



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ A R A G O N ”

“ DISEÑO DE HORNO CUBILOTE PARA LAS  
INSTALACIONES DEL LABORATORIO DE PROCESOS  
DE MANUFACTURA DE LA E.N.E.P. ARAGON “

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta:

**FERNANDO BARRON PADILLA**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

México, D. F. 1991



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

INTRODUCCION .....	1
--------------------	---

### CAPITULO I

#### HORNO CUBILOTE

1.1 Generalidades .....	4
1.2 Partes componentes .....	7
1.3 Dimensiones .....	15
1.4 Cálculos técnicos .....	25
1.4.1 Cálculo del volumen de aire .....	25
1.4.2 Cálculo de la velocidad del aire .....	26
1.4.3 Cálculo de la presión del aire .....	27
1.4.4 Cálculo de la potencia del motor del soplador .....	28
1.5 Materiales refractarios .....	29
1.5.1 Refractarios ácidos .....	29
1.5.2 Refractarios básicos .....	29
1.5.3 Refractarios neutros .....	30
1.5.4 Propiedades de los materiales refractarios .....	31
1.5.5 Formas de los materiales refractarios usados en la fundición .....	32
1.6 Reacciones químicas y termodinámicas .....	35
1.6.1 La combustión y la transmisión de calor .....	37
1.7 Accesorios (equipo auxiliar) .....	42

### CAPITULO II

#### HIERROS FUNDIDOS

II.1 Características Generales .....	45
II.2 Tipos de Hierro Fundido .....	47
II.2.1 Hierro Fundido Blanco .....	48
II.2.2 Hierro Fundido Maleable .....	50
II.2.3 Hierro Fundido Gris .....	52
II.2.4 Hierro Fundido Nodular .....	55
II.2.5 Hierro Fundido Aleado .....	56

### CAPITULO III

#### MANEJO DE HORNO CUBILOTE

III.1 Cálculo de cargas .....	57
III.1.1 Procedimiento para el cálculo de cargas .....	62
III.2 Balance químico .....	64
III.3 Manejo de horno cubilote .....	66
III.3.1 Disposición de las cargas en el horno cubilote .....	66
III.3.2 Labores previas a la operación del horno cubilote .....	68
III.3.3 Procedimiento para el cálculo de la altura de la cama de carbón-coque .....	73
III.3.4 Labores finales en el manejo del horno cubilote .....	74

## **CAPITULO IV**

### **CALCULO Y DESARROLLO DEL DISEÑO**

<i>IV.1 Cálculo de las dimensiones del diseño</i> .....	77
<i>IV.2 Cálculos técnicos</i> .....	84
<i>IV.3 Materiales de construcción</i> .....	88
<i>IV.4 Ubicación e instalación dentro del laboratorio</i> .....	108
<i>IV.5 Manejo y cálculo de cargas del diseño</i> .....	111
<i>IV.6 Prácticas a desarrollar en el diseño</i> .....	116
<i>IV.6.1 Obtención de Hierro Fundido</i> .....	116
<i>IV.6.2 Desarrollo de condiciones óptimas de moldeo y vaciado</i> .....	116
<i>IV.6.3 Balance térmico del horno cubilote</i> .....	117
<i>IV.6.4 Análisis metalográfico</i> .....	117
<i>IV.6.5 Prácticas anexas</i> .....	117

## **CAPITULO V**

### **COSTO DEL DISEÑO**

<i>V.1 Costo de inversión inicial</i> .....	118
<i>V.1.1 Costo de la estructura</i> .....	119
<i>V.1.2 Costo debido a materiales refractarios</i> .....	123
<i>V.1.3 Costo por conceptos varios</i> .....	124
<i>V.1.3.1 Equipo de protección</i> .....	124
<i>V.1.3.2 Equipo de ventilación centrífuga</i> .....	124
<i>V.2 Costo por operación</i> .....	126
<i>V.3 Costo por mantenimiento</i> .....	127
<i>V.3.1 Reparaciones menores</i> .....	128
<i>V.3.2 Reparaciones mayores</i> .....	129

<b>CONCLUSIONES</b> .....	130
---------------------------	-----

<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	132
---------------------------	-----

## **INTRODUCCION**

*Debido a las necesidades que se le presentaron al hombre desde tiempos antiguos, para desarrollar herramientas y armas para defenderse, buscó métodos para satisfacerlas. Es así, que desde hace más de 6000 años el hombre ha moldeado objetos de metal fundiéndolo, para después verterlo en un molde, dejarlo enfriar y finalmente sacarlo del molde ya solidificado.*

*Los procesos para la fundición de hierro han evolucionado desde las simples hogueras hasta los actuales hornos industriales.*

*La fundición del hierro siempre ha sido importante para el crecimiento de la industria; ya que de ella depende la producción de un sin número de piezas para maquinaria, en la rama metal-mecánica. Es por esto, que la fundición del hierro es un área elemental para los futuros ingenieros. La tarea de los ingenieros es diseñar, crear y transformar tanto los procesos como los medios de trabajo.*

*En parte fue mi experiencia laboral, la que me motivó a investigar y experimentar directamente en esta área, al comprobar cuan necesarios son los conocimientos relativos a la fundición de hierro, los cuales me eran en parte desconocidos en la práctica. Ya que para proporcionar conceptos más firmes en*

*la formación de todo estudiante universitario, es necesario no solamente la impartición de clases en las aulas, sino también proporcionar experiencia sólida dentro de talleres con prácticas que ayuden a tener una imagen más clara del amplio panorama que le espera en su vida profesional. Considerando esta preocupación como marco de referencia, fue que decidí realizar un trabajo que cumpliera con estos requerimientos y dar al estudiante bases más sólidas en su formación. Al estar en la búsqueda de un trabajo que cumpliera con estos requisitos, llegué a la conjunción de los conocimientos que diversos grupos presentaron sobre el tema "Homo Cubilote" y la posibilidad de realizar una adaptación de este tipo en nuestras instalaciones, dando como resultado este trabajo de investigación.*

*En este análisis describo en primer plano el concepto del Homo Cubilote, dentro de este presento sus zonas componentes y la forma en que se pueden calcular mediante ecuaciones matemáticas. Una vez que se hace la descripción del Homo menciono las diferentes fundiciones que se pueden obtener, así como sus aplicaciones y usos. Siguiendo con la descripción del Homo, explico el funcionamiento y forma de manejo, también las reacciones tanto químicas como térmicas dentro del Homo. Después de dar una serie de conceptos, estos se encaminan a la formación de nuestro diseño.*

*En este estudio presento los beneficios que se pueden obtener del proyecto, los costos generales del mismo y la serie de prácticas a desarrollar por el alumnado.*

*El objetivo de todos los universitarios es lograr la excelencia académica, es por esto que se hace necesario el preparar universitarios con sentido de responsabilidad, mayor madurez y conocimientos prácticos que proporcionan individuos más útiles para la sociedad.*

**CAPITULO I**  
**HORNO CUBILOTE**

- 1.1 Generalidades.**
- 1.2 Partes componentes.**
- 1.3 Dimensiones.**
- 1.4 Cálculos técnicos.**
  - 1.4.1 Cálculo del volumen de aire.**
  - 1.4.2 Cálculo de la velocidad del aire.**
  - 1.4.3 Cálculo de la presión del aire.**
  - 1.4.4 Cálculo de la potencia del motor del soplador.**
- 1.5 Materiales refractarios.**
  - 1.5.1 Refractarios ácidos.**
  - 1.5.2 Refractarios básicos.**
  - 1.5.3 Refractarios neutros.**
  - 1.5.4 Propiedades de los materiales refractarios.**
  - 1.5.5 Formas de los materiales refractarios usados en la fundición.**
- 1.6 Reacciones químicas y termodinámicas.**
  - 1.6.1 La combustión y la transmisión de calor.**
- 1.7 Accesorios (equipo auxiliar).**

## **I. HORNO CUBILOTE**

### **I.1 GENERALIDADES**

*Una de las características de cualquier fundición de hierro colado es la de hacer una transformación de un estado sólido de materiales como chatarra, lingote, arrabio, aceros y ferroaleaciones, a un estado líquido suficientemente caliente para poder llenar moldes y producir así piezas fundidas de buena calidad.*

*Para esta tarea se pueden utilizar una gran variedad de hornos entre los que cabe mencionar los hornos CUBILOTE, los hornos de CRISOL y los ELECTRICOS de ARCO e INDUCCION, entre otros.*

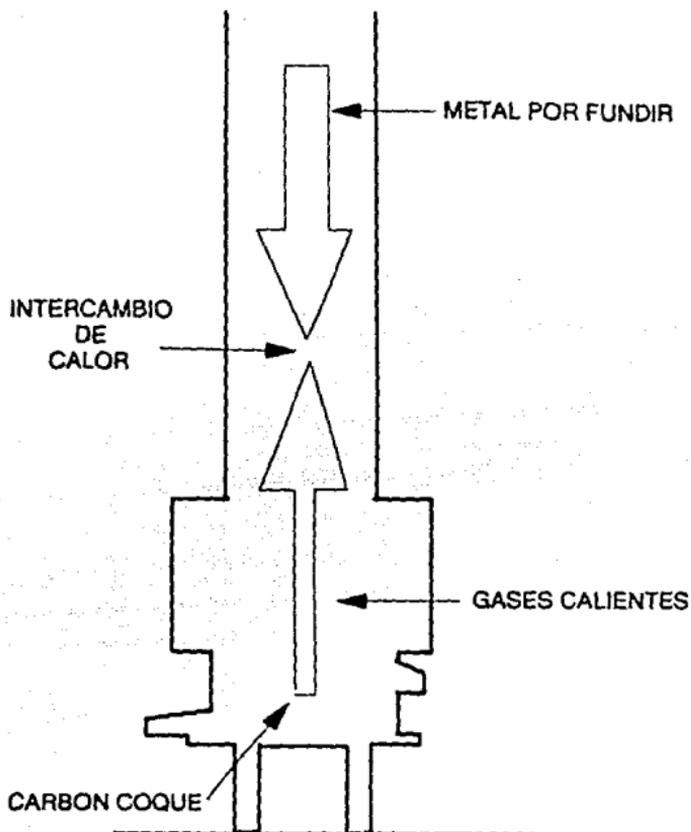
*En la actualidad los más usados son los hornos CUBILOTE y los hornos ELECTRICOS de ARCO o de INDUCCION. Estos últimos presentan ventajas a nivel metalúrgico muy importantes, ya que tienen gran estabilidad en la composición química de sus fundiciones. Sin embargo, el alto costo inicial y el excesivo consumo de energía eléctrica reducen en gran parte su uso dentro de la industria metalúrgica.*

*Por otra parte el HORNO CUBILOTE debido a: su bajo costo de inversión inicial, sencillez en su instalación, gran poder de fundición y buena eficiencia térmica lo hacen el más usado sobre todo en nuestro país para la fundición de Hierro Colado. Es también el más antiguo de los hornos para la fundición de Hierro, cuyos inicios datan de principios del siglo XVI, cuando Vannoccio Biringuccio, tecnólogo italiano, realizó una descripción en su obra titulada "De Pirotechnia" a cerca de un horno de cuba que funcionaba en aquella época y que puede considerarse como el padre del Cubilote moderno. Posteriormente, dos siglos más tarde, el inglés Wilkinson hizo un diseño del Cubilote semejante al desarrollado en la actualidad.*

*Este horno utiliza como combustible el carbón coque (carbón mineral tratado) cuyo consumo será de un 10% a un 20%, esto queda en función del tipo de carga metálica, de las condiciones de operación, del diseño mismo del horno, de la temperatura del hierro líquido y sobre todo de la calidad del coque (humedad, contenido de Carbono fino y contenido de cenizas).*

*El HORNO CUBILOTE está considerado como un intercambiador de calor, debido a que el carbón que funcionará como combustible, está en contacto directo con el metal por fundir, absorbiendo este último el calor generado por la combustión del carbón, figura 1.1.*

# INTERCAMBIADOR DE CALOR



**HORNO CUBILOTE** DISEÑO

FERNANDO BARRON PADILLA FIGURA 1.1

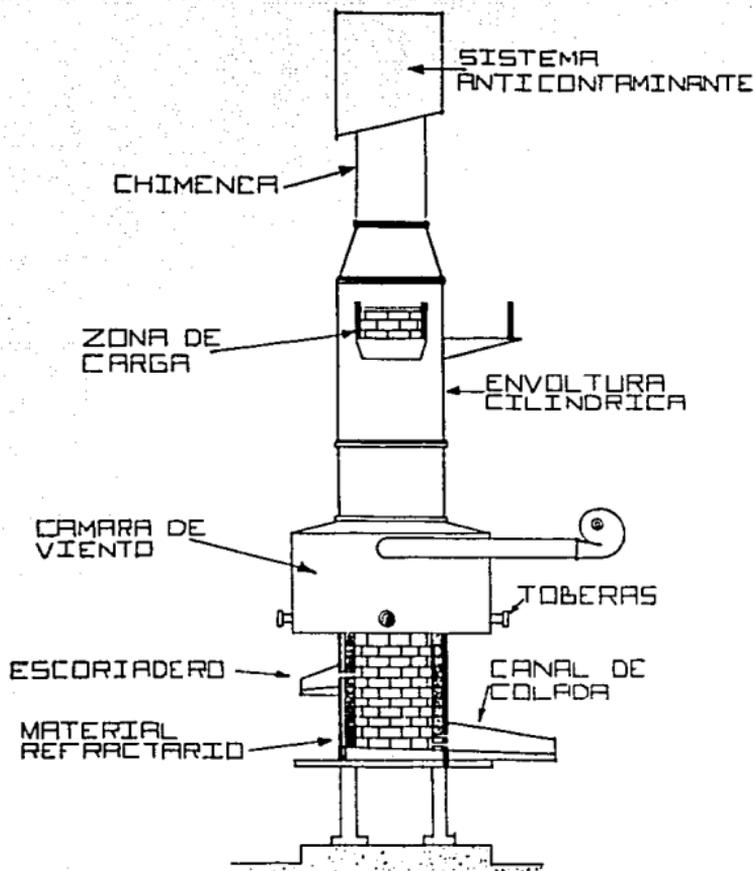
## 1.2 PARTES COMPONENTES DEL HORNO CUBILOTE

*Para una mejor comprensión del funcionamiento del Horno Cubilote se hace necesaria la descripción de cada una de las partes componentes (figura 1.2) que a continuación se presentan:*

**1.2.1 ENVOLTURA CILINDRICA.** *De eje vertical en chapa de hierro soldada, ésta es en sí la carcasa o cuerpo de el horno, tiene una altura que varía de 9.8 a 26.2 pies y un diámetro de entre 27 a 108 pulgadas, quedando estas dimensiones en función de la capacidad de fundición que se requiera.*

**1.2.2 REVESTIMIENTO INTERNO EN MATERIAL REFRACTARIO.** *Se compone por materiales refractarios como lo son ladrillos, arcillas, concretos y arenas silicas preparadas. Para hacer más eficiente el trabajo de estos materiales, se recomienda tener una separación de aproximadamente 1/2 pulgada entre la envoltura cilíndrica y el revestimiento, esto se hace para permitir las dilataciones radiales de los ladrillos.*

**1.2.3 CHIMENEA.** *La función básica de este componente es la de dar escape a los gases producidos en la combustión, así como también proporcionar un tiro o respiración al horno.*

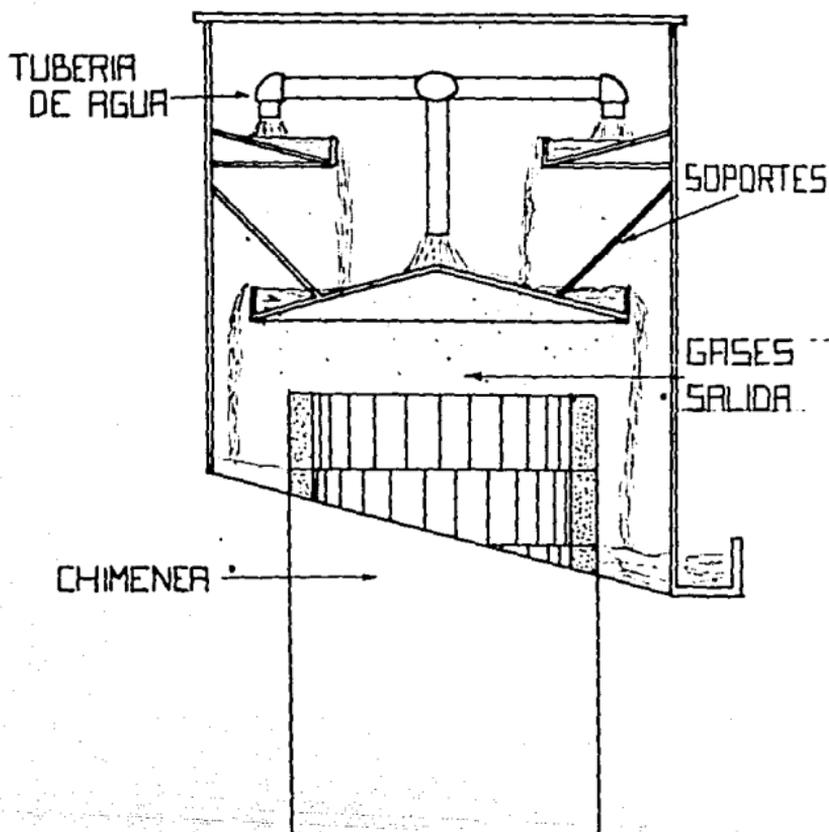
**HORNO CUBILOTE** DISEÑO

**1.2.4 SISTEMA ANTICONTAMINANTE.** Su instalación se encuentra al final de la chimenea con la finalidad de tener una emisión de gases menos nocivos al medio ambiente . El sistema más utilizado para este fin es el "Wet Cap" (Gorro Húmedo), su funcionamiento se basa en hacer manejables los gases contaminantes, esto se logra mediante la condensación de estos con agua, como se ilustra en la figura 1.3.

**1.2.5 ZONA DE CARGA.** Esta parte del horno es utilizada para introducir el metal por fundir, así como el combustible para dicha acción. La altura del piso hacia esta zona, está en función de la capacidad y requerimientos de la fundición, punto que se analiza en capítulos posteriores.

**1.2.6 CAMARA DE VIENTO.** Cubre parte de la envoltura cilíndrica que se encuentra localizada de 350 a 830 mm por arriba del piso del horno y tiene forma de barril concéntrico al eje vertical del horno. En su interior contiene un ducto elíptico para forzar el aire a un precalentamiento debido a la convección-conducción del gradiente de temperaturas existente entre el interior del horno y las paredes adyacentes de la cámara de viento.

# SISTEMA ANTICONTAMINANTE



10

**HORNO CUBILOTE** DISEÑO

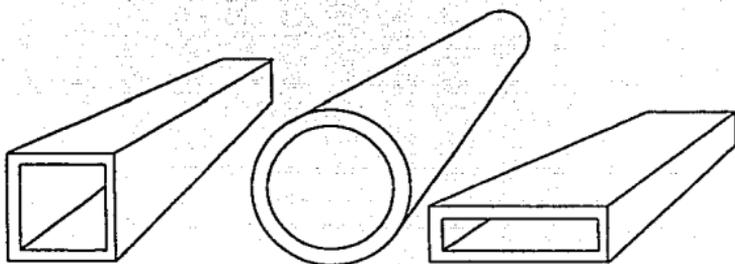
FERNANDO BARRON PADILLA FIGURA 1.3

**1.2.7 TOBERAS DE HIERRO COLADO.** Estas se encuentran localizadas en la parte inferior de la cámara de viento, su función consiste en inyectar el aire a una velocidad mayor debida a la reducción de áreas, como se puede observar en la figura 1.4a. Su forma puede ser cónica o pirámide rectangular; un horno puede tener de 4 a 12 toberas en un mismo plano, quedando este número en función de la capacidad de fundición requerida. La sección transversal de las toberas se calcula a partir del volumen de aire requerido para generar una eficiente combustión del coque y una velocidad del aire adecuada para lograr una buena penetración. Para ayudar a la penetración del aire se recomienda que las toberas tengan una inclinación de  $15^\circ$ , figura 1.4b.

