



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**Diseño y Proyecto de un Horno para la Forja  
en los Talleres de Ingeniería Mecánica**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de  
**Ingeniero Mecánico Electricista**

P r e s e n t a :

**Sergio Palma Escandón**

Dir.: Ing. Jesús Revuelta Gutiérrez

México, D. F.

1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## INDICE GENERAL

CAPITULO		PAGINA
I	GENERALES	2
	Introducción	2
	Objetivos	4
	Generalidades	5
	La Forja	6
	Sistemas del Horno y sus Diagramas de flujo	7
	Medidas de Seguridad	13
II	REFRACTARIOS	18
	Refractarios Densos	18
	Refractarios Aislantes	27
	Morteros	30
	Concretos Refractarios	36
	Concretos Aislantes	43
III	DISEÑO DEL HORNO	49
	Forma del Horno	49
	Dimensiones del Horno	50
	Construcción del Horno	53
	Chimenea	133
	El Quemador de Petróleo	144
	Estructura Metálica del Horno	145
IV	CALOR NECESARIO PARA OPERAR EL HORNO.	163
	Magnitud de Trabajo	163
	Cálculo de la Energía que se Utilizará para operar el horno.	164
	Suma de Calores	178
V	COMBUSTIBLE	180
	Introducción	180
	Análisis de Gas	184
	Análisis del petróleo diáfano	196
	Análisis de los Precios de ambos Combustibles	203
	CONCLUSIONES	205
	BIBLIOGRAFIA	212

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1-I	Diagrama de Flujo del Sistema de Combustible	9
2-I	Diagrama de Flujo del Sistema de los Gases de Combustión	11
3-I	Diagrama de Flujo del Sistema de Sólidos	12
1-III	Dimensiones del Horno	52
2-III	Arreglo de Paredes Laterales y Pared de Fondo	98
3-III	Arreglo del Piso del Horno	111
4-III	Arreglo de la Bóveda	124
5-III	Arreglo de la Bóveda	125
6-III	Compuerta del Horno	134
7-III	Corredera de la Compuerta	135
8-III	Detalle de la Compuerta	136
9-III	Mecanismo de la compuerta	137
10-III	Construcción Refractaria del Horno	138
11-III	Tipo de Ladrillo	139
12-III	Tipo de Ladrillo	140
13-III	Tipo de Ladrillo	141
14-III	Dibujo Frontal con Detalle de Amarre	148
15-III	Disposición de la Pared del Horno	149
16-III	Estructura Metálica del Horno	150
17-III	Cortes del Horno de Forja	160
18-III	Horno de Forja	161
1a-IV	Abertura de la Compuerta	173
1b-IV	Abertura de la Chimenea	173
1-V	Formación de Carbono en el Tabique Deflector	183

FIGURA

PAGINA

2-V

Variación de la Velocidad en la Cámara Refractaria del Quemador

185

## INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA		PAGINA
1-II	Conductividad Térmica para Ladrillos Aislantes	32
1-III	Temperatura de la Cara Fría	71
2-III	Pérdida de Calor	72
3-III	Temperatura de la Interfase	73
4A-III	Valor Equivalente en Pulgadas de Ladrillo	74
4B-III	Valor Equivalente en Pulgadas de Ladrillo	75
5-III	Valor Equivalente en Pulgadas de Ladrillo	76
6-III	Valor Equivalente en Pulgadas de Ladrillo en base al factor "K"	77
7A-III	Factor "K"	78
7B-III	Factor "K"	79
8-III	Factor "K"	80
9-III	Factor "K"	81
1-IV	Curvas para Distintos Espesores de Pared	174
2-IV	Radiación del Cuerpo Negro en Función de la Temperatura	175
3-IV	Radiación a través de Aberturas de Formas Diversas	176

## INDICE DE TABLAS

TABLA		PAGINA
1-II	Ladrillos Aislantes	31
2-II	Morteros	37
3-II	Morteros	38
4-II	Pruebas de Control de Conos Piromé- tricos	39
5A-II	Concretos Refractarios Densos	47
5B-II	Concretos Refractarios Aislantes	47
1-III	Ancho Aproximado equivalente de la- drillo en pulgadas	68
2-III	Datos para Arco de 9" (299 mm)	126
3-III	Angulos	152
4-III	Canales	153
5-III	Vigas	154
6-III	Detalle de Vigas	155
	Datos estimativos	142

## CAPITULO I

### GENERALES

1. Introducción.

2. Objetivos.

3. Generalidades.

4. La Forja.

5. Sistemas del Horno y sus Diagramas de Flujo.

A) Sistema del Combustible.

B) Sistema de los Gases de Combustión.

C) Sistema de Sólidos (Introducción y Extracción de las Piezas del Horno).

6. Medidas de Seguridad.

## CAPITULO I

### GENERALES

#### Introducción.

El horno que se presenta tanto en su diseño y proyecto, estará destinado a trabajos de forja, en el laboratorio de ingeniería mecánica. En el horno se trabajarán barretas de bajo contenido de carbono, aprovechando las características plásticas del material.

El objetivo de este proyecto es cambiar el anticuado sistema que actualmente opera en el laboratorio, que consiste en un horno de fragua de combustible sólido el cual dificulta el desarrollo de la práctica, pues las materias volátiles molestan al operario.

Además el almacenamiento del combustible empleado, ocupa una área considerable en el laboratorio, que podría ser útil para otros fines. El combustible sólido se caracteriza por su difícil manipuleo, lo que entorpece el buen funcionamiento del laboratorio y de las prácticas. Implicando que el equipo es obsoleto tanto por su uso como por su costo.

La tecnología de la forja, está directamente ligada al proceso de la humanidad, ya que desde el siglo XIII de nuestra era, se desarrollaba esta operación en forma rudi-

mentaría, hasta nuestros tiempos en los cuales se utilizan martillos neumáticos y prensas para producción de piezas complicadas.

El diseño de los hornos de forja han tenido un gran desarrollo en los últimos años. Cada horno es diferente e implica nuevas experiencias, debido al avance continuo de la tecnología y ciencias auxiliares como la química (en la combustión) así como en la resistencia y calidad de los refractarios, quemadores y sistemas de control.

Para la aplicación de este trabajo, se desarrollarán las técnicas y conocimientos en este ramo, con el objeto de lograr un horno de forja con la mayor eficiencia y economía, esperando que estos conceptos puedan ser de utilidad práctica.

Los hornos de forja corresponden al tipo de hornos industriales en los que se imparte calor a la carga para elevar la temperatura de ésta, sin pretender alcanzar ninguna reacción química o cambio de estado tal como la fusión o vaporización. Tales hornos también se denominan "hornos de calentamiento de metales".

Así por ejemplo, el acero al alcanzar las temperaturas adecuadas adquiere propiedades de plasticidad, los esfuerzos de compresión o de tracción aprovechan estas pro-

piezas para dar la forma deseada.

### Objetivos.

El horno que se propone en este trabajo es un horno de combustible líquido con un depósito fuera del Laboratorio.

Los objetivos son:

1. Mejorar las condiciones de trabajo del operario en cuanto a comodidad y seguridad.
2. Calentar una variedad de tipos de aceros en cuanto a su forma, tamaño y composición.
3. Aprovechar el sistema de combustible de petróleo diáfano para la fundición de aluminio.
4. Ahorro de espacio en el Laboratorio teniendo el depósito de combustible fuera.
5. Obtener una mayor limpieza dentro del laboratorio.
6. Innovar la práctica de forja para la producción de distintas piezas que pueden ser útiles a la industria o al uso interno de la universidad en sus proyectos de investigación en el diseño y construcción.

## Generalidades.

Este horno está constituido básicamente, por una cámara de combustión en donde se depositan los materiales a forjar; un quemador de petróleo para la combustión dentro del horno; una compuerta por donde serán introducidas las piezas a forjar; una chimenea para la salida de los gases de la combustión.

El interior de la cámara de la combustión estará construida de materiales refractarios resistentes a altas temperaturas y la abrasión, después llevará un material refractario aislante que no permita el paso del calor al exterior del horno, en seguida, si es conveniente, se le cubrirá con un material de mayor poder aislante al paso de calor (muy baja conductividad térmica).

El horno tendrá una estructura metálica con la finalidad de darle una mayor rigidez: estará cubierto por lámina metálica y toda su estructura estará apoyada por elementos estructurales soldados entre sí.

La compuerta del horno será móvil y se fijará en una determinada abertura cuando la práctica de forja así lo requiera.

Para las prácticas actuales que se realizan en el La

boratorio la compuerta estará fija en una abertura de 3 pulg. (7.6 cms.) para que las barras a calentar sean introducidas y extraídas fácilmente por el operario.

El horno estará provisto de una chimenea en la parte superior para la expulsión de los gases de la combustión.

Los combustibles propuestos a ser empleados son el petróleo diáfano o el gas L.P.

### La Forja.

**Definición:** La forja es la operación que consiste en modificar la forma de los metales, mediante la aplicación de esfuerzos de compresión o de tracción a los metales calientes aprovechando las características plásticas de los mismos.

La forja que se desarrolla en el laboratorio se le llama "pequeña forja", que comprende el trabajo a mano y el trabajo mecánico (martillos mecánicos, prensas, etc., de baja capacidad).

Inicialmente nuestro horno no estará implementado de control automático de temperatura. Por esta razón hemos visto la necesidad de complementar este trabajo con una tabla

de colores de forja cuyos valores son los siguientes:

COLORES	TEMPERATURAS
Rojo incipiente	525°C (977°F)
Rojo oscuro	700°C (1292°F)
Rojo cereza incipiente	800°C (1472°F)
Rojo cereza claro	1000°C (1832°F)
Naranja oscuro	1100°C (2012°F)
Naranja claro	1200°C (2192°F)
Blanco	1300°C (2372°F)
Blanco candente	1400°C (2552°F)

Para los trabajos de forja en aceros por lo general la temperatura varía de 1100°C a 1200°C. Según la tabla anterior el material que está siendo calentado debe tener un color entre el naranja oscuro y el naranja claro.

En caso de piezas más complejas se pueden usar los pirómetros ópticos o de par termoeléctrico.

### Sistemas del Horno y sus Diagramas de Flujo.

Los sistemas que comprende el horno son los siguientes:

- A) Sistema del Combustible.
- B) Sistema de los Gases de Combustión.

C) Sistema de Sólidos (Introducción y Extracción de las Piezas del Horno).

A continuación veremos cada uno de estos sistemas - con una breve explicación y sus respectivos diagramas de flujo.

A) Sistema de Combustible. El sistema de combustible consiste en una serie de elementos que van a producir la combustión dentro del horno. Este horno utilizará un quemador de flama larga (C) y el combustible a usar será petróleo diáfano.

El combustible será almacenado en un depósito (A) fuera del área del laboratorio y tendrá una capacidad de 1000 litros.

La bomba (B) impulsará el combustible por la tubería (E) hacia el quemador, en donde se mezclará con el aire que será proporcionado por un ventilador centrífugo (D) para hacer posible la combustión. La continuación de la tubería (F) será para enviar el combustible al crisol de fundición de aluminio, Fig. 1-I.

El equipo de combustión se verá más detalladamente en el capítulo III (Diseño del Horno).

B) Sistema de los Gases de la Combustión. Los ga-

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE.

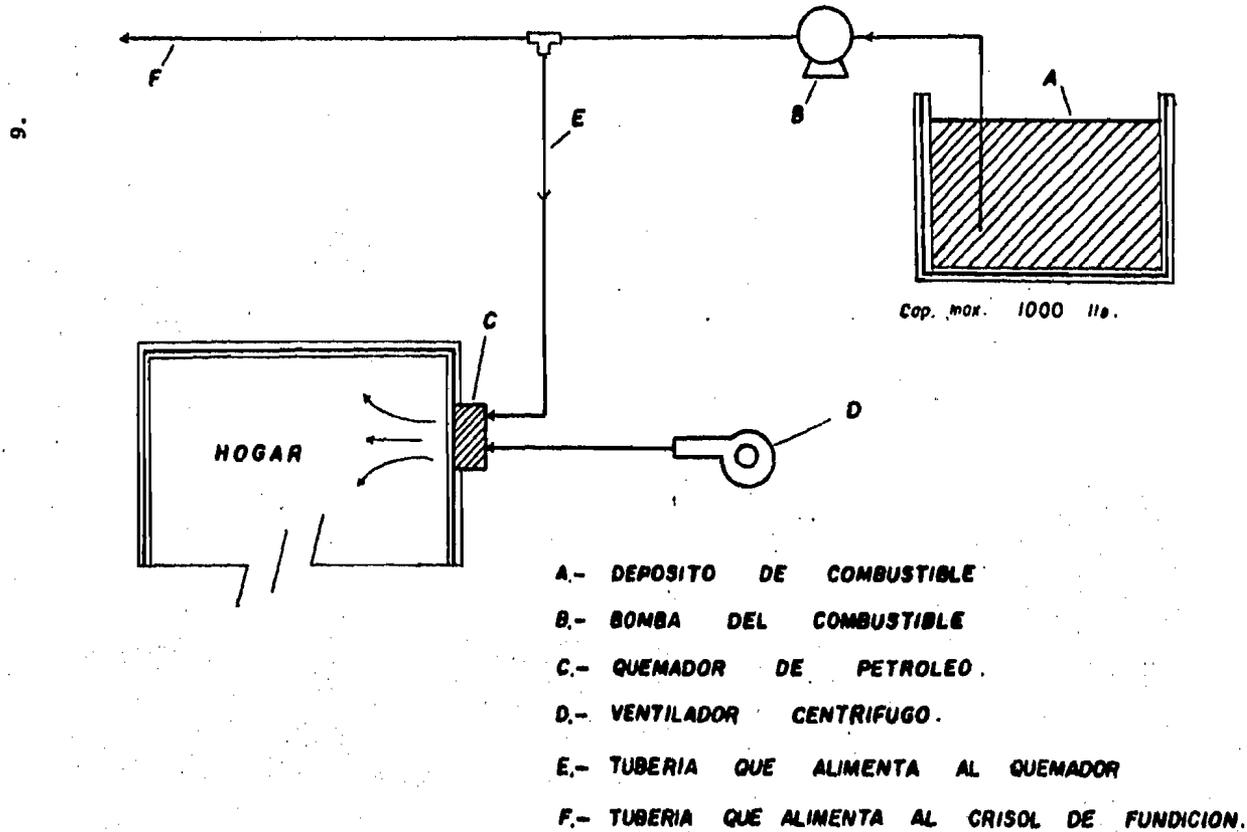


FIG. 1 - I

ses de combustión que son producidos en el hogar del horno serán expulsados por la chimenea al medio ambiente, Fig. 2-I.

Los gases de la combustión serán extraídos del horno por medio de un ventilador de tiro inducido (1) colocado en la chimenea (2). La abertura de la chimenea está situada en la parte superior trasera del horno, donde después de la construcción refractaria irá una chimenea de tubo de acero que conducirá a los gases de combustión fuera del laboratorio.

