien calor por radiación. Esto es así porque la radiación térmica es radiación electromagnética que se emite en la banda de longitud de onda entre 0.1 y 100 micrones como resultado únicamente de la temperatura en la superficie. Por lo tanto, dicha radiación posee las mismas propiedades que los rayos X, la luz visible, y las ondas de radio, el rasgo de distinción de la radiación térmica es su banda de longitud de onda. La radiación visible ocurre entre longitudes de onda de 0.35 y 0.75 micrómetros, los rayos X ocurren entre longitudes de onda de  $2 \times 10^{-2}$  micrómetros. Los líquidos, sólidos, y algunos gases emiten radiación térmica como

resultado de sus temperaturas. Un emisor ideal, que se llama cuerpo negro, emite radiación térmica según la ecuación de **Stefan- Boltzmann** :

$$e_b = \sigma T^4 \quad 1.4.3-1)$$

en cuya expresión **eb** es la potencia emisiva del cuerpo negro, y es la energía emitida por unidad de área de la superficie y unidad de tiempo; **σ** es la constante de Stefan- Boltzmann; y T es la temperatura en grados absolutos. Las dos escalas de temperatura absoluta que se usan son las escalas de Rankine y Kelvin.

$$\sigma = 0.1713 \times 10^{-8} \frac{Btu}{(h - pie^2 - R^4)} \quad 1.4.3-2)$$

$$\sigma = 5.668 * 10^{-8} \frac{W}{(m^2 - K^4)} \quad 1.4.3-3)$$

Las superficies no negras irradian de acuerdo con la ecuación:

$$e = \epsilon e_b$$

donde  $\epsilon$ , la emisividad, es una propiedad de la superficie y varía desde 0 para un reflector ideal, hasta 1.0 para un cuerpo negro.

Al momento de realizar los cálculos necesarios para determinar los espesores de las paredes se usan los criterios de convección y de conducción; ya que las pérdidas de radiación que tenemos no son pérdidas muy grandes por que el espacio donde no habrá pared solo será en la boca de la chimenea y en la entrada del quemador que hace un efecto de succión.

En este caso, en el cual se trata de un horno para fundición tipo crisol para fundir aluminio, es necesario tomar todas precauciones para que el intercambio de temperatura sea mínimo para aprovechar al máximo la energía aportada al sistema, de lo contrario el proceso sería muy tardado y costoso, así como también puede resultar muy peligroso ya que el espacio donde se encontrará es un espacio donde las personas involucradas con el

proceso se desplazan para realizar diferentes tareas; sobre todo se debe de procurar que la temperatura al final de la pared del horno sea lo más parecida a la temperatura ambiente para que no exista peligro de que alguien resulte quemado al recargarse accidentalmente en las paredes del horno.

Como este horno es de uso didáctico se debe cuidar que la temperatura exterior sea lo más baja posible para poder asegurar un área de trabajo lo suficientemente segura para cualquier tipo de práctica.

Este horno de fundición será usado por los alumnos de Ingeniería de la Universidad Panamericana para realizar las prácticas correspondientes a las materias de Ingeniería térmica y las prácticas de fundición.



## **2. GENERALIDADES.**

### **2.1 PROCESOS DE FUNDICIÓN.**

Los procesos de fundición consisten en hacer los moldes, preparar y fundir el metal, verter el metal en los moldes, limpiar las piezas fundidas y recuperar la arena para volver a usarla. El producto de la fundición es un colado que puede variar en su composición, ya que prácticamente todos los metales y las aleaciones se pueden fundir.

La fundición es anterior al año 2000 a.C. y el proceso utilizado entonces es poco diferente, en principio, al utilizado en la actualidad. Sin embargo pocos, años atrás, la investigación ha producido aplicaciones y adaptaciones que hasta entonces no se habían considerado dentro del alcance de la industria de la fundición. Las altas cifras de producción, el buen acabado de las superficies, las pequeñas tolerancias en las dimensiones y la mejoría en las propiedades de los materiales, han permitido fundir partes de forma complicada, ya sean de tamaño grande o pequeño y de todos los tipos de metales.

A pesar de que los moldes pueden hacerse de metal, yeso, cerámica u otra sustancia refrigerante, lo principal en fundición es la arena sílica.

### **2.2 PROCEDIMIENTO DE MOLDEO.**

Para entender el procedimiento de fundición, es necesario conocer cómo se hace un molde y que factores son importantes para producir un buen vaciado, los factores principales son:

**1.- El moldeo**

**2.- La arena**

**3.- Los corazones**

**4.- El metal**

Un procedimiento simple para moldear es hacer una caja de moldeo, que consta de dos partes, a la parte superior se le llama tapa y a la inferior base. Las partes que forman la caja se

sostienen en una posición definida unas con respecto a otras por medio de unos pernos colocados en dos lados opuestos de la base de la caja en agujeros de ángulos sujetos a los lados de la tapa.

El primer paso en la hechura de un molde es colocar el molde sobre un tablero de moldear, que coincide con la caja de moldeo. Enseguida se coloca la tapa sobre el tablero. Luego se criba la arena sobre la pieza para que la cubriendo; la arena deberá compactarse. El grado de apisonado sólo se determina por la experiencia. Si el molde no ha sido lo suficientemente apisonado, no se mantendrá en su posición al moverlo o cuando el metal fundido choque con él; por otra parte, si el apisonado, a sido muy intenso no permitirá que escape el vapor y el gas cuando penetre el metal fundido al molde.

Una vez que ha terminado el apisonado, se quita el exceso de arena arrasándola con una barra recta llamada rasero.

Se voltea la mitad inferior del molde, de forma que la tapa se pueda colocar en su posición y se termine el moldeo. En seguida se coloca la tapa sobre la base.

Para proporcionar un conducto por donde entre el material de fundición al molde, se coloca un mango ahusado conocido como clavija de colado, separado unos 25 mm. a un lado del modelo. Las operaciones de llenado, apisonado y agujerado para escape de gases, se lleva a cabo de la misma forma de la base. Con ésto el molde queda terminado.

Antes de que el material de la función sea vertido en el interior del molde deberá colocarse un peso sobre la tapa para evitar que el material se salga por la unión de los dos.

### **2.3 SELECCIÓN DE LAS ARENAS.**

La arena de sílice ( $SiO_2$ ), encontrada en muchos depósitos naturales, es adecuada para el moldeo, porque puede resistir altas temperaturas sin descomponerse. Esta arena es de bajo costo, tiene gran duración y se consigue en una amplia variedad de tamaño y formas de grano. Por otra parte, tiene una alta relación de expansión cuando se le sujeta al calor y tiene

cierta tendencia a fusionarse con el metal. Si contiene un alto porcentaje de polvo fino, puede ser un peligro para la salud.

La arena sílice pura no es conveniente por si misma para el trabajo de moldeo, puesto que adolece de propiedades de aglomerantes. Estas se obtienen añadiéndole de 8 a 15 % de arcilla. Los tres tipos de arcilla comúnmente usados son la caolinífera, la montmorillonita y la bentonita. Esta última, usada con más frecuencia, proviene de la ceniza volcánica descompuesta por las condiciones atmosféricas.

Algunas de las arenas de moldeo naturales se mezclan adecuadamente con arcilla al extraerlas en las canteras y sólo se necesita añadirles agua para tener una arena conveniente para colados no ferrosos como en este caso. La gran cantidad de materia orgánica encontrada en las arenas naturales impide que sean lo suficientemente refractarias para usos en temperaturas elevadas, tal y como en el moldeo de metales y aleaciones de alto punto de fusión.

El tamaño de los granos de la arena depende del tipo de la pieza que se ha de moldear. Para colados pequeños y complicados es más conveniente una arena fina con objeto de que los detalles del molde aparezcan precisos. A medida que aumenta el tamaño del colado, las partículas de arena deberán de ser más grandes para permitir que los gases generados en el molde se escapen. Los granos agudos, de forma irregular son preferidos por que se enlazan y dan mayor sujeción al moldeado.

#### **2.4 PRUEBAS DE ARENAS.**

Para determinar las calidades esenciales de la arena de fundición se hacen necesarias algunas pruebas periódicas. Las propiedades cambian por contaminación con materiales extraños, por la acción de lavado en el recocido, por el cambio gradual y la distribución de los tamaños del grano y por la continua exposición a altas temperaturas. Las pruebas pueden ser tanto químicas como mecánicas, pero aparte de la determinación de los elementos indeseables

en la arena, las pruebas químicas son de poco uso. La mayoría de las pruebas mecánicas son simples y no requieren de equipo elaborado. Se les ha dado nombre a las diferentes pruebas para determinar las siguientes propiedades de la arena de moldeo:

**1.- PERMEABILIDAD.** La porosidad de la arena facilita el escape de gas y vapor, formados en el moldeo.

**2.- RESISTENCIA.** La arena debe de ser cohesiva hasta el grado de que tenga suficiente ligazón; tanto el contenido de agua como el de arcilla afectan las propiedades de la cohesión.

**3.- RESISTENCIA A LAS ALTAS TEMPERATURAS.** La arena debe resistir a las altas temperaturas sin fundirse.

**4.- TAMAÑO Y FORMA DEL GRANO.** La arena debe tener un tamaño de grano dependiente de la superficie que se trate de producir, y los granos serán irregulares hasta tal grado, que mantengan suficiente resistencia por cohesión.

**Las pruebas que se realizan a la arena para determinar las propiedades anteriores son:**

**1. PRUEBAS DE DUREZA DE MOLDES Y CORAZONES.** Existe un probador de dureza de corazones y moldes de las lecturas recomendadas respecto a la dureza de los mismos estan dadas en dureza Brinell ( $H_B$ ), son:

	Valor de penetración
a) Moldes con apisonado suave	abajo de 0.070
b) Moldes con apisonado medio	0.070 - 0.080
c) Moldes con apisonado fuerte	arriba de 0.080

**2. PRUEBAS DE FINURA.** En esta prueba se determina el porcentaje de distribución del tamaño del grano.

**3. PRUEBAS SOBRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD:** El contenido de humedad de las arenas de moldeo, varía de acuerdo con el tipo de molde que se va a hacer y a la clase de metal que se va a colar. El contenido de humedad deberá variar de 2 a 8 % dependiendo del tipo de moldeo que se haga.

**4. PRUEBAS DE CONTENIDO DE ARCILLA.** El tanto por ciento de arcilla se determina por la diferencia de los pesos inicial y final de la muestra.

**5. PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.** La permeabilidad se mide por la cantidad de aire que pasa a través de una muestra dada de arena, en un periodo y bajo condiciones normales.

*Estas pruebas son de las más comunes que se aplican en el control de las arenas.*

## **2.5 MÉTODOS DE MOLDEO.**

Los procesos de moldeo más comunes usados en las fundiciones, dependiendo del tamaño de la pieza se pueden clasificar en :

### **PEQUEÑOS**

\* Moldeo en banco

### **MEDIANOS**

\* Moldeo en piso

### **GRANDE**

\* Moldeo en pozo

*En este trabajo lo que se desarrollará será el moldeo en banco y preferentemente el de piso.*

## **2.6 EQUIPO ACONDICIONADOR DE ARENAS.**

El correcto acondicionamiento de la arena es un factor importante para obtener buenos colados. Las arenas nuevas así como las usadas una vez, convenientemente preparadas logran los resultados siguientes:

- 1.- El aglomerante se distribuye uniformemente en torno de sus granos.**
- 2.- Se controla el contenido de la humedad. Es importante que todas las superficies de la arena estén humedecidas.**
- 3.- Se eliminan de la arena de modo que no se apeltone, quedando en forma convenientemente para el moldeo.**

Los pasos anteriores son una forma de economizar recursos, estos procedimientos que son hechos a mano también pueden ser hechos en máquinas especiales para el acondicionamiento de las arenas.

Para volver a acondicionar la arena se debe de agregar(\*\*):

<b>betonitas</b>	<b>20 kg..</b>
<b>carbón marino</b>	<b>½ kg..</b>
<b>agua</b>	<b>22 lts.</b>

**\*\* por cada 500 kg.. de arena.**

### **3. CLASIFICACIÓN DE LOS HORNOS.**

#### **3.1 HORNOS QUE PRODUCEN CALOR EMPLEANDO UN COMBUSTIBLE O ENERGÍA ALTERNATIVA.**

##### 3.1.1.- HORNOS DONDE LA CARGA SE CALIENTA EN CONTACTO DIRECTO CON EL COMBUSTIBLE.

###### **3.1.1.1.- HORNOS ABIERTO.- PLAZAS Y FORJAS.**

Este horno es uno de los más populares en los procesos de fabricación del acero, el metal está puesto en un depósito poco profundo que es calentado por una flama de gas, breá o aceite (diesel) que pasa sobre la carga. También se les puede dar la clasificación de reverbero por su poca altitud y por que el calor del horno es reflejado en toda la parte baja del crisol.

La carga de estos hornos consiste totalmente de arrabio fundido o chatarra de acero o una combinación de ambos.

- a) Sin inyección de aire: pilas, moldes, montones u horneras y carboneras.
- b) Con inyección de aire: fraguas de hierro, horno escocés para fundir galena etc.

Si cuenta con inyección de aire el tiempo de trabajo se puede reducir hasta un 25%, insertando una lanza de oxígeno por la parte superior del horno al área de la combustión después que el hierro fundido se agregó.

###### **3.1.1.2.- HORNOS DE CUBA.**

Este tipo de horno en diferencia al de hogar abierto es el tamaño y el combustible utilizado en él. Este horno es mucho más alto y usa coque como combustible; la forma de carga de estos hornos es de poner una cama de coque después una de metal y así se va alternando hasta su total capacidad. El metal fundido es recuperado por una puerta inferior y la escoria por los costados. Los más usados son:

- a) Con tiro natural y horno atmosféricos, como son los que se usan para calcinar y tostar.
- b) Con tiro inducido, es decir por aspiración, como sucede en algunos cubiletos.
- c) Con tiro forzado por inyección mediante toberas, constituyendo los llamados antiguamente hornos de manga.

### 3.1.2.- HORNOS EN LOS QUE LA CARGA DE MINERAL, ESTA SEPARADA DEL COMBUSTIBLE.

#### **3.1.2.1.- SON LOS LLAMADOS HORNOS DE REVERBERO.**

Estos hornos son parecidos a los de hogar abierto solo la forma de calentar al metal. Este horno es uno de los más usados en fundiciones no ferrosas, la escoria inducida o la adición de fundentes tienden a reducir la oxidación y todos los hornos tienen colectores de humo y polvos dispuestos a atrapar no solamente lo nocivo, sino también los subproductos que son valiosos.