**1.2.8 EVACUADOR DE ESCORIA.** Zona destinada para la salida de toda aquella impureza generada en el interior del horno, llamada comúnmente escoria. Este es un orificio de 5 a 10 cm de diámetro, se encuentra ubicado de 160 a 220 mm por abajo de las toberas.

**1.2.9 CANAL DE COLADA.** Zona localizada al nivel del piso, fabricada de plancha de hierro cubierto de arcillas refractarias con una inclinación de  $10^\circ$  para facilitar la salida del metal fundido.

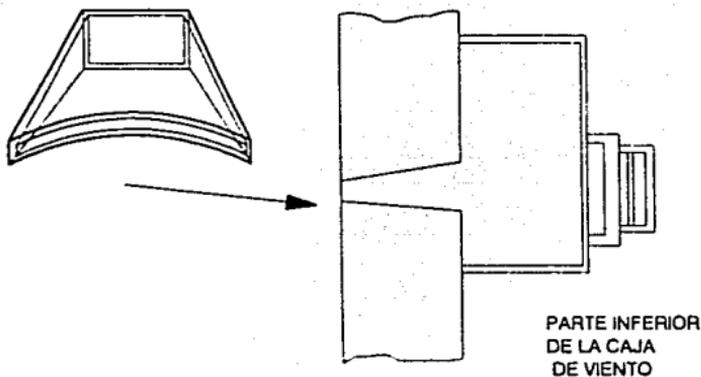
## TOBERAS



BASE CUADRADA

BASE REDONDA

BASE RECTANGULAR

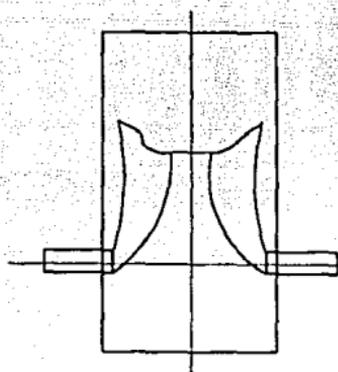
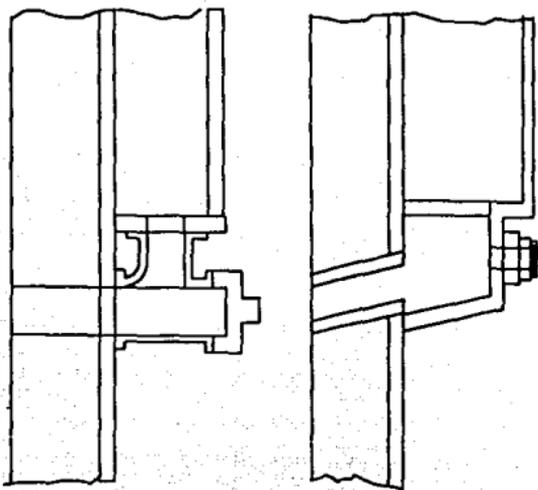


TOBERA RECTANGULAR NORMAL PARA CUBILOTE

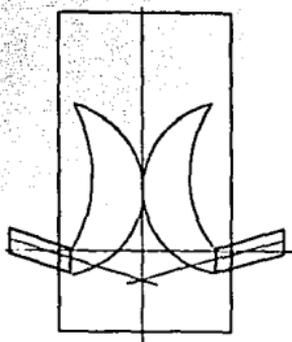
**HORNO CUBILOTE** DISEÑO

# INCLINACION DE TOBERAS

13



TOBERAS PERPENDICULARES  
(MALA COMBUSTION)



TOBERAS INCLINADAS  
(COMBUSTION CORRECTA)

**HORNO CUBILOTE** DISEÑO

FERNANDO BARRON PADILLA FIGURA 1.4b

**1.2.10 PISO DEL CUBILOTE.** Zona preparada con arenas de molde y arcilla refractaria, inclinada hacia el pico de sangrado para facilitar la salida del metal líquido.

**1.2.11 PLANCHIA BASE DE LA ENVOLTURA.** De hierro colado o chapa fuerte. En su centro se tienen 2 compuertas abatibles con una abertura del diámetro del horno, éstas pueden cerrarse o abrirse con la ayuda de un cerrojo o una palanca.

**1.2.12 COLUMNAS DE APOYO.** Estas son 4 pilares enclavadas en una cimentación especial de hormigón, elaboradas de fundición.

**1.2.13 CRISOL.** Es la parte inferior del cubilote comprendido entre el piso del Cubilote y el plano de las toberas.

### 1.3. DIMENSIONES

Las dimensiones de un horno tienen una gran variedad de valores debido a que se aplican criterios basados en la experiencia; pero sin embargo existen algunos valores indicativos y tabulaciones que se proporcionan en seguida:

**1.3.1 DIAMETRO INTERIOR:** Existe un valor práctico, el cual nos dice que la producción de un horno cubilote es de 75 kg cada hora por cada decímetro cuadrado de la sección transversal del horno. Por tanto si  $P$  es la producción en kg/hr,  $S$  es la sección o área interior del horno en  $dm^2$  y  $d_i$  es el diámetro interior en  $dm$ , tenemos:

$$P = (75 S) / 1 = (\pi d_i^2 / 4 \cdot 75) / 1 \text{ [kg/hr]} \dots\dots\dots 1.1$$

y realizando la operación en números redondos:

$$P = 60 d_i^2 \text{ [kg/hr]} \dots\dots\dots 1.2$$

de lo cual

$$d_i = (P/60)^{1/2} \text{ [dm]} \quad (1) \dots\dots\dots 1.3$$

Como apoyo a la ecuación anterior se presenta la tabla 1.1 que indica los tamaños nominales de los Cubilotes según la Sociedad Americana de Fundidores.

(1) cfr CAPELLO Edoardo, Tecnología de la fundición, pag.202

DIMENSIONES BASICAS DE CUBILOTES CONVENCIONALES  
DE ACUERDO A LA SOCIEDAD AMERICANA  
DE FUNDIDORES

16

TAMARO NOMINAL	DIAM. DEL CRISOL		ESPESOR DEL REP.		DIAM. DE LA CORAZA	
	mm.	pul.	mm.	pul.	mm.	pul.
0	457.2	18	114.3	4.5	685.8	27
1	584.2	23	114.3	4.5	812.8	32
2	685.8	27	114.3	4.5	914.4	36
3	812.8	32	177.8	7	1,168.4	46
3.5	939.8	37	177.8	7	1,295.4	51
4	1,065.0	42	178	7	1,425.0	56
5	1,142.0	45	229	9	1,603.0	63
6	1,240.0	48	229	9	1,680.0	66
7	1,370.0	54	229	9	1,830.0	72
8	1,525.0	60	229	9	1,984.0	78
9	1,675.0	66	229	9	2,140.0	84
9.5	1,830.0	72	229	9	2,290.0	90
10	1,955.0	78	229	9	2,440.0	96
11	1,955.0	78	325	12	2,545.0	102
12	2,135.0	84	325	12	2,740.0	108

TABLA I.1

**1.3.2 ESPESOR DEL REVESTIMIENTO Y DIAMETRO EXTERIOR.**-Los espesores de los refractarios en los hornos varían desde 114.3 mm hasta 325 mm en función de las necesidades y capacidades del horno. Existen espesores menores de 60 a 80 mm en las cuales las envolturas cilíndricas son enfriadas con agua por su parte exterior principalmente en las zonas más calientes. Considerando en la siguiente fórmula como "a" al espesor del refractario y "b" la capa intermedia entre el refractario y la envoltura cilíndrica (con un valor de 1/2 pulgada), por tanto el diámetro exterior del cubilote quedará:

$$d_{ext} = d_i + 2(a + b) \quad [dm]$$

$$d_{ext} = d_i + 2(a + 0.127) \quad [dm]$$

$$d_{ext} = d_i + 2a + 0.254 \quad [dm] \dots\dots\dots 1.4$$

La tabla 1.1 permite calcular los parámetros anteriores, ya que relaciona tanto los tamaños nominales como los espesores de los refractarios dando como resultado el diámetro exterior.

**1.3.3 ALTURA DEL CUBILOTE.**- Es la distancia H entre las toberas y la boca de carga. Esta parte del horno comprende la zona de fusión, que abarca desde las toberas hasta una altura de 1 m a 1.5 m por encima de las mismas. Arriba de esta zona se localiza la zona de precalentamiento.

El cálculo de los parámetros es de gran importancia ya que una altura reducida provocaría pérdidas de calor y una altura excesiva produciría el granulamiento

del coque y por lo tanto desperdicio de combustible.

Existen diversos criterios para el cálculo de este parámetro. Uno de ellos indica que la altura debe tener una variación de 4.5 a 5 veces el diámetro interior del crisol (diámetro del horno) correspondiendo el valor mayor de este intervalo para los hornos de menor capacidad y viceversa.

Por tanto la altura del horno con ayuda del diámetro interior será:

$$H = (4.5, \dots, 5) \text{ di [dm]} \quad (2) \dots\dots\dots 1.5$$

Otro criterio que se utiliza a menudo para el cálculo de la altura del Horno es el relacionado al número de cargas que debe contener este en su interior, el cual nos dice que deben ser de 3 a 6 cargas de material (coque, fundente y metal), con este dato se encontrará en volumen interior del horno y con ayuda del diámetro interior calculado en incisos anteriores se obtiene la altura que va desde la parte superior del crisol hasta la zona de carga.

**1.3.4 NUMERO Y SECCION DE TOBERAS.** En la mayoría de los hornos se utilizan toberas instaladas en un mismo plano, esto es para que el aire precalentado tenga una sola zona entrada y exista una sola zona de fusión. El número de toberas varía desde 4 hasta 12 quedando en función del tamaño del horno. Su forma puede ser de base redonda, cuadrada o rectangular, como las mostradas en la figura 1.5.

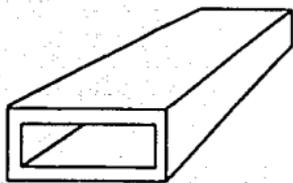
Existen gran variedad de criterios para el cálculo de la sección de una tobera. Uno de estos criterios nos dice que la suma de las áreas de las toberas  $s1$  en  $cm^2$  se establece en proporción a la sección interior  $SI$  en  $cm^2$  del HORNO CUBILOTE.

Por tanto:

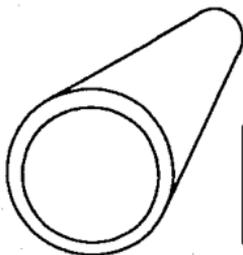
$$s1 = SI(4 \dots 6) [cm^2] \dots \dots \dots 1.6$$

Seleccionando el valor menor para los hornos de pequeña capacidad y viceversa.

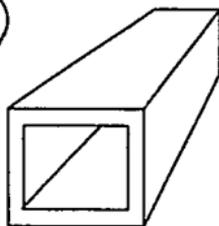
## FORMAS DE TOBERAS



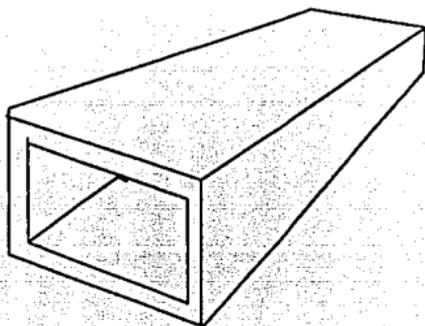
BASE RECTANGULAR



BASE REDONDA



BASE CUADRADA



**HORNO CUBILOTE** DISEÑO

FERNANDO BARRON PADILLA FIGURA 1.5

Otros consideran que el área de la tobera, tomando en cuenta la cantidad de aire debe ser proporcional a la relación:

$$\alpha = p/P \dots\dots\dots 1.7$$

donde  $p$  es el peso en kg de carga de coque y  $P$  es el peso en kg de la carga metálica, por tanto:

$$s1 = \alpha SI [cm^2] \dots\dots\dots 1.8$$

Por último la sección de cada una de las toberas  $st$  será:

$$st = s1/n; \text{ donde } n = \text{número de toberas} \dots\dots\dots 1.9$$

Los efectos que tienen las toberas en la operación del Cubilote son:

-**Velocidad del aire:** Al aumentar ésta mejora la penetración del aire, se incrementa la temperatura del metal y se reduce el consumo de coque.

-**Número de Toberas:** Al aumentar el número de toberas se mejora la distribución del aire, obteniéndose mejores condiciones de combustión, incrementa la temperatura, la velocidad de fusión y se reduce el consumo del coque.

-**Angulo de inclinación:** Mejora la penetración del aire, se obtienen mejores condiciones de combustión y evita el bloqueo de las toberas a causa de penetración de escoria o metal frío. El ángulo recomendable varía de  $12^\circ$  a  $15^\circ$ .

**1.3.5 TUBERIA Y CAMARA DE AIRE.** Se recomienda que la sección de la tubería sea redonda y recta, la cual la denominaremos como  $s_2$  que será del doble del diámetro de la tubería de la salida del ventilador. La tubería de sección  $s_2$  deberá entrar tangencialmente a la cámara de viento  $s_3$ . Esta última deberá tener una sección:

$$s_3 = (2.5 \dots 3) s_2 \text{ [cm}^2\text{]} \dots\dots\dots 1.10$$

y una altura

$$a = 2b \dots\dots\dots 1.11$$

Siendo  $s_3 = a(b)$  y  $b = a/2$ , por tanto  $s_3 = a^2/2$  y

$$a = 2s_3 \quad (3) \dots\dots\dots 1.12$$

Para facilitar el cálculo anterior se proporcionan los valores para las dimensiones de las cajas de viento y el ducto, en función de los tamaños nominales para los Cubilotes convencionales según la Sociedad Americana de Fundidores (tabla 1.2).

VALORES RECOMENDABLES PARA LAS DIMENSIONES  
DE LA CAJA DE VIENTO Y EL DUCTO, EN CUBILOTES  
CONVENCIONALES, SEGUN LA SOCIEDAD AMERICANA DE  
FUNDIDORES.

23

TAMAÑO NOMINAL	DIAM. DEL DUCTO d (mm)	CAJA DE VIENTO	
		Ancho b (mm)	Altura l (mm)
1	120	120	480
2	130	130	520
3	140	140	560
4	150	150	600
5	160	160	640
6	180	180	720
7	200	200	800
8	215	215	860
9	230	230	920
10	250	250	1,000
11	270	270	1,080
12	285	285	1,140
13	300	300	1,200
14	320	320	1,280
15	340	340	1,360
16	355	355	1,420
17	370	370	1,480
18	390	390	1,560
19	410	410	1,640
20	430	430	1,720
21	450	450	1,800
22	470	470	1,880

TABLA I.2

**1.3.6 ALTURA DE CRISOL-** Cuando la salida del hierro colado es intermitente, deberá ser de la solera al primer plano de toberas, y resulta igual a:

$$H_c = (0.6 \dots 0.8) d_i \text{ (dm)} \dots\dots\dots 1.13$$

Siendo  $H_c$  la altura del crisol.

Para este cálculo se tomarán los valores mayores para los hornos de capacidades pequeñas y viceversa.

#### 1.4 CALCULOS TECNICOS

Los cálculos que se desarrollan en párrafos siguientes, tienen una gran importancia, ya que de ellos depende la buena operación del Horno Cubilote.

##### *1.4.1. Cálculo del volumen de aire requerido para la combustión.*

Para poder hacer el cálculo de la capacidad del soplador, previamente se hace necesario el cálculo de la cantidad de aire "G" necesaria para realizar una buena combustión y por tanto quemar todo el contenido de coque.

En primera instancia se deberá saber la capacidad de carbono que se consumirá por minuto "c" sabiendo previamente que el 85% de carbono es el que se quemará del peso del coque. Existe el dato práctico que nos proporciona la cantidad de aire necesaria para quemar 1 Kg. de carbón "b", esta es de 8.89 m<sup>3</sup> por cada kg de carbón.

Por tanto la cantidad de aire necesario para la combustión será:

$$G = c b$$

$$G = c \cdot 8.89 \text{ [m}^3\text{/kg] de carbón ..... 1.14}$$

#### 1.4.2. Cálculo de la velocidad del aire

Para la introducción al interior del horno del volumen de aire calculado anteriormente, es necesario que se haga a cierta velocidad, la que se calcula por la ecuación de continuidad como sigue:

$$V = G / a$$

donde "G" es el gasto previamente calculado y "a" es el área efectiva en la sección transversal del cubilote "At", esta se calcula a partir del índice de Reese. Este nos dice que el área efectiva es la sección por donde existirá un paso real del aire y comprende de un 1.5 a 2.0% del área transversal total del Cubilote.

Por tanto:

$$a = 0.02 At [m^2]$$

Sustituyendo:

$$V = G / 0.02 At [m/mi] \dots\dots\dots 1.15$$

### 1.4.3. Cálculo de la presión del Aire

Para el cálculo de la presión con la que se inyectará el aire a la velocidad calculada anteriormente, se aplicará la ecuación siguiente:

$$V = ((2g h)/\theta)^{0.5} \dots\dots\dots 1.16$$

donde "V" es la velocidad expresada en metros por segundo; "g" es la gravedad que está en función de la altura sobre el nivel del mar en donde se instalará el Cubilote, para efectos de cálculo se tomará un valor de 9.8; "h" es la presión en mm de columna de agua; y "θ" es el peso específico del aire, o sea =1.293.

Sustituyendo se tiene:

$$V = 3.893 (h)^{0.5} \dots\dots\dots 1.17$$

despejando

$$h = (V/3.893)^2 \dots\dots\dots 1.18$$

Esta presión es la mínima que se necesita en toberas y en la caja de viento. Como es sabido, en la conducción de fluidos hay pérdidas de presión por diversas causas tales como: rugosidad del ducto, cambios de dirección, reducciones de sección, forma del ducto, entre otros. Para fines de cálculos se tomará pérdidas por un 35%.

Por tanto

$$h_t = h(1.35) \dots\dots\dots 1.19$$

donde  $h_t$  es la presión total.

#### 1.4.4. Cálculo de la Potencia del Motor del Soplador.

Con la serie de datos anteriores se puede hacer el cálculo de la potencia necesaria para impulsar el ventilador o soplador. Para tal caso, se aplicará la siguiente fórmula:

$$CV = (G \cdot h) / 4500 \text{ [HP]} \dots\dots\dots 1.20$$

donde "CV" es la potencia teórica en HP; "G" es el volumen previamente calculado en m<sup>3</sup>/min; "h" es la presión también determinada; y 4500 es el factor de transformación de Kgm por minuto a caballo de vapor métrico.

Se hace la consideración de una eficiencia volumétrica de 60%, por tanto la potencia mínima necesaria "CVt" será:

$$CVt = CV / 60 \dots\dots\dots 1.21$$

La potencia del motor se ajustará a la capacidad inmediata superior disponible en el mercado.