Esta chimenea de acero es actualmente usada en los hornos de fragua y se ha visto la posibilidad de que sirva para el diseño del horno.

En el diagrama de flujo de los gases de combustión se puede ver claramente el flujo de gas que va del hogar hasta ser expulsado por la chimenea (2).

El quemador (A) está situado en una pared lateral del horno, Fig. 2-I.

C) Sistema de Sólidos. Este sistema nos sirve para ver la mejor manera en que serán introducidas y extraídas las piezas del horno, Fig. 3-I.

En el caso de la práctica de forja que se realiza en

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE LOS GASES DE COMBUSTION.

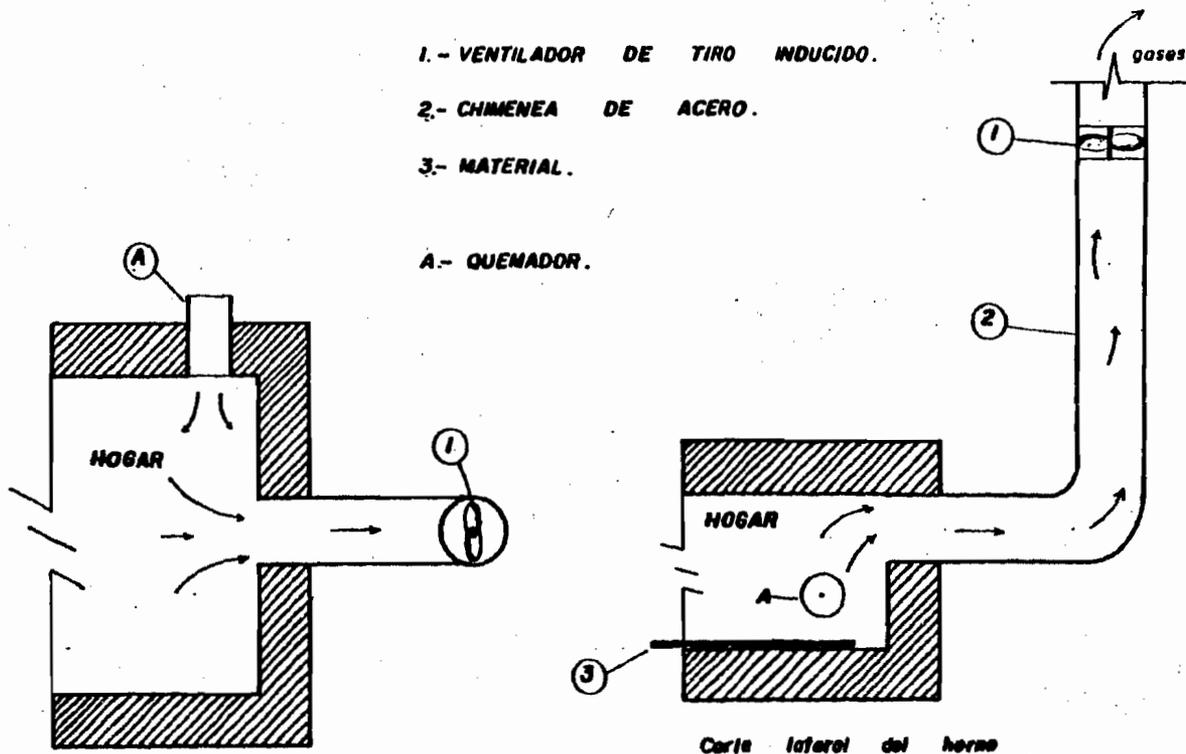
1.- VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO.

2.- CHIMENEA DE ACERO.

3.- MATERIAL.

A.- QUEMADOR.

11.



Corte de planta del horno

Corte lateral del horno

FIG. 2 - I.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE SOLIDOS .

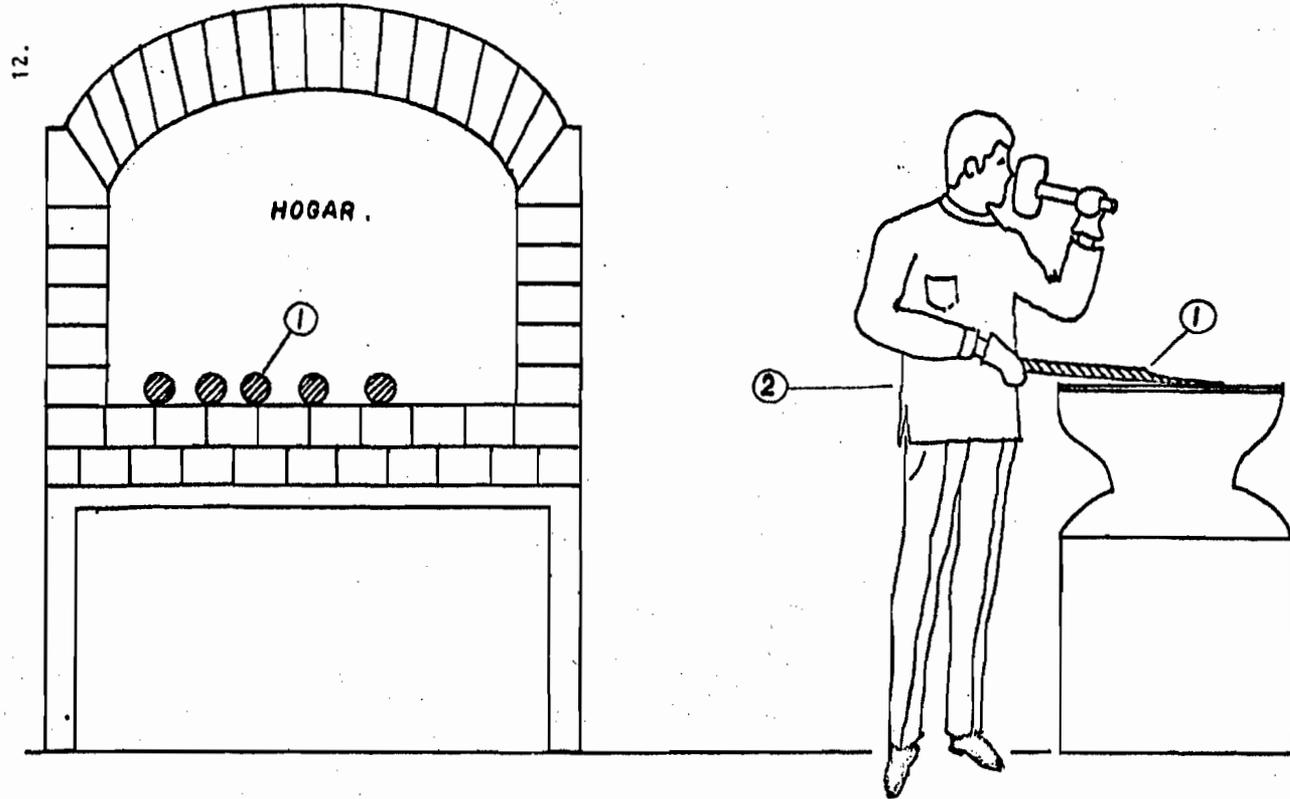


FIG. 3 - I.

el Laboratorio, consiste en calentar barras circulares para que luego puedan ser forjadas a la forma de barretas, cincel<sub>es</sub>, etc., es necesario tener cerca el Yunque donde se realizará la operación, asimismo las herramientas de forja deben estar al alcance del operario.

El sistema de sólidos aquí empleados es de tipo manual del más sencill<sub>o</sub>, la pieza (1) siempre será movida por el operario (2) del horno al yunque (esto en el caso de las barretas). Para otro tipo de piezas las cuales estén completamente dentro del horno, las piezas serán extraídas con ayuda de tenazas.

Este horno que también puede ser utilizado para tratamientos térmicos u otro tipo de procesos, puede calentar distintos tipos de material como lo son: el acero en sus múltiples composiciones, aluminio, fundiciones, etc.

#### Medidas de Seguridad.

Las lesiones que se producen los operarios de los hornos tienen diferentes causas. Entre éstas las más importantes son:

- a) Explosiones y llamas.
- b) Envenenamiento.
- c) Caída y deslizamiento de pesos.

Otras causas menos importantes son el agarrar o caminar sobre objetos calientes que parecen fríos, el mirar mucho tiempo el interior de los hornos calientes y zonas brillantes (catarata de hornero) y el agotamiento por calor.

a) Explosiones y Llamas. Las explosiones se pueden producir en los hornos con calefacción directa y en los provistos de atmósferas y combustibles. Las explosiones son más frecuentes en los hornos de calefacción a base de combustible.

Las explosiones pueden presentarse en hornos con temperatura inferior a  $535^{\circ}\text{C}$  ( $995^{\circ}\text{F}$ ); se producen principalmente en los hornos, al encenderlos cuando están inicialmente fríos o después de una parada prolongada. Raras veces se presentan a temperaturas superiores a  $760^{\circ}\text{C}$  ( $1400^{\circ}\text{F}$ ) porque a esta temperatura o superiores el combustible se inflama instantáneamente y no puede acumularse un volumen peligroso de mezcla explosiva.

También pueden producirse las explosiones durante el funcionamiento aparentemente estable, si se regulan los quemadores con una falta considerable de aire y si éste penetra en el horno por la falta de hermeticidad o por otras causas.

Las pruebas han demostrado que cuando el porcentaje

de combustible (monóxido de carbono, hidrógeno y metano) en la combustión supera 8,8; puede existir este peligro, siempre que se presente una infiltración de aire. También se han producido serias explosiones en un funcionamiento normal, cuando la potencia calorífica del combustible ha variado en un margen considerable.

Las llamas piloto deberían ser siempre del tipo de premezcla total para evitar la introducción en el horno de combustible en bruto. Las llamas piloto en los quemadores de combustible se alimentan generalmente de gas. El consumo de gas es tan pequeño que se puede emplear gas manufacturado con muy buenos resultados.

b) Envenenamiento. Los principales venenos que se encuentran en los hornos industriales o en sus proximidades son el monóxido de carbono y los cianuros (humos y sales).

El monóxido de carbono es un constituyente de muchos combustibles gaseosos y las fugas en las tuberías son peligrosas. El monóxido de carbono no tiene olor y su peso molecular es 28; este peso está muy cerca del peso molecular del aire, que es 29.

El monóxido de carbono es también un constituyente de muchas atmósferas protectoras. Mientras se cargan o vacían los vestíbulos, el operador puede recibir una dosis de

gas venenoso. Sin embargo, el peligro de una fuerte intoxicación es prácticamente inexistente. El operario se mantiene a cierta distancia de la puerta, de manera que el monóxido de carbono es solamente una fracción de la atmósfera gaseosa. Los operarios deben estar equipados con guantes, delantales y máscaras de gas.

c) Caída y Deslizamiento de Pesos. Es difícil que pueda caer un peso sobre una persona, cuando el horno está funcionando. Cuando se está construyendo o reparando el horno se toman las precauciones normales. Cuando el horno está en marcha, los contrapesos de la compuerta (si tiene contrapesos) pueden descender rápidamente sobre los pies del operario. Una defensa rígida alrededor del contrapeso impide los accidentes.

## CAPITULO II

### REFRACTARIOS

1. Refractarios Densos.
2. Refractarios Aislantes.
3. Morteros.
4. Concretos Refractarios.
5. Concretos Aislantes.

## CAPITULO II

### REFRACTARIOS

#### Refractarios Densos.

El criterio a seguir en la selección de refractarios es el de usar refractarios que nos den la mayor cantidad de trabajo, con la mejor calidad y el menor costo. En algunos casos sin embargo se busca mayor calidad que cantidad o a la inversa pero en todos se busca tener el refractario perfecto y toda selección se basa principalmente en la experiencia.

Sin embargo esta selección se basa en ciertas consideraciones fundamentales que son:

1. Qué tipo de horno es.
2. Qué clase de material se va a trabajar.
3. Qué es más importante la cantidad o la calidad del trabajo.

A continuación se describirán diferentes tipos de refractarios:

Refractario de Arcilla. El ladrillo de arcilla refractaria se fabrica, como lo dice su nombre, de arcillas especiales que comprenden todas las arcillas refractarias que

resisten el rojo blanco.

Las arcillas refractarias pueden ser divididas en arcillas plásticas y arcillas de pedernal duro; también pueden clasificarse con respecto a su contenido de alúmina.

Se fabrican ordinariamente de una mezcla de las dos arcillas mencionadas, la cual es conformada, después de mezclada con agua, con la forma requerida. Se puede reemplazar algo o toda la arcilla de pedernal por arcilla con alto grado de cocción o calcinadas, llamadas grog, procedentes de residuos y piezas rotas de la fabricación de productos refractarios, que se muelen.

Una gran proporción de los ladrillos modernos se moldean por el proceso de prensado en seco o prensado potente, en el que la conformación se efectúa bajo presión elevada y con un contenido bajo de agua. Aún se fabrican grandes cantidades de ladrillos por extrusión y moldeado a mano.

Los ladrillos secados son cocidos en hornos intermitentes o en hornos de túnel a temperaturas que varían entre 1250°C y 1480°C (2200°F a 2700°F). Los hornos de túnel dan producción continua y una temperatura uniforme de cocción.

Los refractarios de arcilla se usan en montaduras de calderas, hornos de cocción o fusión y para hierro maleable

incineradores y muchas porciones de hornos para aceros y metales no ferrosos.

Son resistentes al agrietamiento por cambios de temperatura, se mantienen bien bajo muchas clases de escoria - pero no son en general, apropiados para ser usados con escorias de alto contenido de cal, escorias de cenizas fluidas de carbón o bajo condiciones severas de carga.

Refractario con Alto Contenido de Alúmina. Se fabrican con materias primas ricas en alúmina, tales como la diáspora y la bauxita. Se clasifican en grupos de 50, 60, 70, 80 y 90 por ciento de alúmina. Cuando están bien cocidos, estos ladrillos contienen una cantidad mayor de la muilita y menor de la fase vítrea, que la que está presente en los ladrillos refractarios.

También hay corindón en muchos de estos ladrillos, los ladrillos de alto contenido de alúmina se usan generalmente para condiciones severas poco comunes de temperatura y carga. Se emplean también mucho en hornos para cal y hornos rotatorios para cemento, en puertas y regeneraciones de tanques para vidrio y para resistir las escorias en algunos hornos metalúrgicos; su precio es más elevado que el del ladrillo refractario común.

Refractario de Sílice. Se fabrican de roca ganister

triturada, que contiene aproximadamente 97 a 98 por ciento de sílice. Se emplea algún aglutinante de 2 por ciento de cal y los ladrillos son cocidos en hornos intermitentes a temperaturas entre 1480°C y 1540°C (2700°F a 2800°F) durante varios días, hasta obtener un volumen estable.