- a) De tiro natural, como la mayoría de los que se utilizan para tostar minerales.
- b) De tiro forzado, como la generalidad de los hornos de fundir.

#### **3.1.2.2.- HORNOS ELÉCTRICOS:**

Este tipo de horno se carga con chatarra de acero bien seleccionada en lugar de arrabio fundido, aunque en un tiempo se usó metal fundido. Para control de carga de cierre y por adición de materiales aleados los lingotes de acero inoxidable, acero resistente al calor, acero para herramientas y muchos aceros aleados para aplicaciones generales, son vaciados desde el horno eléctrico. Estos hornos no contaminan a la atmósfera como muchos otros.

##### 3.1.2.2.1.- HORNOS DE RESISTENCIA QUE CALIENTAN POR EFECTO JOULE.

- 1.- Hornos de acción directa.**
- 2.- Hornos de acción indirecta.**



### 3.1.2.2.- HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO.

#### **a) Hornos de acción directa:**

En este tipo de hornos la corriente pasa por un electrodo sobre la carga o en baño de fundición que pasa a la parte posterior del otro electrodo. Estos hornos son los únicos que producen acero económicamente.

#### **b) Hornos de acción indirecta:**

En estos hornos los electrodos están por arriba del metal y este es fundido por radiación.

#### **c) Hornos mixtos de arco y resistencia:**

Estos hornos son calentados por medio de resistencias eléctricas y por electrodos como en el de acción indirecta.

Estos hornos requieren de una potencia de 50,000 KWh durante un tiempo de 3 horas. Los electrodos de grafito arriba de 760 mm. de diámetro y con 24 mts. de longitud pueden ser usados en hornos grandes. Todos los hornos operan aproximadamente a 40 volts. y a una corriente eléctrica que puede exceder de 12,000 Amperes.

### **3.1.2.3.- HORNO TIPO CRISOL.**

#### **El que se seleccionó para el diseño .**

Se usa frecuentemente para ensayar, el tratamiento del oro y de la plata, para fundir bronce, aluminio y otras aleaciones. En ocasiones se recurre al tiro forzado. Estos hornos por lo general se utilizan para fundidos de poca magnitud. Son muy prácticos por que no ocupan un volumen muy grande y sin embargo pueden tener cargas de hasta 300 kg. Su capacidad depende directamente de la forma en la que se va a vaciar.

Esto se debe al peso ya que a menor peso se puede montar el horno en un columpio esto hace la tarea de vaciado más sencilla y rápida, si se cuenta con una banda transportadora

en el proceso de vaciado se puede tener un proceso continuo al momento de colar el aluminio, sin embargo cuando la capacidad es máxima la forma de vaciar y llenar los moldes es diferente en este caso se hace por caldeo es decir por medio de una cuchara con la cual se llenarán los moldes. Otra de las razones por la que se ve limitado el uso de columpio sería el uso de chimenea, claro es que a mayor capacidad el uso de chimenea se vuelve indispensable y esto hace que el horno sea menos maniobrable.

Este horno recibe su nombre del recipiente en donde es depositado el material a fundir, que es un recipiente tipo olla con tapadera o tapa los cuales por lo general se hacen de acero al carbón ya que lo que se funde en él es de menor punto de fusión .

Este tipo de horno aprovecha la turbulencia que se da por la geometría con la cual fue construido, esto hace que la flama acaricie uniformemente al crisol y por el fenómeno de conducción el calor ganado por el crisol es transferido al material a fundir (en este caso al aluminio) además por estar tapado el calor permanece más tiempo dentro del crisol haciendo este proceso más económico y eficiente.

Las geometrías más conocidas de estos hornos son la cuadrada y la cilíndrica, por la parte exterior ya que la geometría interna debe de ser cilíndrica para forzar que la flama forme un remolino alrededor del crisol.

### **3.2 ESPECIFICACIONES DE LOS HORNOS.**

Para comprender los diversos tipos de hornos industriales, es esencial poseer conocimientos fundamentales sobre los combustibles, los métodos de caldeo y la manipulación de los materiales calentados. Para entender cada uno se explicaran brevemente.

#### **3.2.1 COMBUSTIBLES PARA HORNOS.**

En la actualidad existen una gran variedad de combustibles o proveedores de energía.

Digamos que el calor lo podemos obtener de fuentes primitivas como lo son:

\* **Carbón**                      \* **Petróleo**                      \* **Leña**

así como de otras fuentes no tan primitivas como lo son :

\* **Combustóleo**                      \* **Diesel**  
\* **Gas**                                      \* **Energía eléctrica**

En esta tesis se hablara sólo de los combustibles más utilizados en fundición que son :

\* **Carbón pulverizado**                      \* **Gas**  
\* **Diesel**                                      \* **Combustóleo**

El carbón pulverizado ha conservado un lugar importante, sobre todo cuando las cantidades de calor son muy grandes, como en los hornos de cemento caldeados con un solo quemador grande. El perfeccionamiento de los pulverizadores ha hecho desaparecer los peligros inherentes del manejo del carbón pulverizado. Con las tendencias económicas actuales, la hulla seguirá siendo la fuente principal de combustible para este tipo de procesos.

El combustóleo se identifica actualmente por un número y para los usos industriales se usan comúnmente los aceites ligeros No 2 y No 3 ( que aquí en México es el diesel) y los aceites pesados con No 5 y No 6, las cantidades mas densas son más baratas pero tienen como desventaja que deben calentarse entre 53° y 93° celcius para poderlos bombear y además cuesta más trabajo hacerlos arder. Los combustibles gaseosos se dividen en gases limpios y gases sucios. Los gases limpios son el gas natural, el butano, el propano y el gas de hulla y el gas L.P. que es una mezcla de propano y butano; los gases sucios son el gas de altos hornos, el gas de hornos de coque y el gas pobre.

Los combustibles seleccionados para lograr la combustión encargada de proporcionarnos la energía calorifica necesaria en este proyecto fueron el diesel y el gas, ya que reúnen las siguientes características:

- La necesidad de utilizar dos diferentes tipos de combustibles.
- Por la versatilidad en sí de los combustibles para ser guardado y la facilidad de conseguirlos.
- Porque no necesitan de equipo adicional para que el combustible alcance su temperatura o presión de trabajo.
- En el caso del gas por que es un material muy limpio en su combustión así como en su manejo ya que no ensucia. Los productos de combustión son los mas limpios que hay.
- El diesel también es practico en su manejo ya que lo podemos conseguir en cualquier estación de combustible **PEMEX** y el hecho de que no ocupa accesorios muy costosos para adaptarlo con el mismo quemador de gas.

### **3.3 RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA EL PROYECTO DE ESTE HORNO.**

#### 3.3.1 CAPACIDAD DEL CRISOL.

La capacidad de este crisol está dada por el tipo de prácticas que se realizan en el laboratorio de fundición y se estimó un máximo de 16 Kg. de aluminio. Para esta capacidad se busco un proveedor de crisoles y se encontró con crisoles el Águila (ver apéndice) teniendo el modelo A-50. En este crisol la capacidad esta dada en kilogramos de bronce, como sabemos el aluminio es más liviano que el bronce por lo que ocupa un mayor volumen y para nuestras necesidades este fue el que cumplió con las necesidades del proyecto por su tamaño y el costo del mismo.

**Cálculo del volumen para el aluminio en base al bronce:**

$$= 8.666 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 2.707 \text{ Kg/m}^3$$

$$( 50 \text{ Kg/ bronce} ) / ( 8.666 \text{ Kg/m}^3 ) = 5.7696 \text{ m}^3$$

$$\text{Kg de Aluminio} = ( 2.707 \text{ Kg/m}^3 )( 5.7696 \text{ m}^3 )$$

$$\text{Kg de Aluminio} = 15.62$$

### 3.3.2 PEDIMENTO TÉRMICO.

En este caso el ahorro de energía no es un factor determinante para la selección del combustible o para el aislamiento térmico de dicho horno. Sin embargo, la seguridad industrial (del estudiante así como del maestro que dirige la práctica) es un requisito indispensable que se necesita cubrir en la actualidad; en México la seguridad industrial siempre había tenido una pequeña desviación pero a medida que el país ha ido ingresando al mundo de los países desarrollados ha alcanzado un buen nivel.

Lo importante en este caso es definir la cantidad necesaria de combustible para la realización de cuando menos 3 prácticas seguidas sin sufrir ningún contratiempo; estas practicas pueden ser de fundición o de estequiometría. Los cálculos están el **capítulo 7.**

### 3.3.3 MOVIMIENTO DE LOS GASES DENTRO DEL HORNO.

Generalmente en todos los hornos hay gases en movimiento cediendo calor a la carga antes de salir por la chimenea. En el **capítulo 8** se tratará lo concerniente al flujo de gases dentro de la chimenea.

### 3.3.4 DURACIÓN DEL HORNO.

*Se desea que el horno tenga una vida útil de al menos 10 años.*

Esto se logra al momento en que se selecciona el material con el cual se construirá el horno así como el quemador y los equipos de medición de temperatura y de gases.

Se debe de considerar que como parte del material didáctico de una Universidad, depende mucho del cuidado y mantenimiento que se le de a el. Lo que se debe cuidar más es el crisol manteniéndolo libre de escoria y tratando de calentarlo poco a poco y cuando no se vaya a utilizar por cualquier razón debe quedar lo más limpio posible.

## **4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS.**

### **4.1 REFRACTARIOS.**

Los refractarios, denominados ácido, básico y neutros, y también superrefractarios, incluyen todos los materiales usados para soportar los efectos térmicos, químicos y físicos que se encuentran en los procedimientos que se realizan dentro de los hornos. Los refractarios se venden en forma de ladrillos refractarios; ladrillos de sílice, magnesita, cromita-magnesita; refractarios de carburo de silicio y de zirconia, productos de silicato de aluminio y de alúmina. Los fundentes que se requieren para unir las partículas de refractarios, se mantienen en una mínima cantidad para reducir la vitrificación. La posibilidad de dar forma a los artículos hechos de cuerpos sin arcilla y aun sin plasticidad natural, llevó a la manufactura de productos cerámicos de un solo componente con calidades superiores, por ejemplo refractarios de óxido puro. Éstos son monocristalinos y autounidos, comparados con los refractarios convencionales unidos por vidrios.

### **4.2 PROPIEDADES.**

Al hacer el refractario más adecuado para una operación definida, es necesario tener en cuenta los materiales, la temperatura de trabajo del horno en el que se requiere el refractario, la velocidad de cambio de la temperatura, la carga aplicada durante los calentamientos y las reacciones químicas que se producen. En general, se requieren varios tipos de refractarios para la construcción de cualquier horno en particular, debido a que usualmente no hay un solo refractario que pueda soportar todas las diferentes condiciones que prevalecen en las distintas partes de los hornos.

De acuerdo con las características del hornos de tipo crisol, las reacciones químicas que se desarrollarán estarán dentro del crisol por lo que no se verá afectado el material refractario seleccionado

### **4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS.**

La clasificación usual de los refractarios comerciales esta dividido en grupos, ácidos, básicos y neutros, aunque en muchos casos no se puede hacer una distinción exacta. Los ladrillos de sílice son decididamente ácidos y los de magnesita son fuertemente básicos; no obstante, los ladrillos refractarios se colocan, por lo general, en el grupo neutro, por lo que pueden pertenecer a cualquiera de estas clases, dependiendo del contenido relativo de sílice-alúmina. A menudo, no es aconsejable emplear un ladrillo básico en contacto con un ladrillo ácido, o viceversa, ni las reacciones químicas ni las propiedades físicas constituyen el único criterio de comportamiento aceptable; ambas deben tenerse en cuenta. La acción química puede deberse al contacto con escorias, cenizas del combustible y gases del horno, así como con productos como vidrio o acero.

### **4.4 POROSIDAD.**

La porosidad está directamente relacionada con muchas otras propiedades físicas del ladrillo, incluyendo la resistencia al ataque químico. Mientras mayor sea la porosidad del ladrillo, más fácilmente será penetrado por los fundentes y los gases. Para una clase dada de ladrillo, aquellos que tienen la menor porosidad, tienen la mayor resistencia, conductividad térmica y capacidad calorífica.

### **4.5 PUNTO DE FUSIÓN.**

Los puntos de fusión se encuentran por medio de conos pirométricos de puntos de ablandamiento predeterminados. La mayoría de los refractarios comerciales se ablandan gradualmente a lo largo de un amplio intervalo y no tienen puntos agudos de fusión porque están compuestos de varios minerales diferentes, tanto amorfos como cristalinos. Los puntos de fusión se pueden consultar en la literatura de las normas de la ASTM.

#### **4.6 ASTILLADO.**

La fracturación o descascaramiento de un ladrillo o un bloque refractario, debido a tensiones por calentamiento desigual o una compresión causada por calor, se conoce como astillado. Los refractarios se expanden, por lo general, cuando son calentados. Los ladrillos que sufren la mayor expansión a la velocidad menos uniforme, son los más susceptibles a astillarse cuando se sujetan a calentamiento o enfriamientos rápidos.

#### **4.7 RESISTENCIA.**

Por lo común, la resistencia al frío tiene sólo poca relación con la resistencia a altas temperaturas. La resistencia a la abrasión o a la erosión es también importante para muchas construcciones en el horno, como las paredes en un horno de coque de subproducto y los revestimientos de la terminal de descarga de los hornos rotatorios para cemento.

#### **4.8 RESISTENCIA A LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA.**

Los ladrillos con expansión térmica más baja y con textura más gruesa, son los más resistentes a los cambios térmicos rápidos; igualmente, desarrollan menos tensión. Los ladrillos que se han usado por mucho tiempo, a menudo se funden, dando escorias vítreas en la superficie exterior o inclusive se desgastan más.

#### **4.9 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.**

Los ladrillos más densos y menos porosos tienen las conductividades térmicas más altas. Aunque la conductividad térmica es deseable en ciertas construcciones de los hornos, como en las paredes de las muflas, no lo es tanto como algunas otras propiedades de los refractarios, como la resistencia a las condiciones de cocción. En algunos refractarios especiales es deseable el aislamiento.