## **1.5 MATERIALES REFRACTARIOS**

*Los Hornos Cubilote deberán ser revestidos en su parte interna con materiales refractarios, entendiéndose que éstos deberán resistir temperaturas de por lo menos 600°C sin ablandarse o sufrir algún rompimiento.*

*Los materiales refractarios en la industria se clasifican en tres categorías:*

***1.5.1 REFRACTARIOS ACIDOS-*** *Su componente principal es la Sílice SiO<sub>2</sub>; esta reacciona a altas temperaturas con las escorias, las cenizas, o los fundentes básicos, formando silicatos cuyo punto de fusión es inferior al de resistencia de los constituyentes. Por este motivo no hay que mezclar los refractarios con escorias o fundentes básicos debido a que se degradan las propiedades bases.*

***1.5.2 REFRACTARIOS BASICOS-*** *En estos predomina el Oxido de Calcio (CaO) o de Magnesio (MgO); a altas temperaturas reaccionan como los refractarios del párrafo anterior, y por tal motivo cabe hacer la misma advertencia.*

**1.5.3 MATERIALES NEUTROS:** *Sus principales constituyentes son la Alúmina (Sesquióxido de Aluminio  $Al_2O_3$ ), la Silimanita (Silicato Anhidrido de Aluminio  $Al_2O_3SiO_2$ ), el Carborundo (Carburo de Silicio  $SiC$ ), la Cromita (Sesquióxido de Cromo  $Cr_2O_3$ ) o el Grafito (estado alotrópico del Carbono C).*

*Se les conoce como materiales neutros porque no reaccionan sensiblemente como los materiales mencionados anteriormente.*

### ***1.5.1. Propiedad de los materiales refractarios***

*Aparte de los refractarios existen otras propiedades importantes para definir la aptitud o capacidad de un material determinado, las cuales son:*

- a) La resistencia a la compresión en frío, en Kg/cm<sup>2</sup>.*
- b) La temperatura de reblandamiento bajo la carga de 2 Kg/cm<sup>2</sup>, en grados centígrados °C.*
- c) Dilatación lineal en caliente, en % a una determinada temperatura.*
- d) Resistencia a cambios bruscos de temperatura.*
- e) La resistencia a la acción de las escorias y del gas.*
- f) La conductividad térmica.*

### *1.5.2. Forma de los materiales refractarios usados en fundición.*

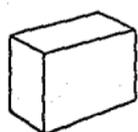
*1.5.2.1 AISLANTES DE CALOR.- Hay que evitar el escape de calorías a través de puertas y paredes de los hornos. Por tanto sin que estén en contacto directo con las fuentes de calor, se usan los refractarios porosos, como aislantes de calor, o sea que contienen un coeficiente muy bajo de transmisión de calor o transmisión térmica.*

*Los ladrillos aislantes se pueden fabricar con todos los tipos de refractarios. Lo único que se trata de variar es la porosidad. Por ejemplo, los materiales refractarios tienen una porosidad del 20 al 25% (20-25% de volumen ocupado por huecos) mientras que los aislantes tienen una porosidad del 50 al 80%.*

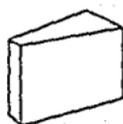
*1.5.2.2 MASAS REFRACTARIAS.- En los Hornos Cubilotes algunas ocasiones, la solera y las paredes son revestidos con materiales refractarios (Ácidos, Básicos o Neutros) de diverso tamaño de grano, estas pueden ser humedecidos para su aplicación, si se trata de arcillas, o pueden ser mezcladas con aglutinantes para posteriormente ser apisonados en el mismo horno. Este se deja secar lentamente y se cuece con fuego de leña, de coque o de gas. En los hornos cubilotes las masas refractarias mayormente usadas son las Silico-Aluminosas.*

***1.5.2.3 LADRILLOS Y BLOQUES.*** *Son los mayor usados, confeccionados, secados y cocidos en hornos cerámicos. Los ladrillos pueden tener diversas formas y tamaños como los mostrados en la figura 1.6.*

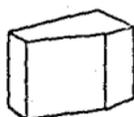
# LADRILLOS Y BLOQUES



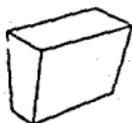
RECTANGULAR



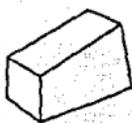
CUÑA



DE GARGANTA



DE DINTEL O ARCO



CLAVE



JAMBA



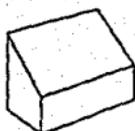
SESGADO



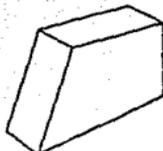
EN BISEL



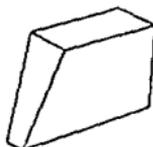
EXTREMO SESGADO



COSTADO SESGADO



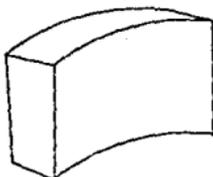
TARUGO



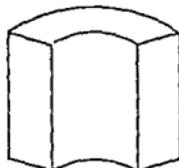
TARUGO EN ANGULO Y DINTEL



CIRCULAR



BLOQUE DE HORNO ROTATORIO



BLOQUE DE CUBILOTE

**HORNO CUBILOTE** DISEÑO

## 1.6 REACCIONES QUIMICAS Y TERMODINAMICAS

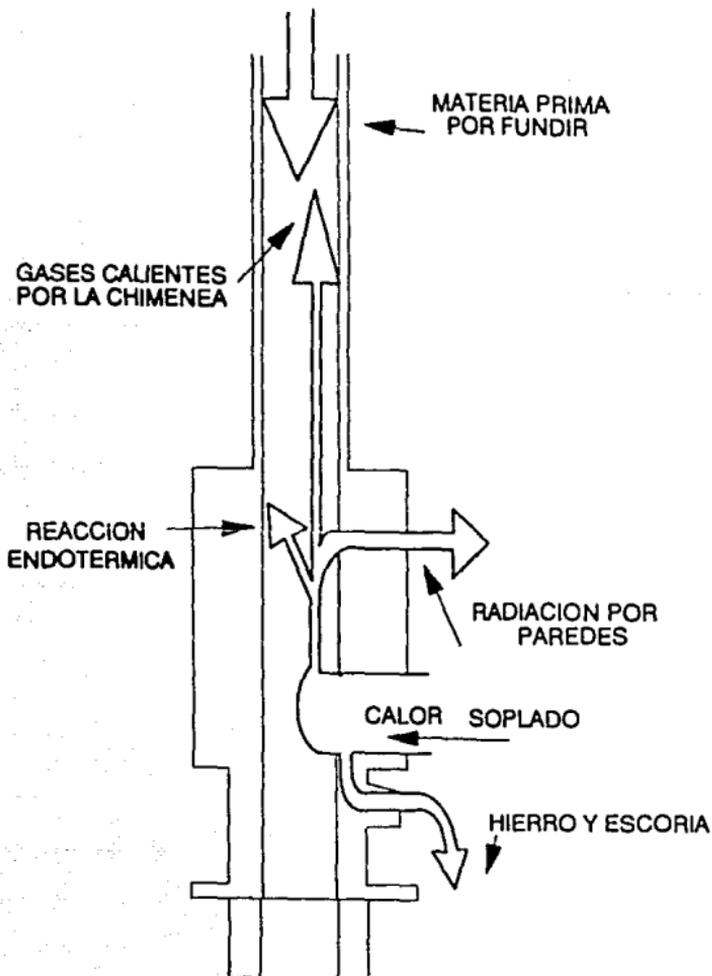
*El horno CUBILOTE como lo indica su nombre, es un típico horno de caba, con una gran altura en comparación con su diámetro reducido o área transversal, que trabaja a contra flujo, es decir, con una carga metálica o materiales sólidos por fundir que actúan en forma descendente y gases calientes producto de la combustión del Carbono del Coque que actúa en forma ascendente mediante el aire inyectado por la parte inferior del horno en las toberas. Figura 1.7.*

*Es por esto la gran importancia que existe entre la relación aire-combustible (Coque-Carbón) para que el efecto de la combustión sea el más adecuado y que el calor generado se aproveche de la mejor manera.*

*Aunque la principal función de un horno CUBILOTE es la de fundir el metal cargado, también dentro de éste se generan reacciones químicas como lo son la Carburación, Oxidación, Absorción de impurezas, Reducción y Escorificación, que son importantes para el proceso por lo que su aspecto metalúrgico es de tomarse en cuenta.*

*Debido a que los fenómenos fundamentales de la operación de un cubilote son la COMBUSTION y la TRANSMISION DE CALOR producido por la misma, daremos un enfoque descriptivo al respecto.*

# REACCIONES TERMICAS



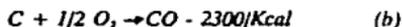
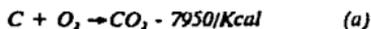
**HORNO CUBILOTE** DISEÑO

### 1.6.1 La combustión y la transmisión de calor

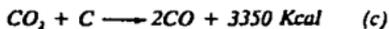
El Coque, que como sabemos es un combustible de CUBILOTE, tiene componentes esenciales de Carbono que es un elemento activo y la ceniza como elemento inerte y pasivo.

El Carbono por su parte se oxida o mejor dicho se quema con el Oxígeno del aire para producir así calor; mientras que la ceniza se funde y se transforma en escoria consumiendo parte de calor generado.

En la combustión se tiene fundamentalmente las siguientes reacciones térmicas:



Las dos reacciones anteriores son exotérmicas, la primera tres veces mayor que la segunda, por lo que sería la ideal para desprender calor y fundir, dado que esta reacción se puede llevar a cabo frente a la zona de toberas, debido al Oxígeno del aire soplado que se consume en esta zona; más adentro y más arriba, parte de la reacción CO resultante reacciona con el C según:



que siendo endotérmica absorbe por Kg de C el 42.13% (3350/7950) de la energía disminuyendo así la eficiencia térmica.

Esta proporción se expresa por la relación de combustión ( $rc$ ) como sigue:

$$rc = (CO_2 / (CO_2 + CO)) \times 100 \quad (d)$$

Cuanto mayor sea esta relación mayor será la cantidad de calor desprendida, por tanto a mayor  $rc$  mejor eficiencia térmica.

Para hornos CUBILOTE con entrada de aire frío se tienen valores de  $rc$  que pueden variar de 50 a 70.

Si la relación  $rc=50$ , el calor desprendido por 1 Kg de C quemado sería:

$$7950 \times 0.5 + 2300 + 0.5 = 3975 + 1150 = 5125 \text{ Kcal} \dots\dots\dots 1.22$$

Por otro lado si  $rc=70$ , de manera similar, el calor desprendido por 1 Kg de C quemado sería:

$$7950 \times 0.7 + 2300 \times 0.3 = 5565 + 690 = 6255 \text{ Kcal} \dots\dots\dots 1.23$$

Ast que desde un enfoque ideal, sería conveniente tener una relación  $rc=1$  que significa quemar todo el C a  $CO_2$ , pero independientemente de que esto no es factible en la zona de combustión-fusión del CUBILOTE, por las

razones antes mencionadas, tampoco sería deseable desde el punto de vista metalúrgico, ya que el  $\text{CO}_2$  es un gas oxidante que quemaría parte del Si, del Mn y del Fe del metal, ocasionando una falta de llenado en los moldes, una dureza interna del material en el momento del maquinado y porosidad interna respectivamente; y esto resultaría de un costo mayor que el coque que con ello pudiera ahorrarse.

Sin embargo, arriba de la zona de fusión resultaría factible quemar el  $\text{CO}$  a  $\text{CO}_2$  con aire adicional introduciéndolo por toberas adicionales superiores.

De la reacción:  $\text{CO} + 1/2 \text{O}_2 = \text{CO}_2$  ..... 1.25

por lo tanto, de cada  $\text{m}^3$  de  $\text{CO}$  quemado a  $\text{CO}_2$ , se desprenden 3010 Kcal, lo cual aumenta la eficiencia térmica, aumenta la temperatura de colada y permite un ahorro de coque.

*El sople de aire caliente en lugar del frío, es otra manera de mejorar la eficiencia térmica, esto introduce un calor adicional. Por ejemplo, si en lugar de aire a 20°C lo introducimos a 400 °C, el contenido adicional de calor que entra al horno será, usando un coque con Carbono fijo del 85% y con proporción al 15% para fundir una tonelada de hierro, suponiendo que todo este coque se quema, se tiene:*

$$150 \text{ Kg} \times 0.85 \text{ C} = 127.5 \text{ Kg C fijo}$$

*y para el cálculo del aire que quemará dicha cantidad de combustible, sabiendo que se requieren 8.9 m<sup>3</sup> de aire para quemar 1 Kg de Coque, por tanto tendremos:*

$$8.9 \text{ m}^3/\text{Kg C} \times 127.5 \text{ Kg C} = 1134.75 \text{ (m}^3\text{) de aire}$$

*Por último para el contenido de calor o entalpia, con un calor específico medio  $c=0.3133 \text{ Kcal/m}^3\text{K}$ , con un incremento de temperatura de 20 a 400 °C y considerando  $Q=mc\Delta T$  se tiene:*

$$Q = 1134.73 \text{ m}^3 (0.3133 \text{ Kcal/m}^3\text{K})(400-20)^\circ\text{K}$$

$$Q = 135,094.15 \text{ [Kcal]}$$

*Este calor de 135,094.15 Kcal equivale a la combustión de 16.9 Kg de coque con 7990 Kcal de poder calorífico, es decir que permita ahorrar el 11.27% del coque (16.9/150) por tanto utilizaremos  $150-16.9=133.1 \text{ Kg}$  por cada tonelada de hierro. Si a todo este desarrollo le añadimos que el calor utilizado para*

*calentar el aire de entrada, lo extraemos de los productos de la combustión, con esto se incrementaría aun más nuestra eficiencia térmica.*

*Otra forma de ahorrar calor en el interior del Cubilote es mediante la adición de Oxígeno al aire, ya que este no aporta Nitrógeno, el cual absorbe calor al pasar por el interior del horno. Cada  $m^3$  de Oxígeno equivale a introducir  $4.76 m^3$  de aire, con  $3.76 m^3$  de Nitrógeno.*

## **1.7 ACCESORIOS (EQUIPOS AUXILIARES)**

*Los accesorios mencionados a continuación, tienen por objeto ayudar al buen funcionamiento así como también facilitar el manejo del Horno Cubilote.*

*Los equipos auxiliares se dividen en equipos de soplado, equipos para el control del peso de las materias primas, equipos para el control del aire, para el control del análisis químico (inmediato y posterior), térmico y mecánico. En seguida se hace un listado de todos los accesorios que comprenden cada uno de estos equipos.*

### **1.7.1 EQUIPOS DE SOPLADO**

#### **1.7.1.1 Soplador de desplazamiento positivo**

- Produce el volumen exacto de aire para la combustión, sin variaciones de presión.*
- Una desventaja se presenta al ser de un tamaño grande y requerir de mayor caballaje.*
- Se utiliza en Cubilotes grandes o donde se requiera una operación sin variaciones en las condiciones de soplado.*

### **1.7.1.2 Turbo soplador o centrífugo**

- Produce volúmenes de aire arriba de 2400 ft<sup>3</sup> cada minuto a altas presiones (mayores de 20 oz/in<sup>2</sup>)
- Se utiliza en Cubilotes de mediana capacidad.

### **1.7.1.3 Soplador Ventilador**

- Produce volúmenes de aire menores de 2000 ft<sup>3</sup> cada minuto a bajas presiones (menores de 16 oz/in<sup>2</sup>)
- Se utiliza en Cubilotes pequeños, de baja capacidad.

## **1.7.2 EQUIPO PARA EL CONTROL DEL PESO**

- Se requiere de básculas con una capacidad mínima de 500 Kg., estas se requieren para llevar un buen control en el cargado de las materias primas al Homo Cubilote.

## **1.7.3 EQUIPO PARA EL CONTROL DE AIRE**

- Medidores de presión de aire.
- Medidores de volumen de aire.

**1.7.4 EQUIPOS PARA EL CONTROL DEL ANALISIS QUIMICO, TERMICO Y****MECANICO**

- Cuña de templabilidad*
- Pirómetro óptico (termómetro)*
- Equipos para la determinación del Silicio*
- Equipos para la determinación del Carbono*
- Durómetro Brinell*
- Equipo para el análisis Metalográfico.*

**CAPITULO II**  
**HIERROS FUNDIDOS**

**II.1 Características Generales**

**II.2 Tipos de Hierro Fundido**

**II.2.1 Hierro Fundido Blanco**

**II.2.2 Hierro Fundido Maleable**

**II.2.3 Hierro Fundido Gris**

**II.2.4 Hierro Fundido Nodular**

**II.2.5 Hierro Fundido Aleado**

## II. HIERROS FUNDIDOS

### II.1 CARACTERISTICAS GENERALES

*Los HIERROS FUNDIDOS, al igual que los Aceros, son básicamente aleaciones de Hierro y Carbono. Una de las características de los Hierros Fundidos es el contenido mayor de Carbono del necesario para saturar a la Austenita a la temperatura Eutéctica, por tanto contienen entre 2 y 6.67% de Carbono. Debido al alto contenido de Carbono, el Hierro Fundido tiende a ser más frágil, para evitar tal motivo, el intervalo que se utiliza a nivel comercial para las fundiciones es de 2.5 a 4% de Carbono.*

*Otra de las características de las Fundiciones de Hierro es una baja ductibilidad, no pudiéndose laminar, estirarse o trabajarse a temperaturas ambiente.*

*El nombre de Hierro Fundido se deriva de la facilidad con que se funde, o cuando se utiliza para obtener formas complicadas por medio de la fundición que generalmente se maquinan para obtener especificaciones finales.*

*Una ventaja que tienen los Hierros Fundidos con respecto a los aceros, es que se funden más fácilmente, además que son más económicos, junto con*

*esto, mediante una aleación apropiada, un buen control de la fusión y un buen tratamiento térmico sus propiedades pueden variar ampliamente, obteniendo así condiciones comparables con las del acero en algunos casos.*

## **11.2 TIPOS DE HIERRO FUNDIDO**

*Los tipos de fundiciones se clasifican de acuerdo con su estructura metalográfica. Las variables que se deben tomar en cuenta para dar lugar a los diversos tipos de Hierro Fundido son: el contenido de Carbono, el contenido de aleación y de las impurezas, la rapidez de enfriamiento durante o después del congelamiento y el tratamiento térmico después de fundirse. Las variables anteriores son las que rigen las condiciones del Carbono así como su forma física, por ejemplo, el Carbono puede estar combinado en forma de Carburo de Hierro en la Cementita o existir como Carbono libre en forma de Grafito.*

*La forma y distribución de las partículas de Carbono sin combinar influirán grandemente en las propiedades físicas del Hierro Fundido. Los tipos de Hierro Fundido se pueden clasificar como sigue:*

**HIERRO FUNDIDO BLANCO**

**HIERRO FUNDIDO MALEABLE**

**HIERRO FUNDIDO GRIS**

**HIERRO FUNDIDO NODULAR**

**HIERRO FUNDIDO ALEADO**

### **11.2.1. HIERRO FUNDIDO BLANCO**

*La característica relevante de este tipo de fundiciones, se basa en que todo el Carbono está en forma de Cementita (Carburo de Hierro), siendo este un compuesto intersticial duro y frágil. Por tal motivo, el Hierro Fundido Blanco, al presentar grandes cantidades de este compuesto en forma de una red interdendrítica continua, hace de este un material duro y resistente al desgaste, pero frágil y difícil de maquinar.*

*Los Hierros Fundidos completamente Blancos, tienen poca aplicación en ingeniería debido a la alta fragilidad y al poco maquinado que presentan.*

*Las Fundiciones Blancas encuentran una aplicación en aquellas situaciones en las que la resistencia al desgaste es lo más importante y en situaciones de trabajo no se requiere de un material dúctil, como por ejemplo en dados para el proceso de extrusión. Gran parte de la producción de Fundición de Hierro Blanco es utilizado como materia prima para la manufactura de Hierro Fundido Maleable.*

*Las propiedades que muestra la Fundición de Hierro Blanco son las siguientes:*

<i>Dureza Brinell</i>	<i>375 a 600</i>
<i>Resistencia Tensil</i>	<i>20000 a 70000 lb/in<sup>2</sup></i>
<i>Resistencia Compresiva</i>	<i>200000 a 250000 lb/in<sup>2</sup></i>
<i>Módulo de Elasticidad</i>	<i>24 a 28 millones lb/in<sup>2</sup></i>

## 11.2.2. HIERRO FUNDIDO MALEABLE

Como se hizo mención en párrafos anteriores, la Cementita es un compuesto intersticial; con el paso del tiempo este compuesto tiende a sufrir una transformación de su estado de Carburo de Hierro a Hierro y Carbono (Grafito) por separado. Esta tendencia a formar Carbono sin combinar es la base para la fabricación del Hierro Fundido Maleable.

Las condiciones que facilitan a que se lleve a cabo la reacción  $Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$  son: la elevación de temperaturas, la existencia de impurezas sólidas no metálicas y contenidos mayores de Carbono.

Como se mencionó en un principio el Hierro Maleable se elabora a partir de la Fundición de Hierro Blanco, este proceso se lleva a cabo mediante el recocido prolongado en el que se genera la descarburación o la grafitación, o ambas reacciones, para disminuir o eliminar la Cementita. El Grafito así producido está en forma de Carbono revenido. Si la descarburación, que es la pérdida de Carbono en la superficie de una aleación ferrosa como resultado de calentar un medio que reacciona con el Carbono presente en la superficie, es la reacción predominante, el producto tendrá una fractura clara, de ahí el nombre "Maleable de Corazon Blanco", de otra manera si es la grafitación el producto de la reacción, la fractura será oscura y por tanto se nombrará "Maleable de Corazón Negro", siendo esta última reacción más maquinable que la producida por una descarburación.