Son especialmente valiosos donde se requiere una buena resistencia a temperaturas elevadas. En la industria del acero ha encontrado recientemente algún uso el ladrillo de sílice superrefractario: tiene un menor contenido de alúmina y a menudo menor porosidad.

Estos ladrillos son muy usados en hornos de coque, en los techos y paredes de los hornos Martin-Siemens, en los techos y paredes laterales de tanques para vidrio y en revestimientos interiores de hornos de acero eléctricos ácidos.

Aunque el ladrillo de sílice se agrieta fácilmente por un cambio de temperatura por debajo del rojo es muy estable si se mantiene la temperatura superior a este límite y, por esta razón, resiste bien en los hornos regenerativos.

Cualquier estructura de ladrillos de sílice debe ser calentada lentamente hasta la temperatura de trabajo. Una estructura grande requiere con frecuencia dos semanas o más para alcanzar dicha temperatura.

Refractario de Magnesita. Se fabrican de óxido de magnesia natural a temperaturas elevadas. Es preferible una roca que contenga algún porcentaje de óxido de hierro, ya que esto permite que la roca sea cocida a una temperatura inferior a la que se necesitaría con materiales puros.

Los ladrillos de magnesita son cocidos generalmente a una temperatura relativamente alta en hornos intermitentes o de túnel. Aunque se están produciendo ahora grandes toneladas de ladrillos sin cocer. Estos últimos se fabrican con un tamaño especial de grano y con un aglutinante tal como un oxicloriguro. Una gran proporción de ladrillos de magnesita se fabrican en norteamérica empleando materias primas extraídas del agua del mar.

Los ladrillos de magnesita son básicos y se emplean siempre que es necesario resistir escorias de alto contenido de cal. También se encuentra aplicación en hornos para la industria de refinado de plomo y del cobre. Los ladrillos sin cocer, prensados hidráulicamente, encuentran gran aplicación en revestimientos interiores de hornos de cemento. Los ladrillos de magnesita no son tan resistentes al agrietamiento por cambios de temperatura como los de arcilla refractaria.

Dolomita. Esta roca contiene una mezcla de  $Mg(OH)_2$  y de  $Ca(OH)_2$  se calcina y se utiliza en forma granulada pa

ra fondo de horno,

Refractario de Cromo. Se fabrican casi de la misma manera que los de magnesita, pero con el mineral natural cromita. Los minerales comerciales contienen magnesia y alúmina. También se fabrican ladrillos de cromo sin cocer, - - prensados hidráulicamente.

Los ladrillos de cromo son muy resistentes a todos los tipos de escoria. Se usan como separadores de refractarios ácidos y básicos, también pozos de recalentamiento y en pisos para horno para forjado.

El ladrillo sin cocer prensado hidráulicamente encuentra ahora extensa aplicación en las paredes de los hornos Martin-Siemens.

Los ladrillos de cromo se emplean para hornos de recuperación de sulfito y en cierto grado en el refinado de metales no ferrosos. Se fabrican en grandes cantidades actualmente estos ladrillos básicos que combinan varias propiedades de los de magnesita y cromita y que sólo tienen ventajas sobre uno u otro de estos últimos para algunos fines.

Refractario KER-SM. Es fabricado por el método de extrusión en húmedo, con lo cual se obtiene una menor pro-

sidad y mayor resistencia mecánica. Es de calidad intermedia y se utiliza principalmente en cubilotes y hornos de cal.

Refractario EMPIRE-MD. Se caracteriza por su baja porosidad (13 a 17 por ciento) que lo hace adecuado para resistir el contacto de escorias y metales fundidos. Es sumamente uniforme en sus dimensiones ya que se fabrica por el procedimiento de prendado en seco. El ladrillo EMPIRE-MD es de alta calidad.

Refractario MEX-KO-M. Este ladrillo de calidad superior, tiene un equivalente al cono pirométrico Orton 33-34 (1745-1760°C). Se recomienda para emplearse en aquellos sitios en donde las condiciones de operación son severas y los cambios de temperatura frecuentes.

Según la prueba de resistencia de disgregación térmica efectuada para estos ladrillos a 1650°C, tienen una pérdida de peso de solamente 2 a 4 por ciento. Se fabrica con arcilla de alta pureza y tiene un contenido de alúmina de 41-45 por ciento.

Refractario MEX-KO-MK. Es un ladrillo de calidad superior de propiedades similares a las del MEX-KO-M con la diferencia de tener una porosidad más baja ya que ésta es de solamente 14-18 por ciento. Asimismo su módulo de ruptu-

ra es mayor. Este ladrillo tiene una excelente resistencia a los cambios bruscos de temperatura y se recomienda para ser empelado en aquellos sitios en donde se requiere un ladrillo mecánicamente fuerte. Su contenido de alúmina es de 42.5 a 45 por ciento.

Refractario 42-M. Es un ladrillo de calidad superior con un equivalente al cono pirométrico Orton 33-34 (1745-1760°C) es muy denso y resistente.

Debido a la pureza de sus arcillas y su baja porosidad puede soportar satisfactoriamente condiciones severas de escorificación y desgregación térmica.

Es un ladrillo muy resistente a la deformación bajo carga a altas temperaturas. En paredes de impacto de flama donde hay condiciones muy severas de operación ha mostrado ser insustituible.

Refractario BIG-CHEF-M. Se recomienda en aquellos sitios donde se requiere un ladrillo que pueda resistir condiciones más severas de operación que aquellas para las cuales se recomienda ladrillos de calidad superior.

Tiene un contenido de 50 por ciento de alúmina y un equivalente al cono pirométrico Orton de 34-35 (1760-1785°C). Sus propiedades balanceadas lo hacen indispensable para ser

vicios donde existen condiciones severas de escoria y cambios bruscos de temperatura como son hornos rotatorios de cemento y de cal, hornos de forja y calderas sometidas a condiciones muy severas.

Refractario KRUZITE-M. Con un contenido de 70 por ciento de alúmina, se fabrica este ladrillo para utilizarse principalmente en hornos de cemento y aquellos sitios en que se requiera un ladrillo resistente a ataques químicos. Su equivalente al cono pirométrico Orton es de 37-38 (1820-1835°C). Tiene excelente resistencia a los cambios bruscos de temperatura.

Refractario DV-M. Este ladrillo contiene 85 por ciento de alúmina y está exento de todo tipo de impurezas que reducen el punto de fusión. Tiene un equivalente al cono pirométrico Orton extraordinariamente elevado: 30-40 (1865-1885°C).

Este ladrillo es fabricado por el procedimiento de prensa seca y su porosidad es sumamente baja.

Son especialmente resistentes a los cambios bruscos de temperatura y son muy uniformes tanto en dimensiones como en calidad. Se recomienda para instalarse en la zona de calcinación de hornos rotatorios de cemento.

Refractarios DV-38-M. Además de las propiedades del DV-M, tiene una menor porosidad y mayor resistencia al módulo de ruptura. El ladrillo DV-38-M está ligado químicamente y quemado. Tiene una resistencia a la compresión de aproximadamente dos veces y media mayor que los ladrillos ordinarios 85 por ciento de alúmina.

Su porosidad muy baja lo hace que resista los ataques de escorias fluidas y de metales fundidos.

Las aplicaciones del DV-38-M, se extiende hasta la fundición de aluminio y a la industria siderúrgica.

#### Refractarios Aislantes.

Esta clase contiene arcilla refractaria o caolín altamente poroso. Son ligeros y pesan aproximadamente 1/2 a 1/6 del peso de los de arcilla refractaria, son de baja conductividad térmica y no obstante, suficientemente resistente a las temperaturas para ser usados con éxito sobre el lado caliente de la pared de un horno, permitiendo así muros delgados de baja conductividad térmica y bajo contenido de calor.

El bajo contenido de calor es particularmente valioso para el ahorro de combustible y tiempo al elevar la temperatura del horno y permite que se hagan cambios rápidos

de temperatura y enfriamiento.

Estos ladrillos se fabrican de una gran variedad de maneras tales como mezclando material orgánico con la arcilla y quemándolo a continuación para formar poros; o bien se puede incorporar a la mezcla de arcilla y agua, algún elemento estructural que produzca burbújas, el cual es luego retenido en el ladrillo cocido.

Los ladrillos aislantes se clasifican en varios grupos según el límite máximo de aplicación: los intervalos son de 870°C a 1815°C.

Estos refractarios aislantes se emplean principalmente en la industria del tratamiento térmico para hornos de tipo intermitente; el bajo contenido de calor permite notable ahorro de combustible en comparación con el ladrillo refractario. Se utiliza mucho en hornos para alivio de esfuerzos o tensiones, hornos para procesos químicos, calentadores o serpentines de aceite o en cámaras de combustión de hornos domésticos de quemador de aceite. Ordinariamente tiene una vida igual a la del ladrillo pesado al que reemplazan. Son particularmente adecuados para la construcción de hornos experimentales o de laboratorio, porque pueden ser cortados o maquinados en cualquier forma. Estos refractarios aislantes no son resistentes a la escoria fluida.

Hay gran número de tipo de ladrillos especiales, que se pueden obtener de fabricantes particulares. Los refractarios de caolín de alto cocido son particularmente valiosos bajo condiciones elevadas de agrietamiento por cambio de temperatura, como en el caso de las instalaciones de calderas de alta temperatura calentadas por aceite o de los pilares bajo los hornos de esmaltado.

Otro ladrillo para los mismos usos es uno de alto cocido de arcilla aluminosa de Missouri. Hay en el mercado gran número de ladrillos fabricados de materiales fundidos eléctricamente, tales como mullita fundida. Alúmina fundida y magnesita fundida. Estos ladrillos, aunque de alto costo, son particularmente adecuados para condiciones severas.

Refractario Aislante de Carburo de Silicio. Ya sea recristalizado o aglutinado con arcilla, tiene alta conductividad térmica y encuentran aplicación en paredes de mullas y como materiales resistentes a la escoria.

Otro tipo de refractarios que encuentran cierto uso limitado son la fosferita, la circonia. Los ladrillos resistentes a ácidos que consisten en un cuerpo denso como de gres, se emplean para revestir tanques y conductos en la industria química. Los bloques de carbón se usan como revestimiento para los crisoles de los altos hornos.

Refractario KL-32. Es un ladrillo semiaislante para las zonas de carga en hornos rotatorios.

Estos ladrillos fabricados a base de las mejores materias primas actualmente disponibles, poseen las propiedades más importantes que requiere un buen aislante como son: baja conductividad térmica, buena resistencia mecánica y baja contracción hasta su temperatura límite de servicio. (Tabla 1-II y gráfica 1-II, págs. 31 y 32 respectivamente).

### Morteros.

Prácticamente toda clase de ladrillos es colocado con algún tipo de unión, esto es para producir una estructura más estable y cerrar herméticamente las juntas.

El mortero debe ser seleccionado de preferencia sobre el consejo del fabricante del refractario para obtener buen servicio.

Los morteros se dividen en tres clases generales:

1. Morteros que Fragan al Aire. Estos morteros contienen con frecuencia un aglutinante químico u orgánico para producir una fuerte adherencia al cocerse o al secarse a temperaturas relativamente bajas.

Muchos de estos morteros que fraguan al aire no deben ser usados a temperaturas extremadamente elevadas a cau

## LADRILLOS AISLANTES

PRODUCTOS	GRUPO SEGUN N. O. M.	TEMPERATURA MAXIMA RECOMENDADA °C	DENSIDAD gr/c.c.	COMPRESION EN PLANO Kg/cm <sup>2</sup>	CONDUCTIVIDAD TERMICA CURVA No.
T-16	85	870	0.52	14-28	1
T-20	110	1095	0.64	21-35	2
T-23	125	1260	0.77	28-42	3
T-26	140	1425	0.83	42-63	4
T-28	150	1535	0.93	56-70	5
GREENLITE KLM	(2)	1316	0.91	56-84	6
GREENLITE 30-M	160	1650	0.83	42-63	7
GREENLITE 33-M	180	1815	1.25	70-105	8
KL-32	(1)	1680	1.10	100-130	8

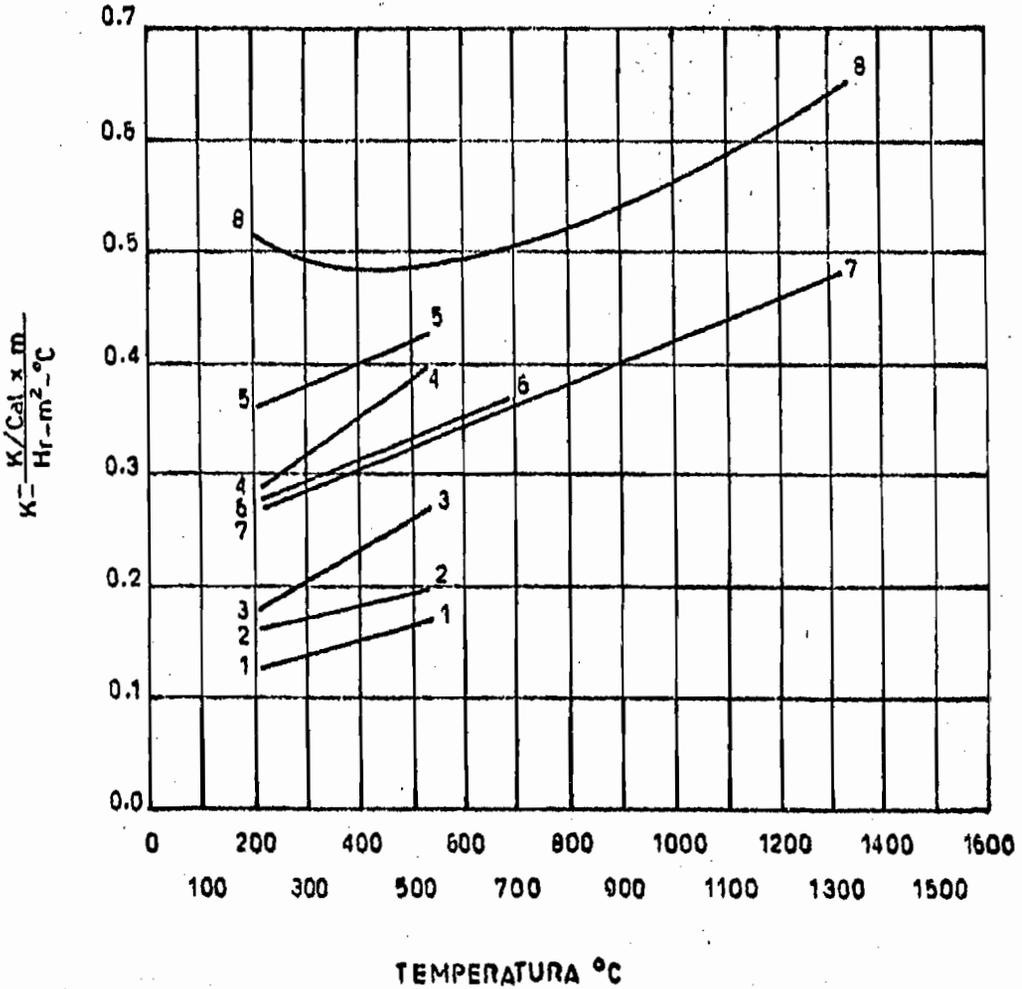
(1) ladrillos semi-aislantes

(2) ladrillos aislantes para hornos rotatorios.