#### **4.10 CAPACIDAD CALORIFICA.**

*La capacidad calorífica es la cantidad de calor necesario para elevar en un grado la temperatura de la unidad de masa de un material.*

La capacidad calorífica del horno depende de la conductividad térmica, del calor específico y de la gravedad específica del refractario. La baja cantidad de calor absorbida por el ladrillo ligero funciona como ventaja cuando los hornos se operan en forma intermitente, debido a que la temperatura de trabajo del horno puede obtenerse en menos tiempo, con menos combustible. A la inversa, el ladrillo denso, de arcilla para la alta temperatura, es mejor para el trabajo de comprobación en regeneradores, como en los hornos de coque, los hornos de vidrio y en las estufas para altos hornos.

#### **4.11 VARIEDADES DE MATERIALES REFRACTARIOS.**

Alrededor del 95% de los refractarios fabricados son ladrillos no básicos, en los que predominan la sílice (ácida) y el arcilla refractaria (neutra). Aunque por lo general se piensa en un refractario en términos de su habilidad para soportar la temperatura, realmente sólo en casos excepcionales se tiene el calor como único agente que afecte la distribución final. Esta se causa por la acción química y la temperatura de operación.

#### **4.12 LADRILLOS DE SÍLICE.**

Los ladrillos de sílice contienen aproximadamente entre 95 y 96% de  $\text{SiO}_2$  y alrededor de 2% de cal añadida durante la molienda, para dar cohesión. Los ladrillos de sílice sufren una expansión permanente que ocurre durante la calcinación y es causada por una transformación alotrópica que tiene lugar en la sílice cristalina. Cuando se recalientan, los ladrillos de sílice se expanden de nuevo alrededor de 1.5%, pero el efecto es reversible y los ladrillos regresan a su tamaño cuando se enfrían. Los ladrillos de sílice se fabrican en muchos tamaños estándar por prensado de potencia. Tienen una textura muy homogénea, están libres

de bolsas de aire y de defectos de moldeo, y tienen baja porosidad. Éstas son propiedades sumamente deseables para tener resistencia a la penetración de escorias. La resistencia física de los ladrillos de sílice, cuando son calentados, es mucho más alta que la de los fabricados con arcilla. En consecuencia, son adecuados para construir los arcos en hornos grandes. Sin embargo, los hornos que los usan deben calentarse y enfriarse en forma gradual, para disminuir el astillado y el agrietamiento. Los hornos de hogar abierto tienen ladrillos de sílice en su arco principal, en sus paredes laterales, arcos de puertos y muros de contención, pero las instalaciones más modernas tienen ladrillos de sílice de superservicio y ladrillos básicos.

#### **4.13 REFRACTARIOS DE ALTA ALÚMINA.**

Los productos refractarios de alta alúmina se usan cada vez más para cubrir la demanda de materiales que pueden soportar condiciones extraordinarias para las que no son adecuados los ladrillos más antiguos, de arcilla refractaria y de sílice. Los ladrillos de alta alúmina se hacen de arcillas ricas en bauxita y diasporo. El poder refractario y la temperatura de vitrificación incipiente aumentan con el contenido de alúmina. Otra propiedad valiosa de los ladrillos de alta alúmina es que son prácticamente inertes al monóxido de carbono y que no son desintegrados por atmósferas de gas natural a temperaturas hasta 1000 °C. Los ladrillos con un alto porcentaje de alúmina se clasifican entre los superrefractarios, y los de casi pura alúmina (+97%) pueden considerarse entre los refractarios especiales desarrollados recientemente, llamados de óxido puro. Los ladrillos de alta alúmina se emplean en la industria del cemento, en los refractarios de fábrica de papel y en las instalaciones de calderas modernas. También se usan en el recubrimiento de hornos para vidrios, hornos calentados con petróleo y en alambiques de aceite de alta presión; en los techos de hornos de ablandamiento de plomo y en los verificadores de regeneradores de altos hornos.

#### **4.14 REFRACTARIOS DE ALÚMINA CRISTALINA O DE SILICATO DE ALUMINIO.**

La investigación ha revelado que la mulita y el corundo tienen alta resistencia a la escoria y se mantienen en estado cristalino a temperaturas de 1600 °C y más. Los hornos de alta temperatura producen ahora ladrillos de alúmina que se asemejan mucho al corundo puro en propiedades, y ladrillos de mulita hechos de cianita india calcinada, con el antiguo adhesivo de arcilla reemplazado por un adhesivo de mulita consistente en cristales entrelazados. Estos refractarios se usan cuando hay mucha formación de escoria.

#### **4.15 LADRILLO SELECCIONADO.**

El ladrillo que se seleccionó por sus características así como por su precio fue el de sílice-alúmina. En el capítulo 9 se da más explicación.

## 5. CAPACIDAD TÉRMICA DEL HORNO.

### 5.1 DETERMINACIÓN DEL CALOR.

Prácticamente el calentamiento ideal en un horno, consiste en calentar en un horno dado y en un tiempo dado, tanto material como sea posible a una temperatura tan uniforme como sea posible, con el mínimo gastos de combustible y mano de obra.

**Para la determinación térmica del horno se han seleccionado los siguientes puntos:**

- a) Determinación de la cantidad de calor necesario para elevar hasta el punto de fusión y temperatura de vaciado de un kilogramo de aluminio.
- b) Calor cedido por los gases de combustión a la carga.
- c) Determinación de las pérdidas de operación y por la chimenea.

Los puntos a y b determinan la capacidad del horno, los puntos b y c determinan el rendimiento.

- d) Pérdida de calor por radiación.

### 5.2 CALCULO DE LAS CANTIDAD DE CALOR POR KILOGRAMO DE ALUMINIO.

Los cálculos necesarios para determinar la capacidad calorífica se basan en las siguientes ecuaciones:

$$Q = mc\Delta t + Q_f$$

$$\Delta t = t_v - t_a$$

$$Q = mc(t_v - t_a) + Q_f$$

donde:

**Q= cantidad de calor.**

**c= calor específico del aluminio (0.217 cal/(g°C)).**

**m= masa 1 kg..**

**$\Delta t$ = incremento de temperatura.**

**$t_v$ = temperatura de vaciado.**

**$t_a$ = temperatura ambiente (20°C).**

**$Q_f$ = calor de fusión (92.6 kcal/kg.°).**

### **5.3 CALOR DE FUSIÓN DEL ALUMINIO.**

Es la cantidad de calor que ha de suministrarse por unidad de masa en su punto de fusión, para convertirla completamente de sólido a líquido, siendo para el aluminio igual a 94.6 kcal/kg..

$$Q = mc(t_v - t_a) + Q_f$$

sustituyendo

$$Q = 1(0.217)(750 - 20) + 94.6$$

$$Q = 253 \text{ kcal/kg..}$$

Por lo que un kilogramo de aluminio empezara a ganar energía desde los 660°C hasta alcanzar una temperatura de 750°C habiendo ganado una cantidad de 253 kcal. Este comportamiento se alcanza apreciar en la tabla 5.3.1. muestra la cantidad de calor por grado celsius. Y en base a esta se desarrollo la gráfica 5.31.

**Tabla 5.3.1.**  
**CALOR GANADO POR EL ALUMINIO A DIFERENTES**  
**TEMPERATURAS.**

Q=mct  
 m=masa= 1kg C=calor especifico 0.217  
 Q=calor contenido kcal t=temperatura cal/gr  
 C

Q	m	c	t	Q(calor)
	1	0.217	0	0
	1	0.217	10	2.17
	1	0.217	20	4.34
	1	0.217	30	6.51
	1	0.217	40	8.68
	1	0.217	50	10.85
	1	0.217	60	13.02
	1	0.217	70	15.19
	1	0.217	80	17.36
	1	0.217	90	19.53
	1	0.217	100	21.7
	1	0.217	110	23.87
	1	0.217	120	26.04
	1	0.217	130	28.21
	1	0.217	140	30.38
	1	0.217	150	32.55
	1	0.217	160	34.72
	1	0.217	170	36.89
	1	0.217	180	39.06
	1	0.217	190	41.23
	1	0.217	200	43.4
	1	0.217	210	45.57
	1	0.217	220	47.74
	1	0.217	230	49.91
	1	0.217	240	52.08
	1	0.217	250	54.25
	1	0.217	260	56.42
	1	0.217	270	58.59
	1	0.217	280	60.76
	1	0.217	290	62.93
	1	0.217	300	65.1
	1	0.217	310	67.27
	1	0.217	320	69.44

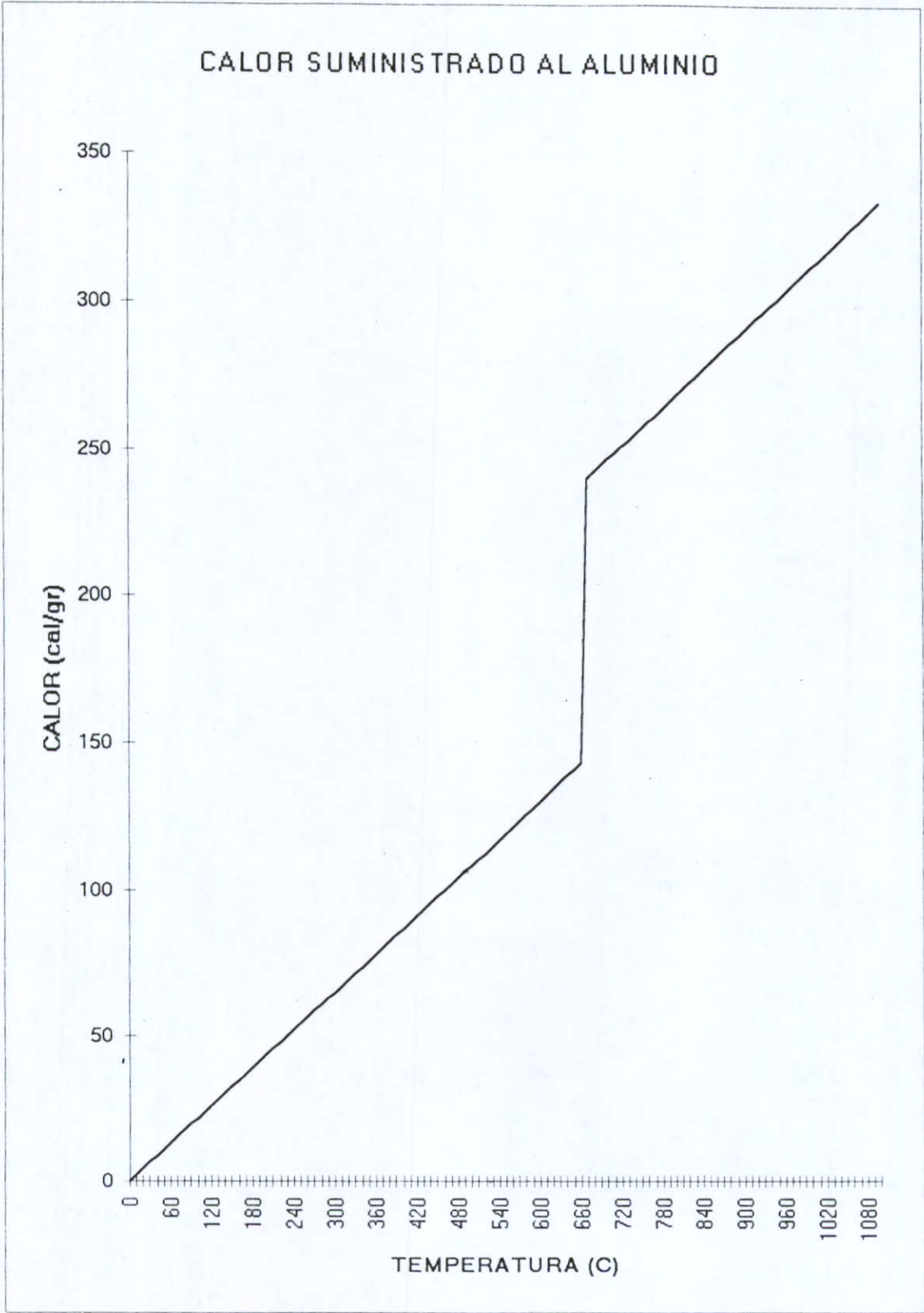
1	0.217	330	71.61
1	0.217	340	73.78
1	0.217	350	75.95
1	0.217	360	78.12
1	0.217	370	80.29
1	0.217	380	82.46
1	0.217	390	84.63
1	0.217	400	86.8
1	0.217	410	88.97
1	0.217	420	91.14
1	0.217	430	93.31
1	0.217	440	95.48
1	0.217	450	97.65
1	0.217	460	99.82
1	0.217	470	101.99
1	0.217	480	104.16
1	0.217	490	106.33
1	0.217	500	108.5
1	0.217	510	110.67
1	0.217	520	112.84
1	0.217	530	115.01
1	0.217	540	117.18
1	0.217	550	119.35
1	0.217	560	121.52
1	0.217	570	123.69
1	0.217	580	125.86
1	0.217	590	128.03
1	0.217	600	130.2
1	0.217	610	132.37
1	0.217	620	134.54
1	0.217	630	136.71
1	0.217	640	138.88
1	0.217	650	141.05
1	<b>0.217</b>	<b>660</b>	<b>143.22</b>
1	<b>0.217</b>	<b>670</b>	<b>239.99</b>
1	<b>0.217</b>	<b>680</b>	<b>242.16</b>
1	<b>0.217</b>	<b>690</b>	<b>244.33</b>
1	<b>0.217</b>	<b>700</b>	<b>246.5</b>
1	<b>0.217</b>	<b>710</b>	<b>248.67</b>
1	<b>0.217</b>	<b>720</b>	<b>250.84</b>
1	<b>0.217</b>	<b>730</b>	<b>253.01</b>
1	<b>0.217</b>	<b>740</b>	<b>255.18</b>
1	<b>0.217</b>	<b>750</b>	<b>257.35</b>
1	0.217	760	259.52

1	0.217	770	261.69
1	0.217	780	263.86
1	0.217	790	266.03
1	0.217	800	268.2
1	0.217	810	270.37
1	0.217	820	272.54
1	0.217	830	274.71
1	0.217	840	276.88
1	0.217	850	279.05
1	0.217	860	281.22
1	0.217	870	283.39
1	0.217	880	285.56
1	0.217	890	287.73
1	0.217	900	289.9
1	0.217	910	292.07
1	0.217	920	294.24
1	0.217	930	296.41
1	0.217	940	298.58
1	0.217	950	300.75
1	0.217	960	302.92
1	0.217	970	305.09
1	0.217	980	307.26
1	0.217	990	309.43
1	0.217	1000	311.6
1	0.217	1010	313.77
1	0.217	1020	315.94
1	0.217	1030	318.11
1	0.217	1040	320.28
1	0.217	1050	322.45
1	0.217	1060	324.62
1	0.217	1070	326.79
1	0.217	1080	328.96
1	0.217	1090	331.13
1	0.217	1100	333.3

---

El punto en el cual principia la fusión del aluminio es a los 660 °C y en este punto la temperatura permanece constante hasta fundirse totalmente la masa para lo cual deberá absorber 94.6 kcal. Esto se aprecia en la gráfica 5.3.1.