*Las aplicaciones de este tipo de hierro fundido se encuentran en árboles de levas, y cigüeñal para automóviles; en engranes, catarinas, y pernos de unión de cadenas en equipo transportador; en rodillos, bombas, boquillas, levas y balancines como piezas de maquinaria; y finalmente para una gran variedad de pequeñas herramientas, como llaves de tuercas, martillos, abrazaderas y cizalladoras.*

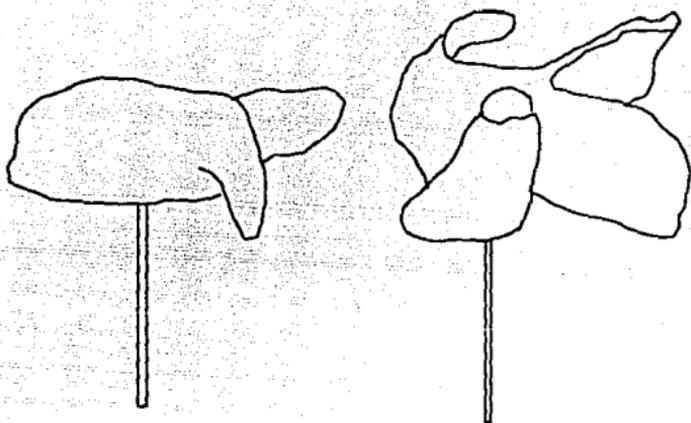
### **II.2.3. HIERRO FUNDIDO GRIS**

*Dentro de las Fundiciones de Hierro, la Fundición de Hierro Gris es la que constituye una de las aleaciones mayormente utilizadas. Su nombre se origina de la fractura de color grisaseo que posee, como resultado del grafito en hojuelas.*

*En los Hierros Fundidos Grises la mayoría o todo el Carbono está sin combinar en forma de escamas de Grafito, producto a la tendencia de la separación de la Cementita en Grafito y Austenita o Ferrita, la cual se puede controlar mediante la composición de la aleación y las velocidades de enfriamiento. Las Fundiciones Grises son aleaciones que contienen entre 2.5 y 4% de Carbono.*

*El proceso de la grafitación se ayuda aportando un contenido alto de Carbono, una alta temperatura y una calidad adecuada de elementos grafitizantes, sobre todo el Silicio.*

*El Grafito en la estructura de la fundición de Hierro Gris, se presenta como placas irregulares, generalmente alargadas y curvas, las que dan la característica de Hierro Fundido de fractura de color grisaseo o negruzco. A continuación se hace una aclaración referente a las hojuelas de grafito observadas a nivel de microestructura, las cuales aparentan ser superficies planas, pero en realidad son cuerpos tridimensionales como los mostrados en la figura II.1.*



MODELOS ESPACIALES DE HOJUELAS DE GRAFITO

**HORNO CUBILOTE** DISEÑO

FERNANDO BARRON PADILLA FIGURAIL1

*Existe una clasificación de las Fundiciones de Hierro Gris desde el punto de vista de Ingeniería, ésta se basa en las especificaciones ASTM (Sociedad Americana de Pruebas de Materiales) A48, ésta nos dice que las piezas elaboradas con esta fundición se clasifican en 7 grupos (números 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60). Esta división se basa en la prueba a la tensión a la que son sometidas barras de prueba en miles de lb/in<sup>2</sup>, por ejemplo, un Hierro Gris clase 20 tendría una resistencia ténsil mínima de 20,000 lb/in<sup>2</sup>, los de clase 30, una resistencia de 30,000 lb/in<sup>2</sup>, etc.*

*La resistencia ténsil es importante al seleccionar un Hierro Gris para piezas que trabajarán bajo cargas estáticas indirectas de tensión o flexión, por ejemplo, elementos de recipientes que soportarán grandes presiones, válvulas, etc.*

*Una característica de los materiales frágiles es tener un alto valor de resistencia a la compresión en comparación con su mínima resistencia a la tensión. Esta característica se aprovecha utilizando la Fundición de Hierro Gris para cimentaciones o soportes de máquinas.*

*Una de las ventajas que muestran muchos de los grados de Hierro Gris en comparación con los aceros, es su resistencia al corte tensional. Esta característica en conjunto con la baja concentración de esfuerzos en un punto y el bajo costo que muestran las Fundiciones Grises, los hacen materiales ampliamente usados en ejes y diversos tipos de flechas.*

#### **11.2.4. HIERRO FUNDIDO NODULAR**

*El Hierro Nodular, también conocido como Hierro Dúctil o Hierro de Grafito Esferoidal, presenta diminutas bolas o esferas en lugar del Grafito en las Fundiciones de Hierro Gris, de aquí la derivación de su nombre.*

*Las esferas de esta fundición son producto de la aleación de pequeñas cantidades de elementos como el Magnesio o el Cesio. Esta aleación se hace en la cuchara de vaciado con el objetivo de formar los Nódulos, que a diferencia de las hojuelas de grafito, proporcionan una mayor resistencia y tenacidad.*

*El Hierro Nodular, a diferencia del Hierro Maleable, no se obtiene mediante un tratamiento térmico si no que es producto de la solidificación y adición de los elementos formadores de Nódulos.*

*Un ejemplo de la aplicación típica del Hierro Nodular la encontramos en pistones y cabezas de motores automotrices.*

### **11.2.5. HIERROS FUNDIDOS ALEADOS**

*Mejorar las propiedades mecánicas así como incrementar la resistencia a la corrosión, al calor o al desgaste, son algunos de los objetivos que se tienen al producir Hierros Aleados.*

*Los principales elementos que se utilizan para hacer las mejoras antes mencionadas, son el Cromo, el Cobre, el Molibdeno, el Níquel y el Vanadio.*  
**CROMO.** Este elemento ayuda al incremento de la resistencia, la dureza, la resistencia al desgaste (con el incremento de la capa de Hierro Blanco), con la única desventaja de la disminución de la maquinabilidad.

**COBRE.** Elemento grafitizador, 5 veces menor que el Silicio, el contenido dentro de la aleación debe ser de 0.25 a 2.5%.

**MOLIBDENO.** Incrementa las propiedades mecánicas y controla levemente la formación de carburos, este se agrega de 0.25 a 1.25%. También aumenta la resistencia a la tensión, a la fatiga, al calor y la dureza del Hierro Fundido.

**VANADIO.** Elemento reductor de la grafitación, formador de carburos, incrementando de esta manera la dureza de los Hierros Fundidos, con adiciones de 0.10 a 0.25%.

**NIQUEL.** Grafitizador con una eficiencia del 50% en relación con el Silicio.

### ***CAPITULO III***

#### ***MANEJO DE HORNO CUBILOTE***

##### ***III.1 Cálculo de cargas.***

###### ***III.1.1 Procedimiento para el cálculo de cargas.***

##### ***III.2 Balance químico.***

##### ***III.3 Manejo de horno cubilote.***

###### ***III.3.1 Disposición de las cargas en el horno cubilote.***

###### ***III.3.2 Labores previas a la operación del horno cubilote.***

###### ***III.3.3 Procedimiento para el cálculo de la altura de la cama de carbón-coque.***

###### ***III.3.4 Labores finales en el manejo del horno cubilote.***

### III. MANEJO DE HORNO CUBILOTE

#### III.1 CALCULO DE CARGAS

Los diversos materiales que componen una carga actúan de modo diverso sobre la calidad de una aleación; por esto, al efectuar la carga de un horno de fundir será preciso proporcionársela de manera que la liga final tenga la composición y las características deseadas.

Lo anterior se complica un poco en los HORNOS CUBILOTE, en los que la carga metálica está en contacto directo con el combustible (Carbón Coque), formándose reacciones y cambios no deseados, a causa de la alta temperatura. A parte de esto, ocurren oxidaciones y cambios como los siguientes:

a) El carbono total se estabiliza entre 3.4y 3.5%. Si introducimos cantidades de chatarra de acero, se tendrá un decremento debido al bajo Carbón que contiene dicha chatarra.

b) El Silicio disminuye en parte porque se oxida y se desecha como escoria. La merma de Silicio varía de 10 a 15%, esta disminuirá a un mayor contenido de Manganeso. Su importancia dentro del comportamiento metalúrgico radica en que ayuda a la grafitación, incrementa la fluidez del metal en estado líquido y facilita a la solidificación de la aleación fundida.

c) El Manganeso disminuirá igualmente que el Silicio, reaccionando primeramente con el Oxígeno, protegiendo así al Silicio.

d) El Azufre aumenta, siempre con daño para la calidad de la fundición de Hierro Gris teniendo un efecto inverso al que tiene el Silicio, con lo cual se producirá una aleación de Hierro Blanco, frágil y duro. El contenido mayor de Azufre se encuentra en el Carbón Coque, este es atenuado a un mayor contenido de Manganeso que se desecha en la escoria como un Sulfuro de Manganeso ( $MnS$ ) o se mezcla en la aleación sin producir ningún problema.

e) El Fósforo permanece estable excepto en los hornos básicos en donde con el revestimiento forma un Fosfato de Calcio que pasa en la escoria. También reduce la tenacidad y hace frágil al Hierro Fundido, de manera que se debe tener un control sobre el Fósforo para obtener propiedades mecánicas óptimas. El Fósforo incrementa la fluidez, se utiliza ampliamente para piezas fundidas delgadas tomando impresiones perfectas del molde.

*Para el cálculo de las cargas dentro de la fundición se debe tener en cuenta una serie de factores entre los que se enumeran los siguientes:*

*a) Las características mecánicas y análisis químico de las piezas que se quiere tener.*

*b) La naturaleza y análisis químico de la chatarra que se utilizará como materia prima.*

*c) Las variaciones del análisis químico que sobrevengan durante la fusión en el Cubilote.*

*Para éste caso específico será necesario un material con alta facilidad en el maquinado, para lo cual se utilizará una fundición de Hierro Gris con un contenido de 3.3% a 3.7% de Carbono y 2.3% a 2.7% de Silicio.*

*A continuación se dará una lista de análisis químicos de Carbono y Silicio (Tabla III.1) así como su respectiva gráfica de la chatarra que se utiliza en una fundición (Figura III.1), elementos que permitirán realizar el balance químico. Estos datos se obtuvieron en el laboratorio mediante el método GASOMETRICO POR COMBUSTION DIRECTA para el Carbono descrito en la Norma NOM-B-1-1988 49-53 y el GRAVIMETRICO para la determinación del Si establecido en la Norma NOM-B-1-1988 183-187.*

# ANALISIS QUIMICO DE MATERIALES

## ANALISIS DE CARBONO

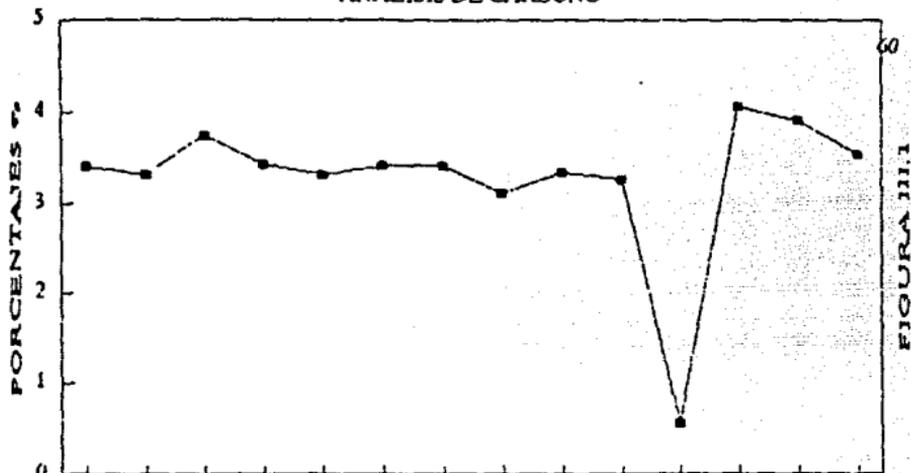


FIGURA III.1

MONOBLO PORTA CL ARBOL DE CUBIERTA POLEA DE VALVULA CABAZA PORTA BA BOMBA D TAMBOR CAMISA D CAMISA PI LINGOTE CUB. CAJA MATERIALES

FERNANDO BARRON PADILL  
HORNO CUBILOTE DISEÑO

ANALISIS QUIMICO DE MATERIALES  
ANALISIS DE CARBONO

MATERIALES	ANALISIS #No1	ANALISIS #No2	ANALISIS #No3	ANALISIS #No4	ANALISIS #No5	ANALISIS #No6
MONOBLO PORTA CL	3.45	3.41	3.45	3.37	3.42	
ARBOL DE CUBIERTA	3.35	3.25	3.13	3.55	3.32	
POLEA DE VALVULA	3.75				3.75	
CABAZA PORTA BA BOMBA D	3.25	3.15	3.74	3.61	3.43	
TAMBOR	3.41	3.43	3.29	3.15	3.32	
CAMISA D	3.24	3.45	3.57		3.42	
CAMISA PI	3.27	3.59	3.43		3.42	
LINGOTE	3.15	3.08	3.07		3.11	
CUB. CAJA MATERIALES	3.23	3.45			3.34	
MONOBLO PORTA CL	3.41	3.87	2.95	3.25	3.26	
ARBOL DE CUBIERTA	0.57				0.57	
POLEA DE VALVULA	4.06				4.06	
CABAZA PORTA BA BOMBA D	3.41				3.41	
TAMBOR	3.53				3.53	

TABLA III.1

# ANALISIS QUIMICO DE MATERIALES

## ANALISIS DE SILICIO

61

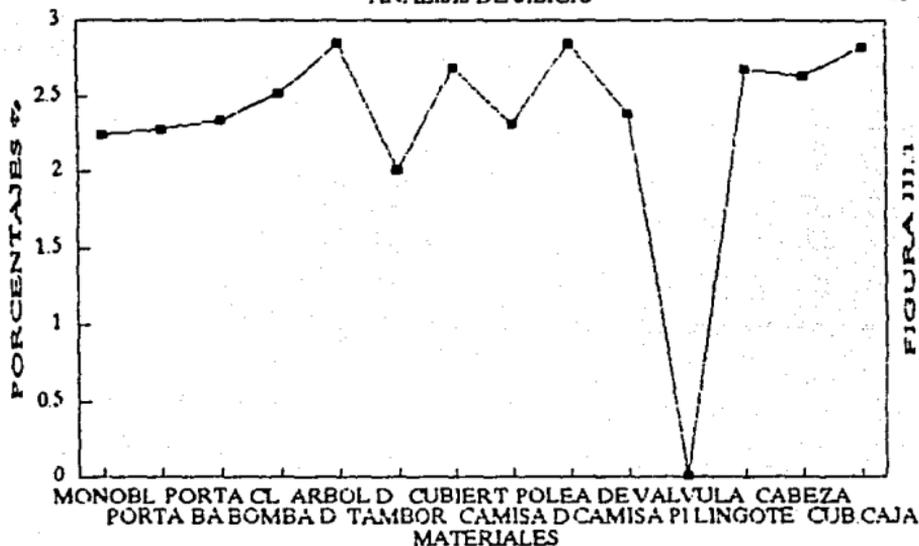


FIGURA III.1

FERNANDO BARRON PADILLA  
HORNO CUBILOTE DISEÑO

ANALISIS QUIMICO DE MATERIALES  
ANALISIS DE SILICIO

MATERIALES	#No 1	#No2	#No3	#No4	#PROMEDIO
MONOBL	2.35	2.21	2.22	2.22	2.24
PORTA BALATA	2.33	2.15	1.96	2.7	2.29
PORTA CLUTSH	2.33				2.33
BORNA DE AGUA	2.75	2.98	2.82	2.41	2.52
ARBOL DE LEVAC	3.59	2.87	2.81	2.15	2.85
TAMBOR DE FREMOS	1.92	2.06	2.03		2.01
CUBIERTA DE EMPAGE	2.91	2.06	3.21		2.69
CAMISA DE PISTON	2.41	2.42	2.09		2.31
POLEA DE BANDAS	2.06	3.63			2.85
CAMISA PISTON VN	2.73	2.07	2.58	2.63	2.38
VALVULAS DE CABEJA	0.01				0.01
LINGOTE ARRABIO	2.68				2.68
CABEJA	2.63				2.63
CUB. CAJA VELOCIDADES	2.83				2.83

TABLA III.1

### *III.1.1. Procedimiento para el cálculo de cargas*

*Para el cálculo de cargas se ha de tomar en cuenta además de las condiciones siguientes, el concepto del grado de saturación del carbono.*

*Las condiciones que un departamento de fundición debe de tomar en cuenta son:*

*Disponiendo de Lingote, de Chatarra, de ferroaleaciones, calcular las cargas para obtener piezas de análisis químicos o resistencias mecánicas determinadas.*

*A continuación se hace el cálculo de composición química de las cargas, teniendo en cuenta las variaciones del análisis durante el proceso de la fundición. Se ejemplificará para aclarar dicho concepto (Tabla III.2).*

*Se anticipa que se efectuará la carga compuesta de un 30% de lingote o arrabio de primera fusión, un 30% de colada, un 30% de chatarra de Hierro Gris, un 7% de chatarra de acero y un 3% de ferroaleaciones. La colada es el residuo o retomo de la fundición, tiene una composición química equivalente a la de las piezas esperadas.*

También se hace la suposición de que la carga metálica contará con 400 Kg para un horno de 75 cm de diámetro. Por tanto se dirá que cada carga estará integrada por:

$$\text{LINGOTE} \quad (400) 0.3 = 120 \text{ (Kg)}$$

$$\text{CHATARRA DE FUNDICION} \quad (400) 0.3 = 120 \text{ (Kg)}$$

$$\text{COLADA} \quad (400) 0.3 = 120 \text{ (Kg)}$$

$$\text{ACEROS} \quad (400) 0.07 = 28 \text{ (Kg)}$$

$$\text{FERROALEACIONES} \quad (400) 0.03 = 12 \text{ (Kg)}$$

### III.2 BALANCE QUIMICO

En este punto, hacemos un análisis de cargas desde el punto de vista químico, incluyendo los diversos componentes a excepción de las ferroleaciones que serán ajustadas al final. El contenido de cada uno de los componentes de chatarra, lingote, aceros y colada dentro de la carga fueron tomados del inciso anterior y los datos del % de Carbono y Silicio se obtuvieron a partir de la tabla III.1 y de la figura III.1.