TABLA. I - II.

CONDUCTIVIDAD TERMICA PARA  
LADRILLOS AISLANTES.

GRAFICA. I - II.



sa de la acción fundente del ingrediente para fraguado al aire que reduce su punto de fusión.

a) Mortero SAIRSET-M. Es un mortero que pasa las más rígidas especificaciones para morteros de tipo de calidad superior de fraguado al aire.

Puede emplearse a cualquier temperatura para la cual se haya especificado un ladrillo sílico-aluminoso. La liga excepcionalmente fuerte que se obtiene con el SAIRSET-M, aumenta la estabilidad de la construcción y evita que se aflojen los ladrillos impidiendo el paso de los gases a través de las paredes del refractario.

Su consistencia es plástica y de fácil adherencia. Su granulometría muy fina permite obtener juntas delgadas entre ladrillos. Se embarca en forma húmeda en tambores de 40 kgs. sin que sea necesario agregar agua para emplearse. Se requiere aproximadamente 180 kgs. de SAIRSET-M para pegar un millar de ladrillos rectangulares.

b) Mortero KD-2M. Es un mortero de características similares al SAIRSET-M que se embasa en forma seca en sacos de 50 kgs. No se recomienda que se utilice el KD-2M en aquellos sitios donde un pequeño porcentaje de azufre puede ser perjudicial como es el caso de los hornos de esmaltado de cerámica.

Se requieren aproximadamente 125 kgs. de KD-2M para pegar un millar de ladrillos.

c) Mortero SATANITE-M. Su alto contenido de alúmina y su resistencia al ataque por metales y escorias fundidos lo hacen adecuado para pegar ladrillos en hornos y ollas en las cuales se encuentra el revestimiento refractario en contacto directo con hierro o acero fundido.

El SATANITE-M es específicamente resistente a la erosión, protegiendo de esta manera las juntas de los ladrillos.

Tiene un equivalente al cono pirométrico Orton de 36 y no muestra ninguna contracción a temperaturas elevadas. Es un material de granulometría muy fina y puede trabajarse con mucha facilidad permitiendo juntas delgadas. Se requieren aproximadamente 170 kgs. de SATANITE-M para pegar un millar de ladrillos.

d) Mortero N<sup>o</sup> 36. Se recomienda para temperaturas hasta de 1740°C (3200°F). Es un mortero húmedo fraguado al aire para resistir temperaturas elevadas y que desarrolla una liga excepcionalmente fuerte. El mortero refractario N<sup>o</sup> 36 se recomienda para emplearse en aquellos sitios donde se requiera dar una resistencia mecánica muy elevada a la construcción.

Es adecuado para pegar ladrillos de alta alúmina, debido a su alto contenido de alúmina y su alta resistencia mecánica ha demostrado ser especialmente bueno en aquellas aplicaciones donde las escorias presentan un problema. El MORTERO N° 36 se embarca en tambores de 50 kgs. y se requieren aproximadamente 180 kgs. para pegar un millar de ladrillos.

f) Mortero GREENSET-78 M. Es un mortero seco de liga cerámica con excelente refractibilidad, su alto contenido de alúmina asegura que éste no fluya en las juntas manteniendo éstas hasta su temperatura límite de servicio de 1815°C.

2. Morteros que Fragan al Calor. Estos morteros requieren temperaturas de más de 1095°C (2000°F) para producir una buena unión, varían en punto de vitrificación, produciendo algunos una fuerte adherencia en los límites inferiores de temperatura y requiriendo otras temperaturas muy altas para dar buena resistencia.

a) Mortero CARBOSIL. Es un mortero seco de fraguado en caliente a base de carburo de silicio. Se requieren 200 a 250 kgs. para pegar un millar de ladrillos.

3. Morteros de Base Especial. Estos morteros contienen sílice, magnesita, carburo de silicio o cromo, los

cuales son mezclados especialmente para ser usados con sus ladrillos respectivos. El mortero a base de cromo puede ser utilizado satisfactoriamente con ladrillos de arcilla refractaria en muchos casos.

a) Mortero GREENSET-90 M. Este mortero de extra alta alúmina 90 por ciento, es adecuado para aquellas aplicaciones en que se tenga una temperatura excesivamente alta para cualquier otro tipo de mortero.

Se presenta en sacos, teniendo una temperatura límite de servicio de 1880°C.

b) Mortero JADE SET SUPER-M. Este mortero de alto contenido de alúmina con óxido de cromo y liga fosfórica, posee una gran resistencia al ataque de escorias de composición ácida, neutras y ligeramente básica, así como una gran resistencia a la erosión por metales fundidos retardando la penetración por las juntas. Se recomienda usar también como lechada penetrando los poros del ladrillo y actuando como barrera al ataque de escorias, gases y metales.

Adecuado para utilizarse en hornos de inducción de canal, ollas y distribuidores de acero, bóvedas de hornos eléctricos. (Tabla 2-II, 3-II, 4-II, pág. 37, 38 y 39 respectivamente)

#### Concretos Refractarios.

Concreto KER-CAST. Este concreto refractario se

## MORTEROS

NUMERO	PRODUCTOS	TIPO	FORMA DE ENVASE
1	MEXI-KOMO M	Arcilla	Seco
2	SAIRSET M	Calidad Superior	Húmedo
3	KD-2 M	Calidad Superior	Seco
4	SATANITE M	Alta Alúmina	Seco
5	MORTERO N° 36	Alta Alúmina	Húmedo
6	MORTERO N° 36 T	Alta Alúmina	Húmedo
7	GREENSET 78 M	Alta Alúmina	Seco
8	MORTERO 85 P	Alta Alúmina	Húmedo
9	GREENSET 90 M	Extra Alta	Húmedo
10	GREENSET 90 M	Extra Alta Alúmina	Seco
11	JADE SET SUPER M	Alúmina Cromo	Húmedo
12	MORTERO AR	Acido Resistente	Componentes (2)
13	MORTEO CARBOSIL	Carburo de Silicio	Seco

TABLA. 2 - II.

## MORTEROS

NUMERO	FRAGUADO	TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACION °C	% DE ALU MINA PRO MEDIO	KGS. NECESARIOS PARA COLOCAR 1000 LADRILLOS (1)	CAPACIDAD DEL ENVASE KG.
1	EN CALIENTE	1740	37	170	50 S (2)
2	AL AIRE	1650	40	180	40 T
3	AL AIRE	1650	40	135	50 S
4	EN CALIENTE	1760	65	170	50 S
5	AL AIRE	1760	65	190	50 T
6	AL AIRE	1760	65	190	50 T
7	EN CALIENTE	1780	78	135	50 S
8	AL AIRE	1650	85	225	50 T
9	AL AIRE	1650	85	225	50 T
10	EN CALIENTE	1840	90	215	50 S
11	AL AIRE	1780	88	230	50 T
12	AL AIRE	-	-	200	20 L
13	EN CALIENTE	-	90% sic	250	50 S

(1) ladrillo de 9 x 4 1/2" x 2 1/2" con junta de 1/16".

(2) L= Lata; T= Tambor; S= Saco.

PRUEBAS DE CONTROL DE CONOS  
PIROMETRICOS

CONOS	GRADOS C	GRADOS F	CONOS	GRADOS C	GRADOS F
022	585	1085	10	1260	2300
021	595	1103	11	1285	2345
020	625	1157	12	1310	2390
019	630	1166	13	1350	2462
018	670	1238	14	1390	2534
017	720	1328	15	1410	2570
016	735	1355	16	1450	2642
015	770	1418	17	1465	2669
014	795	1463	18	1485	2705
013	825	1517	19	1515	2759
012	840	1544	20	1520	2768
011	875	1607	23 <sup>+</sup>	1580	2876
010	890	1634	26	1595	2903
09	930	1706	27	1605	2921
08	945	1733	28	1615	2939
07	975	1787	29	1640	2984
06	1005	1841	30	1650	3002
05	1030	1886	31	1680	3056
04	1050	1922	32	1700	3092
03	1080	1976	32 1/2	1725	3137
02	1095	2003	33	1745	3173
01	1110	2030	34	1760	3200
1	1125	2057	35	1785	3245
2	1135	2075	36	1810	3290
3	1145	2093	37	1820	3308
4	1165	2129	38	1835	3335
5	1180	2156	39 <sup>++</sup>	1865	3389
6	1190	2174	40	1885	3425
7	1210	2210	41	1970	3578
8	1225	2237	42	2015	3659
9	1250	2282			

+ Los conos 23 a 38 se calientan a 100 grados °C por hora.

++ Los conos 39 a 42 se calientan a 600 grados °C por hora.

recomienda para una temperatura máxima de operación de - - 1230°C (2250°F) y se requieren 1600 kgs./m<sup>3</sup>. Este concreto de excelentes características y precio económico se reco- - mienda para ser utilizado en instalaciones refractarias monolíticas y formación de piezas especiales que se utilizan en equipos que no están sometidos a condiciones muy severas de operación.

Concreto MC-22M, MC-25M, MC-30M. Estos concretos - de alta resistencia mecánica pueden utilizarse hasta su - temperatura límite de servicio ya sea en contacto directo con flama o con revestimiento posterior. Por el agregado - usado que contienen y su especial distribución granulométrica dan como resultado una gran resistencia mecánica, excelente resistencia al choque térmico así como al abuso mecánico.

Concreto KAST-SET M. Concreto refractario de alta calidad para emplearse a temperaturas hasta 1510°C. Se emplea en la construcción de mamparas monolíticas de calderas, boquillas de quemador, piezas especiales y revestimientos monolíticos de hornos.

Es un concreto de propiedades balanceadas que con la sólo adición de agua puede vaciarse en moldes de la forma de seada y así obtener las piezas que se requieran sin tener - que esperar a que sean fabricadas en la planta.

Concreto KS-4M. Es un concreto resistente a la abrasión especialmente diseñado para aplicarse por medio de pistola neumática y puede ser también aplicado por el proceso de vaciado. Se puede utilizar hasta temperaturas de 1400°C, su característica de ser resistente a la abrasión mecánica lo hace muy adecuado para emplearse en ciclones de torres catalíticas y ductos de materiales fluidizados.

Concreto KS-4V M. Un concreto de características similares al KS-4M, pero con un mayor módulo de ruptura. Se recomienda para utilizarse en aquellos sitios donde el principal desgaste de revestimiento refractario es debido a la abrasión o abuso mecánico.

Concreto GREENCAST-12 M. Puede ser aplicado por medio de pistola neumática o con cuchara de albañil; puede emplearse hasta temperaturas de 1200°C como máximo cuando se quieren aprovechar sus características refractarias solamente y cuando se requiere que este material sea resistente a la abrasión mecánica se recomienda que la temperatura máxima de operación sea de 650°C. A temperaturas menores de 650°C es de dos o tres veces más fuerte que un concreto refractario ordinario y similar a un ladrillo quemado a alta temperatura en su resistencia a la abrasión. Es resistente a un ataque moderado de monóxido de carbono y su resistencia al ataque de ácidos suaves es buena.

Concretos LO-ABRADE M. Es un concreto resistente a la abrasión con una temperatura límite de 1320°C. Se recomienda en aplicaciones tales como colectoras de polvo, pisos de carga, chimeneas, unidades de lecho fluidizado y en general para condiciones de abrasión y erosión.

Concreto STEELKON M. Concreto para ser utilizado hasta una temperatura de 1540°C, particularmente fuerte y resistente a la abrasión. Se recomienda para aplicaciones a altas temperaturas en las que se requiera una buena resistencia a la erosión, impacto o condiciones similares.

Concreto GREEN DUR. Concreto especialmente desarrollado para resistir condiciones extremas de abrasión, recomendable para revestir secciones de cadenas en hornos rotatorios, enfriadores satélites y horizontales, precalentadores y en general en donde se tenga condiciones de abuso mecánico.

Concreto GREENCAST-94 M. Concreto de alta alúmina, particularmente resistente a condiciones de abrasión muy severas. Contiene 94 por ciento de alúmina y se recomienda para aquellos sitios en donde las condiciones de abrasión, erosión, desgaste o impacto sean muy severas. Es el producto ideal para ser aplicado en ciclones, en codos y líneas de catalizadores y áreas de válvulas de compuertas de unidades de desintegración catalítica, también se utiliza en otros

procesos de fluidización.

### Concretos Aislantes.

Concreto CASTABLE BLOCK MIX M. Es un concreto de peso extremadamente ligero que puede emplearse hasta temperaturas de 870°C (1600°F). Puede ponerse en contacto con la atmósfera de un horno o como protección secundaria detrás de otros refractarios. Cuando se mezcla con agua y se vacía o se apisona en su lugar tiene aproximadamente el mismo poder de aislamiento, peso y resistencia que un bloque aislante.

Concreto SK-7 M. Es un concreto refractario aislante ligero que puede ser aplicado tanto por el procedimiento de colado como por una pistola de aire.

La temperatura límite de operación a que se recomienda es de 980°C (1800°F) y se requieren 735 Kgs/m<sup>3</sup> al colarse. Cuando se aplica con pistola neumática se requieren 880 kgs.

Concreto VSL-50 M. Es concreto refractario aislante del cual se requieren aproximadamente 800 kgs. por metro cúbico (50 lb. por pie cúbico) además de sus propiedades de peso muy ligero y muy baja conductividad térmica este material tiene la característica de tener un contenido muy bajo.

de fierro. Se recomienda para emplearse en contacto de atmósferas altamente reductoras. Puede utilizarse a temperaturas máximas de 1260°C (2330°F) se ha utilizado este producto con magníficos resultados en la industria del petróleo y petroquímica. Se desarrolló originalmente para ser aplicado por el sistema de pistola neumática sin embargo se puede colar.

Concreto APG-55. Es un material refractario aislante desarrollado para utilizarse por el sistema de colado. Se recomienda para aplicarse a una temperatura máxima de 1260°C (2330°F). Se requiere de este material solamente 885 kgs. por metro cúbico (55 lb. por pie cúbico). Este concreto refractario aislante se embarca en sacos de 40 kgs.

Concreto CASTABLE INSULATION N° 22. Concreto aislante de bajo peso para temperaturas máximas de servicio de 1205°C. Adecuado para aplicaciones donde se requiere baja conductividad térmica como en calentadores, revestimientos monolíticos en ductos, chimeneas metálicas o como revestimiento posterior aislante.