Gráfica 5.3.1

## 6. ESTEQUIOMETRÍA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.

### 6.1 CALOR CEDIDO POR LOS GASES DE COMBUSTIÓN A LA CARGA.

La base para los cálculos del calor cedido a la carga, pérdidas de calor y el calor liberado, es **la temperatura de flama**; por lo tanto, sabiendo que el combustible que se va analizar para el cálculo es el propano se debe tomar en cuenta el siguiente análisis estequiométrico, para determinar su curva calorífica para éste combustible y así poder definir su temperatura de flama. Se debe señalar que el gas L.P. no sólo está compuesto por propano sino que también de butano pero para estos cálculos sólo se considerará el propano.

#### **Propano:**

100% molar.

Peso molecular= 44 u.m.a.

Peso específico con respecto al aire= 1.562.

Temperatura de fusión= 85° K.

$\Delta H(\text{fusión})=3.524 \text{ KJ/grmol.}$

$T_c=369.9 \text{ °K}$

$P_c=42.00 \text{ atm.}$

$V_c=200.00 \frac{\text{cm}^3}{\text{grmol}}$

$Z_c(\text{factor de compresibilidad})=0.277$

### 6.1.1 BALANCE ESTEQUIOMETRICO.

Como es sabido que los moles de cada elemento son:

$$C = 3$$

$$H_2 = 4$$



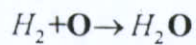
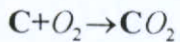
Con esto formamos el propano.

Y del balance de materia se tiene que:

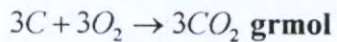
**3.00 grmol de C**

**4.00 grmol de  $H_2$**

por lo tanto el  $O_2$  necesario para la combustión está dado por la reacción de combustión



Si para un mol de C se necesita un mol de  $O_2$  y en el balance obtuvimos 3 moles de C entonces necesitamos 3 moles de  $O_2$ .



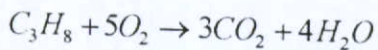
Si el  $H_2$  reacciona con 0.5 mol de  $O_2$  y obtenemos según el balance 4 de  $H_2$  necesitamos

$$4/2 = 2 \text{ moles de } O_2.$$

Por lo que el  $O_2$  necesario es

$$3 \text{ (moles de } O_2 \text{ por el C necesario)} + 2 \text{ ( moles de } O_2 \text{ por el } H_2 \text{ necesario)} = 5$$

En resumen llegamos a la siguiente ecuación estequiometrica:



Debido a que el aluminio es ávido de  $O_2$  el exceso remanente deberá controlarse cuando se efectúen las diferentes prácticas.

***Para garantizar que la combustión sea completa se recomienda un 10% de exceso de aire.***

Por lo que el balance nos queda de la siguiente manera:

$$O_2 \text{ Totales} = (5 \text{ moles})1.1 = 5.5 \text{ moles de } O_2$$

por lo que el aire remanente es = 0.5 moles de  $O_2$

Dado a que se usará aire atmosférico se determinará la cantidad de humedad y el  $N_2$  usado. La cantidad de  $N_2$  en el aire es de 3.76 moles de  $N_2$  por mol de  $O_2$ .

$$N_2 = 3.76(5.5) = 20.68 \text{ grmol.}$$

El aire usado por la combustión será igual a la suma del  $O_2 + N_2$ .

$$\text{Aire} = O_2 + N_2 = 5.5 + 20.68 = 26.18 \text{ grmol.}$$

Quedando la ecuación real de la siguiente forma:



La humedad del aire atmosférico para una temperatura de bulbo húmedo  $T_{BH} = 14\text{ }^\circ\text{C}$  y  $T_{BS} = 20\text{ }^\circ\text{C}$  es de 0.0128 gr de  $H_2O$  / gr de aire seco ( datos tomados de la carta psicometrica ).

Humedad de aire =  $0.0128(28.97/18.00) = 0.0206$  grmol de  $H_2O$ . Donde 28.97 es la MM del aire en (gr/mol) y 18.00 es la MM del agua en (gr/mol).

$H_2O$  de reacción + la humedad del aire  $H_2O$  de reacción.

$H_2 + O \rightarrow H_2O$  del balance de materia tenemos 4 grmol de  $H_2$ .

Por lo que  $4H_2 + O \rightarrow 4H_2O$  más la humedad del aire 0.0206 nos resulta 4.0206 grmol de  $H_2O$ .

**Balance de materia de:**

**Reactivos:**

$C_3H_8 \rightarrow 1\text{grmol}$

$O_2 \rightarrow 5.5\text{grmol}$

**Productos:**

$CO_2 \rightarrow 3\text{grmol}$

$O_{2\text{remanente}} \rightarrow 0.5\text{grmol}$

$N_2 \rightarrow 20.68\text{grmol}$

$H_2O \rightarrow 4.0206.\text{grrmol}$

## 6.1.2 CALCULO DE LA TEMPERATURA DE FLAMA.

Para calcular la temperatura de flama o temperatura adiabática de flama se debe considerar varias cosas por ejemplo las entalpías de formación y la entalpía de referencia que es de 298 K. Para ello se usaron las tablas del libro de termodinámica de Wark y la ecuación 1.3-1, para esto se tienen las entalpías de cada elemento y la del combustible y partiendo de la ecuación estequiométrica se sustituyen los moles:

Ecuación 1.3-1 
$$\sum N_{\text{productos}_i} (\Delta h_{f,298}^0 + h_i - h_{298}) = \sum N_{\text{reactivos}_i} (\Delta h_{f,298}^0 + h_i - h_{298})$$



### Entalpías de formación $\Delta h^{\circ}_f, 298$ (KJ/Kgmol)

$$\text{C}_3\text{H}_8 = -103850$$

$$\text{CO}_2 = -393520$$

$$\text{H}_2\text{O} = -241820$$

$$\text{O}_2 = 0$$

$$\text{N}_2 = 0$$

### \* Entalpía de referencia (KJ/Kgmol):

$$\text{C}_3\text{H}_8 = 15060$$

$$\text{N}_2 = 8669$$

$$\text{CO}_2 = 9364$$

$$\text{H}_2\text{O} = 9904$$

$$\text{O}_2 = 8682$$

\*datos tomados de la tabla A-24M del libro de termodinámica de Kenneth Wark.

Sustituyendo los datos en la ecuación 1.3-1:

$$\sum N_{\text{productos}_i} (\Delta h_{f,298}^0 + h_t - h_{298}) = \sum N_{\text{reactivos}_i} (\Delta h_{f,298}^0 + h_t - h_{298})$$

$$1(-103850-15060)=3(-39350+h_{\text{CO}_2}-9364)+4(-241820+h_{\text{H}_2\text{O}}-9904)+20.68(h_{\text{N}_2}-8669)+0.5(h_{\text{O}_2}+8682)$$

6.2-1)

$$2271841.92=3h_{\text{CO}_2}+4h_{\text{H}_2\text{O}}+20.68h_{\text{N}_2}+0.5h_{\text{O}_2}$$

Para encontrar la temperatura de flama se deben suponer temperaturas y buscar las entalpías y ver que satisfagan la ecuación. Pero para empezar se toma sólo al nitrógeno y se da una idea; como la mezcla no es solo de nitrógeno la temperatura real de esta deberá ser menor a esta.

$$h_{\text{N}_2} = (2271841.92 \text{ KJ} / 27.68 \text{ Kgmol})$$

$$h_{\text{N}_2} = 82075.214 \text{ KJ} / \text{Kgmol}$$

Entrando en la tabla de entalpías para nitrógeno se encuentra una temperatura de 2479.55 K entonces regreso a la ecuación 6.2-1 para hacer iteraciones desde 2000 K hasta 2300 K. La tabla 6.2.1.2.1 muestra el método.

---

Tabla 6.2.1.2.1

Método de iteración.

<b>2271841.92=</b>	<b>3hCO<sub>2</sub>+ 4hH<sub>2</sub>O+ 20.68hN<sub>2</sub>+ 0.5(hO<sub>2</sub>)</b>			
<b>T=2000K</b>				
2271841.92=	3(100804)+ 4(82593)+ 20.68(64810) 0.5(67881)			
<b>2271841.92=</b>	<b>2006995.3</b>			
<b>T=2100K</b>				
2271841.92=	3(106864)+ 4(87735)+ 20.68(68417) 0.5(71668)			
<b>2271841.92=</b>	<b>2122229.56</b>			
<b>T=2200K</b>				
2271841.92=	3(112939)+ 4(92940)+ 20.68(72040) 0.5(75484)			
<b>2271841.92=</b>	<b>2238106.2</b>			
<b>T=2250K</b>				
2271841.92=	3(115984)+ 4(95562)+ 20.68(73856) 0.5(77397)			
<b>2271841.92=</b>	<b>2296240.58</b>			
<b>T=2280K</b>				
2271841.92=	3(117635)+ 4(96981)+ 20.68(74015) 0.5(78560)			
<b>2271841.92=</b>	<b>2311117.2</b>			
<b>T=2300K</b>				
2271841.92=	3(119035)+ 4(98199)+ 20.68(73856) 0.5(79316)			
<b>2271841.92=</b>	<b>2316901.08</b>			

---



Ahora los datos se ponen en la tabla 6.1.2.2 de temperatura y entalpías.

---

**Tabla 6.1.2.2**

**Temperatura vs. Entalpía**

**$h = 2271841.92 \text{ KJ / Kgmol}$**

T(K)	KJ/Kgmol
2000	2006995.30
2100	2122229.56
2200	2238106.20
2250	2296240.58
2280	2311117.20
2300	231690.08

---

Interpolando se encuentra la temperatura de flama que es **2226 K** o **1953 °C**

## **7. CÁLCULOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.**

Este capítulo es la base de esta tesis ya que en él están los principios de la materia de transferencia de calor.

Lo primero que se debe comprender es que el total del calor suministrado por el quemador no es aprovechado al 100% sino que existen varias pérdidas en el proceso. Unas de las más importantes son las pérdidas a través de los muros del horno, las pérdidas a través de los gases de combustión que salen por la chimenea, el calor absorbido por la carga y el más importante es el radiado por todo el cuerpo del horno.

En estos cálculos se debe tomar en cuenta las diferentes características de los materiales por donde el calor es conducido, así como adaptar los casos conocidos a las necesidades. También se ha de tener presente que el calor fluye de la parte más caliente a la parte menos caliente y no suceda al contrario.

*El cálculo de las pérdidas de calor se especifican (más adelante).*

Lo más importante es conocer la temperatura de los gases de combustión que, como ya se sabe tendrán una temperatura diferente a la temperatura de flama.

### **7.1 TEMPERATURA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN AL CONTACTO CON EL AIRE INTERNO DEL HORNO.**

Para encontrar la temperatura de los gases de combustión se deben de conocer las temperaturas que rodean al horno, la temperatura de la carga que es de 800°C que es la temperatura en que el aluminio estará fundido y la temperatura de el medio que rodea al horno

que esta estimada en 40°C . Para encontrar esta temperatura se hace un balance de flujo de calor.

El calor que los gases de combustión tienen fluye en dos sentidos hacia la carga y al cuerpo del horno.

El calor es generado dentro del horno por lo tanto buscará un camino para escapar y estos caminos son los descritos anteriormente.

**Para estos cálculos se supondrá que el horno es un cilindro hueco y largo en condiciones de estado estacionario.**

**Como el flujo es radial entonces se debe tomar en cuenta la relación radial.**

**donde:**

$r_o$  = es el radio externo.

$r_i$  = es el radio interno.

**El balance de calor que da la siguiente forma.**

$$q = \frac{T_{g.c.} - T_a}{\sum R} = \frac{T_{g.c.} - T_f}{\sum R} \quad 7.1-1)$$

La parte de la izquierda de la ecuación 7.1-1) es la sección del cuerpo del horno y la parte de la derecha es la sección del crisol y carga de aluminio.

Sabemos que el aluminio que está dentro del horno no es un cilindro hueco pero para cálculos podemos considerarlo como uno, para esto le daremos dado un diferencial de radio interno de  $1 \times 10^{-6}$  mts. Para simular un cilindro hueco. Dentro de ese diferencial de radio se supone que es donde esta la temperatura de la carga que es de 800°C.