COMPONENTES DE LA CARGA	%	%C	CONTENIDO Kg	%Si	CONTENIDO Kg
LINGOTE	30	4.06	1.218	2.68	0.804
CHATARRA	30	3.42	1.026	2.24	0.672
ACEROS	7	0.57	0.0399	0.0	0.0
COLADA	30	3.5	1.05	2.5	0.75
<b>CONTENIDO TOTAL</b>	<b>97</b>		<b>3.3339</b>		<b>2.226</b>
VARIACIONES		+10%	+0.333	-12%	-0.26712
<b>CONTENIDO TOTAL REAL</b>			<b>3.6669</b>		<b>1.9588</b>
<b>AJUSTE CON FERRO-ALEACIONES</b>					<b>+0.5412</b>
					<b>-----</b>
					<b>2.5000</b>

TABLA III.2

*Del ejemplo anterior se observa que el porcentaje de Carbono se encuentra dentro del rango de 3.3 a 3.7%, en caso contrario el Silicio tiene una deficiencia de 0.542 para estar dentro del rango de 2.3 a 2.7%, por tanto será necesario introducir:*

$$0.542 (400/100) = 2.16 \text{ Kg de Si}$$

*Si esta deficiencia se va a equilibrar con ferrosilicio enriquecido al 75 % de Si se obtiene:*

$$2.16/0.75 = 2.88 \text{ Kg de Ferrosilicio al 75 \%}$$

### III.3 MANEJO DE HORNO CUBILOTE

#### *III.3.1 Disposición de las cargas en el Horno Cubilote.*

*En los siguientes párrafos se presentará el orden en que serán preparadas e introducidas las cargas al Horno Cubilote.*

*La preparación de las cargas consiste en los siguientes puntos:*

- a) Se procede a romper la chatarra a un tamaño máximo de 80% el diámetro del horno, por medio de mazos o peras. Esto se hace para facilitar la fusión y evitar congestionamientos en el interior del horno (formación de puentes) y ahorrar así combustible.*
  
- b) Limpiar la chatarra, para que quede libre de aceros, materiales no ferrosos, no metales (principalmente grasas y aceites).*
  
- c) Mantener la chatarra libre de óxidos. Si se requiere hacer piezas de alta calidad se tendrá que lavar la chatarra con arena a presión, para evitar el óxido superficial.*

*La introducción de las cargas debe ser continua para así, mantenerlo lleno y evitar pérdidas de energía. La introducción de las cargas puede ser manual para hornos pequeños o mecánica, mediante algún dispositivo (grúa) para hornos mayores.*

*Cada carga deberá ser pesada cuidadosamente para no alterar de esta manera el resultado químico esperado.*

*Las cargas se introducirán en el horno de la manera siguiente:*

*1.- Carbón Coque*

*2.- Fundentes (piedra caliza)*

*3.- Carburizantes (Briquetas)*

*4.- Carga Metálica*

*5.- Ferroaleaciones.*

### *III.3.2 Labores previas a la operación del Horno Cubilote.*

*Antes de empezar a operar nuestro sistema de Horno Cubilote se debe realizar una serie de pruebas para certificar el buen funcionamiento, así como también para proporcionar condiciones seguras de trabajo. Para lograr esto, se hace en primera instancia el RECUBRIMIENTO INTERNO del horno con materiales refractarios, como los son ladrillos, morteras, arcillas, concretos y arenas. Este recubrimiento consiste en un aislamiento entre el interior del horno, en donde se trabaja con temperaturas de 1800° a 2000°C, y el medio que rodea al sistema. Esto se hace con el objetivo de proteger a los operarios y equipos que pudieran estar en peligro por las cercanía con el horno.*

*La forma en que se realiza el aislamiento, es colocando los ladrillos refractarios de tal manera que formen anillos concéntricos al diámetro del horno pegándolos a sus paredes mediante mortero refractario (Liga-Sil), dejando los espacios necesarios para el evacuador de escoria, la entrada de aire en las toberas, la entrada de la carga metálica y para la evacuación del metal fundido.*

*Los espacios antes mencionados se deberán conformar con arcillas y barras refractarios a excepción de el orificio de salida del metal líquido, el cual se puede hacer empleando ladrillos prefabricados con los orificios necesarios*

*para la evacuación o mediante concretos refractarios conformándolos al espacio requerido. Como dato adicional se dirá que el espacio de salida se forma de 3 orificios de un diámetro aproximado de 3/4 in y una profundidad igual a la del espesor de las paredes del horno; el propósito de esto es tener 1 orificio de trabajo y 2 orificios auxiliares, en caso de tapones producidos por escorias atrapadas o metal frío.*

*Una vez que se tiene la pared del horno perfectamente aislada y todos los orificios plenamente conformados, se prosigue al cierre del piso con la plancha base, aislándola mediante juntas de barro refractario en su periferia y en la ranura de acoplamiento, esta última se sujeta con los pasadores inferiores. El piso inferior se aísla haciendo una mezcla de barro y arenas de moldeo preparadas (arena sílica, bentonita, carbon marino y agua) esta relación es de 1 a 1, el valor del espesor lo podemos obtener de la tabla III.3 proporcionada por la Sociedad Americana de Fundidores. El piso tendrá una pendiente de 6.3° inclinada hacia el orificio de evacuación del metal.*

**ESPESOR DE LA CAMA DE ARENA EN EL FONDO  
DE LOS CUSTODIOS**

No. NOMINAL	ESPESOR (mm)
1	80
2	90
3	100
4	110
5	120
6	130
7	140
8	150
9	160
10	170
11	180
12	190
13	200
14	210
15	215
16	220
17	230
18	240
19	250
20	260
21	270
22	280

TABLA III.3

Los puntos anteriores son la serie de labores que nos permitan un trabajo seguro y un buen funcionamiento de nuestro sistema. Como complemento a esta información se proporcionan los pasos a seguir para el encendido y manejo del horno:

- 1.- Una vez reparado y certificado el sistema, se agrega papel (u otro material equivalente) al interior del horno, a fin de amortiguar la calda de las próximas cargas. Otro objetivo que tiene este punto, es el de facilitar el encendido del horno mediante el papel.
- 2.- Después se introduce leña que conjuntamente con el paso anterior facilitan el encendido del horno.
- 3.- Se continúa con la adición de Carbón, este llenará por completo el horno, con la finalidad de asegurar un calentamiento en todas las zonas del horno, así como también proporcionar la cama inicial de Carbón.
- 4.- Completadas y certificados los puntos anteriores se enciende el horno por medio de estopa con diesel, introduciendo ésta por toberas y por el orificio de evacuación de escoria. Antes de esta operación, de ser posible, se pone a funcionar el sistema anticontaminante para disminuir el número de emisiones tóxicas hacia el medio ambiente.

5.- Una vez que se haya iniciado la combustión por medio del tiro natural en el interior del horno, se sigue con el arranque del ventilador, este proporcionará un tiro forzado ayudando a hacer mas rápido el proceso de la combustión.

6.- El siguiente paso consiste en checar la altura de cama de Carbón, siendo necesario apagar el ventilador despues de observar una flama de color rojo-naranja en la parte superior del horno. Posteriormente se necesita introducir una varilla de metal, previamente dimensionada con la altura correcta de la cama de Carbón, en donde se observa la necesidad de dejar por mayor tiempo que se consuma ésta o reforzarla hasta obtener como resultado una altura correcta de la misma.

### III.3.3 Procedimiento para el cálculo de la altura de la cama de Carbón-Coque

Este procedimiento tiene como objetivo mantener buenas condiciones de operación del sistema, entre las que se enumeran: un buen balance químico de la fundición, temperatura óptima de colada y evitar problemas de enfriamiento interno del horno. Para llevar a cabo este procedimiento, se enuncian a continuación los pasos a seguir así como también los cálculos matemáticos y la lista de información que se requiere capturar para llegar a obtener la altura ideal.

1) Colocar un manómetro en la entrada de la caja de viento y obtener así el valor de la presión en onzas por pulgada cuadrada (on/in) del horno trabajando sin carga.

2) Calcular la altura ideal por medio de la siguiente fórmula:

$$h = 10.5 P + 6, \text{ siendo } P \text{ la presión del horno sin carga}$$

3) Nivelar la cama a la altura calculada.

4) Con el horno cargado hasta el tope, activar el aire y contar los minutos que tarda en salir un chorro continuo por el canal de sangrado.

- de 8 a 10 minutos la cama es correcta.
- menos de 8 minutos la cama esta baja.
- mas de 10 minutos la cama esta alta.

5) Hacer la variación de la altura hasta obtener una cama correcta.

### *III.3.4 Labores finales en el manejo del Horno Cubilote*

*1.- Una vez obtenida la altura correcta, se prosigue con la carga metálica (Chatarra, Lingote, Ferroaleaciones, Fundentes) en el orden que se dió en páginas anteriores, iniciándose así el ciclo carga metálica-carga de carbón.*

*2.- Teniendo el horno saturado hasta la zona de carga por medio de metal por fundir o carbón, se deberá tener el cuidado de mantenerlo siempre lleno para evitar así pérdidas de energía en el sistema, para esto es recomendable tener una persona encargada para dicha función. El horno estará listo para ser descargado cuando el crisol esté lleno (esto se observa por medio de las toberas), en este momento se destapará el orificio de evacuación de metal líquido, que será vendido en una olla recubierta con material refractario, una vez llena ésta, el orificio será tapado con arcilla refractaria.*

*3.- El ciclo terminará con una carga metálica en el momento en que se tenga el horno con el suficiente metal para todos los moldes que queden por ser vaciados.*

4.- Dentro del ciclo mencionado anteriormente, se tiene que hacer una limpieza en operación, esta consiste en dejar salir toda la escoria generada en el proceso. Esta operación de evacuación de escoria se llevará a cabo cada hora o antes si se requiere, utilizando el orificio destinado para este proceso. Preferentemente, éste se dejará abierto el mayor tiempo posible para lograr una mejor calidad del metal, ya que el horno estará trabujando de una manera limpia con una contaminación mínima de la escoria hacia el metal líquido.

5.- El gasto de metal fundido o la capacidad de fusión del horno es manejada a través de una válvula que regula la entrada del aire al horno, si se requiere de una mayor capacidad, se tendrá que incrementar la entrada de aire y viceversa.

6.- Una vez que el horno haya terminado de fundir (esto se observa con una flama intensa en la zona de carga), el siguiente paso es el apagado del ventilador, el cerrado del sistema anticontaminante y el vaciado absoluto del horno hasta que el orificio de salida del metal presente escoria. Por último se hará la abertura de la plancha base, quitando los pernos de sujeción, para finalizar con el enfriamiento del horno, este puede ser mediante aire o con agua.

*El Carbón que haya quedado como residuo se podrá utilizar en la próxima fundición.*

*Habrà ocasiones en las que el horno requiera de reparación después de cada jornada, esto estard en función de la forma de manejo del horno y de la capacidad de fusión que se tenga.*

## **CAPITULO IV**

### **CALCULO Y DESARROLLO DEL DISEÑO**

*IV.1 Cálculo de las dimensiones del diseño.*

*IV.2 Cálculos técnicos.*

*IV.3 Materiales de construcción.*

*IV.4 Ubicación e instalación dentro del laboratorio.*

*IV.5 Manejo y cálculo de cargas del diseño.*

*IV.6 Prácticas a desarrollar en el diseño.*

*IV.6.1 Obtención de Hierro Fundido.*

*IV.6.2 Desarrollo de condiciones óptimas de moldes y vaciado.*

*IV.6.3 Balance térmico del horno cubilote.*

*IV.6.4 Análisis metalográfico.*

*IV.6.5 Prácticas anexas.*

#### IV. CALCULO Y DESARROLLO DEL DISEÑO

##### IV.1 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL DISEÑO

El punto de partida en el desarrollo de este tema se inicia con una interrogante: ¿Qué dimensión debe tener el diseño?, la respuesta a ésta tendrá un sin número de alternativas, las que se reducirán con los requerimientos y limitantes que se tienen en las instalaciones del laboratorio.

La serie de datos que se calculan a continuación tienen sus lineamientos en el capítulo I, en el inciso correspondiente a Dimensiones (1.3). En este se hacen los cálculos para obtener un sistema confiable, con dimensiones óptimas, dando como resultado un trabajo eficiente y seguro del mismo.

##### IV.1.1 Diámetro Interior.

Partiendo de la fórmula

$$d_i = (P/60)^{0.2} \text{ (dm)} \dots\dots\dots\text{IV.1}$$

donde "P" es la producción en Kg/hr

Con la limitante de que la duración de una práctica de laboratorio es de aproximadamente 2 hr por clase y suponiendo que la mitad de este tiempo se designará para hacer los preparativos tales como calentamiento y carga del Horno, restará un tiempo de 0.5 hr, para el vaciado del mismo y llenado de los moldes. A todo esto, el tiempo efectivo real de trabajo sería de 10 minutos.

Por otro lado, se tiene una capacidad de moldeo dentro de las instalaciones del laboratorio para hacer un vaciado de aproximadamente 10 moldes de 5 Kg en promedio cada uno, dando por resultado una necesidad de 50 Kg para fundir, esto tiene que ser vaciado en 10 minutos como máximo. De esto se deduce:

$$P = 50 \text{ Kg}/10 \text{ min (60 min/hr)}$$

$$P = 300 \text{ (Kg/hr)}$$

de la ecuación IV.1 para obtener el diámetro interior se tiene:

$$d_i = (300/60)^{1/3} = (50 \text{ dm}^3)^{1/3}$$

$$d_i = 2.23 \text{ (dm)}$$

Haciendo el ajuste de estas dimensiones a estándares de la Sociedad Americana de Fundidores, se desea emplear un Horno para tener una capacidad de 540 Kg/hr, lo que representaría tener una producción de 90 Kg cada 10 min y absorber de esta manera los posibles transitorios (desarrollo de piezas especiales, elaboración de lingotes), por tanto se tiene un diámetro igual a:

$$d = (P/60)^{1/3} \text{ en (dm)}$$

Sustituyendo

$$d = (540/60)^{1/3}$$

$$d = (90)^{1/3}$$

$$d = 3 \text{ (dm)}$$

para una producción  $P=540 \text{ (Kg/hr)}$

#### IV.1.2 Espesor del revestimiento y Diámetro Exterior.

Auxiliándose de la tabla 1.1 se observa que el espesor del refractario "ER" será de 4.5 pulgadas (114.3 mm). De lo anterior se deduce que el diámetro exterior "d<sub>ext</sub>" lo calculamos de:

$$d_{ext} = d_i + 2(ER) \dots\dots\dots IV.2$$

$$d_{ext} = 300 + 2(114.3)$$

$$d_{ext} = 528.3(\text{mm})$$

Concluyendo se tendrá un espesor de refractario ER= 114.3 mm y un diámetro exterior d<sub>ext</sub>= 528.6 mm.

#### IV.1.3 Altura del Horno Cubilote

Para el cálculo de este parámetro se utilizará la siguiente fórmula:

$$H = (4.5, \dots, 5)(d_i) \dots\dots\dots IV.3$$

De esta ecuación se emplea el valor más alto del rango para aquellos Hornos pequeños y el valor menor para los Hornos de grandes capacidades. Para nuestro diseño se empleará la ecuación IV.3:

$$H = 5(d_i)$$

$$H = 5 (300)$$

$$H = 1500(\text{mm})$$

Este valor representa la altura que tendrá el Horno de la zona de toberas a la zona de carga.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

#### IV.1.4 Número y Area transversal de Toberas

El área de cada una de las Toberas se obtiene a partir de la relación:

$$s1 = SI / (4, \dots, 6) (\text{cm}^2) \dots \dots \dots \text{IV.4}$$

Siendo "SI" el área del interior del Horno, "s1" la suma de las áreas de las Toberas se utiliza el valor menor para los Hornos de pequeña capacidad y viceversa, por tanto en nuestro diseño se tiene el cálculo de la sección del Horno:

$$SI = d^2/4 \dots \dots \dots \text{IV.5}$$

$$SI = (3)^2/4$$

$$SI = 7.068 (\text{dm}^2)$$

sustituyendo para el cálculo de la sección de las Toberas obtenemos:

$$s1 = 7.068/4$$

$$s1 = 1.76 (\text{dm}^2)$$

Se pretende que el Horno Cubilote del diseño tenga una buena distribución de aire. esto se logra mediante la instalación de 4 Toberas, de aquí se calcula la sección de cada una de ellas:

$$s1 = s1/4 \dots \dots \dots \text{IV.6}$$

$$s1 = 1.76/4$$

$$s1 = 0.44 (\text{dm}^2)$$

Siendo "s1" el área de cada una de las Toberas, con un diámetro igual a

$$d1 = ((s1 \cdot 4) / 3.1416)^{1/2} \dots \dots \dots \text{IV.7}$$

sustituyendo

$$d_i = (((0.44)(4)/3.1416)^{1/3})$$

$$d_i = 0.74 \text{ (dm)}$$

donde "di" es el diámetro de cada una de las Toberas equivalente a 7.4 cm.

Como se mencionó, es recomendable una inclinación de 15° en las Toberas para facilitar de esta manera la penetración del aire hacia el centro del Horno.

#### IV.1.5 Tuberta y cámara de aire

En la obtención de las dimensiones de la tuberta de conducción y de la altura de la cámara de aire, nos auxiliaremos de la tabla 1.2, esta nos proporciona tanto el tamaño de la caja de viento, como el diámetro del ducto, en función del tamaño nominal del Horno, ajustando este número a un valor de 2. De la tabla se observa que se tendrá un diámetro del ducto de 130 mm y dimensiones de la caja de viento de 130 de ancho por 520 mm de altura.

#### IV.1.6 Altura del Crisol Hc

La fórmula siguiente relaciona el diámetro interior "di" con la altura del crisol, la cual esta contemplada de la solera del piso hacia el plano de las Toberas, de esto se obtiene:

$$H_c = (0.6, \dots, 0.8) d_i \dots \dots \dots \text{IV.8}$$

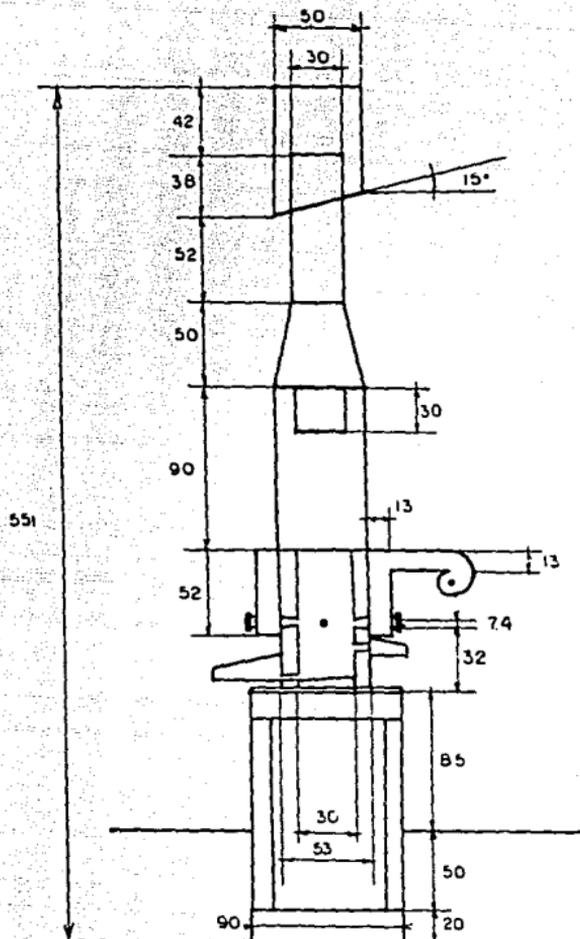
*En nuestro caso tenemos un Horno de baja capacidad por lo tanto tomaremos el valor mayor del rango de la ecuación:*

$$H_c = 0.8 \text{ di}$$

$$H_c = 0.8 \text{ (3)}$$

$$H_c = 2.4 \text{ (dm)}$$

*El plano resultante de todos los cálculos hechos en párrafos anteriores se presenta en la figura IV.1*



<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON	
TESIS PROFESIONAL		DISEÑO DE BORTO CUELLOTE	
DISEÑO <b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>		AUTORIDAD CM	ESCALA 1:30
NOMBRE DE LA LAMINA DIMENSIONES DEL DISEÑO		FECHA 13-JUN-01	FIGURA IV.1

## IV.2 CALCULOS TECNICOS

### IV.2.1 Cálculo del volumen de aire requerido para la combustión

El aire requerido para el completo desarrollo de la combustión, se obtiene en función de la fórmula siguiente:

$$G = c b \dots\dots\dots IV.9$$

donde "G" es el volumen de aire, "C" la cantidad de Carbono que se consumirá por minuto sabiendo que el 85% es el que se quema del peso del coque. Por último "b" es la cantidad de aire necesario para quemar 1 Kg de Carbón (8.89 m<sup>3</sup>/Kg de Carbón).

Para saber la cantidad de Coque que se quemará por minuto, se calculará a partir de la cantidad de metal que se fundirá (540 Kg/hr) y de la relación 1 Kg de Carbón para fundir 8 Kg de metal, por tanto se obtendrá:

$$c = (540 \text{ Kg/hr metal} / 8 \text{ Kg Coque/Kg metal}) (0.85)$$

$$c = 67.5 \text{ Kg Coque} / \text{hr} (0.85)$$

$$c = 57.37 \text{ Kg Carbono} / \text{hr} (1/60)$$

$$c = 1.045 \text{ Kg Carbono} / \text{min}$$

de aquí:

$$G = 1.045 \text{ Kg} / \text{min} (8.89 \text{ m}^3/\text{Kg})$$

$$G = 9.29 (\text{m}^3/\text{min})$$

Este es el volumen de aire requerido para la combustión.