Concreto KAST-O-LITE M. Soporta temperaturas hasta 1370°C, sin sufrir contracciones. Se requieren 1200 a 1250 kgs. de este material por metro cúbico. Este concreto combina sus propiedades aislantes con su peso ligero y su resistencia mecánica. La conductividad térmica de este material

es aproximadamente un 30 por ciento de la equivalente a un ladrillo refractario.

Concreto KAST-O-LITE 30 M. Es un concreto aislante de 60 por ciento de alúmina con una temperatura límite de servicio de 1650°C. La mezcla de alúmina, agregado aislante especial y alta pureza del cementante le confieren propiedades sobresalientes de baja conductividad térmica y alta resistencia a la temperatura; adecuado como revestimiento posterior en revestimientos de ladrillos de extra alta alúmina, en calentadores de aire, tapas de fosas de recalentamiento, ollas para transporte de aluminio y como sub piso en carros de horno túnel.

Concreto GREENCAST 97-LM. Concreto aislante ligero a base de burbujas de alúmina para temperaturas demasiado altas para otros concretos aislantes. Tiene una temperatura límite de servicio de 1815°C, presentando una gran resistencia a la desintegración por monóxido de carbono.

Concreto AISLAGREEN. Es un material aislante ligero para recubrimientos exteriores a base de vermiculita. Puede emplearse hasta temperaturas de 985°C (1800°F) y debido a su alto poder aislante disminuye las pérdidas de calor a través de tuberías y paredes de los hornos. Para aplicarlo es necesario dejarlo reposar 15 minutos después de agregar agua y en espesores de cuatro centímetros. Cuando se

utiliza a la intemperie deberá impermeabilizarse con un cartón asfáltico o asfaltado o un revestimiento ahulado.

**CONCRETOS REFRACTARIOS DENSOS**

PRODUCTOS	TEMPERATURA MAXIMA RECOMENDADA °C	% DE ALUMINA PROMEDIO	MODULO DE RUPTURA kg/cm <sup>2</sup>	COMPRESION EN PLANO Kg/cm <sup>2</sup>	CANTIDAD NECESARIA Kg/m <sup>3</sup>
HIDROCRETE M	1200	33	56-84	210-315	1825
GREENCAST-12 M	1200	28	49-70	246-388	1950
KER-CAST	1230	40	21-31	60-95	1700
KAST-SET M	1510	40	21-31	70-105	1670
MC-22 M	1290	38	49-70	196-302	2050
KS-4 M	1400	42	35-58	105-160	1800
KS-4 V M	1430	45	49-70	175-280	1960
SUPER KAST-SET M	1540	46	24-38	98-147	1950
LO-ABRADE M	1320	55	70-105	280-420	2100
MC-25 M	1400	42	42-63	176-280	2050
GREEN DUR	1540	58	70-105	422-563	2100
STEEL-KON M	1540	83	42-63	154-248	2100
STEEL-PLANT A M	1650	81	42-63	140-211	2240
CONCRETO MIZZOU	1650	62	35-49	140-210	2200
MC-30 M	1650	65	42-63		2330
GREENCAST 94 M	1885	95	77-120	281-422	2585
GREENCAST 97 M	1885	97	31-49	70-105	2445

Todos los concretos refractarios se envasan en sacos de 50 Kg.

TABLA. 5A - II.

**CONCRETOS REFRACTARIOS AISLANTES**

PRODUCTOS	TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACION °C	% DE ALUMINA PROMEDIO	CANTIDAD NECESARIA Kg/m <sup>3</sup>		CONDUCTIVIDAD TERMICA Curva No.	CAPACIDAD DEL ENVASE KG.
			COLADO	PISTOLEADO		
CASTABLE BLOCK MIX M.	870	12	320	-	1	25 S (1)
SK-7 M	900	16	700	890	2	25 S
VSL-50 M	1280	34	800	915	3	40 S
CASTABLE INSULATION No. 22	1205	37	800	-	3	40 S
APG-95	1280	38	885	920	4	40 S
VSL-35	1095	55	580	960	5	25 S
CMR-26	1430	58	925	-	6	40 S
KAST-O-LITE M	1370	39	1225	-	7	40 S
KAST-O-LITE M GUN MIX	1370	38	1225	1400	7	40 S
KAST-O-LITE 30 M	1650	60	1450	-	8	40 S
GREENCAST 97 L M	1815	94	1360	-	9	45 S

(1) S = Sacos.

TABLA. 5B - II.

## CAPITULO III

### DISEÑO DEL HORNO

1. Forma del Horno.
2. Dimensiones del Horno.
3. Construcción del Horno.
  - a) Método para Calcular la Transferencia del Calor por las Paredes del Refractario.
  - b) Precisión y Error en los Cálculos de Conducción de Calor.
  - c) Paredes Laterales y Pared de Fondo.
  - d) Piso del Horno.
  - e) Diseño de la Bóveda.
  - f) Diseño de la Compuerta.
  - g) Elección del mortero.
4. Chimenea.
5. El Quemador de Petróleo.
6. Estructura Metálica del Horno.
  - a) Perfiles de la Estructura Metálica.
  - b) Recubrimiento Metálico.
  - c) Componentes del Mecanismo de la Compuerta.

## CAPITULO III

### DISEÑO DEL HORNO

#### Forma del Horno.

Para la selección de la forma del horno, se escogieron dos tipos:

- a) Horno circular
- b) Horno rectangular.

El horno circular representa un avance en la alimentación mecánica, por lo general se utilizan para alta producción.

En la visita que se realizó a "Prottsa", se observó que consistía en una cúpula cónica cubierta de refractario, montada en una armazón, el quemador situado en la parte superior de la cúpula, la llama incide en una media esfera que se encarga de distribuir la flama a los alrededores del horno donde están montadas las barras, las cuales están en el perímetro del horno reposando en dos soportes en forma de "V", estos soportes están soldados a un anillo, que éste a su vez se encuentra sobre el perímetro del horno.

El horno rectangular, está provisto de una compuerta que no llega a cerrar totalmente, ya que cierta parte de

las barras quedan afuera del horno. Este horno que también puede ser utilizado para otro tipo de piezas, consiste de un solo quemador de flama larga, localizado en una pared lateral, las piezas reposan en el piso del horno.

Haciendo una comparación entre el horno circular y el horno rectangular se tiene lo siguiente:

HORNO CIRCULAR	HORNO RECTANGULAR
1. Producción más alta .	1. Poca producción
2. Alto gasto de combustible	2. Bajo costo de combustible.
3. Para un solo tipo de piezas. (barras circulares)	3. Para varios tipos de piezas. (barras circulares y cuadradas).
4. Construcción difícil	4. Construcción sencilla.
5. Mayor pérdida de calor, por ser hogar abierto.	5. Menor pérdida de calor.

#### Conclusión:

Se observa claramente que ~~el~~ horno de tipo rectangular se adapta mejor a nuestras necesidades debido a que el horno circular es para alta producción. Por lo tanto el diseño del horno será de forma rectangular.

#### Dimensiones del Horno.

Para las dimensiones del hogar se debe conocer la

carga y el tamaño de las piezas que van a ser calentadas.

Por cada práctica de laboratorio se calentarán seis barras suponiendo que las barras están separadas a una distancia de 5.9 pulg. (15 cms.) y la distancia de las paredes a la barra más cercana es de 9.3 pulg. (23.5 cms.). Por lo tanto la alimentación del horno es de 48 pulg. (122 cms.).

La profundidad del horno dependerá de la longitud de las barras. Suponiendo que la barra es de 39.4 pulg. (100 cms.) 29.5 pulg. (75 cms.) de esta barra estará asentada sobre el piso del horno y 9.8 pulg. (25 cms.) saldrá al exterior para su extracción.

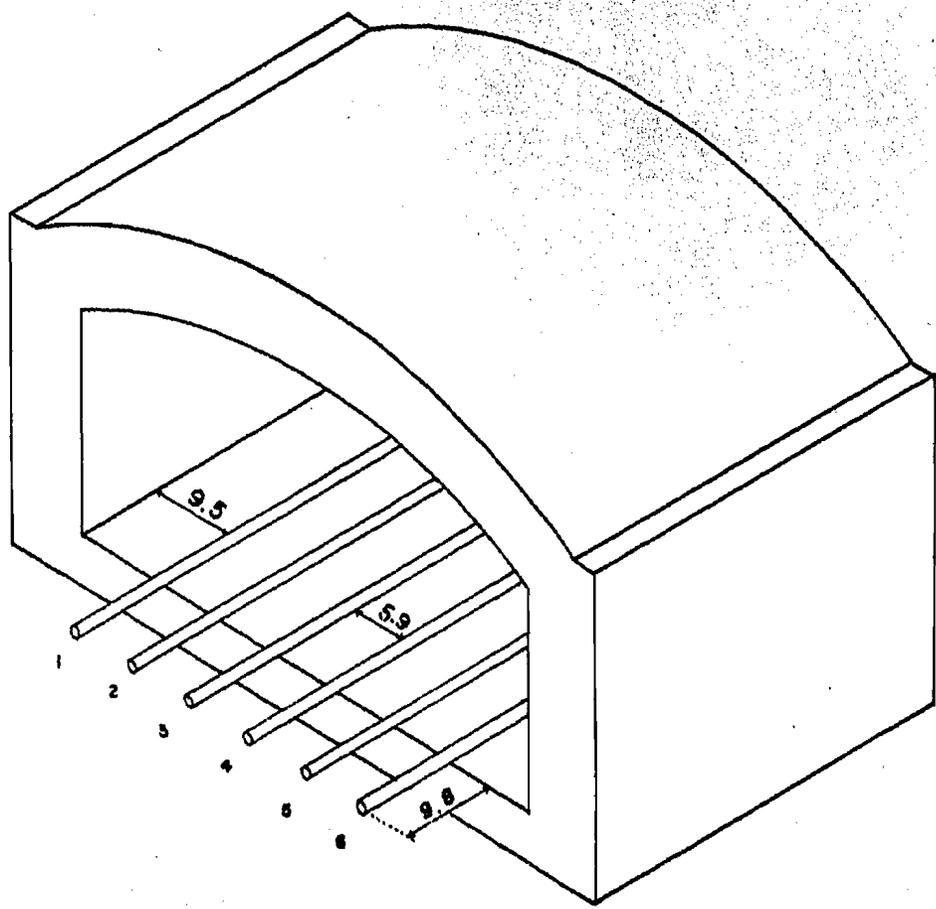
En consecuencia la profundidad del horno será de 31.5 pulg. (80 cms.).

La altura del horno debido a las dimensiones que van a tener las piezas, no debe de ser de gran magnitud, por lo general las piezas van a ser cilíndricas con diámetros no mayores de 2 pulg. (5 cms.) por lo que estimamos que la altura del horno sea de 19.7 pulg. (50 cms.).

La abertura de la compuerta será de 3 pulg. (7.6 cms.) para la introducción de las barras, para piezas de diferente forma y tamaño a la de las barras esta abertura podrá variar. De esta manera el horno queda totalmente dimensionado.

DIMENSIONES DEL HORNO.

52.



acotación : pulg.  
escala : 1:12

FIG. I - III

Método Para Calcular la Transferencia de Calor por las Paredes del Refractorio. Cálculos para la transferencia de calor.

El método estándar para calcular la pérdida de calor y las temperaturas de cara fría, es a base de ensayos y métodos de error de sucesiones aproximadas porque los factores "K", normalmente varían considerablemente con la temperatura. Este método es algo tedioso pero a base de práctica se puede reducir el número de ensayos.

Este método simplificado es basado en el concepto que dice que, para la media "X" de ancho de material refractorio hay un ancho equivalente en el ladrillo refractorio que tiene las mismas propiedades de conducción de calor.

Por ejemplo: a veces usamos un cálculo aproximado que dice que una pulgada de plástico equivale a dos pulgadas de ladrillo refractorio refiriéndose a valores de aisladores.

En este método simplificado cada componente o capa en una pared es convertida a su anchura equivalente de ladrillo refractorio. Cuando el equivalente total de la anchura de la pared es sabida, la temperatura de la cara fría puede ser leída directamente de una curva y con la temperatura de la cara fría la pérdida de calor puede ser leída.

con otra curva.

Gráfica 1-III (p. 71 ). Esta gráfica sirve para encontrar la temperatura de la cara fría, dada la temperatura de la cara caliente y anchura del ladrillo. Por ejemplo: con una pared de ladrillo de anchura 22 1/2 pulgadas y una cara caliente de 2200°F, se tiene la temperatura de la cara fría de 315°F.

Se debe observar esta gráfica que está basada con la temperatura del aire de 70°F, sin viento, y la pared siendo vertical. Estas condiciones son aceptadas como el estándar para los cálculos de conducción de calor.

Gráfica 2-III. (p. 72 ). Esta gráfica demuestra la pérdida de calor de las paredes verticales con varias temperaturas de la cara fría y condiciones variables de la velocidad del viento y medio ambiente (temperatura). Como un ejemplo: si no existe viento la temperatura del aire es de 70°F, una pared vertical con 200°F de la cara fría va a tener una pérdida de calor de 290 BTU/ft<sup>2</sup>-hr. Cuando la gráfica 2-III es usada junto con la gráfica 1-III, se recomienda la curva de 70°F y sin velocidad de viento.

Gráfica 3-III (p. 73 ). Esta gráfica es usada para encontrar la temperatura de interfase, o sea, la temperatura entre dos paredes. Para usar esta gráfica se debe de sa-

ber la pérdida de calor a través de la pared (gráfica 2-III) la temperatura de la cara caliente y el equivalente de la anchura del ladrillo de la fase caliente a la interfase. El ejemplo siguiente es ilustrado para la utilización de la gráfica 3-III.

La temperatura de la cara caliente es de  $2400^{\circ}\text{F}$ , el equivalente del ancho del ladrillo de la fase caliente a la interfase es de 19.80 pulgadas y la pérdida de calor es de  $385 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ . Empezando del lado izquierdo en el fondo se sigue la línea desde 19.80 pulgadas hasta que cruce la línea dibujada horizontalmente desde el lado izquierdo en  $Q = 385 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ . De este punto de intersección sigue la línea a  $45^{\circ}$  hasta que intercepte la curva. Las líneas de  $45^{\circ}$  del lado izquierdo de esta gráfica son para facilitar la referencia de la intersección y la curva. Del punto en la curva se sigue horizontalmente hacia la derecha de la gráfica hasta interceptar la línea con la temperatura correcta de la cara caliente, en este caso  $2400^{\circ}\text{F}$ . De este punto sigue una línea vertical hacia abajo, en donde se puede leer la temperatura de interfase que es de  $1650^{\circ}\text{F}$ .

Hay un método más fácil para encontrar la temperatura de interfase (aproximadamente) este método es usando la gráfica 1-III. Se encuentra la intersección de la línea horizontal representada por la temperatura de la cara fría

con la línea vertical para el equivalente en pulgadas de ladrillo entre la interfase y la fase de la cara fría. A esta altura se debe leer las curvas de temperatura de la fase caliente que pasa por este punto, esta es la temperatura de interfase.