Para poder resolver la siguiente ecuación se tomaran los siguientes datos:

**Temperatura ambiente.**

$$T_a = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Temperatura de fundición.**

$$T_f = 800 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Longitud del horno.**

$$l_1 = 0.458 \text{ m}$$

**Longitud del crisol.**

$$l_2 = 0.324 \text{ m}$$

**Coefficiente de conductividad térmica del aluminio.**

$$K_1 = 896400 \frac{\text{J}}{\text{hmK}}$$

**Coefficiente de conductividad térmica del crisol.**

$$K_2 = 104400 \frac{\text{J}}{\text{hmK}}$$

**Coefficiente de conductividad térmica del ladrillo refractario.**

$$K_3 = 5659.50 \frac{\text{J}}{\text{hmK}}$$

**Coefficiente de conductividad térmica del ladrillo aislante.**

$$K_4 = 1464.20 \frac{\text{J}}{\text{hmK}}$$

**Coefficiente de conductividad térmica de la lamina de recubrimiento.**

$$K_s = 1044000 \frac{\text{J}}{\text{hmK}}$$

**Coefficiente de convección térmica para gases de combustión.**

$$h_1 = 61200000 \frac{\text{J}}{\text{hm}^2\text{K}}$$

**Coefficiente de convección térmica para corriente de aire.**

$$h_2 = 196000 \frac{\text{J}}{\text{hm}^2\text{K}}$$

*Datos tomados del libro de transferencia de calor de Karlekar y del libro de procesos de transporte y operaciones unitarias de Geankoplis y de los fabricantes de refractarios.*

**Sección interna.**

**Radio interno de la sección del aluminio.**

$$r_{i1} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$$

**Radio externo de la sección del aluminio**

$$r_{o1} = 0.124 \text{ m}$$

**Radio interno del crisol.**

$$r_{i2} = 0.124 \text{ m}$$

**Radio externo del crisol.**

$$r_{o2} = 0.125\text{m}$$

**Sección externa.**

**Radio interno del ladrillo refractario.**

$$r_{i3} = 0.2972\text{m}$$

**Radio externo del ladrillo refractario.**

$$r_{o3} = 0.407\text{m}$$

**Radio interno del ladrillo aislante.**

$$r_{i4} = 0.407\text{m}$$

**Radio externo del ladrillo aislante.**

$$r_{o4} = 0.521\text{m}$$

**Radio interno de la lamina de recubrimiento.**

$$r_{i5} = 0.521\text{m}$$

**Radio externo de la lamina de recubrimiento.**

$$r_{o5} = 0.5337\text{m}$$

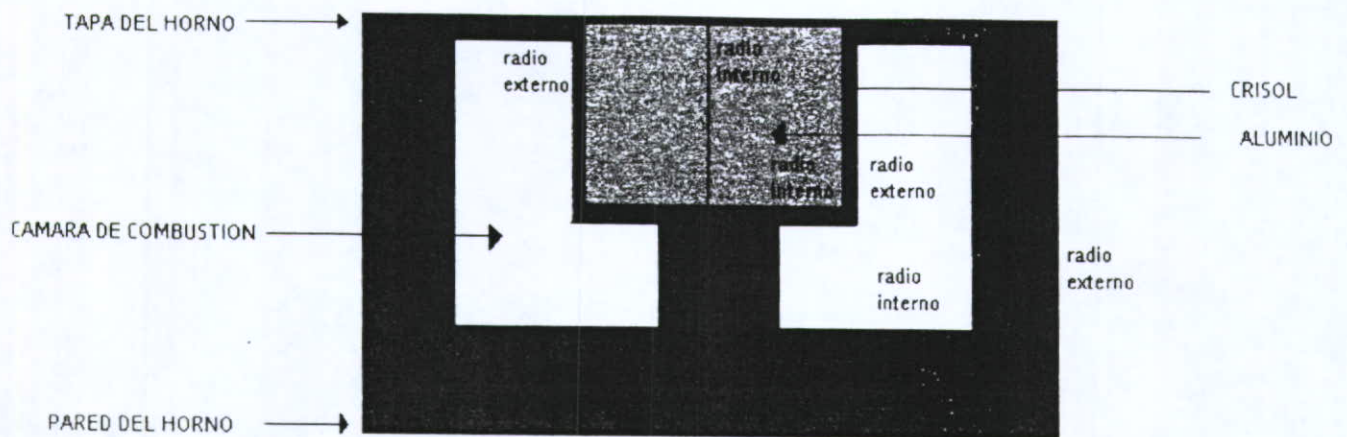


Figura 3

La figura 3 ilustra los diferentes radio del horno.

A continuación calcularemos la resistencia al calor de cada capa.

$$Rh(X) = \frac{1}{2\pi \times r_o \times h \times l}$$

$$RK(X) = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi \times K \times l}$$

**sección externa:**

$$Rh(\text{aire}) = \frac{1}{2\pi \times 0.5337 \times 198000 \times 0.458}$$

$$Rh(\text{aire}) = 3.28845 \times 10^{-6} \frac{hK}{J}$$

$$RK(\text{lamina}) = \frac{\ln\left(\frac{0.5337}{0.521}\right)}{2\pi \times 104400 \times 0.458}$$

$$RK(\text{l. aislante}) = 80.1639 \times 10^{-9} \frac{hK}{J}$$

$$RK(\text{l. aislante}) = \frac{\ln\left(\frac{0.521}{0.407}\right)}{2\pi \times 1464.2 \times 0.458}$$

$$RK(\text{l. aislante}) = 58.6056 \times 10^{-6} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

$$RK(\text{l. refractario}) = \frac{\ln\left(\frac{0.407}{0.2927}\right)}{2\pi \times 5659.5 \times 0.458}$$

$$RK(\text{l. refractario}) = 20.2418 \times 10^{-6} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

$$Rh(\text{g.c.}) = \frac{1}{2\pi \times 0.2972 \times 61200000 \times 0.458}$$

$$Rh(\text{g.c.}) = 19.1053 \times 10^{-9} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

$$\Sigma R_{\text{externa}} = 82.2351 \times 10^{-6} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

**sección interna:**

$$RK(\text{aluminio}) = \frac{\ln\left(\frac{0.124}{1 \times 10^{-6}}\right)}{2\pi \times 896400 \times 0.324}$$

$$RK(\text{aluminio}) = 6.4268 \times 10^{-6} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

$$RK(\text{crisol}) = \frac{\ln\left(\frac{0.125}{0.124}\right)}{2\pi \times 104400 \times 0.324}$$

$$RK(\text{crisol}) = 37.793 \times 10^{-9} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$



$$Rh(g.c.) = \frac{1}{2\pi \times 0.124 \times 61200000 \times 0.324}$$

$$Rh(g.c.) = 64.7293 \times 10^{-9} \frac{hK}{J}$$

$$\sum R_{interna} = 6.52932 \times 10^{-6} \frac{hK}{J}$$

**sustituyendo los valores en la ecuación 7.1-1**

$$\frac{T_{g.c.} - (40 + 273)}{82.2351 \times 10^{-6}} = \frac{T_{g.c.} - (800 + 273)}{6.52932 \times 10^{-6}}$$

$$(T_{g.c.} - (40 + 273))(6.52932 \times 10^{-6}) = T_{g.c.} - (800 + 273)(82.2351 \times 10^{-6})$$

$$6.52932 \times 10^{-6} T_{g.c.} - 0.00204 = 82.2351 \times 10^{-6} T_{g.c.} - 0.08824$$

$$6.52932 \times 10^{-6} T_{g.c.} - 82.2351 \times 10^{-6} T_{g.c.} = 0.00204 - 0.08824$$

*despejando*

$$T_{g.c.} = \frac{-86.2 \times 10^{-6}}{-75.7058 \times 10^{-6}}$$

$$T_{g.c.} = 1138.57K$$

$$t_{g.c.} = 865.547C$$

Esta es la temperatura mínima que los gases de combustión deberán alcanzar para mantener el equilibrio térmico que el proceso requiere; sin embargo, esto no quiere decir que ésta sea la temperatura que se esté alcanzando por el quemador ya que ésta ya había sido calculada en el capítulo 6.1.2 .

## **7.2 CÁLCULOS DEL CALOR QUE ABSORBE LA CARGA.**

Para poder efectuar el proceso de fundición del aluminio lo primero que se debe de tomar en cuenta es que para que el aluminio cambie de estado se debe elevar su temperatura entre los 660 y 750 °C que es la temperatura donde el aluminio cambia de fase

completamente. En esta temperatura el aluminio empieza a cambiar de sólido a líquido por lo que absorberá calor, éste está dado por la gráfica 5.3.1 o por la tabla 5.3.1. Sin embargo para poder asegurarnos de que toda la carga alcance a fundirse manejaremos 50 °C por encima de su temperatura de fusión alcanzando una temperatura de 800 °C

*El calor que absorbe a 800 °C es de 1123 J/gr.*

Como nuestra capacidad de fundición es de 16 Kg. de aluminio la capacidad ya se definió en el capítulo 3.3.1 por lo que el calor absorbido por la carga será de :

$$Q_{16\text{kg}} = 1123 \frac{\text{J}}{\text{gr}} \times 16\text{kgr} \times \frac{1000\text{gr}}{\text{kgr}}$$

$$Q_{16\text{kg}} = 17968000\text{J}$$

Este calor es el absorbido forzosamente por la carga y sería el mínimo que se necesitaría si el calor suministrado al horno no se perdiera en ninguna otra forma. los 17968 KJ.

### **7.3 CALOR PERDIDO POR RADIACIÓN.**

Este calor es radiado a través de las paredes de todo el cuerpo del horno. El criterio que se ocupara para estos cálculos será el de radiación desde el medio circundante a un objeto pequeño o el de un medio pequeño a uno grande. Si el signo del calor es positivo entonces el cuerpo pequeño absorbe el calor.

Para estos cálculos se debe conocer la temperatura exterior del muro del horno que se calculara más adelante y la temperatura del medio propuesta. El coeficiente de emisividad térmica para la tapa y el recubrimiento del horno es de acero suave y pulido (dato tomado del libro de transferencia de calor de Karlekar). La ecuación necesaria es la siguiente.

$$\frac{q}{A} = \epsilon \sigma (T_c^4 - T_a^4)$$

**Temperatura exterior.**

$$T_c$$

La temperatura de la pared exterior del horno se calcula con el método de flujo de calor:

$$\frac{T_{g.c} - T_c}{\Sigma R1} = \frac{T_{g.c} - T_f}{\Sigma R2}$$

donde:

$$\frac{1138.5K - T_c}{78.947 \times 10^{-6} \frac{Kh}{J}} = \frac{1138.5K - 1073K}{6.5393 \times 10^{-6} \frac{Kh}{J}}$$

despejando

$$T_c = 347.74K$$

$$T_c = 74.738^\circ C$$

La  $\Sigma R1$  es la resistencia térmica calculada con anterioridad pero sin la resistencia de por convección al aire. Por lo tanto sustituyendo los valores correspondientes encontramos que el flujo de calor por área es. (1 W=3600 J/h)

$$\frac{q}{A} = \epsilon \sigma (T_c^4 - T_a^4)$$

$$\frac{q}{A} = 0.32 * 5.668 \times 10^{-8} (347.74^4 - 313^4)$$

$$\frac{q}{A} = 91.1318 \frac{W}{m^2}$$

$$\frac{q}{A} = 328044.7727 \frac{J}{hm^2}$$

**El área de radiación es la siguiente:**

**Área lateral de horno:**

$$l=0.458\text{m.}$$

$$r=0.5337\text{m}$$

$$A_1 = 2\pi r l$$

$$A_1 = 2\pi(0.458)(0.5337)$$

$$A_1 = 1.5359\text{m}^2$$

---

**Área de la tapa:**

$$A_2 = \pi r^2$$

$$A_2 = \pi(0.5337)^2$$

$$A_2 = 0.894840\text{m}^2$$

**Área total de radiación:**

$$A = 1.5359\text{m}^2 + 0.894840\text{m}^2$$

$$A = 2.4307\text{m}^2$$

**Por lo tanto el calor radiado por hora será:**

$$Q = 2.4307\text{m}^2(328074.7727 \frac{\text{J}}{\text{A}})$$

$$Q = 797451.3501\text{J}$$

---

**7.4 PERDIDAS DE CALOR A TRAVÉS DE LOS MUROS.**

Tomando la temperatura en que se encuentran los gases de combustión interna y la temperatura ambiente o más bien la temperatura que rodea nuestro horno se puede encontrar el calor que es perdido por los muros de éste.

Como sabemos la pared del horno es una pared compuesta por lo que la resistencia térmica es una resistencia en serie, cada pared cuenta con un coeficiente de conductividad diferente por que el material de cada pared es diferente.

**Los datos necesarios para la ecuación son:**

**Temperatura interna.**

$$T_i = 1138.57K$$

**Temperatura del medio.**

$$T_a = 313K$$

**Ladrillo refractario.**

$$K_1 = 5659.50 \frac{J}{hmK}$$

**Ladrillo aislante.**

$$K_2 = 1464.20 \frac{J}{hmK}$$

**Lamina.**

$$K_3 = 104400 \frac{J}{hmK}$$

**gases de combustión.**

$$h_1 = 61200000 \frac{J}{hm^2K}$$

**Corriente de aire.**

$$h_2 = 198000 \frac{\text{J}}{\text{hm}^2\text{K}}$$

**Longitud del horno.**

$$l = 0.458\text{m}$$

**Radio interno el ladrillo refractario.**

$$r_{i1} = 0.2927\text{m}$$

**Radio externo del ladrillo refractario.**

$$r_{o1} = 0.407\text{m}$$

**Radio interno del ladrillo aislante.**

$$r_{i2} = 0.407\text{m}$$

**Radio externo del ladrillo aislante.**

$$r_{o2} = 0.521\text{m}$$

**Radio interno de la lámina.**

$$r_{i3} = 0.521\text{m}$$

**Radio externo de la lámina.**

$$r_{o3} = 0.5337\text{m}$$

*Los datos fueron obtenidos de los mismos libros que en el punto 7.1.*

La ecuación de balance es la siguiente.

$$q = \frac{T_1 - T_a}{\sum R}$$

**Resistencia del ladrillo refractario:**

$$R = \frac{\ln \frac{0.407}{0.2927}}{2\pi \times 5659.5 \times 0.458}$$

$$R = 20.242 \times 10^{-6} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

**Resistencia del ladrillo aislante:**

$$R = \frac{\ln \frac{0.521}{0.407}}{2\pi \times 1464.20 \times 0.458}$$

$$R = 58.606 \times 10^{-6} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

**Resistencia de la lámina:**

$$R = \frac{\ln \frac{0.5337}{0.521}}{2\pi \times 104400 \times 0.458}$$

$$R = 80.164 \times 10^{-9} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

**Resistencia de los gases de combustión:**

$$R = \frac{1}{2\pi \times 0.2927 \times 0.458 \times 61200000}$$

$$R = 19.399 \times 10^{-9} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

**Resistencia de la corriente de aire:**

$$R = \frac{1}{2\pi \times 0.5337 \times 0.458 \times 198000}$$

$$R = 3.28845 \times 10^{-9} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

**Resistencia total:**

$$\sum R = 82.235 \times 10^{-6} \frac{\text{hK}}{\text{J}}$$

**Sustituyendo los datos y evaluando la ecuación tenemos el calor absorbido por hora:**

$$Q = \frac{1138.57 - 313}{82.235 \times 10^{-6}}$$

$$Q = \frac{825.57}{82.235 \times 10^{-6}}$$

$$Q = 10.0392 \times 10^6 \text{ J}$$

## 7.5 CALOR PROPORCIONADO POR LOS GASES DE COMBUSTIÓN.

Para calcular el calor que proporcionan los gases de combustión al sistema se toma en cuenta la cantidad de combustible que el quemador demandará por hora, este dato es proporcionado por el fabricante y es de 10Kg (10000gr) que nos suministra una cantidad de acuerdo al siguiente cálculo:

$$\text{grmol} = \frac{\text{grmasa}}{\text{mm}}$$

**Donde:**

**Masa molecular del propano.**

$$44 \frac{\text{gr}}{\text{grmol}}$$



### Masa del combustible.

10000gr

De aquí obtenemos

$$\text{grmol} = \frac{10000\text{gr}}{\frac{44\text{grmol}}{\text{gr}}}$$

$$\text{grmol} = 227.2727$$

Por lo tanto la cantidad de cada componente según el balance de materia debe afectarse de la siguiente manera:

$$\text{O}_2 \rightarrow 113.6363\text{grmol}$$

$$\text{CO}_2 \rightarrow 681.8181\text{grmol}$$

$$\text{H}_2\text{O} \rightarrow 985.22715\text{grmol}$$

$$\text{N}_2 \rightarrow 4699.99944\text{grmol}$$

Ahora que se puede encontrar la cantidad de calor proporcionada por cada compuesto y con la temperatura de los gases de combustión que es de 865.547°C (1590°F) podemos entrar a la tabla 7.5.1, tabla que está en sistema inglés por lo que se ha de convertir a las unidades que necesitamos que son los Joules con el siguiente factor (1 Btu/lb = 2.326 J/gr).