#### IV.2.2 Cálculo de la velocidad del Aire

El siguiente paso es la introducción del volumen de aire al interior del Horno, este se tiene que hacer a una determinada velocidad, de la manera siguiente:

$$V = G/a \dots\dots\dots IV.10$$

donde "G" es el volumen calculado, "a" es el área efectiva que se calcula de:

$$a = 0.02 A_t (m^2)$$

siendo "A<sub>t</sub>" el área transversal del Horno, por tanto:

$$a = 0.02 d^2/4$$

$$a = 0.02 (0.3)^2/4$$

$$a = 1.413 (10)^{-3} (m^2)$$

Se sustituye en la ecuación de continuidad obteniendo:

$$V = G / a$$

$$V = 9.29 \text{ m}^3/\text{min} / (1.413)(10)^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = 6574.66 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

que es la velocidad del aire a la entrada.

#### IV.2.3 Cálculo de la presión del Aire

La presión con la que se inyecta el aire, se calcula con la fórmula siguiente:

$$h = (V/3.893)^2 \dots\dots\dots IV.11$$

Si "V" es la velocidad del aire previamente calculada en m/s, se desarrolla:

$$h = ((6574.66/60)/3.893)^2$$

$$h = 792.27 \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

ésta es la presión mínima que se necesita a la entrada de las Toberas.

Tomando en cuenta las pérdidas, obtenemos:

$$h_t = h (1.35) \dots\dots\dots IV.12$$

$$h_t = 792.27 (1.35)$$

$$h_t = 1069.56 \text{ (mm H}_2\text{O)}$$

ésta es la presión real necesaria a la entrada del Horno para poder inyectarse el Aire considerando pérdidas.

### IV.2.3 Cálculo de la potencia del motor del soplador-ventilador centrífugo

Para obtener la potencia del motor del ventilador centrífugo se aplicará la fórmula:

$$CV = G \text{ hl} / 4500 (\text{HP}) \dots\dots\dots \text{IV.13}$$

donde "CV" es la potencia teórica en HP, "G" es el volumen de aire en m<sup>3</sup>/min y "hl" es la presión de inyección del Aire, valores calculados previamente, por lo tanto:

$$CV = 9.29 (1069.56) / 4500$$

$$CV = 2.208 (\text{HP})$$

Considerando una eficiencia volumétrica del 60%, obtenemos por tanto una potencia mínima "CVi" de:

$$CV_i = CV / 0.6 \dots\dots\dots \text{IV.14}$$

$$CV_i = 2.208 / 0.6$$

$$CV_i = 3.68 (\text{HP})$$

Este valor es el requerimiento en el motor acoplado al ventilador centrífugo y se tendrá que hacer el ajuste a estándares comerciales.

### IV.3 MATERIALES DE CONSTRUCCION

Para tener una secuencia en el desarrollo de la descripción de los materiales requeridos en el diseño, esta se presentará tomando como base el plano inferior del Horno (cimentación), hasta su plano superior (sistema anticontaminante).

#### IV.3.1 CIMENTACION

Para la construcción de la cimentación se requiere la elaboración de una estructura conformada con perfil de riel (IPR) y anclada en concreto armado como se ilustra en la figura IV.3.1. Se requiere hacer una excavación de 70 cm con relación al nivel del piso, instalando ahí la plancha de concreto, ésta última con un espesor de 20 cm. Los 50 cm restantes se utilizarán como fosa de ayuda para el mantenimiento del interior del Horno. Concluyendo se utilizarán 4 tramos de 155 cm para las columnas y 4 tramos de 90 cm como refuerzo de la base del Horno. Sumando un total de 9.80 metros de perfil de riel IPR. Para la plancha de concreto con un volumen de  $0.162 \text{ m}^3$  (0.9 por 0.9 por 0.2 m) se requiere el siguiente material:

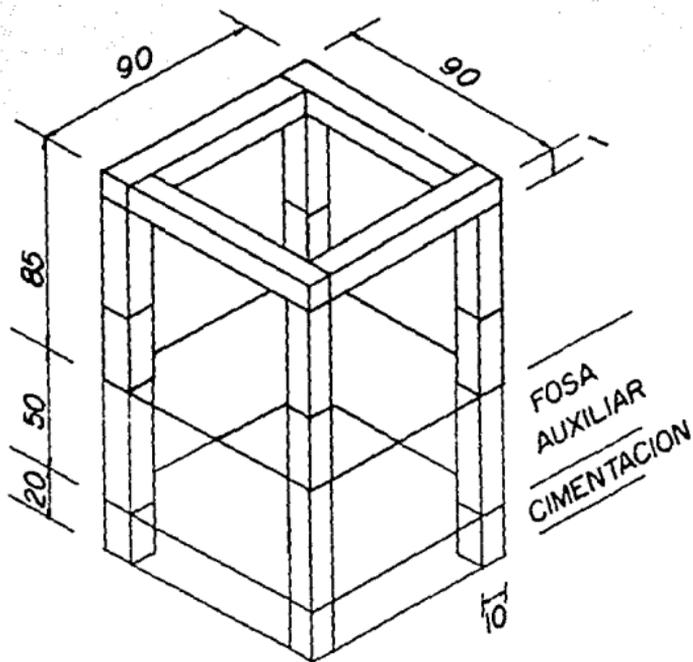
CEMENTO  $0.162 \text{ m}^3 \times 396 \text{ Kg/m}^3 = 64.2 \text{ Kg de Cemento}$

ARENA  $0.162 \text{ m}^3 \times 0.596 \text{ m}^3/\text{m}^3 = 0.1 \text{ m}^3 \text{ de arena}$

GRAVA  $0.162 \text{ m}^3 \times 0.693 \text{ m}^3/\text{m}^3 = 0.112 \text{ m}^3 \text{ de grava}$

AGUA  $0.162 \text{ m}^3 \times 0.300 \text{ m}^3/\text{m}^3 = 0.048 \text{ m}^3 = 48.6 \text{ litros}$

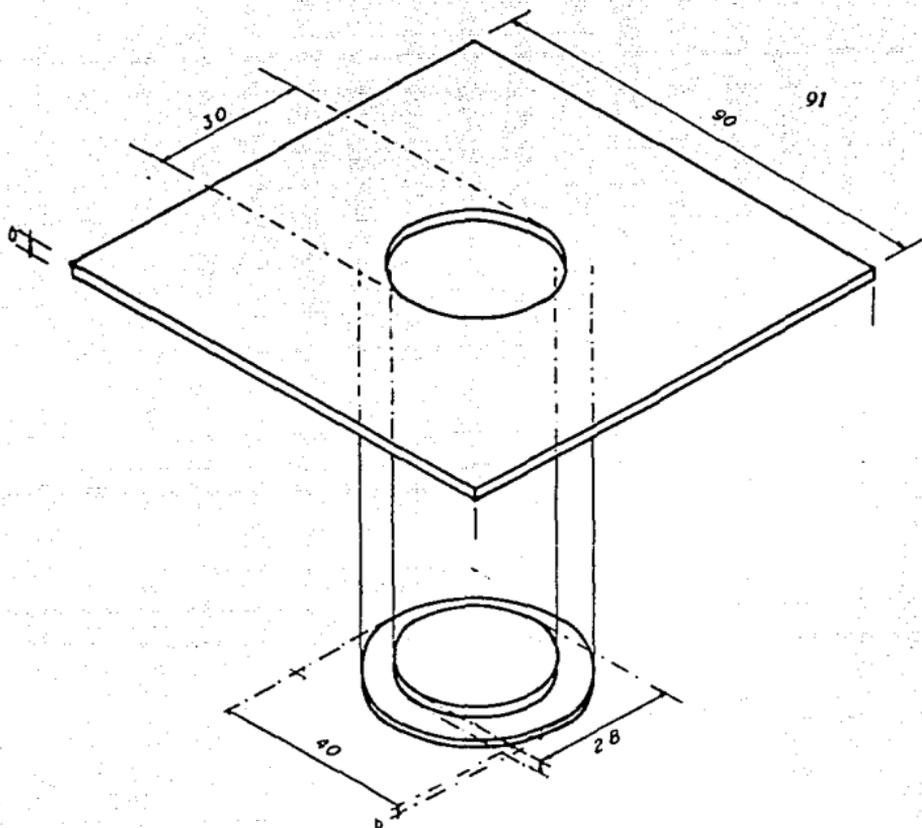
VARILLA 1/2 in 8.0 tramos  $\times 1.0 \text{ m} = 8 \text{ metros}$



<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON	
TESIS PROFESIONAL		DISEÑO DE HORNO CUEILOTE	
DISEÑO <b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>		ADOTACION c m	ESCALA 1:20
NOMBRE DE LA LÁMINA <b>ESTRUCTURA Y CIMENTACION</b>		FECHA 13-JUN-01	PÁGINA IV.3.1

#### *IV.3.2 PLANCHA BASE Y TAPA DEL PISO.*

*Se necesita, para la elaboración de este inciso, una placa de acero de 90 x 90 cm y un espesor de 3/4 de pulgada, con una cavidad en su centro de 30 cm de diámetro, esta irá soldada a la estructura metálica descrita en el inciso IV.3.1. En la cavidad se instalará una tapa con el mismo espesor de 3/4 de pulgada de la plancha de acero, con un diámetro de 28 cm. La anterior se empalmará con una placa de 3/16 de pulgada de espesor y un diámetro de 40 cm. La descripción del dispositivo anterior, se denomina como "La compuerta inferior del Horno" siendo abatible con la ayuda de bisagras y ajustada al Horno por medio de un perno sujetador (figura IV.3.2).*



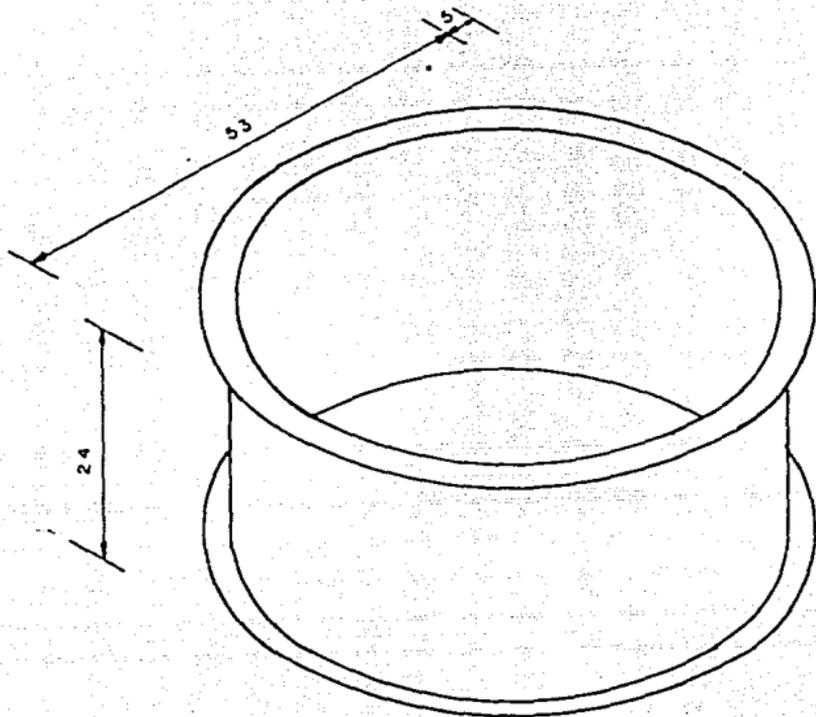
<b>U N A M</b>		<b>ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>		<b>DISEÑO DE HORNO CUBILOTE</b>	
DISEÑO <b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>		ADOTACION <b>C M</b>	ESCALA <b>1'10</b>
NOMBRE DE LA LAMINA <b>PLACA BASE DEL HORNO CON COMPONENTA</b>		FECHA <b>13-JUN-81</b>	FIGURA <b>IV-3.2</b>

### **IV.3.3 CUERPO DEL HORNO (CARCAZA)**

*Como se mencionó desde un principio, el Horno Cubilote no es más que un tubo recubierto internamente con materiales refractarios, aplicando este concepto se realizará su construcción. El tubo que se hará para la carcaza estará seccionado y unido por medio de bridas. Cada una de estas secciones del mismo irán conformando las diversas zonas del Horno, a continuación presentamos su descripción:*

#### **IV.3.3.1 Sección evacuación de metal- evacuación de escoria (crisol)**

*Se construirá un tubo de 53 cm de diámetro y una altura de 24 cm, con su respectiva conexión de brida para 12 pernos. En conclusión, se requiere una sección de 167 x 24 cm de lámina negra calibre 10 (3.47 mm). Los cortes que se realizarán se presentan en la figura IV.3.3.*

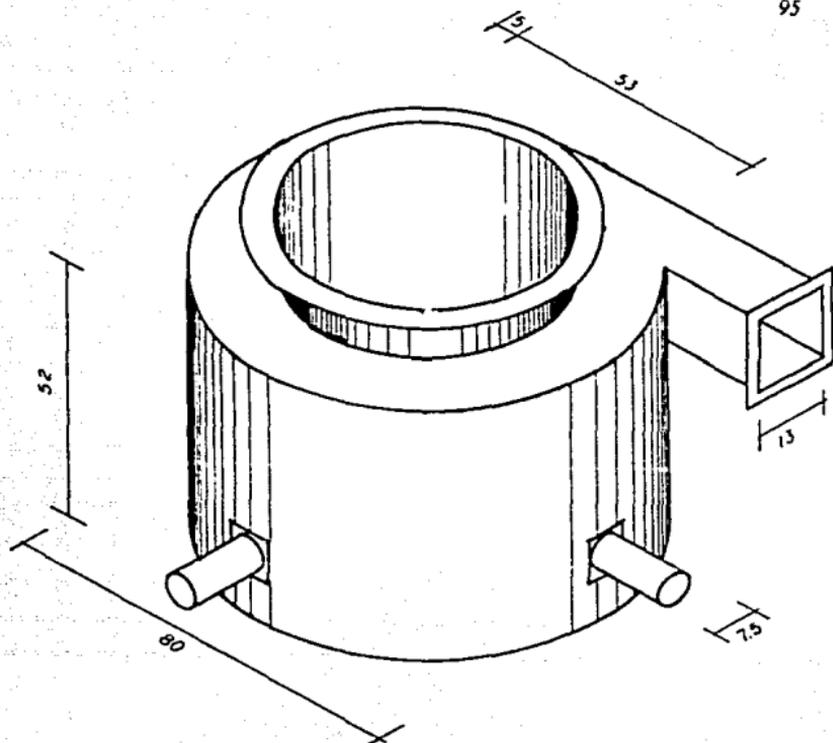


<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON	
TESIS PROFESIONAL		DISEÑO DE HORNO CUBILOTE	
DISEÑADOR <b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>		ADOTACION C M	ESCALA 1:50
NOMBRE DE LA LAMINA <b>SECCION EVACUADOR DE METAL-ESCOMA.</b>		FECHA 13-JUN-01	FIGURA N.33

#### *IV.3.3.2 Sección caja de viento toberas:*

*Se requieren dos tubos, uno de 53 cm de diámetro y otro mayor de 80 cm, ambos de 52 cm de altura. Los 2 tubos tendrán cuatro cavidades separadas cada una respecto a la otra 90° para darles el uso de toberas. El diámetro de cada uno de estos orificios será de 7.5 cm estando en la parte inferior de estos tubos. En la parte superior se hará una entrada tangencial al tubo de diámetro mayor, con una sección cuadrada de 13x13 cm. En esta sección se soldará un ducto con las mismas dimensiones de sección y una longitud de 50 cm para ser conectado al ventilador centrífugo, este tendrá una válvula de paso para regular la entrada del aire. También es necesaria la elaboración de 2 bases redondas con un diámetro externo de 80 cm y un diámetro interior de 53 cm. Posteriormente los tubos se soldarán con las bases circulares, el plano de este arreglo se presentu en la figura IV.3.4.*

*Para esta sección se requiere de 4 tramos de lámina negra, uno de 167 cm x 52 cm, otro de 252 cm x 52 cm y los 2 últimos de un diámetro de 80 cm con cavidades de 53 cm. Al igual que el inciso anterior, el calibre de la lámina será 10 (3.47 cm). Por último, no se debe olvidar que el acoplamiento entre sección y sección será por medio de bridas (12 pernos).*



<b>U N A M</b>		<b>ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>		<b>DISEÑO DE HORNO QUEILOTE</b>	
<b>DISEÑO</b> <b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>		<b>ADOTACION</b> <b>CM</b>	<b>ESCALA</b> <b>1 10</b>
<b>NOMBRE DE LA LAMINA</b> <b>SECCION CAJA DE VIENTOS-TOBERAS</b>		<b>FECHA</b> <b>13-JUN-81</b>	<b>FIGURA</b> <b>IV.3.4</b>

#### *IV.3.3.3 Sección precalentamiento-descenso de carga*

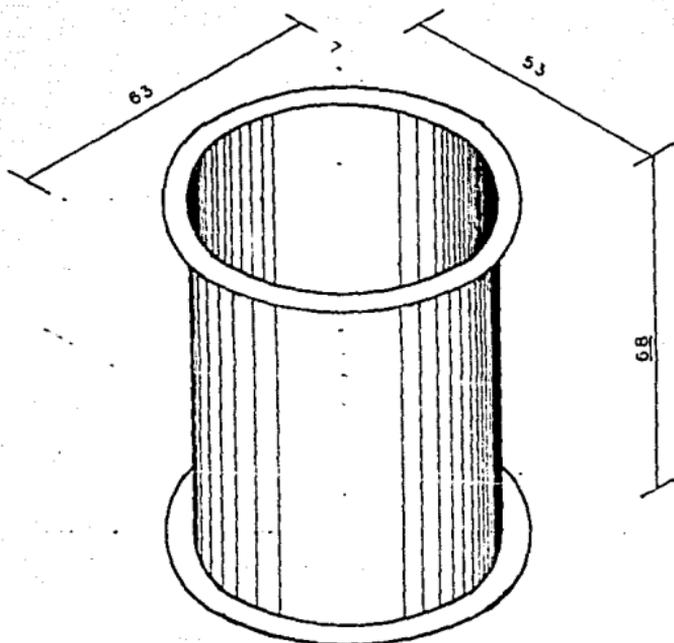
*La elaboración de esta sección requiere únicamente de un tubo de 53 cm de diámetro y una altura de 68 cm con sus respectivos acoplamientos de brida. Conjuntamente, se necesita un tramo de lámina negra calibre 10 de 167 cm x 120 cm. Figura IV.3.5.*

#### *IV.3.3.4 Sección zona de carga*

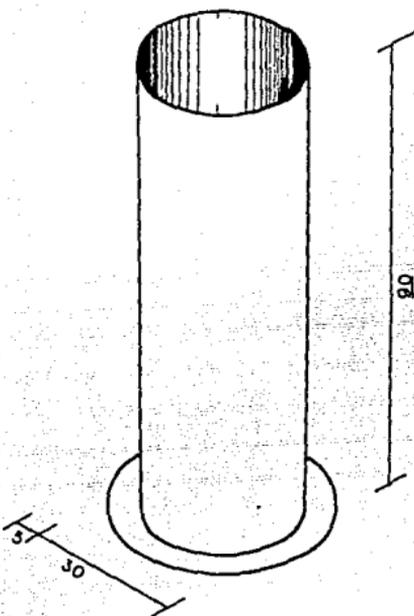
*Tubo de 53 cm de diámetro y una altura de 60 cm con una cavidad de 40x50 cm para la carga del Homo. En los extremos del tubo se harán las conexiones de brida. Para esta sección se necesita un tramo de lámina negra de calibre 10 de 167x60 cm, el plano de esta se presenta en la figura IV.3.6.*

#### *IV.3.3.5 Sección chimenea*

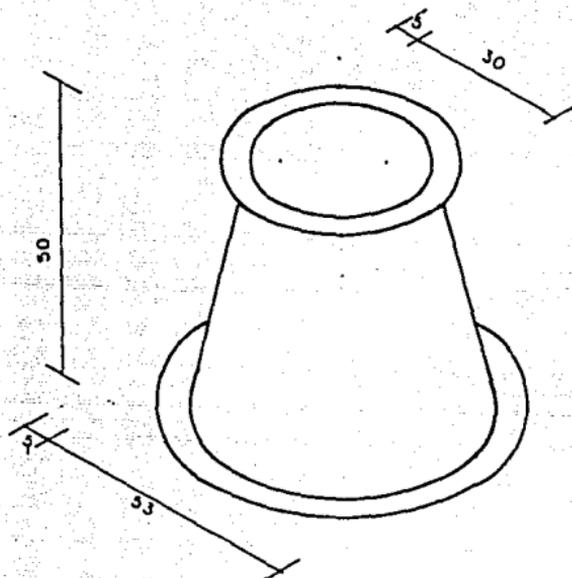
*Para la elaboración de esta sección se necesitarán 2 tubos, uno con dimensiones cónicas y el segundo cilíndrico. Para las dimensiones del tubo cónico, este se necesita con una base de 53 cm de diámetro mayor, 30 cm de diámetro menor y una altura de 50 cm. El segundo tubo, será de 30 cm de diámetro y una altura de 90 cm. Ambos tubos deben tener conexiones de brida (12 pernos) y estar elaborados con lámina negra calibre 10. Como resultado, se hacen necesarios 2 tramos de lámina negra, uno de forma trapezoidal de 167 cm de base mayor por 95 cm de base menor y una altura de 50 cm. El segundo tubo requiere de un tramo de lámina negra de 95 cm por 90 cm, figura IV.3.7*