El ejemplo mencionado anteriormente es para el ancho total de 48.00 pulgadas equivalentes a la temperatura de 2400°F de la cara caliente, dando una temperatura de la cara fría de 230°F. La interfase siendo de 19.80 pulgadas equivalentes de la cara caliente, siendo  $48.00 - 19.80 = 28.2$  pulgadas equivalentes de la cara fría. El punto formado donde la línea horizontal de la cara fría a 230°F intercepta la línea vertical de 28.2 pulgadas de ladrillo corresponde a una línea de cara caliente de 1650°F, este valor es la temperatura de la interfase.

De los métodos usados para encontrar la temperatura de interfase, el segundo método usando la gráfica 1-III, en el cual las condiciones de conducción de calor deben ser 70°F del medio ambiente, que no hay aire y una pared vertical.

En cambio si se usa la gráfica 3-III para encontrar la temperatura de la interfase las condiciones de conducción de calor no importan.

Gráficas 4A, 4B, 5-III (74, 75 y 75 resp.). Estas gráficas

dan valores exactos para el equivalente de pulgadas de ladrillo para nuestros productos en distintas temperaturas o promedios de temperaturas.

Los promedios equivalentes a las curvas numeradas son dadas en la tabla 1-III, por ejemplo: una pulgada de KAST-SET (curva No. 7) a un promedio de 2000°F es equivalente a 2.77 pulgadas de ladrillo.

Ocasionalmente el cálculo de conducción de calor va a requerir un material que no está incluido en las curvas de las gráficas 4A, 4B, 5-III, si el factor "K" de este material se sabe, el equivalente de pulgadas de ladrillo pueden ser determinadas de la gráfica 6-III. Por ejemplo: una pulgada de material con factor "K" de 2.5 BTU/ft<sup>2</sup>-hr-°F/ -inch, con un promedio de temperatura de 1600°F, de la gráfica 6-III, implica un equivalente de 3.70 pulgadas de ladrillo.

Gráfica 7A, 7B, 8, 9-III (p. 78,79,80 y 81 respec.). Demuestran el factor "K" de los productos que corresponden a las curvas numeradas y en la tabla 1-III.

La tabla 1-III (p. 68) enumera los valores aproximados equivalentes para los productos en tres diferentes rangos de temperaturas por ejemplo: baja, media, superior. Cuando se está calculando el promedio de la temperatura pa-

ra cada material y se está utilizando la tabla 1-III, se está haciendo un cálculo aproximado y es usado bajo este método.

Como este método utiliza ensayo y error, esto implica que la cantidad de cálculos es considerablemente reducido y hay una buena posibilidad que el primer ensayo sea correcto.

A continuación se desarrollarán dos ejemplos, para ilustrar la utilización de las gráficas antes mencionadas.

Pared de una sola componente: se entiende por una sola componente a la composición de la pared del horno con un solo ladrillo refractario sin ladrillo aislante.

Pared de dos componentes: se entiende por dos componentes a la composición de la pared del horno con un ladrillo refractario y un ladrillo aislante.

Ejemplo 1:

Pared de una sola componente:

Se tiene 6 pulgadas de KAST-O-LITE, con una temperatura de cara caliente de 2000°F. con una velocidad de viento de cero millas por hora, con una temperatura del medio ambiente de 70°F, ¿cuál es la temperatura de la cara fría y

la pérdida de calor?

Primer ensayo: tomando una pulgada de KAST-O-LITE la cual equivale a 2.77 pulgadas de ladrillo (este valor está tomado de la tabla 1-III).

Haciendo el producto del valor del KAST-O-LITE y su valor equivalente se tiene:

$$6'' \text{ de KAST-O-LITE} = 6 \times 2.77 = 16.62'' \text{ de ladrillo.}$$

A 2000°F de la cara caliente y con 16.62'' de ladrillo da una temperatura de cara fría de 340°F (este valor está tomado de la gráfica 1-III).

La respuesta de 340°F de cara fría, es correcta, si el equivalente asumido de 2.77'' coincide con el valor que se obtenga con la temperatura media.

$$\text{Temperatura media} = \frac{2000^{\circ}\text{F} + 340^{\circ}\text{F}}{2} = 1170^{\circ}\text{F}$$

De la gráfica 4A-III, el valor equivalente de KAST-O-LITE a una temperatura de 1170°F es de 2.67'', el cual es diferente de 2.77'' que se había asumido. Para mayor exactitud en el cálculo es necesario repetir el procedimiento con el nuevo valor equivalente de 2.67''.

Segundo ensayo: usando el nuevo valor:

Tomando una pulgada de KAST-O-LITE la cual equivale a 2.67 pulgadas de ladrillo.

Haciendo el producto del valor del KAST-O-LITE y su nuevo valor equivalente se tiene:

$$6'' \text{ de KAST-O-LITE} = 6 \times 2.67 = 16.02'' \text{ de ladrillo.}$$

A 2000°F de la cara caliente y con 16.02'' de ladrillo da una temperatura de cara fría de 347°F (este valor está tomado de la gráfica 1-III).

Comprobando el valor equivalente de la nueva temperatura media:

$$\text{Temperatura media: } \frac{2000^{\circ}\text{F} + 347^{\circ}\text{F}}{2} = 1174^{\circ}\text{F}$$

De la gráfica 4A-III el valor equivalente a 1174°F es igual a 2.67''. Este valor verifica el equivalente de la temperatura media de 1170°F, de aquí que la temperatura de cara fría es de 347°F.

La pérdida de calor es leída de la gráfica 2-III, seleccionando la curva de 70°F de medio ambiente y una velocidad de viento de cero millas por hora y la temperatura de la cara fría de 347°F, obteniéndose así una pérdida de calor de 855 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Ejemplo 2:

Pared de dos componentes:

Se tiene 9 pulgadas de KAST-SET y 2 pulgadas de INSBLOK-19, con una temperatura de cara caliente de 2400°F, con una velocidad de viento de cero millas por hora, con una temperatura del medio ambiente de 70°F, ¿cuál es la temperatura de la cara fría, la temperatura de la interfase y la pérdida de calor?

Primer ensayo: tomando una pulgada de INSBLOK-19 la cual equivale a 13.4 pulgadas de ladrillo y una pulgada de KAST-SET la cual equivale a 2.40 pulgadas de ladrillo (estos valores están tomados de la tabla 1-III).

Haciendo los productos de los valores de KAST-SET e INSBLOK-19 y sus valores equivalentes tenemos:

9" de KAST-SET =  $9 \times 2.40 = 21.60$ " de ladrillo

2" de INSBLOK-19 =  $2 \times 13.4 = \underline{26.80}$ " de ladrillo

Total equivalente      48.40 de ladrillo.

De la gráfica 1-III, con el valor total equivalente de 48.40" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2400°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 229°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del

medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 385 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Esta respuesta es correcta, si los valores equivalentes que se consideraron, coinciden con las temperaturas medias correspondientes; para calcular una de las temperaturas medias es indispensable saber la temperatura de la interfase.

Nota: La temperatura de la interfase es aquella que hay entre la unión del ladrillo refractario y el ladrillo aislante.

Para calcular la temperatura de la interfase se utiliza la gráfica 3-III, se toma el ancho del ladrillo de la fase caliente en valor equivalente, este valor es de 21.60" la pérdida de calor de 385 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara caliente de 2400°F, resultando una temperatura de la interfase de 1575°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de KAST-SET} = \frac{2400^{\circ}\text{F} + 1575^{\circ}\text{F}}{2} = 1988^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 2.35".

$$\text{Temperatura media de INSBLOK-19} = \frac{1575^{\circ}\text{F} + 229^{\circ}\text{F}}{2} = 902^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 4A-III - se obtiene un valor equivalente de 11.6".

Estos valores son diferentes a los que se consideraron, así que se repetirán los cálculos usando los nuevos valores equivalentes.

Segundo ensayo: usando los nuevos valores equivalentes.

Una pulgada de INSBLOK-19 = 11.6" de ladrillo

Una pulgada de KAST-SET = 2.35" de ladrillo

2" de INSBLOK-19 = 2 x 11.6 = 23.20" de ladrillo

9" de KAST-SET = 9 x 2.35 = 21.15" de ladrillo

Total equivalente 44.35" de ladrillo

De la gráfica 1-III, con el valor total equivalente de 44.35" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2400°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 239°F, - con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las - pérdidas de calor de 410 BTU/ft<sup>2</sup> - hr.

Con el ancho del ladrillo de la fase caliente en valor equivalente de 21.15", la pérdida de calor de 410 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara caliente de 2400°F y uti-

lizando la gráfica 3-III, se obtiene una temperatura de la interfase de 1525°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de KAST-SET} = \frac{2400^{\circ}\text{F} + 1525^{\circ}\text{F}}{2} = 1963^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 4A-III - se obtiene un valor equivalente de 2.34".

$$\text{Temperatura media de INSBLK-19} = \frac{1525^{\circ}\text{F} + 239^{\circ}\text{F}}{2} = 882^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 4A-III - se obtiene un valor equivalente de 11.7".

Estos nuevos valores equivalentes coinciden con los valores supuestos anteriores, esto implica que se toman como valores definitivos:

Temperatura de la cara fría: 239°F

Temperatura de la interfase: 1525°F

La pérdida de calor: 410 BTU/ft<sup>2</sup> - hr.

Se observa que en el primer ejemplo (pared de una sola componente) que hay una divergencia de 7°F de temperatura de la cara fría entre el primer ensayo y el segundo ensayo para obtener el resultado correcto. En el segundo ejemplo (pared de dos componentes) hay una divergencia de 10°F

de temperatura de la cara fría entre el primer ensayo y el segundo ensayo para obtener el resultado correcto. En estos cálculos rara vez habrá una divergencia de más de  $20^{\circ}\text{F}$  en la temperatura de la cara fría del primer ensayo y el segundo.

Precisión y Error en los Cálculos de Conducción de Calor. La precisión de cualquier cálculo que incluye propiedades físicas, dependen de la precisión de la información fundamental. Posteriormente hay una discusión de los orígenes de los errores en los cálculos de la conducción de calor.

1. Factores "K". Los coeficientes de conducción de calor (factores "K") son determinados experimentalmente por cada material. Este es un proceso complicado y es muy raro que los resultados de diferentes laboratorios sean iguales, afortunadamente es posible cometer un error en el factor "K" sin afectar los cálculos de la temperatura de la cara fría. Por ejemplo: un error de 10 por ciento en el factor "K" normalmente dará una diferencia de temperatura de la cara fría de  $15^{\circ}\text{F}$  de la temperatura correcta.

2. Ambientes. Todos los factores "K" son determinados experimentalmente en un aire atmosférico. La conductividad de los espacios de aire son muy importantes para determinar el factor "K" por su porosidad, si otro gas que no

sea aire llena estos espacios el factor "K" del material va a cambiar, especialmente esto es cierto para materiales aislantes que son porosos. El factor "K" de todos los gases no es por ningún motivo igual, pero afortunadamente la mayoría de los gases que están en contacto con los refractarios tienen un factor "K" que no son muy diferentes en comparación con el aire.

Una excepción con esta regla es el hidrógeno, porque su factor "K" es siete veces mayor que el aire. Si una atmósfera con un alto contenido de hidrógeno es usado para estos cálculos es común hacer el material aislante con un valor doble del factor "K".

3. Pérdida de calor de la superficie. Las líneas curvas de la gráfica 2-III que representan la pérdida de calor, están basadas en la información más exacta. Son una combinación de pérdida de calor debido a convección y radiación; la radiación tiene que ver con la emisividad de la superficie, la cual es aproximadamente 0.95 para la mayoría de los materiales pero este valor puede variar especialmente con superficies brillantes. La componente de convección está basada en una fórmula experimental por lo tanto es susceptible a un error experimental. El efecto del viento varía dependiendo del ángulo en que llega a la superficie, también si hay superficies cercanas que estén tibias o ca-

lientes, todo esto afectará tanto la pérdida de radiación - como la de convección.

4. Medición de la temperatura. Normalmente se - - usan termopares para medir altas temperaturas, los cuales - por diferentes razones a veces no dan un resultado preciso. También hay otros métodos para medir las temperaturas; estos métodos también son susceptibles a error. Si hay transferencia de calor implica que debe haber una disminución en la temperatura de los gases calientes y la superficie - del refractario. Un margen para esta disminución de la temperatura es de aproximadamente de 50°F; bajo condiciones - muy extremas la diferencia puede ser hasta de 100°F.

5. Otros factores. Hay otros factores que pueden afectar la conducción de calor como la vitrificación y la - escoria, estos factores cambian el factor "K" del refractario. Las cuartaduras en las paredes y la unión del mortero afectan definitivamente la conducción de calor. En vista de las mencionadas fuentes de error en los cálculos de la conducción de calor, es recomendable que todos los cálculos de la temperatura de la cara fría se redondeen a los 5°F más - cercanos y que todos los cálculos de la pérdida de calor se redondeen a 10 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Diseño de las Paredes Laterales y Pared de Fondo. Para el diseño del horno se tomarán los materiales siguientes:

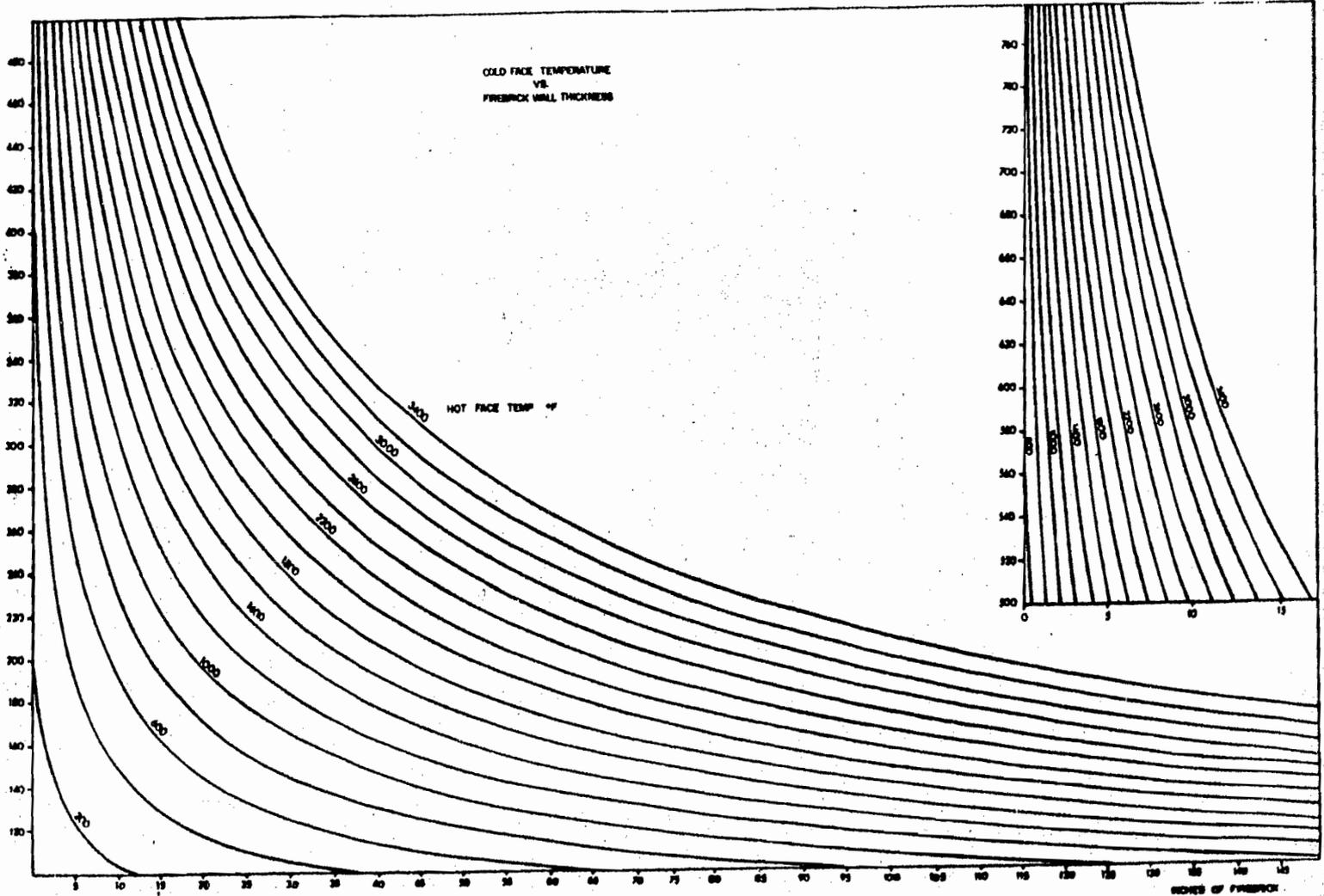
TABLA 1 - III

## ANCHO APROXIMADO EQUIVALENTE DE LADRILLO EN PULGADAS

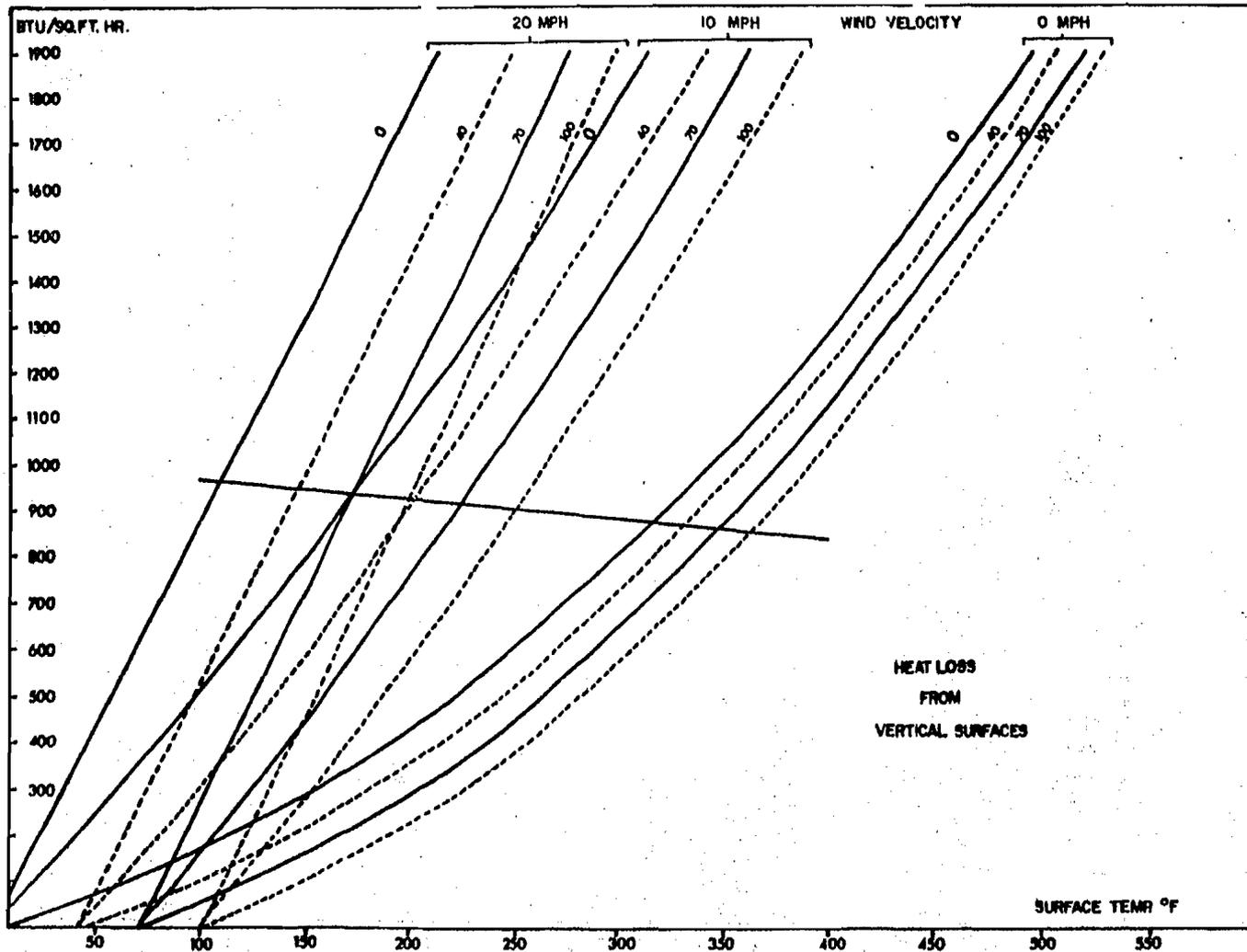
	Promedio bajo de Temperatura abajo de 1000°F	Promedio medio de Temperatura de 1000-2000°F	Promedio superior de Temperatura arriba de 2000°F	Curva Número
HEAVY FIREBRICK	1.00	1.00	1.00	1
VALENTINE XX	1.80	1.62	1.45	-
HEAVY CASTABLE	-	-	-	-
GREENCAST-12	1.72	1.95	-	5
GREENCAST-12GR (Gunned)	1.72	1.95	-	5
GREENCAST-12GR (Poured)	1.80	2.05	-	6
GREENCAST-22LGR (Gunned)	2.67	2.95	3.20	9
GREENCAST-222LGR (Poured)	2.95	3.26	3.50	10
GREENCAST-28GR	1.72	1.95	2.10	5
GREENCAST-94GR	0.75	0.95	1.10	2
GREENCAST-94	0.75	0.95	1.10	2
GREENCAST-97	0.75	0.95	1.10	2
GREENCAST-97GR	0.75	0.95	1.10	2
GREENCAST-97-L	0.90	1.46	1.86	12
GREENCAST-97-LGR	0.78	1.25	1.58	11
HYDROCRETE	1.72	1.95	-	5
HYDROSET	1.72	1.95	-	5
KAST-O-LITE	2.50	2.77	2.95	8
KAST-O-LITE GR	2.50	2.77	2.92	8
KAST-O-LITE 30	2.50	2.77	2.92	8
KAST-SET	1.90	2.77	2.40	7
KS-4 (Gunned)	1.72	1.95	2.10	5
KS-4 (Poured)	1.90	2.17	2.40	7
KS-4V	1.72	1.95	2.10	5
LO-ABRADE	1.58	1.82	1.97	4

	Promedio bajo de temperatura abajo de 1000°F	Promedio medio de temperatura de 1000-2000F	Promedio superior de temperatura arriba de 2000°F	Curva Número
LO- ABRADÉ GR	1.72	1.95	2.10	5
MC-22	1.72	1.95	2.10	5
MC-25	1.72	1.95	2.10	5
MC-30	1.50	1.70	1.85	3
MIZZOU CASTABLE	1.50	1.70	1.85	3
MIZZOU GR	1.50	1.70	1.85	3
STEELKON	1.58	1.82	1.97	4
STEELKON GR	1.58	1.82	1.97	4
STEEL PLANT CASTABLE A	1.50	1.70	1.85	3
STEEL PLANT CASTABLE B	1.72	1.95	2.10	5
SUPER-CAST-SET	1.72	1.95	2.10	5
INSULATING CASTABLE				
CASTABLE INSULATION 20	3.87	4.42	-	14
CASTABLE INSULATION 22	4.15	4.80	-	15
SK-7 (Poured)	4.50	5.20	-	16
SK-7 (Gunned)	3.87	4.42	-	14
VSL-50 (Poured)	4.15	4.80	-	15
VSL-50 (Gunned)	3.70	4.30	-	13
CASTABLE BLOCK MIX INSULATION	14.5	-	-	22
INSBLOK-19	13.4	8.3	-	21
INSULATING CEMENT	8.0	5.7	-	20
INSULATING BRICK				
G-20	4.45	4.30	-	25
G-23	4.20	4.10	3.85	24
G-26	3.70	3.70	3.60	23
GREENLITE-28	3.17	3.15	3.15	22
GREENLITE-30	2.95	2.85	2.85	21
GREENLITE-33	1.90	2.15	2.20	20
GREENLITE-KL	2.95	2.85	2.85	21

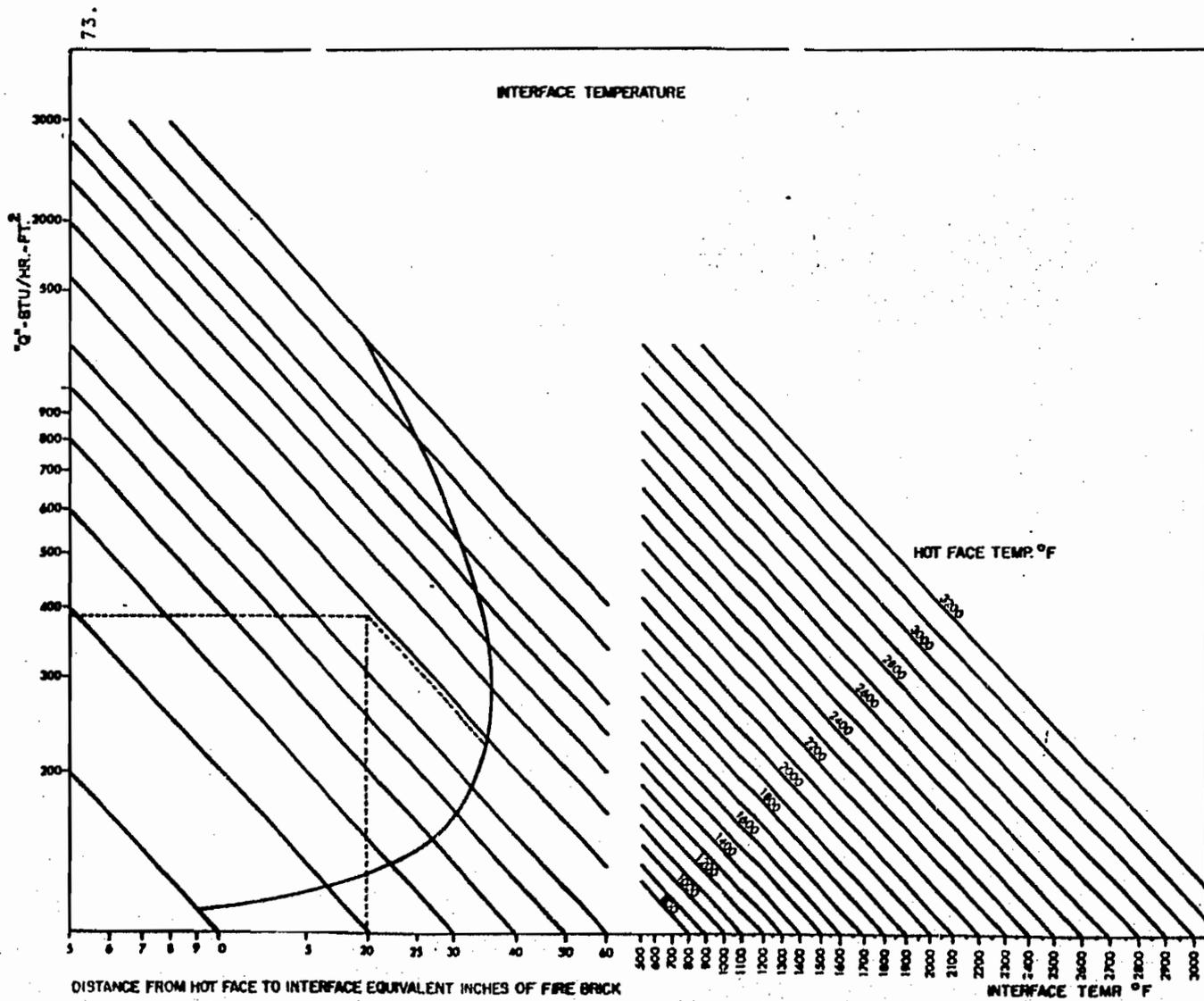
	Promedio bajo de temperatura abajo de 1000°F	Promedio medio de temperatura de 1000-2000°F	Promedio superior de temperatura arriba de 2000°F	Curva Número
XSILITE	2.80	2.20	1.80	26
PLASTICS				
GREENPAK-80	1.90	1.58	1.45	30
HIG ALUMINA PLASTIC	2.07	1.70	1.53	31
QUIK-PAK	2.40	1.95	1.80	32
QUIK-PAK BOND	2.40	1.95	1.80	32
SUPER G	2.40	1.95	1.80	32
SUPER H	2.40	1.95	1.80	32
SUPER HYBOND	2.40	1.95	1.80	32
SUPER PLASTIC	2.40	1.95	1.80	32
REMEY BRYCK				
DV	0.46	0.63	0.73	43
DV-38	0.27	0.47	0.60	41
90-B	0.46	0.63	0.73	43
99-AD	0.27	0.47	0.60	41
CRYSTALITE	0.93	0.95	1.20	44
SiC A-1	0.06	0.08	0.10	40
ZIRCON	0.58	0.68	0.75	42
BASIC BRICK				
GREEN-40	0.43	0.63	0.90	52
GREEN-98	0.13	0.26	0.40	50
GREEN B-40	0.43	0.63	0.90	52
GREEN B-70	0.26	0.35	0.43	51
GREEN B-98	0.13	0.26	0.40	50



GRAFICA 1 - III.