---

**TABLA 7.5.1****Calor absorbido por productos de la combustión en Btu/lb.**

	<b>CO2</b>	<b>O2</b>	<b>H2O</b>	<b>N2</b>
<b>Temperatura (°F)</b>				
60	0	0	0	0
100	8.3	8.7	17.7	9.80
200	29.6	30.9	62.4	34.6
300	52.0	53.5	108.0	59.7
400	75.2	76.5	154.4	85.0
500	99.4	99.9	201.7	110.6
600	124.3	123.6	249.7	136.4
800	176.5	172.1	348.4	188.8
1000	231.4	221.8	450.4	242.3
1200	288.7	272.6	555.8	296.8
1400	347.9	324.3	664.5	352.3
1600	408.6	376.8	776.6	408.8
1800	470.5	429.9	892.2	466.3
2000	533.2	483.4	1011.1	524.7
2200	596.3	537.2	1133.4	584.1
2400	659.5	591.2	1259.2	644.4
2600	722.3	645.1	1388.5	705.7
2800	784.3	698.9	1521.2	767.9
3000	845.2	725.3	1657.4	831.0

3200	904.6	805.2	1797.0	895.0
3400	962.1	857.5	1940.2	959.8
3600	1017.4	909.1	2086.8	1025.6
3800	1069.9	959.6	2237.0	1092.2

---

Estos son los datos obtenidos de la tabla 7.5.1 después de haber interpolado.

$$\text{O}_2 \rightarrow 870 \frac{\text{J}}{\text{gr}}$$

$$\text{CO}_2 \rightarrow 943 \frac{\text{J}}{\text{gr}}$$

$$\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1793 \frac{\text{J}}{\text{gr}}$$

$$\text{N}_2 \rightarrow 944 \frac{\text{J}}{\text{gr}}$$

Para tener Joules lo que debemos que hacer es multiplicar por la masa molecular del elemento y por los moles contenidos en los gases de combustión.

$$\text{O}_2 \rightarrow 870 \frac{\text{J}}{\text{gr}} \left(32 \frac{\text{gr}}{\text{grmol}}\right) (113.6363 \text{grmol})$$

$$\text{CO}_2 \rightarrow 943 \frac{\text{J}}{\text{gr}} \left(44 \frac{\text{gr}}{\text{grmol}}\right) (681.8181 \text{grmol})$$

$$\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1793 \frac{\text{J}}{\text{gr}} \left(18 \frac{\text{gr}}{\text{grmol}}\right) (985.22715 \text{grmol})$$

$$\text{N}_2 \rightarrow 944 \frac{\text{J}}{\text{gr}} \left(28 \frac{\text{gr}}{\text{grmol}}\right) (4699.99944 \text{grmol})$$

**Este es el calor de cada uno.**

$O_2 \rightarrow 3163634.6J$

$CO_2 \rightarrow 28289996.6J$

$H_2O \rightarrow 31797221.1J$

$N_2 \rightarrow 124230385.2J$

El calor total es de 187,481,237.434J calor que alcanza el fluido que envuelve al horno, recordando que el proceso es en base a una hora.

### **7.6 CALOR TEÓRICO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN.**

Este es el calor que en condiciones estacionarias el quemador tendría que proporcionar al proceso, este es la suma del calor que es absorbido por la carga, por el cuerpo del horno y el calor radiado por el horno. Esta suma de calores deberá de ser el calor que proporciona el quemador.

Calor absorbido por la carga.	1796800 J
Calor radiado.	797451.35 J
Calor absorbido por los muros.	<u>10039200 J</u>
<b>Total de calor teórico consumido.</b>	<b>12633451.35 J</b>

**Calor proporcionado por los gases de combustión. 187481237.434J**

### **Utilización del quemador.**

$$U = (12633451.35\text{J} / 187481237.434\text{J}) 100\%$$

$$U = 6.73852\%$$

Esta relación marca una pauta para indicar que el quemador realmente está sobrado y puede proporcionar la capacidad calorífica para poder fundir el aluminio. La diferencia del calor proporcionado por el quemador y lo que absorbe el proceso se puede minimizar con una válvula de estrangulación graduable con la cual dosificaremos la cantidad de combustible, también el calor sobrante es abandonado por la chimenea.

## 8. CÁLCULO DE LA CHIMENEA.

Este capítulo se enfoca a encontrar el diámetro correspondiente al horno de acuerdo con los datos obtenidos.

### 8.1 PRESIÓN EN LOS HORNOS.

La presión en la cámara de combustión debe ser igual o ligeramente mayor a la atmosférica en todos los grados de calentamiento.

La razón por la cual la presión en la cámara de combustión debe ser prácticamente igual a la atmosférica es por que si ésta fuera mayor, la flama o los gases calientes escaparían por todas las aberturas que podría tener el horno provocando algunas alteraciones en la estructura del horno o se podría ocasionar desprendimiento de flama lo cual es una condición de alto riesgo.

Evidentemente debe haber una diferencia entre la presión atmosférica y la presión del horno; normalmente el exceso de presión en el interior del horno es del orden de *0.0508 cm. de columnas de agua*. Los operadores de hornos miden la presión que prevalece en el interior del horno por medio de un tubo capilar, colocado en la corriente de los gases calientes.

El mejor rendimiento obtenido del movimiento de los gases a baja presión es cuando la salida de los productos de combustión está localizada cerca del piso o no obstante en él (chimeneas con ductos subterráneos), aunque existen cerca del techo, éstas se usan cuando se desea calentar rápidamente el material. Con la chimenea en el techo, el horno viene siendo una chimenea con presión atmosférica formando un vacío parcial.

El tiro producido por una chimenea de H pies de altura con un promedio de temperatura T en °F en los gases, cuando la temperatura ambiente es de 68°F y la presión barométrica de 14.70 psi será:

$$\text{Tiro}=(2.54)(0.01467H)(1-528qg/1460Tqa) \text{ en cm. de agua.}$$

8.1-1)

Las pérdidas de tiro es causada por fricción (P.T.F.) en la chimenea siendo ésta de sección constante, ésta es causada por la siguiente ecuación.

$$P.T.F = (2.54)(qg/qa)((119.1FBLV^2)/(A(T+460))) \text{ en cm. de agua.} \quad 8.1-2)$$

Pérdidas por velocidad (P.V.) son las que se ocasionan debido a la velocidad de los gases de combustión.

$$P.V. = (2.54)(qg/qa)(0.184V^2/(T+460)) \text{ en cm. de agua.} \quad 8.1-3)$$

Estas son las literales de las ecuaciones 8.1-1, 8.1-2 y 8.1-3.

*qg/qa = relación de densidades de los gases y el aire a la misma presión y temperatura.*

A = Sección transversal de la chimenea en pulg<sup>2</sup>.

B = Perímetro de A en pulgadas.

L = Longitud total del ducto más la chimenea en pies.

V = Velocidad de los gases en pies/seg.

F = Coeficiente de fricción para chimeneas industriales  $(1.05 \times 10^{-4})$ .

L = 1.2H

*La presión interior del horno se toma como 0.0508 cm. de columnas de agua.*

*qg/qa = 1.*

## 8.2 CHIMENEAS.

En los hornos que usan gas por combustible no es indispensable la chimenea, usándose únicamente unos ductos cortos según la localización del horno. Cuando los productos de combustión se descargan por medio de éstos, se corre el riesgo de que se queden atrapados dentro del cuarto debido a las corrientes de aire exterior. **La chimenea es indispensable sin importar el tipo de combustible que se use**, en hornos regenerativos y recuperativos.

Los hornos que queman carbón o cualquier tipo de combustible sólido tienen gran producción de humo y productos sulfurosos al efectuarse la combustión siendo indispensable la chimenea.

En el interior de los hornos que usan chimeneas, debe existir una pequeña presión que obligue la descarga de los productos de combustión, necesitándose únicamente una pequeña fracción de la capacidad de tiro de la chimenea.

En consecuencia, la chimenea puede ser de cualquier altura, con tal de que sobresalga del techo lo suficiente para evitar el retorno de los gases de combustión al cuarto. La necesidad de construir la chimenea en esta forma las hacen ser de construcción consistente y demasiado altas, produciéndose demasiado tiro, aumentando considerablemente la velocidad de salida en los gases, entonces debe usarse una compuerta para contrarrestar el exceso de tiro y así la salida de gran cantidad de calor del interior del horno. En la mayoría de los hornos las chimeneas no son únicamente demasiado altas, sino demasiado gruesas de sección transversal por las siguientes razones.

Como protección al castillo de acero se hace un recubrimiento con tabique rojo de 11.43 cm. usado comúnmente en chimeneas industriales, éstos tabiques no pueden ser colocados en posición vertical en casquillos de menos de 81.44 cm. de diámetro.

La circunferencia de una chimenea debe tener cierta altura mínima y cierto diámetro mínimo, libre de los cálculos para determinar su tamaño para hornos pequeños. Para muchos hornos las dimensiones de las chimeneas deben determinarse para cada caso. Para estimaciones rápidas la siguiente regla puede ser de valor. Hacer el área de la sección transversal de la chimenea (interior del recubrimiento), igual a un 60% de la suma de las áreas de las puertas o ductos, siempre y cuando estén debidamente proporcionados. Si las proporciones no son muy adecuadas la dimensión de la chimenea puede ser de tan solo el 60% del diámetro calculado.



En los casos en los cuales se requiere el cálculo de una chimenea el método debe variar necesariamente de acuerdo con las condiciones locales.

El tiro más conveniente de una chimenea es igual a la diferencia del paso de una columna de aire frío y una columna semejante de gas caliente en la chimenea, menos las pérdidas debidas a la fricción y velocidad de los gases.

La altura por consiguiente depende del tiro más convenientemente requerido y debe ser influenciado por el diámetro.

El uso correcto de las fórmulas de tiro requiere del conocimiento de la temperatura promedio de la chimenea, la cual es difícil estimar debido a la caída de temperatura y dependiendo de muchos factores como: las dimensiones de la chimenea, el uso correcto del material de construcción y el volumen de los gases de combustión.

### **8.3 CHIMENEAS LOCALIZADAS ARRIBA DEL NIVEL DEL MAR (ESTE CASO).**

Cuando la altura sobre el nivel del mar aumenta la presión barométrica disminuye; son varias las opiniones sobre el método correcto para calcular la altura de una chimenea a diferentes alturas sobre el nivel del mar.

Sin embargo, el método comúnmente usado consiste en multiplicar la altura requerida al nivel del mar por la relación  $R$  de las lecturas barométricas, al nivel del mar y la correspondiente a la del lugar donde se va instalar la chimenea.

El diámetro de la chimenea también debe modificarse debido al aumento de volumen de los gases al disminuir la presión barométrica, con tal fin se multiplica el diámetro requerido al nivel del mar por el valor de  $R^{\frac{2}{5}}$ .

*La altura necesaria para este horno es de 3 m.*

Esta razón se debe a que con tres metros la salida de gases está lo suficientemente alejada de nuestra área de trabajo, así se evita que los gases de combustión queden dentro del área de trabajo.

Para cada horno la chimenea es independiente por lo que la altura depende simplemente de las condiciones del lugar de trabajo.

La temperatura de los gases de combustión a la entrada de la chimenea es de  $1993^{\circ}\text{C}$ , la temperatura interna (teórica) entre las paredes del horno es de  $865.547^{\circ}\text{C}$ ; por lo que la temperatura de los gases de combustión al pie de la chimenea ( $T_1$ ) es ligeramente menor por lo que se tomará igual a  $860^{\circ}\text{C}$ .

#### 8.4 FLUJO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.

El flujo de los gases de combustión a través del horno está definido de acuerdo con los siguientes puntos para poder determinar la sección transversal de la chimenea.

Nuestro consumo de combustible (gas L.P.) a plena carga según el fabricante = 10 kg./h. Por lo tanto el quemador consumirá una masa de 10kg. en un periodo de una hora.

De acuerdo con el capítulo 7 en su sección 7.5 por cada 10kg/h consumido de combustible obtenemos las siguientes cantidades de los productos de combustión estos son la base para encontrar el flujo de los gases de combustión ( $f_{g.c}$ ).

##### Productos de combustión .

$\text{O}_2 \rightarrow 113.6363\text{grmol}$

$\text{CO}_2 \rightarrow 681.8181\text{grmol}$

$\text{H}_2\text{O} \rightarrow 985.22715\text{grmol}$

$\text{N}_2 \rightarrow 4699.99944\text{grmol}$

Habiendo hecho el balance de materia considerando como base 10000 grmol de combustible en el cálculo de temperatura de flama, obtuvimos que por cada 10000 grmol de combustible quemado se producen:

O<sub>2</sub>                    113.6363 grmol

CO<sub>2</sub>                    681.8181 grmol

H<sub>2</sub>O                    985.2271 grmol

N<sub>2</sub>                    4699.99 grmol

Total= 6480.68055 grmol

**Encontrando un volumen total de los gases de combustión (V).**

$$V = (6480.68055 \text{ grmol})(22.41 \text{ m}^3/\text{Kgmol})(0.0010 \text{ Kgmol/grmol})$$

$$V = 145.2321 \text{ m}^3$$

Este volumen de los gases de combustión (V) es el volumen por hora de combustible quemado.