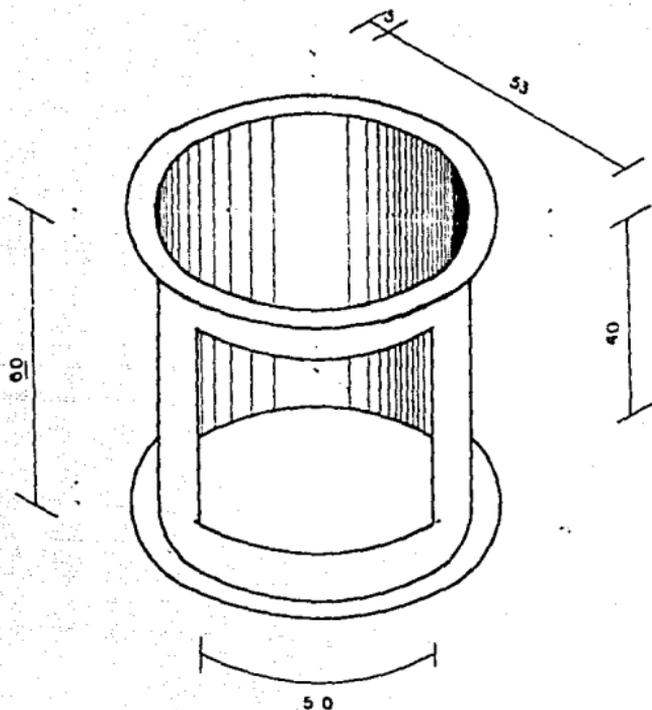
<b>U N A M</b>		<b>ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>		<b>DISEÑO DE MOTOR GUELOTE</b>	
<b>ALUMNO</b>	<b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>	<b>ACOTACION</b>	<b>ESCALA</b>
		<b>C M</b>	<b>1 10</b>
<b>NOMBRE DE LA LAMINA</b>	<b>SECCION ZONA DE PRECALENTAMIENTO-DESCENSO DE CAJON</b>	<b>FECHA</b>	<b>FIGURA</b>
		<b>13-JUN-81</b>	<b>IV.3.8</b>



<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AFAGÓN	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>		<b>DISEÑO DE HORNO CUBILOTE</b>	
DIBAJÓ <b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>		ACOTACIONES <b>CM</b>	ESCALA <b>1:10</b>
NOMBRE DE LA LÁMINA <b>SECCIÓN QUÍMICA</b>		FECHA <b>13-JUN-61</b>	FOLIO <b>IV.37</b>



<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON	
TESIS PROFESIONAL		DISEÑO DE HORNO CUELLOTE	
DESARROLLO	<b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>	ACOTACION	ESCALA
		C M	1 : 10
NOMBRE DE LA LÁMINA	SECCION CINQUENEA	FECHA	FIGURA
		13-JUN-81	IV.37



<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES <b>ARAGÓN</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>		<b>DISEÑO DE HORNO CUBILOTE</b>	
DIBUJO <b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>		ADOTACION <b>CM</b>	ESCALA <b>1 10</b>
NOMBRE DE LA LÁMINA <b>DIRECCION ZONA DE CAYMA</b>		FECHA <b>13-JUN-01</b>	FISURA <b>N.38</b>

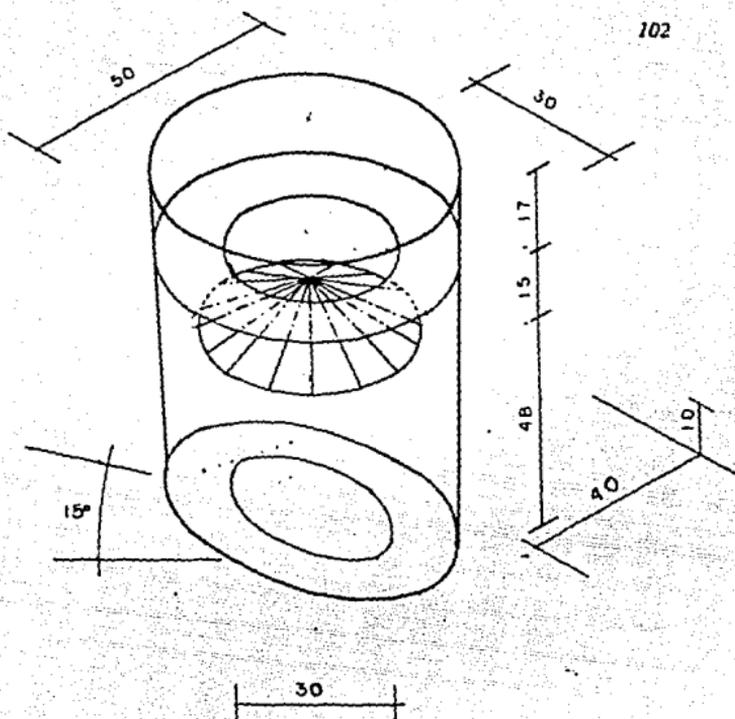
#### *IV.3.3.6 Sección sistema anticontaminante*

*Para la fabricación de esta sección requerimos como base un tubo cilíndrico truncado con un plano a  $15^\circ$  en su parte inferior. El diámetro de este tubo será de 50 cm y su altura máxima de 80 cm. Para completar la carcasa del sistema se requiere una base elíptica, cuyo desarrollo se presenta en la figura IV.3.8.*

*En el interior del Horno, para facilitar la caída del agua en el atrapado de la ceniza y hacerla manejable mediante su condensación, es indispensable un cono de 40 cm de diámetro y una altura de 10 cm instalado concéntricamente al tubo truncado mediante 4 apoyos de perfil cuadrado de 1/4 a una altura de 48 cm con respecto al punto más bajo del cilindro truncado.*

*A su vez usaremos una sección circular con un diámetro exterior de 50 cm y otro interior de 30 cm soldado a la carcasa cilíndrica a una altura de 63 cm tomando como referencia también, el punto más bajo del cilindro truncado.*

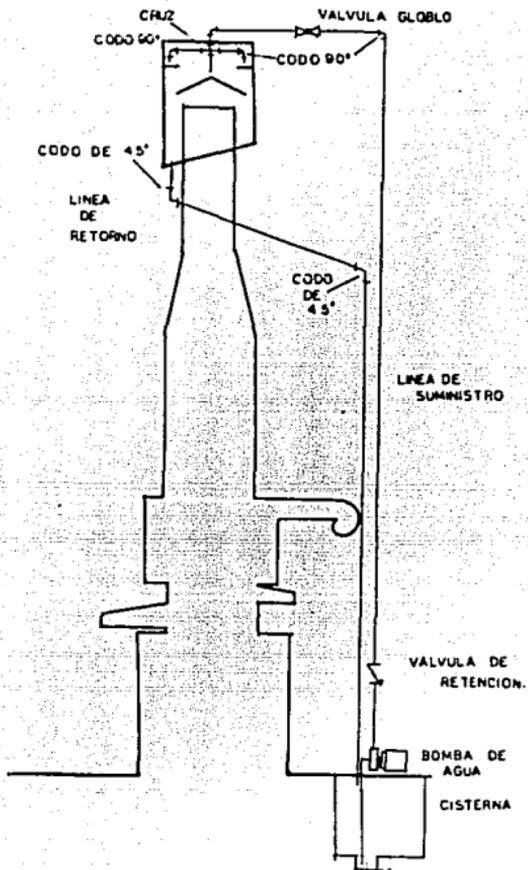
*La instalación hidráulica que suministrará agua al sistema anticontaminante constará básicamente de tubería de cobre de 1/2 pulgada, utilizándose para tal efecto, 3 codos de  $90^\circ$ , una unión universal, una válvula de globo, 13 metros de tubería de cobre de 1/2 pulgada y una bomba de 0.5 HP. Como nota extra, el caudal que suministrará la bomba será de aproximadamente 4.5 litros cada minuto, calculado este valor en función de la potencia de la bomba y de la altura del horno en la que se suministrará el agua.*



<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES <b>ARAGON</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>		<b>DISEÑO DE HORNO CUBILOTE</b>	
DISEÑO <b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>		ACOTACION <b>C 2E</b>	ESCALA <b>1:10</b>
NOMBRE DE LA LAMINA <b>TUBO TRUNCADO DEL SISTEMA ANTICONTAMINANTE Y DESARROLLO DEL ELIPSE BASE</b>		FECHA <b>13-JUN-81</b>	FIGURA <b>IV.3.8</b>

*Para el drenado del agua utilizada en el sistema de condensación de las cenizas y gases se instalará un tubo PVC de 3 in y una longitud de 33 ft.*

*Como complemento a la instalación hidráulica se necesita un depósito bajo de 500 litros para el agua que se utilizará en el sistema, por tal motivo se necesita una cisterna de 80x80x80 cm. La instalación de todo el sistema anticontaminante se presenta en la figura IV.3.9.*



104

<b>U N A M</b>		<b>ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>		<b>DISEÑO DE HORNIO CUBILOTE</b>	
<b>DESARROLLO</b> <b>FERNANDO BARRON PADILLA</b>		<b>ADOTACION</b>	<b>ESCALA</b>
<b>NOBRE DE LA LAMINA</b> <b>SISTEMA ANTICONTAMINANTE</b>		<b>FECHA</b> 13-JUN-01	<b>FOLIOS</b> IV.3.8

#### ***IV.3.3.7 Toberas***

*Fabricadas mediante lámina negra calibre 10 con una forma de cono truncado, con un diámetro mayor de 7.5 cm, uno menor de 3.5 cm y una altura de 10 cm, como se indicó al principio éstas serán cuatro y la reducción de diámetros y por consecuencia de áreas se justifica por la facilidad que proporcionará a la penetración del aire con el incremento de la velocidad.*

#### ***IV.3.3.8 Canal del pico de sangrado y evacuador de escoria***

*El canal del pico de sangrado tendrá forma de pirámide rectangular con una longitud de 40 cm, una altura desvanecida de 15 a 5 cm y un ancho de 15 cm. Con referencia al evacuador de escoria se hace necesario un prisma rectangular con una longitud de 20 cm, una altura de 10 cm desvanecida hasta 5 cm y un ancho de 15 cm. Tanto el evacuador de escoria como el pico de sangrado serán elaborados con lámina negra calibre 10 y soldados a la carcasa del Homo en su respectivo lugar.*

#### **IV.3.4 MATERIALES REFRACTARIOS**

*Para la instalación del revestimiento interno del Horno se hace necesaria la utilización de ladrillos, arcillas y morteros refractarios, para la descripción del trabajo de cada uno de estos se irán mencionando las diversas zonas desde la parte inferior hasta la parte superior del Horno (zona de carga).*

##### **IV.3.4.1 Piso del Horno**

*Elaborado mediante arena de moldeo mezclada con barro refractario con una granulometría 5B en una relación de 1 a 1. El cálculo del volumen se hará tomando en cuenta el espesor del piso calculado en capítulos anteriores, y una pendiente de 1 a 9.*

##### **IV.3.4.2 Orificios de sangrado**

*Estos se encontrarán instalados inmediatamente después del piso, pudiendo ser estos de 2 a 3 orificios, con la función de tener un orificio trabajando y los restantes de emergencia en caso de taponéo. Los materiales adecuados para la fabricación de éstos son dos: el concreto refractario y los ladrillos prefabricados adecuados a las dimensiones del Horno.*

*Los diámetros de cada uno de los orificios serán de 0.5 pulgadas.*

#### *IV.3.4.3 Evacuador de escoria, toberas y junta inferior del piso*

*Estos componentes estarán conformados con arcilla refractaria con una granulometría 16N. Como dato adicional se dirá que las toberas y el orificio evacuador tendrán un diámetro de 3.5 y 5 cm respectivamente en su punto de contacto con el interior del Horno.*

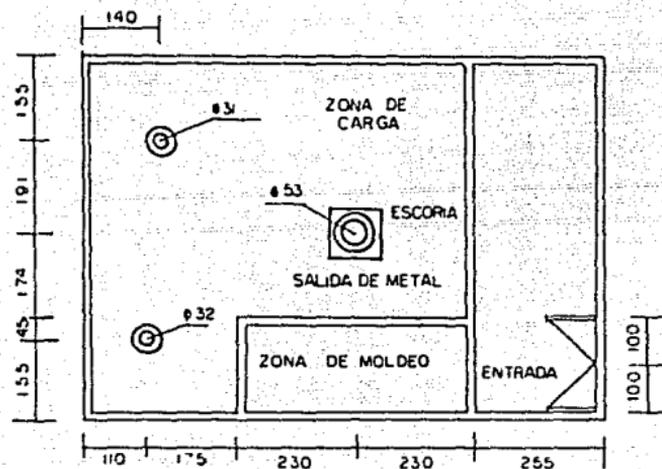
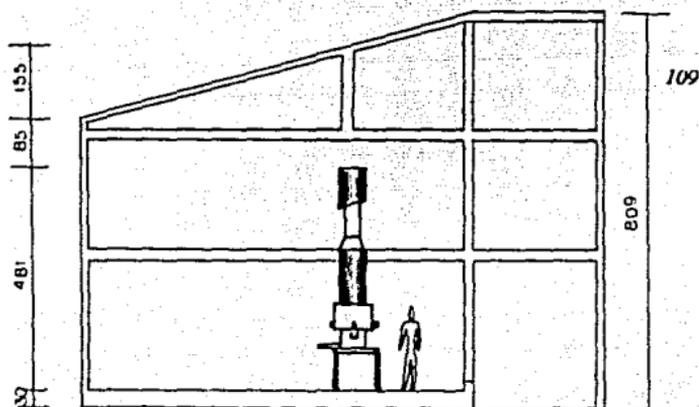
*La tapa metálica inferior del Horno tendrá juntas del mismo barro para proporcionar un sellado con el piso, este debe ser previo al de la elaboración del piso mediante arenas y barro refractarios. Se calcula que para este fin se utilizarán 20 Kg de barro 16N.*

#### *IV.3.4.4 Revestimiento de la carcaza internamente*

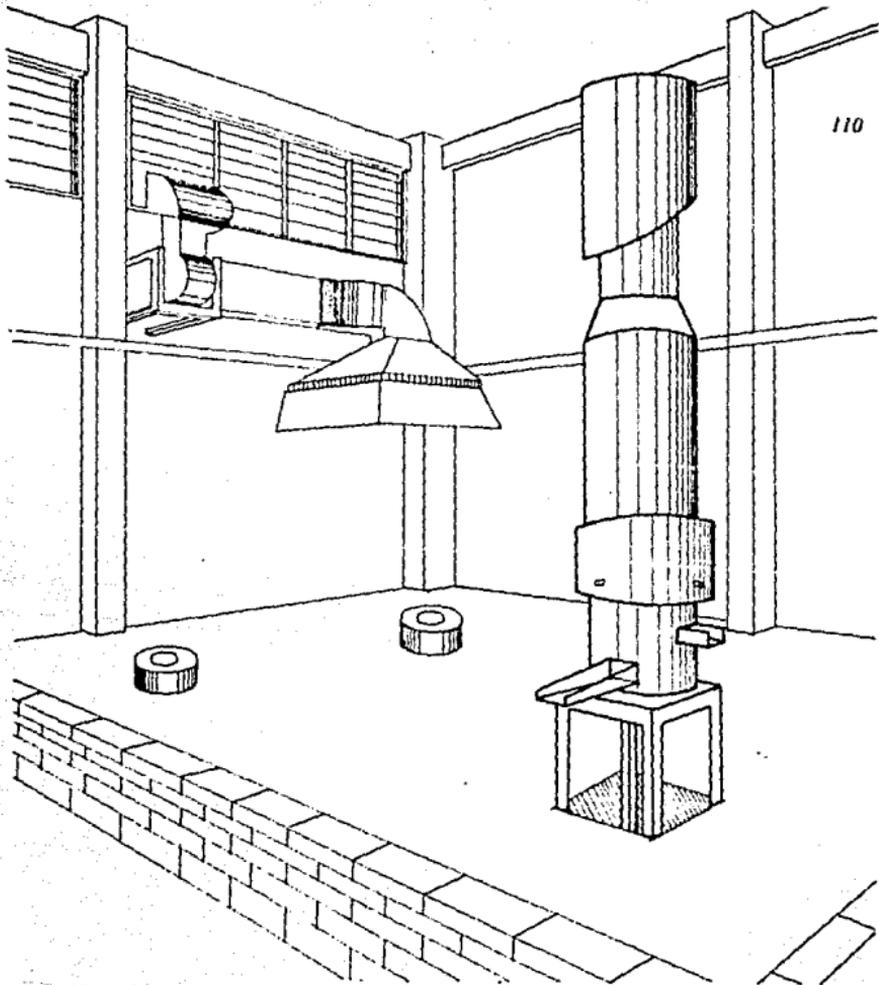
*En el revestimiento de la carcaza internamente se necesitarán ladrillos refractarios Dovela Canto N°2 para un diámetro de 50 cm y una altura de 175 cm que es la longitud que va desde el piso hasta la zona de carga, requiriéndose once (11) hiladas cada una de 31 ladrillos, resultando un total de 341 ladrillos. El empalme entre ladrillo y ladrillo se hará con liga-sil, con una cantidad de 20 litros.*

#### IV.4 UBICACION E INSTALACION DENTRO DEL LABORATORIO

*Para el sistema Homo Cubilote, se tomó en cuenta la facilidad que debería ofrecer en su manejo y mantenimiento, así como también la comodidad para proveer material fundido a la zona de moldeo sin obstaculizar la operación de los otros Hornos de crisol. Otras condiciones que se contemplan para su ubicación, son la maniobrabilidad de las materias primas para ser cargado el Homo y tener una buena evacuación de escoria. A partir de estas condicionantes se llegó a la conclusión de que la orientación del Homo debería tener el orificio de evacuación del metal hacia la zona de moldeo, presentándose esta en las figuras IV.4.1 y IV.4.2 el plano de ubicación del Homo y una perspectiva de como se encontraría el sistema ubicado dentro de las instalaciones respectivamente.*



<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ADVANSION	
TESIS PROFESIONAL		DISEÑO DE HORNO CUBILOTE	
DIBAJA <b>FERNANDO BARRÓN PADILLA</b>		ADOTACION C.M.	ESCALA 1:100
NOMBRE DE LA LÁMINA UBICACION DEL HORNO DENTRO DE LAS INSTALACIONES		FECHA 13-JUN-81	FIGURA IV.1



<b>U N A M</b>		ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ALFARERÍA	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>		<b>DISEÑO DE HORNO CUELLOTE</b>	
DISEÑO <b>FERNANDO BARRÓN PADILLA</b>		ACOTACION	ESCALA
NOMBRE DE LA LÁMINA MESESIVITA DE UBICACION DEL HORNO EN LAS INSTALACIONES		FECHA 13-JUN-81	FOLIO N.º 2

#### IV.5 MANEJO Y CALCULO DE CARGAS DEL DISEÑO

En el cálculo de cargas para el diseño se hace necesario el cálculo de la altura total del Horno "Ht" (del piso a la zona de carga). Esta dimensión se obtiene con la suma de la distancia del piso a las Toberas "Hc" (crisol) más la distancia de la zona de las Toberas a la zona de carga "H". Desarrollando:

$$Ht = H + Hc \dots\dots\dots IV.15$$

$$Ht = (1500 + 240) \text{ mm}$$

$$Ht = 1740 \text{ (mm)}$$

Otra dimensión que se requiere para el cálculo de cargas, es el diámetro del interior del Horno, este tiene un valor igual a 300 mm, calculado en el inciso IV.1.

A partir de estos datos se hará el cálculo de la carga de carbón. El espesor de cada capa de Carbón-Coque en el interior del Horno debe ser de 20 cm, de aquí se obtiene que el volumen ocupado por el Coque "Vc" será:

$$Vc = d^2/4 (20 \text{ cm}) \dots\dots\dots IV.16$$

$$Vc = (30)^2 (20 \text{ cm})/4$$

$$Vc = 14137.16 \text{ cm}^3 (1/1000000) = 0.0141371 \text{ m}^3$$

$$Vc = 0.0141371 \text{ (m}^3\text{)}$$

Como dato adicional se tiene que el peso específico del Carbón " " es de 440 Kg/m<sup>3</sup>, con esto para el cálculo del peso por carga de Carbón "P" se tiene:

$$P = Vc \dots\dots\dots IV.17$$

$$P = 0.0141371 (440 \text{ Kg/m})$$

$$P = 6.22 \text{ Kg}$$

Para el cálculo del peso de la carga metálica "Pm" se tiene una relación de 8 Kg de metal por 1 Kg de Coque. De aquí:

$$Pm = 6.22 (8)$$

$$Pm = 49.76 \text{ Kg de metal}$$

Concluyendo, el Horno será cargado por 6.22 Kg de Coque y 49.76 Kg de metal como chatarra, aceros, ferroaleaciones dependiendo de las necesidades de la fundición.

Para hacer el balance químico de esta carga se hará la consideración de que estará constituida por un 85% de chatarra de Hierro Gris y un 10% de Aceros. El balance se ajustará con ferroaleaciones hasta llegar al análisis de las características equivalentes a 3.5% de Carbono y 2.5% de Silicio, condiciones óptimas para asegurar un buen maquinado.

Para el análisis químico se tiene:

La chatarra con un contenido de 3.42% de Carbono en promedio y un 2.24% de Silicio. Para el Acero un 0.57% de Carbono y un 0.0% de Silicio en promedio.

A continuación se hace el desarrollo con ayuda de una tabla equivalente a la

III.2, teniendo:

COMPONENTES DE LA CARGA	%	% C	CONTENIDO	% Si	CONTENIDO
CHATARRA	85	3.42	2.907	2.24	1.904
ACERO	10	0.57	0.057	0.00	0.000
CONTENIDO TOTAL	95	3.99	2.964	2.24	1.904
VARIACIONES		+10%	0.2964	-12%	-0.22848
CONTENIDO TOTAL REAL			3.2604%		1.6755%
AJUSTES CON FERROALEACION Y BRIQUETAS			+0.2396%		+0.8245%
ANALISIS QUIMICO FINAL			3.5		2.5

Concluyendo, se observa en la tabla una deficiencia de Carbono de 0.2396 puntos porcentuales y otra de 0.8245 puntos porcentuales de Silicio.

Para hacer los ajustes es necesario el uso de ferroaleaciones, como lo son briquetas recarburizantes (que tienen la propiedad de incrementar el contenido de Carbono) y Ferrosilicio (para el balance y ajuste del Silicio).

*Para que el balance químico esté dentro de especificaciones se tiene:*

*El Carbono con una deficiencia de 0.2396% será necesario introducir briquetas con un peso calculado a continuación tomando en cuenta los 50 Kg de que está constituida la carga metálica:*

$$0.2396(50/100)=0.1198 \text{ Kg}$$

*Estos 0.1198 Kg de Carbono serán reestablecidos mediante briquetas recarburizantes al 40% de Carbono, cada briqueta con un peso de 0.500 Kg. De aquí:*

$$0.1198 \text{ Kg}/0.40 = 0.2995 \text{ Kg de briqueta}$$

*Por tanto es necesario introducir 1/2 briqueta de 500 grs. por cada carga.*

*Para el balance del Silicio se cuenta con Ferrosilicio enriquecido al 75%, teniendo una deficiencia de 0.8245% de este elemento, por tanto:*

$$0.8245 (50/100) = 0.41225 \text{ Kg}$$

$$0.412245/0.75 = 0.5496 \text{ Kg de SiFe}$$

*Concluyendo, la carga estará constituida por 50 Kg de metal (10% de Aceros y 90% de chatarra de Hierro Gris), 0.2995 Kg de Briqueta de Carbono (briqueta recarburizante), 0.5496 Kg de Ferrosilicio y 6.22 Kg de Carbón-Coque.*

*El manejo del Horno se hará de la siguiente manera:*

*1) Instalado el Horno con materiales refractarios, previamente cerrado por sus compuertas inferiores y preparado el piso del Horno, se prosigue al llenado del interior del Horno con papel, madera o material combustible equivalente y Carbón-Coque, este último hasta llenar por completo el Horno.*

*2) A continuación se hará el encendido utilizando las Toberas y el orificio de evacuación de la escoria para la introducción de estopas prendidas.*

*3) Se iniciará el arranque del ventilador y del sistema anticontaminante.*

*4) El Horno estará listo para ser llenado con metal en el momento en que se tenga una flama intensa en la zona de carga.*

*5) Se prosigue con la carga del Horno y con las indicaciones realizadas en el capítulo III.*

## IV.6 PRACTICAS A DESARROLLAR EN EL DISEÑO

### *IV.6.1 Obtención de Hierro Fundido*

*Como se analizó en capítulos anteriores, mediante la variación de parámetros y condiciones de operación en el Horno se pueden obtener todas las series de fundiciones por ejemplo:*

- a) Hierro Blanco*
- b) Hierro Maleable*
- c) Hierro Gris*
- d) Hierro Nodular*
- e) Hierro Aleado*

*Las aplicaciones y formas de obtención fueron desarrolladas en el capítulo III.*

### *IV.6.2 Desarrollo de condiciones óptimas de moldeo y vaciado*

*En esta práctica se hará el análisis de las condiciones de moldeo, entre las que se enumeran la humedad, permeabilidad, compactabilidad de la arena, las características en conjunto con las de vaciado (temperatura de colada, tiempo de enfriamiento, temperatura de desmoldeo) ayudarán a la obtención de uno u otro tipo de la Fundición.*

#### **IV.6.3 Balance térmico del Horno Cubilote**

*A partir del poder calorífico del Carbón-Coque, de las pérdidas de energía y de la cantidad de calor requerido para hacer la fusión, se realizará un balance térmico en el Horno Cubilote. Con el desarrollo de este balance podremos encontrar una eficiencia térmica del sistema.*

#### **IV.6.4 Análisis metalográfico de la Fundición**

*Se realizará una serie de estudios metalográficos para encontrar y definir la estructura de cada una de las fundiciones. Esta práctica se llevará a cabo en coordinación con el laboratorio de Ciencia de Materiales.*

#### **IV.6.5 Prácticas anexas**

*Como complemento a las prácticas anteriores se desarrollarán las siguientes:*

- a) Obtenición del punto óptimo del sistema anticontaminante.*
- b) Estudio del comportamiento de materiales refractarios.*

**CAPITULO V**  
**COSTO DEL DISEÑO**

**V.1 Costo de inversión inicial**

**V.1.1 Costo de la estructura**

**V.1.2 Costo debido a materiales refractarios**

**V.1.3 Costo por conceptos varios**

**V.1.3.1 Equipo de protección**

**V.1.3.2 Equipo de ventilación centrífuga**

**V.2 Costo por operación**

**V.3 Costo por mantenimiento**

**V.3.1 Reparaciones menores**

**V.3.2 Reparaciones mayores**

## V. COSTO DEL DISEÑO

### V.1 COSTO DE INVERSIÓN INICIAL

*Después de haber obtenido las dimensiones y la cantidad de material utilizado en el diseño, el siguiente paso es la cuantificación de cada uno de ellos y obtener de esta manera un costo total de inversión inicial.*

*El procedimiento que se utilizará para dicho fin, será mediante el desglose del costo total, usando la sumatoria de todos los costos involucrados en cada una de las zonas, estos a su vez los dividirán en costos de la estructura, costos por materiales refractarios y costo por conceptos varios que comprenden el diseño. A continuación se desarrollan los costos de la estructura desde la cimentación hasta el sistema anticontaminante, para posteriormente cuantificar los costos debidos a materiales refractarios y los costos por conceptos varios. En este análisis se utilizaron precios de materiales vigentes a los meses de Julio y Agosto de 1991.*

### V.1.1 COSTOS DE LA ESTRUCTURA

#### V.1.1.1 Costo por concepto de Cimentación

descripción del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo por material
CEMENTO	64.2 Kg	350 Kg	22,470
ARENA	0.1 m	40,000 m	4,000
GRAVA	0.112 m	40,000 m	4,480
VARILLA	8 Kg	1,550,000 ton	12,400
ESTRUCTURA IPR	9.8 m	45,000 m	441,000
		TOTAL POR CIMENTACION	\$ 484,350.**

#### V.1.1.2 Plancha Base y Tapa del Piso

descripción del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo por material
placa acero 3/4"	90x90 cm	2,797 Kg	363,610
placa acero 3/16"	40 cm día.	2,870 Kg	71,750
		Costo por plancha base y tapa del piso	\$ 435,360.**

## V.1.1.3 Cuerpo del Horno

ZONA	DESCRIPCION DEL MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO POR MATERIAL
CRISOL	LAM.NEGRA CAL.10	167x24 cm	63,250 m	25,350
CAJA DE VIENTO	LAMINA NEGRA CALIBRE 10	167x52 cm 252x52 cm 80 cm o 80 cm o	63,250 m	54,926 82,882 31,792 31,792
DESCENSO DE CARGA	LAMINA NEGRA CALIBRA 10	167x120 cm	63,250 m	126,753
CARGA	LAM.NEGRA CAL.10	167x60 cm	63,250 m	63,376
CHIMENEA	LAM.NEGRA CAL.10	167x50 cm 95x90 cm	63,250 m	52,813 54,078
COSTO TOTAL DEL CUERPO DEL HORNO				523,762

## V.1.1.4 Sistema Anticontaminante

descripción del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo por material
LAMINA NEGRA CALIBRE 10	157x80 cm	63,250 m	79,442
	52 cm o		13,432
	23 cm o		2,627
	50 cm o		12,419
TUBERIA DE COBRE 1/2" o	13 mts	4,666 m	60,666
CODOS 90°	3 piezas	700 c/u	2,100
UNION UNIVERSAL	1 pieza	5,000	5,000
VALVULA DE GLOBO	1 pieza	8,500	8,500
BOMBA DE 1/2 HP	1 pieza	250,000	250,000
TUBERIA DE PVC 3" o	10 mts	4,500 m	45,000
COSTO DEL SIS. ANTICONTAMINANT			\$ 479,186.**

ZONA	DESCRIPCION DEL MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO POR MATERIAL
CISTERNA	VARILLA 1/2"	48 Kg	\$1,550,000/TON	74,400
	CEMENTO	139 Kg	\$350/Kg	48,650
	ARENA	0.209 m	\$ 40,000/m	8,360
	GRAVA	0.246 m	\$ 40,000/m	9,840
COSTO DE LA CISTERNA				141,250

Costo total del sistema anticontaminante \$ 620,436.00

### V.1.1.5 Toberas

descripción del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo por material
LAMINA NEGRA CALIBRE 10	24x10 cm	63,250 m	1,518
	24x10 cm		1,518
	24x10 cm		1,518
	24x10 cm		1,518
COSTO TOTAL DE TOBERAS			\$ 6,072.**

### V.1.1.6 Canal de pico de Sangrado y Evacuador de Escoria

descripción del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo por material
LAMINA NEGRA CALIBRE 10	45x40 cm	63,280 m	11,385
	30x20 cm		3,795
COSTO TOTAL POR CANALES DE SANGRADO Y ESCORIA.			\$ 15,180.**

El Costo Total de la Estructura metálica del horno lo obtendremos haciendo la sumatoria de los costos de cimentación, de la plancha base y piso, del cuerpo del horno (zonas componentes), del sistema anticontaminante, de toberas y, del pico de sangrado y evacuador de escoria.

Costo Total de la Estructura = \$ 2,085,160.00

## V.1.2 COSTOS DEBIDOS A MATERIALES REFRACTARIOS

ZONA	DESCRIPCION DEL MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO POR MATERIAL
PISO DEL HORNO	ARENA SILICA	20 Kg	220 Kg	4,400
	BARRO REFRAC.5B	20 Kg	172 Kg	3,440
ORIFICIO DE SANGRADO	CONCRETO REFRACTARIO ALUKON	5 Kg	2,020 Kg	10,100
EVACUADOR DE ESCOR. TOB. PISO	ARCILLA REFRACTARIA 16 N	20 Kg	250 Kg	5,000
VESTIDO INTERNO CARCAZA	LADRILLO REFRACTARIO DOVELA CTO. # 2	341 LADRILLOS	2,401 pza	818,741
COSTO TOTAL POR MATERIALES REFRACTARIOS				841,681

### V.1.3 COSTO POR CONCEPTOS VARIOS

En este punto se evalúan los gastos debidos a equipo de protección y el sistema de ventilación centrífuga que tiene el Homo en diseño.

#### V.1.3.1 Equipo de protección

descripción del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo por material
POLAINAS DE ASBESTO	2 PARES	18,850	37,700
GUANTES DE ASBESTO	2 PARES	22,640	54,280
PANTALON DE ASBESTO	2 PIEZAS	68,620	137,240
CHAMARRA DE ASBESTO	2 PIEZAS	79,040	158,080
COSTO TOTAL DE EQUIPO PROTECC.			\$ 387,300.**

#### V.1.3.2 Equipo de ventilación centrífuga.

descripción del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo por material
VENTILADOR CENTRIFUGO	1	352,000	352,000
COSTO TOTAL DE VENTILADOR CEN.			\$ 352,000.**

**COSTO TOTAL POR CONCEPTOS VARIOS = \$ 739,300.\*\***

**COSTO DE INVERSION INICIAL (CONSTRUCCION)**

*El costo de Inversión inicial se obtendrá desarrollando la sumatoria de los costos de la estructura, los costos debidos a materiales refractarios y los costos por conceptos varios,*

*por tanto*

**COSTO DE INVERSION INICIAL = \$ 3,666,141.™**

## V.2 COSTO POR OPERACION

El costo por operación es la suma de todos los gastos que se realizan para el funcionamiento del horno. Este costo será el producto de los gastos debidos a combustible (coke), fundentes, chatarra, lingote (opcional) y ferroaleaciones (opcional). Los gastos anteriores están limitados a la cantidad de metal que se desea fundir, dato calculado en el capítulo anterior que nos ayudará a dicho fin.

descripción del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo por material
CHATARRA	50 Kg	630 Kg	31,500
CARBON COKE	6.22 Kg	721 Kg	4,484
BRIQUETA CARBON	250 grs	282 Kg	70.5
FUNDENTES	1.8 Kg	130 Kg	234
FERROSILICIO	550 grs	2,940 Kg	1,617
COSTO TOTAL POR OPERACION DEL HORNO			\$ 37,905.00

### V.3 COSTO POR MANTENIMIENTO

*El costo por mantenimiento representa los gastos que están involucrados en reparaciones para dar un trabajo seguro y de calidad del diseño. Estas reparaciones, para una mejor operación, se dividen en reparaciones menores y reparaciones mayores.*

*Las reparaciones menores son aquellas que requieren un mínimo de tiempo para realizarse, así como también tienen un costo menor para llevarse a cabo. En caso contrario las reparaciones mayores requieren de un mayor tiempo por invertir y gastos mayores. En seguida se hace el análisis de estos dos conceptos aplicados directamente a nuestro diseño.*

### V.3.1 Reparaciones menores

Este tipo de mantenimiento incluye la reparación del crisol, de las toberas, de los orificios de sangrado, del evacuador de escoria y del piso del horno, realizándose después de 10 prácticas que equivalen a 500 Kg de metal fundido. Este también se puede realizar cuando el refractario del crisol se observe deteriorado en un 50% de su espesor. Esta reparación incluye únicamente materiales refractarios, como son ladrillos dovela cunto N°2, concreto Alukon, arcilla 16N, barro 5B y arenas sílicas,

por tanto

descripción del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo por material
Concreto Alukon	5 Kg	2,020 Kg	10,100
Arcilla 16N	20 Kg	250 Kg	5,000
Barro 5B	20 Kg	175 Kg	3,500
Arena Sílica	20 Kg	220 Kg	4,400
Ladrillo Dovela 2	124 pzas	2,401 pza	297,724
		Costo Total por Reparación menor	\$ 320,724.**

### V.3.2 Reparaciones mayores

El concepto de reparaciones mayores en comparación con el concepto anterior, implica un gasto mayor y tiempo más amplio para su realización, siendo este de 2 a 3 veces después de hacerse realizado el mantenimiento menor. Este tipo de mantenimiento se encarga de realizar una renovación de todos los materiales refractarios que se encuentran en el horno. Al igual que las reparaciones menores, se utilizan materiales como son concretos, arcillas, barro, arenas refractarias y sobre todo ladrillos dovela canto Nº2.

Por tanto

descripcion del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo por material
Concreto Alukon	5 Kg	2,020 Kg	10,100
Arcilla 16N	20 Kg	250 Kg	5,000
Barro 5B	20 Kg	175 Kg	3,500
Arena Silica	20 Kg	220 Kg	4,400
Ladrillo Dovela 2	341 pzas	2,401 pza	818,741
		Costo Total por Reparacion mayor	\$ 841,741.**

## CONCLUSIONES

*La finalidad de este proyecto no es, solamente la realización física de un horno, sino el dar la pauta para que otros estudiantes realicen trabajos equivalentes en favor de nuestra casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México.*

*La creación del horno cubilote abrirá nuevas oportunidades de desarrollo a los estudiantes de las carreras de ingeniería mecánica, civil, diseño industrial y arquitectura, al representar una herramienta para sus trabajos, como lo es la fundición de hierro gris.*

*Es factible realizar este proyecto dentro de las instalaciones gracias a que tenemos el espacio requerido, el costo es relativamente bajo, así como también contamos con la ayuda de los talleres de soldadura y pailería, para la manufactura del mismo.*

*Si a todo lo anterior agregamos la participación activa de los estudiantes mediante la canalización de sus prácticas hacia la elaboración del horno, que además de ser una experiencia didáctica de inculcable valor por el aprendizaje que conlleva, les brindará la oportunidad de realizar distintas prácticas de gran utilidad que les proporcionará la experiencia indispensable para enfrentarse profesionalmente en el campo de trabajo.*

*A partir de los resultados obtenidos de mis investigaciones, se puede continuar con otras alternativas de investigación como serían la realización de mejores sistemas anticontaminantes, la búsqueda de nuevos combustibles, la creación de fundiciones con diversas propiedades, por citar algunos.*

*Así estaríamos logrando no solamente ayudarnos a aprender sino también mejorartamos el nivel de calidad de la Universidad dentro de sus instalaciones.*

**BIBLIOGRAFIA****1.- SIDNEY H. AVNER****INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA****2ª EDICION****MC. GRAW HILL MEXICO 1981****2.- CAPELLO EDUARDO****TECNOLOGIA DE LA FUNDICION****3ª EDICION****ED. GUSTAVO GILI MEXICO 1972****3.- APRAIZ BARREIRO JOSE****FABRICACION DE HIERRO, ACERO Y FUNDICION.****2ª EDICION****URMO S.A. DE EDITORES****BARCELONA ESPAÑA 1978****4.- FLINN RICHARD ALUYSIUS****MATERIALES PARA INGENIERIA Y SUS APLICACIONES****5ª EDICION****MCGRAW HILL MEXICO 1981**

**5.- DUPONCHELLE JOULES****MANUAL DEL FUNDIDOR DE METALES****6ª EDICION****GUSTAVO GILI MEXICO 1979.****6.- GONZALEZ VARGAS FERNANDO****INTRODUCCION AL DISEÑO Y OPERACION DEL HORNO CUBILOTE****1ª EDICION****SOCIEDAD MEXICANA DE FUNDIDORES AC MEXICO 1980****7.- BAUMERSTER THEODORE****MANUAL DEL INGENIERO MECANICO MARKS****2ª EDICION****MC GRAW HILL MEXICO 1989**