Por lo tanto el flujo de los gases de combustión ( $f_{g.c.}$ ) por segundo lo podemos encontrar de la siguiente forma.

$$f_{g.c.} = (145.2321 \text{ m}^3)/(3600 \text{ s}) = 0.0403 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 8.5 CALCULO DEL ÁREA TRANSVERSAL DE LA CHIMENEA.

La forma de encontrar el área transversal de nuestra chimenea depende del flujo de los gases de combustión y de la velocidad permisible de los gases de combustión. Para eso utilizaremos la siguiente ecuación.

$$f_{g.c.} = AV$$

$$A = \frac{f_{g.c.}}{V}$$

8.5-1 y 8.5-2)

**Los datos deben ser.**

$$f_{g.c.} = 0.0403 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{\text{transversal}} = \text{m}^2$$

$$V = 15 \text{ m/s}$$

***Esta velocidad es dato del libro de Himmelblau.***

Sustituyendo los valores en la sección 8.5-2 se encuentra el área transversal. Como se utilizará un ducto circular entonces debemos calcular el diámetro a utilizar.

$$A_{\text{transversal}} = (3.1416 \cdot d^2)/4 = 0.0403/15$$

$$(3.1416 \cdot d^2)/4 = 0.0027$$

$$d = 0.0585 \text{ m}$$

$$d = 5.8487 \text{ cm}$$

**Este es el diámetro teórico necesario para la chimenea.**

*Pero este diámetro no es comercial por lo que tomaremos un  $d = 10 \text{ cm}$  con la cual se obtiene una  $V = 5.13 \text{ m/s}$  la cual sigue cumpliendo el máximo de velocidad.*

## **8.6 TIRO PRODUCIDO POR LA CHIMENEA.**

El tiro producido por la chimenea (T.ch.) es la fuerza motriz de los gases o sea la que proporcionará la energía para que los gases de combustión abandonen el horno.

Temperatura promedio de los gases de combustión ( $T_{\text{prom}}$ ) en la chimenea es la temperatura de la base de la chimenea + temperatura a la salida. La temperatura de salida ( $T_2$ ) es la temperatura que va perdiendo por cada metro lineal que los gases de combustión van subiendo.

**Altura de la chimenea = 3m = 9.843 ft.**

**La temperatura de la base de la chimenea.**

$$T_1 = 860^\circ\text{C}$$

*El dato de 37 °C/m es un dato empírico para las chimeneas de estas características.*

$$T_2 = (860^\circ\text{C} - 37 \frac{\text{C}}{\text{m}})(3\text{m})$$

$$T_2 = 749^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 1022\text{K}$$

**La temperatura promedio.**

$$T_{\text{prom}} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$T_{\text{prom}} = \frac{860 + 749}{2}$$

$$T_{\text{prom}} = 804.5^\circ\text{C}$$

Sustituyendo en la ecuación 8.1-1. (hay que recordar que los datos deben estar en unidades inglesas).

$$T.ch. = 2.45 \times 0.01467 \times 9.842 \left( 1 - \frac{528}{1940} \right)$$

$$T.ch. = 0.26692 \text{ cmH}_2\text{O}$$

El tiro total producido por la chimenea (T.t.ch.) está definido como el tiro de la chimenea más la presión interior del horno que se planteó como *0.02 in de agua* (dato empírico para chimeneas). En unidades del sistema métrico 0.20 in de agua son 0.508 cm. de agua.

$$T.t.ch. = 0.26692 \text{ cmH}_2\text{O} + 0.508 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$T.t.ch. = 0.77492 \text{ cmH}_2\text{O}$$

#### **Pérdidas por velocidad en la chimenea.**

Velocidad máxima permisible en la chimenea  $15 \text{ m/s} = 49.2125 \text{ ft/s}$ .

con la ecuación 8.1-3.

$$P_{\text{velocidad}} = 2.54 \times 0.184 \left( \frac{V^2}{(T_{\text{prom}} + 460)} \right)$$

$$P_{\text{velocidad}} = 2.54 \times 0.184 \left( \frac{(49.2125)^2}{(1480 + 460)} \right) = 0.58345 \text{ cmH}_2\text{O}$$

#### **Pérdidas por fricción. De la ecuación 8.1-2 tenemos:**

$$P_{\text{fricción}} = 2.54 \times 119.1F \left( \frac{B}{A} \right) \left( \frac{(LV)^2}{(T_{\text{promedio}} + 460)} \right)$$

**donde:**

**F= Coeficiente de fricción en chimeneas**  $= 1.05 \times 10^{-4}$

**B= Perímetro interior de la chimenea**  $= 28.61471 \text{ in}$

**A= Área interior de la chimenea = 65.158 in<sup>2</sup>**

**L = Longitud total del ducto de la chimenea = 1.2H**

*sustituyendo los datos queda*

$$P_{\text{fricción}} = 2.54 \times 119.1 \times 1.05 \times 10^{-4} \left( \frac{28.6147}{65.158} \right) \left( \frac{1.2 \times 9.8425(49.2125)^2}{(1480 + 460)} \right)$$

$$P_{\text{fricción}} = 0.20568 \text{cmH}_2\text{O}$$

**Exceso de tiro.**

$$E_{\text{tiro}} = \left( \text{T. t. ch.} - (P_{\text{fricción}} + P_{\text{velocidad}}) \right)$$

$$E_{\text{tiro}} = (0.77492 - (0.58345 + 0.20568))$$

$$E_{\text{tiro}} = -0.01421 \text{cmH}_2\text{O}$$

*Esta cantidad la podemos considerar alta ya que nos da un tiro negativo esto nos dice que la velocidad a la salida de nuestra chimenea va a ser mucho más alta de la permitida.*

## **8.7 VELOCIDAD DE LOS GASES EN LA CHIMENEA.**

Para verificar que la chimenea cumple con lo establecido se igualan las ecuaciones siguientes y se despeja para la velocidad de los gases dentro de la chimenea.

$$0.01467H \left( 1 - \frac{T_a + 460}{T_{\text{prom}} + 460} \right) + 0.02 = \frac{V^2}{T_{\text{prom}} + 460} \left( \frac{0.184 + (119.1 \text{FB}1.4H)}{A} \right)$$

$$0.01467 \times 9.843 \left( 1 - \frac{104 + 460}{1480 + 1460} \right) + 0.02 = \frac{V^2}{1480 - 460} \left( \frac{0.184 + (119.1 \times 1.05 \times 10^{-4} \times 28.6147 \times 14 \times 9.843)}{65.158} \right)$$

**de donde se despeja para la velocidad:**

$$V = 55.00256 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

$$V = 16.76478 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De lo que resulta una velocidad un poco mayor a la permitida pero eso no causa problema por que esta es la velocidad de los gases de combustión con el quemador a plena carga y como el proceso no trabaja a esa magnitud no existirá problema. Pero, por si acaso existiera algún problema se instalará una compuerta (mampara como se mencionó anteriormente) a la salida de los gases del horno, con el objeto de regular las condiciones interiores del horno durante su operación, eliminando pérdidas mayores de calor en los gases que salen por la chimenea.

## 8.8 CORRECCIÓN A LAS DIMENSIONES DE LA CHIMENEA.

A medida que la altura sobre el nivel del mar aumenta, la presión barométrica disminuye, aumentando el volumen de los productos de combustión por lo que el diámetro y la altura de la chimenea han de modificarse según se explicó con anterioridad.

**Altura de la chimenea considerada al nivel del mar.**

H=3 m.

**Diámetro interior.**



$$D=23.135 \text{ cm.}$$

### **Presión barométrica al nivel del mar**

$$P1=760 \text{ mmHg.}$$

### **Presión barométrica para la ciudad de Guadalajara, jalisco.**

$$P2=633 \text{ mmHg.}$$

### **Relación de presiones.**

$$R=P1/P2= 760/633= 1.20063$$

### **Corrigiendo la altura:**

$$H_{\text{real}} = 3 \times 1.20063$$

$$H_{\text{real}} = 3.60190\text{m.}$$

### **Corrección del diámetro.**

$$D_{\text{real}} = dR^{\frac{2}{5}}$$

$$D_{\text{real}} = 23.135 \times 1.20063^{\frac{2}{5}}$$

$$D_{\text{real}} = 24.89047\text{cm}$$

El diámetro a considerar para la chimenea será el promedio de los dos diámetros, o sea un diámetro más estándar. El promedio es de 24.01274 cm. por lo que se usará un diámetro de sólo 25.00 cm.

El diámetro calculado para la chimenea es demasiado grande con respecto al cuerpo de nuestro horno por lo que hay que decidir en poner ese diámetro de chimenea o uno menor ya que jamás se utilizará el quemador a plena carga ni aún en las prácticas de termodinámica. Lo que se consideró poner solo el 60% del diámetro real quedando un diámetro de 14.40 cm., para este caso se considerara 15 cm. y además una mampara para reducir la velocidad de los gases de combustión y para hacer que ellos duren un poco más dentro del horno.

## 9. MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HORNO.

### **Ladrillos refractarios y aislantes:**

Teniendo como base los cálculos de calor del capítulo 7 se decidió que el horno contará con dos muros de ladrillos. Uno de ellos que es el que está expuesto directamente a la flama; será del tipo refractario modelo **KX-99** y un muro de ladrillo aislante modelo **G-26** (ver apéndice).

Los demás materiales y cantidades se especifican en la siguiente lista.

*A continuación se muestra la lista de los materiales necesarios para la fabricación de este horno tipo crisol para la fundición de aluminio. Para el cálculo de las dimensiones de los ladrillos refractarios y aislantes se tomó como base las dimensiones del crisol:*

Crisol de acero para altas temperaturas con las siguiente características:

Crisol modelo A-50.

Altura=320 mm.

Diámetro superior 248 mm.

Diámetro inferior 191 mm.

Capacidad en kilogramos de Bronce 50 Kg.

Conociendo las dimensiones de el horno se consultó a REFMEEX S.A. (ver apéndice) para ver cuales eran las dimensiones normadas que ellos usaban en la elaboración de este tipo de hornos. Se les proporcionó las siguientes dimensiones: diámetro superior del crisol y la altura. Se encontró que la combinación necesaria para el horno era la siguiente:

Para el **primer muro o muro refractario** se necesitan dos hilada (cantidad de ladrillos en forma vertical) de ladrillos de los siguientes cantos:

**Ladrillo canto 2 se necesitan 35 ladrillos por hilada teniendo un total de 70 ladrillos. Se recomienda un 10% de ladrillos para prevenir algún accidente. Por lo que se necesitan 77.**

**Ladrillo canto 1 se necesitan 6 ladrillos por hilada teniendo un total de 12 ladrillos. Se recomienda un 10% de ladrillos para prevenir algún accidente. Por lo que se necesitan 14.**

Para el **segundo muro o muro aislante** se necesitan dos hiladas (cantidad de ladrillos en forma vertical) de ladrillos de los siguientes cantos:

**Ladrillo canto 2 se necesitan 46 ladrillos por hilada teniendo un total de 92 ladrillos. Se recomienda un 10% de ladrillos para prevenir algún accidente. Por lo que se necesitan 102.**

**Ladrillo canto 1 se necesitan 8 ladrillos por hilada teniendo un total de 16 ladrillos. Se recomienda un 10% de ladrillos para prevenir algún accidente. Por lo que se necesitan 18.**

Para la parte superior ( tapa ) se necesita la siguiente cantidad:

**Ladrillo refractario de punta 3 se necesitan 32. Se recomienda un 10% de ladrillos extra para prevenir algún accidente. Por lo que se necesitan 36.**

**Ladrillo refractario de punta 2 se necesitan 8 Se recomienda un 10% de ladrillos extra para prevenir algún accidente. Por lo que se necesitan 9.**

Para la parte del piso del horno se necesitan 35 ladrillos para formar un piso de 5x7 ladrillos. Para asentar al crisol se necesitan 4 ladrillos, esto con motivo de hacer la base.

Para darle rigidez al horno se cubrirá con lámina calibre 10 rolada (ver apéndice). Sus dimensiones serán de 572mm x 3272 mm. Esta cubierta será soldada en sus extremos; la finalidad de esta cubierta es evitar que el horno sufra daños por accidentes o por falta de cuidado. Esta cubierta también se encargará de darle mayor tiempo de duración al horno.

#### **Chimenea:**

Para la chimenea se necesitan unos cilindros de un diámetro de 15 cm. de tramos de 50 cm. para usar una cantidad de 6 tramos además de un codo de 90 grados de curvatura.

#### **Quemador:**

Para desarrollar el poder calorífico se seleccionó a Quemadores Industriales Gómez por que (ver apéndice) cuentan con un modelo *dual* que ellos le nombran mixto. Este quemador está provisto para poder quemar diesel y L.P. sin necesidad de intercambiar boquillas ya que simplemente se cierra una llave y se abre la otra. Este modelo además cuenta con la cantidad necesaria de manguera tanto para diesel como para el L.P.

**Analizador de gases:**

Analizador de gas de combustión MCA. Eurotron Tipo portátil modelo **UNIGAS** (ver apéndice) que mide lo siguiente:

Oxígeno

Temperatura de los gases de combustión

Bióxido de carbono

Eficiencia de combustión

Exceso de aire.

## 10. COSTO.

---

**Costo de las partes que conforman la construcción de el horno.**

<b>Cantidad/Piezas</b>	<b>Descripción</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Total</b>
1	Crisol	464.75	464.75
1	Cuchara	50.00	50.00
175	Ladrillo refractario	4.36	763.00
120	Ladrillo aislante	4.25	510.00
1	Quemador	1300.00	1300.00
1	Tanque de 200 litros	100.00	100.00
1	Cilindro de gas de 30 kg.	140.00	140.00
1	Chimenea	350.00	350.00
1	Medidor de gases de combustión modelo UNIGAS	11745.00	11745.00
3	Costales de mortero	103.20	309.00
	Lámina para recubrimiento (rolada)	600.00	600.00
1	Tapa de acero de 300 mm. de diámetro	50.00	<u>50.00</u>
	<b>Total</b>		<b>\$16381.75</b>
		<b>iva</b>	<b><u>\$ 1638.17</u></b>
		<b>*Precio neto</b>	<b>\$18019.92</b>

---

**Este precio puede variar por la cotización del dolar.**

El costo de la mano de obra no se toma en cuenta ya que esta puede ser proporcionada por los alumnos con fines de prácticas.

## 11. PRACTICAS RECOMENDADAS.

### 11.1 PRACTICAS DE COMBUSTIÓN.

Práctica de:

#### **COMBUSTIÓN-ECUACIONES-QUÍMICAS.**

##### OBJETIVO:

- a) Determinar las ecuaciones básicas de combustión con aire teórico, exceso de aire y deficiencia de aire.
- b) Determinar la relación y aire-combustible.
- c) Manejo del UNIGAS

##### TEORÍA:

- a) Definir conceptos relacionados con el objetivo de esta práctica como: estequiometría y ecuaciones químicas, combustión.
- b) Tipos de combustión.
- c) Relación aire-combustión.
- d) Análisis de los productos de combustión y manejo del UNIGAS.

##### EQUIPO NECESARIO:

- Horno.
- Analizador UNIGAS.
- Termómetro.

##### PROCEDIMIENTO:

##### RECOMENDACIONES:

- 1.- a) Al encender el horno se debe hacer con flama baja.  
b) Todo el tiempo se debe vigilar que no se apague el quemador, si esto sucede se debe cerrar de inmediato la válvula de combustible.
- 2.- Fijar la presión en el regulador de gas a 25 psi.

- 3.- Ajustar la entrada de aire al máximo.
- 4.- Encender el piloto del quemador y abrir lentamente la válvula de combustible hasta lograr un encendido "suave".
- 5.- Ajustar la apertura de la válvula de combustible para trabajar con exceso de aire. Dar tiempo a que se estabilice la combustión.
- 6.- Con el analizador UNIGAS efectuar un análisis de los de la chimenea. Tomar la temperatura de los gases de combustión.
- 7.- Cambiar ajustes de aire y combustible hasta lograr la combustión perfecta y el exceso de combustible; en cada caso analizar los gases de chimenea con el UNIGAS.

#### RESULTADOS:

- 1.- Para cada caso obtener su ecuación química y la relación aire combustible.
- 2.- Varía la temperatura de los gases de chimenea al cambiar la relación aire-combustible.



Práctica de:

## **COMBUSTIÓN-LIMITES DE FLAMABILIDA Y TEMPERATURA DE FLAMA.**

### OBJETIVO:

- a) Determinar los límites de flamabilidad utilizando diferentes combustibles.
- b) Determinar la temperatura de flama utilizando diferentes tipos de combustible.

### TEORÍA:

- a) Definir conceptos relacionados con el objetivo de esta práctica como: límites de flamabilida y temperatura de flama.
- b) Investigar los limites de flamabilidad y la temperatura de flama de los combustibles utilizados en esta práctica.

### EQUIPO NECESARIO:

- Horno.
- Analizador UNIGAS.
- Termómetro.
- Pirómetro óptico.

### PROCEDIMIENTO:

#### RECOMENDACIONES:

- 1.- a) Al encender el horno se debe hacer con flama baja.  
b) Todo el tiempo se debe vigilar que no se apague el quemador, si esto sucede se debe cerrar de inmediato la válvula de combustible.
- 2.- Fijar la presión en el regulador de gas a 25 psi.
- 3.- Ajustar la entrada de aire al máximo.
- 4.- Encender el piloto del quemador y abrir lentamente la válvula de combustible hasta lograr que el inyector se encienda y ahí efectuar un análisis de gases de chimenea y medir la temperatura de flama con el pirómetro óptico.
- 5.- Cambiar el tipo de combustible y repetir el paso 4.

RESULTADOS:

- 1.- Para cada caso reportar datos experimentales.
- 2.- Comparar los datos experimentales con los datos teóricos y obtener el % de desviación.

## **11.2 PRACTICAS DE FUNDICIÓN.**

Práctica de:

### **FUNDICIÓN DE ALUMINIO Y MOLDEO DE PIEZAS SOLIDAS**

#### OBJETIVO:

El alumno aprenderá a encender el horno tipo crisol de la forma más segura así como la forma de hacer sus propios moldes de las diferentes piezas sólidas.

#### EQUIPO NECESARIO:

- Horno.

#### RECOMENDACIONES:

- 1.- Cargar el horno con el material necesario para la práctica (Aluminio máximo 15 Kg o Bronce máximo 50 Kg.).
  - a) Al encender el horno se debe hacer con flama baja.
  - b) Todo el tiempo se debe vigilar que no se apague el quemador, si esto sucede se debe cerrar de inmediato la válvula de combustible.
- 2.- Fijar la presión en el regulador de gas a 25 psi.
- 3.- Ajustar la entrada de aire al máximo.
- 4.- Encender el piloto del quemador y abrir lentamente la válvula de combustible hasta lograr un encendido "suave".
- 5.- Ajustar la apertura de la válvula de combustible para trabajar con exceso de aire. Dar tiempo a que se estabilice la combustión.
- 6.- Una vez alcanzado un equilibrio térmico para no dañar al crisol en sus propiedades físicas se hace el cambio a diesel para tener mayor poder calorífico.

### PROCEDIMIENTO:

- 1.- Poner la arena dentro del mezclador y agregarle un poco de agua para recuperarle sus propiedades de viscosidad.
- 2.- Poner la pieza dentro del molde y cubrirla con polvo de zinc para que la arena no se adhiera a ella. Poner la arena dentro del cajón de moldeo, arena necesaria (hasta el ras del molde).
- 3.- Apisonar bien la arena con el apisonador.
- 4.- Ajustar las pinzas de los moldes para que el molde quede hecho.
- 5.- Voltar el molde y quitar con cuidado la pieza.
- 6.- Repetir los pasos 2, 3 y 4 para que esta sea la tapa y ponerla encima del otro.
- 7.- Hacer el camino para el material fundido.
- 8.- Vaciar el material y esperar a que se enfríe para poder retirar la pieza terminada.

### RESULTADOS:

Una pieza fundida.

## 12. DIBUJOS ESQUEMATICOS DEL HORNO TIPO CRISOL

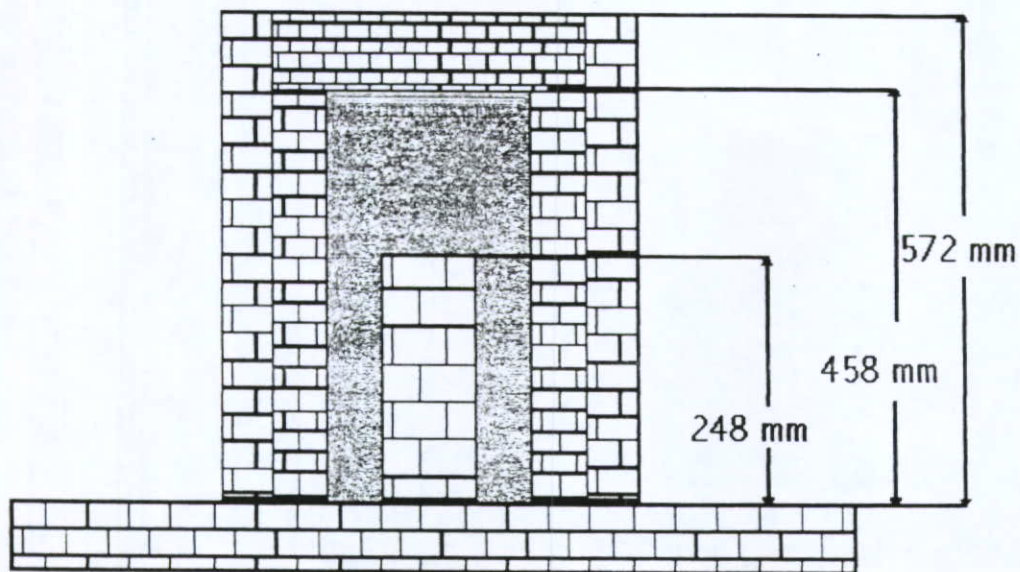


Figura . 4  
Corte transversal

En la figura 4 podemos ver las dos paredes de ladrillo refractario que forman al Horno así como la base para colocar al crisol que será calentado por el contacto directo de la flama, este tipo de arreglo de las paredes del Horno es como el ilustrado en la figura 1.

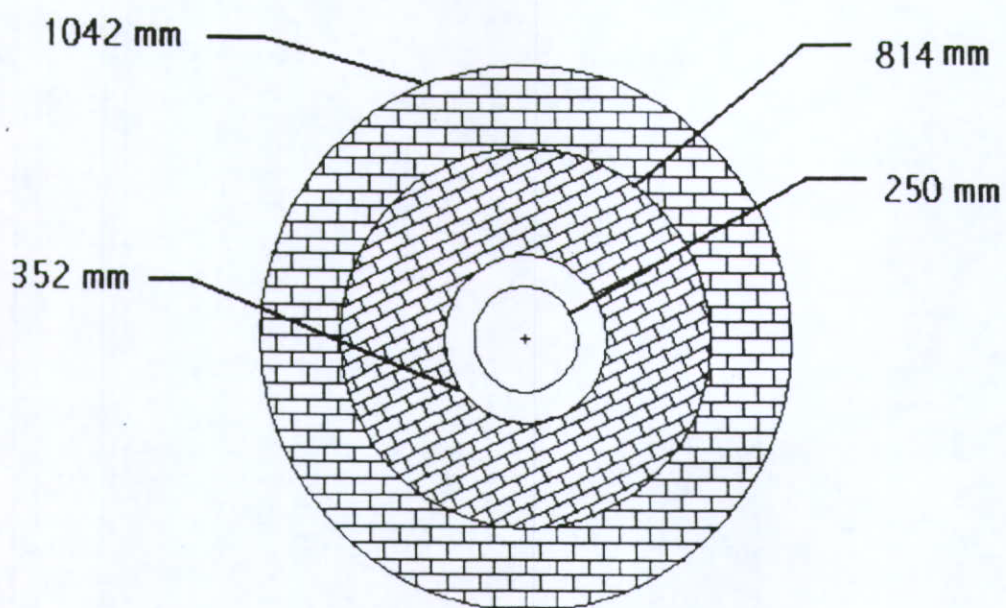


Figura. 5  
Vista superior

En la figura 5 se ilustran los diferentes dimensiones de los radios del horno así como el hueco en donde irá colocado el crisol.

## CONCLUSIÓN.

De acuerdo con las necesidades que en los últimos años se han dado en nuestra comunidad me he dado cuenta que una Universidad no puede tener todos los laboratorios; éste problema siempre ha existido pero es ahí donde empieza la ingeniería.

Este horno puede satisfacer las necesidades del alumnado de ingeniería en las materias de metalurgia y de termodinámica. Realizando diferentes tipos de prácticas como las que se anexaron en el capítulo 11.

El diseño es una de las partes de la ingeniería que más se cotiza y es por esta razón que de todo lo que se mande fabricar su precio será elevado.

Este horno fue diseñado en base a los conocimientos que en la Universidad aprendí, sólo con estos conocimientos, ya me siento seguro con lo que aprendí a lo largo de mi carrera; aunque en algunos momentos me sentí encerrado en laberinto dando vueltas sin encontrar la forma de relacionar los conocimientos de las diferentes materias que a lo largo de los 9 semestre tomé, hasta que un buen momento todas mis dudas se fueron aclarando gracias a la asesoría de diferentes personas que estuvieron vinculadas con este tema.

Este horno cuenta con un diseño bastante seguro ya que cuenta con dos muros y una lámina de acero para darle consistencia, los materiales seleccionados son de los mejores en su género; también se seleccionó un medidor de gases que satisface las necesidades didácticas de nuestra Universidad.

Y es así como la idea final quedo como lo vemos en los dibujos del capítulo 11.

Ahora que veo terminada esta tesis me doy cuenta que el tiempo que pasé en las aulas no fué tiempo perdido si no que todo lo contrario, considero que fué un tiempo preparatorio para enfrentarme a la realidad que actualmente México pasa.

## BIBLIOGRAFIA

BROWN, Theodore L. Lemay, H. Eugene Jr., Química la Ciencia Central, 3 era ed.; Tr. Dr. Guillermo Antonio Aristondo Magaña. México, De. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1987.

GLEANKOPLIS, Christie J., Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias, 1 era ed.; séptima reimpresión, México, Ed. C.E.C.S.A., 1993.

HIMMELBLAU, David M, Balance de Materia y Energía, 4 ta ed.; Tr José Luis Rodríguez Huerta. México, Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., 1988.

HOLMAN, J.P. Transferencia de Calor, 1 era ed.; Quinta reimpresión, México, Ed. C.E.C.S.A., 1986.

KERN, Donald Q., Procesos de Transferencia de Calor, 1 era ed., Vigésimacuarta reimpresión; México, Ed. C.E.C.S.A., 1992.

KALEKAR, B. V. Transferencia de Calor, 2 da ed.; Tr. Arturo Galán Martínez . México, Ed. McGraw-Hill, 1985.

OBERT, Edward F. Motores de Combustión Interna, 2 da ed.; Decimoctava reimpresión Tr. Ing. Cristobal Mosivais Lara. México, Ed. C.E.C.S.A., 1989.

WARK, Kenneth Jr., Termodinámica, 5 ta ed.; México, Ed. McGraw-Hill, 1991.



## APÉNDICE

Este apéndice reúne los diferentes fabricantes y distribuidores del material necesario para la construcción del horno tipo crisol.

### **Metales Aguila S.A. de C.V.**

Crisoles, cucharas y lingotes.

Av. 8 de Julio 1353-A

Col Morelos

C.P. 44900

Tel : 610-1412

Fax: 610-1410

### **Refemex. S.A. de C.V.**

Circ. Washington 61

Sector Juárez

C.P. 44460

Tel: 619-3800

Fax: 650-3557

### **Quemadores Industriales Gómez**

Mezquite 1320

Col. del Fresno

Tel/Fax. 811-7433

### **Rolado Industrial de Occidente S.A de C.V.**

Cebada 324

Col. la Nogalera

Tel. 670-8717

### **Servicios de Aceros de Occidente S. A. de C.V.**

Calle 22 2403

Zona Industrial

Tel: 610-4130