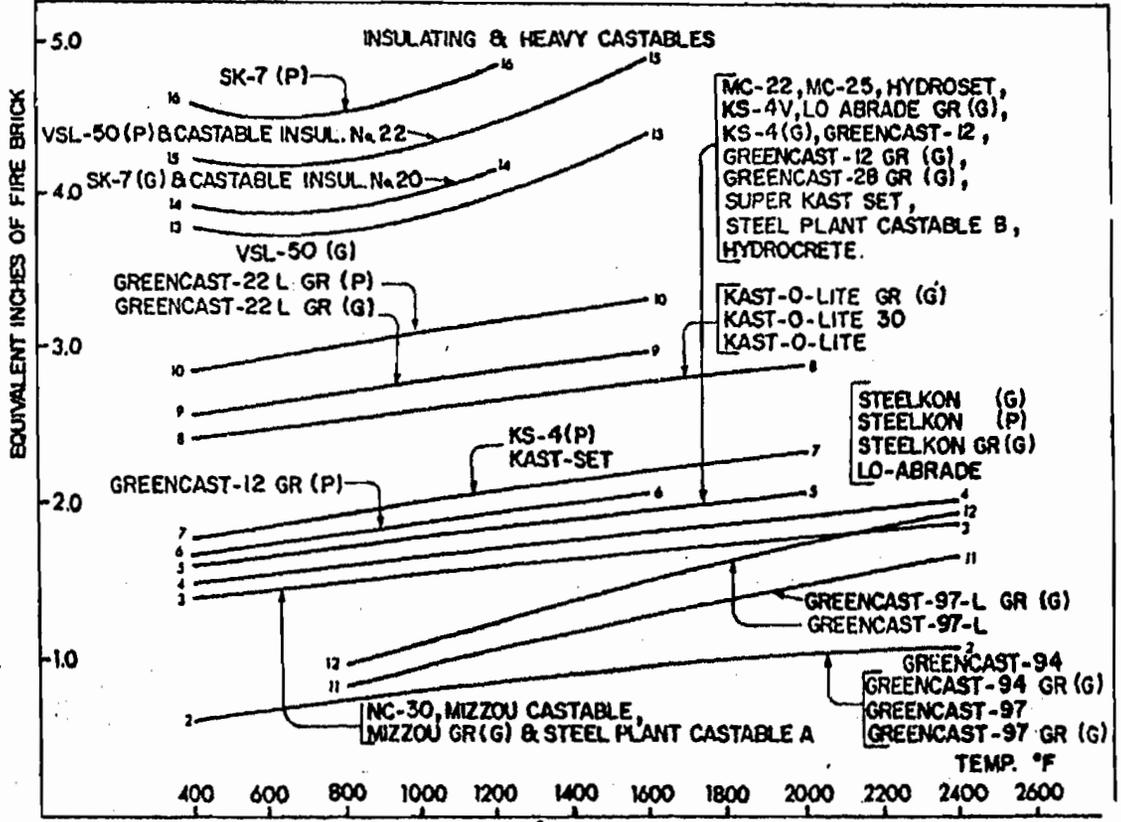
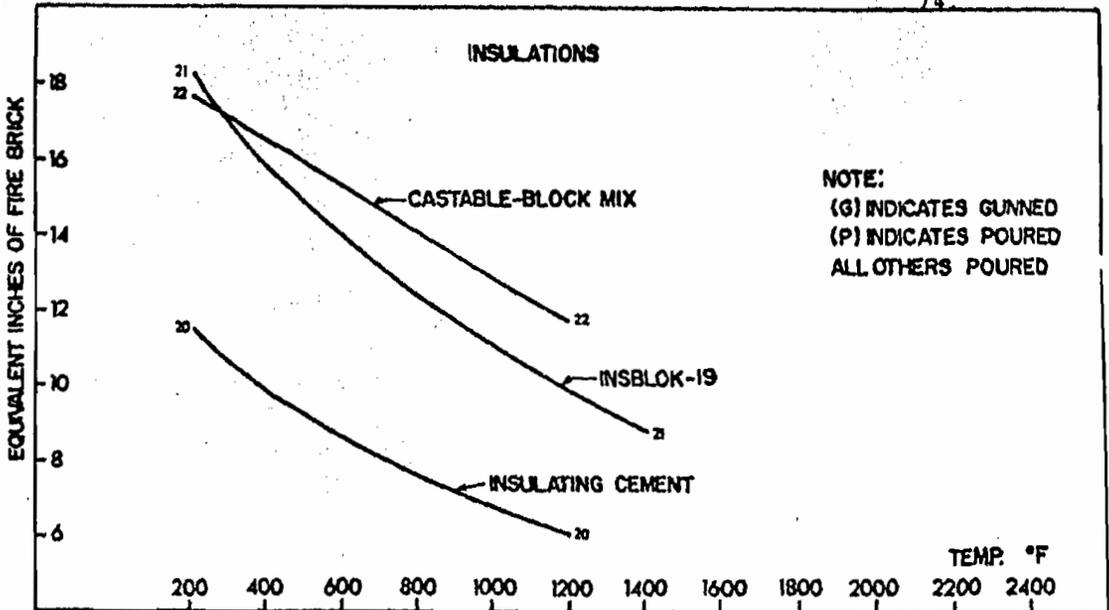


GRAFICA. 2 - III.

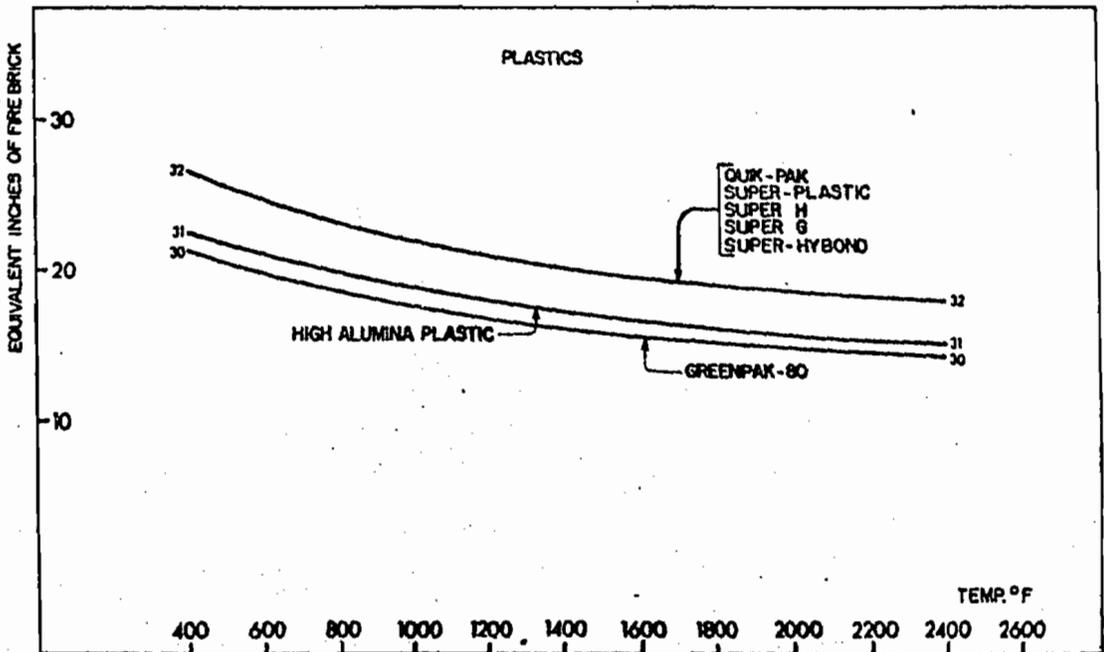
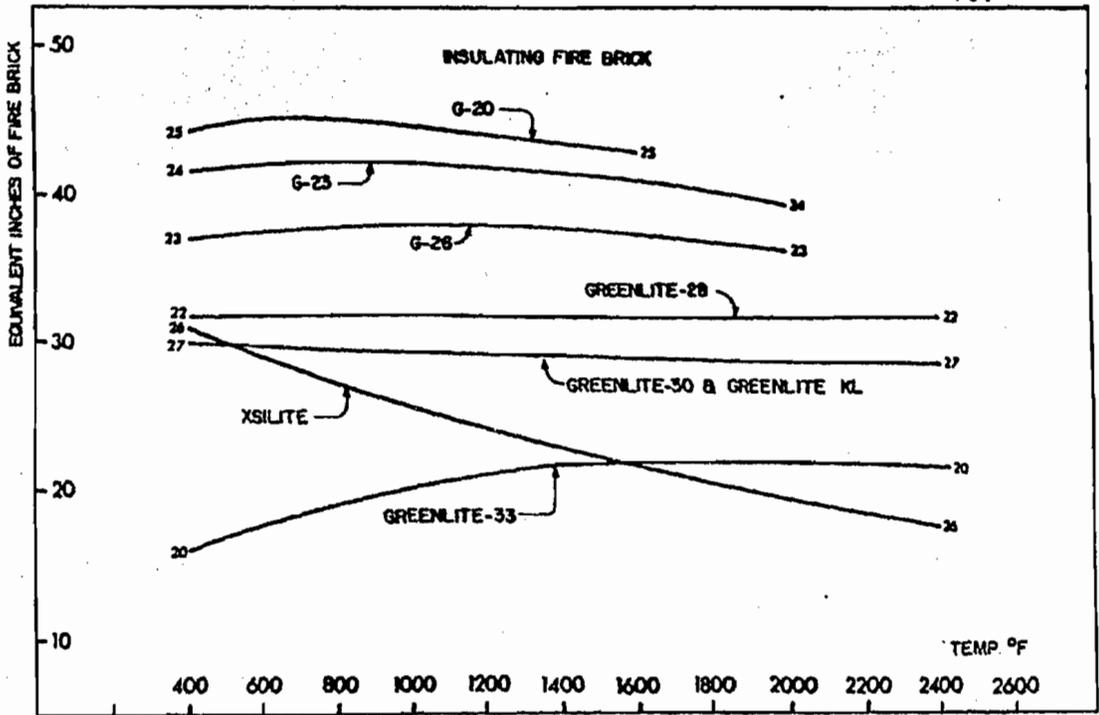


73.

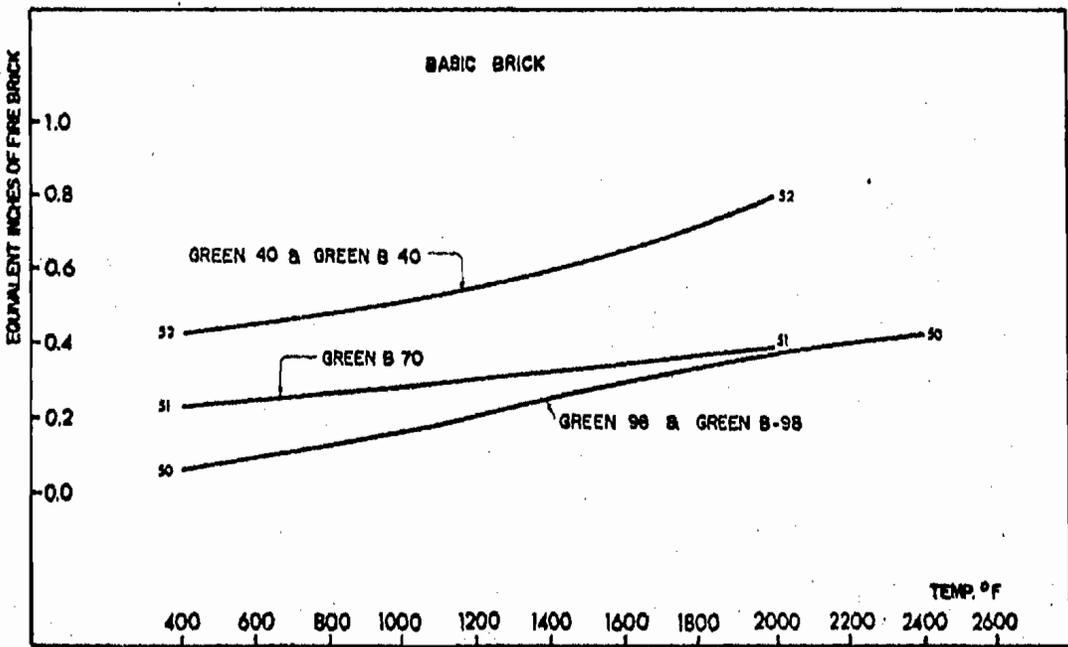
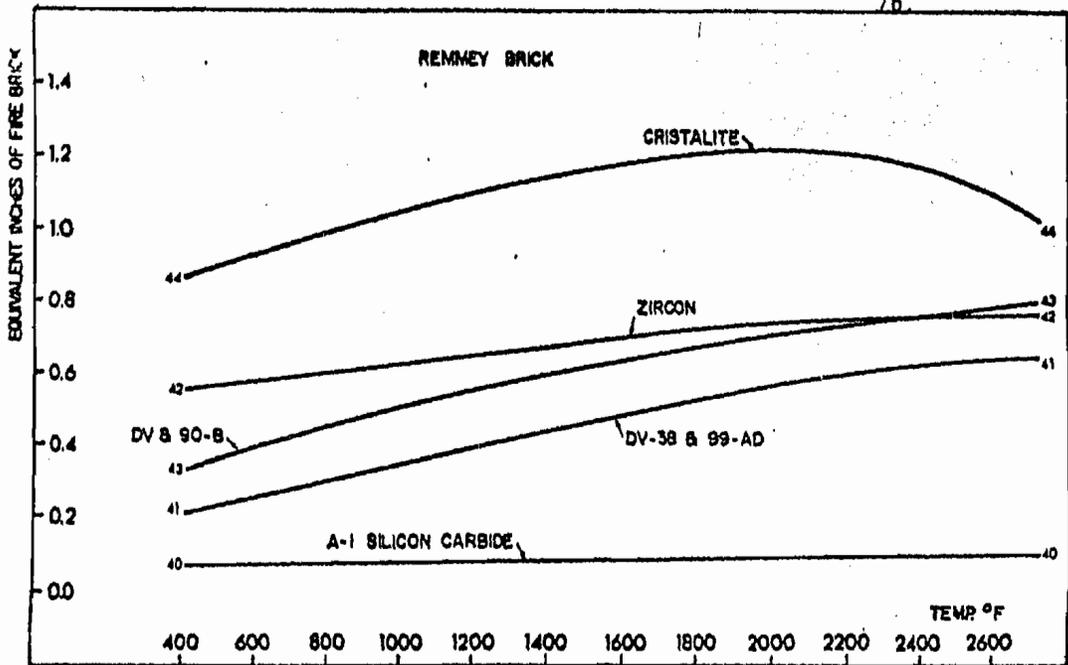
GRAFICA. 3 - III.



GRAFICA. 4A. - III.



GRAFICA . 4B. - III.



GRAFICA. 5 - III.

# EQUIVALENT INCHES OF FIRE BRICK FROM K FACTOR

"K" - 0.48 BTU-IN/SQ FT.-°F-HR

EQUIVALENT INCHES OF FIRE BRICK

30  
40  
50

20

10

80

70

60

50

40

30

20

10

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

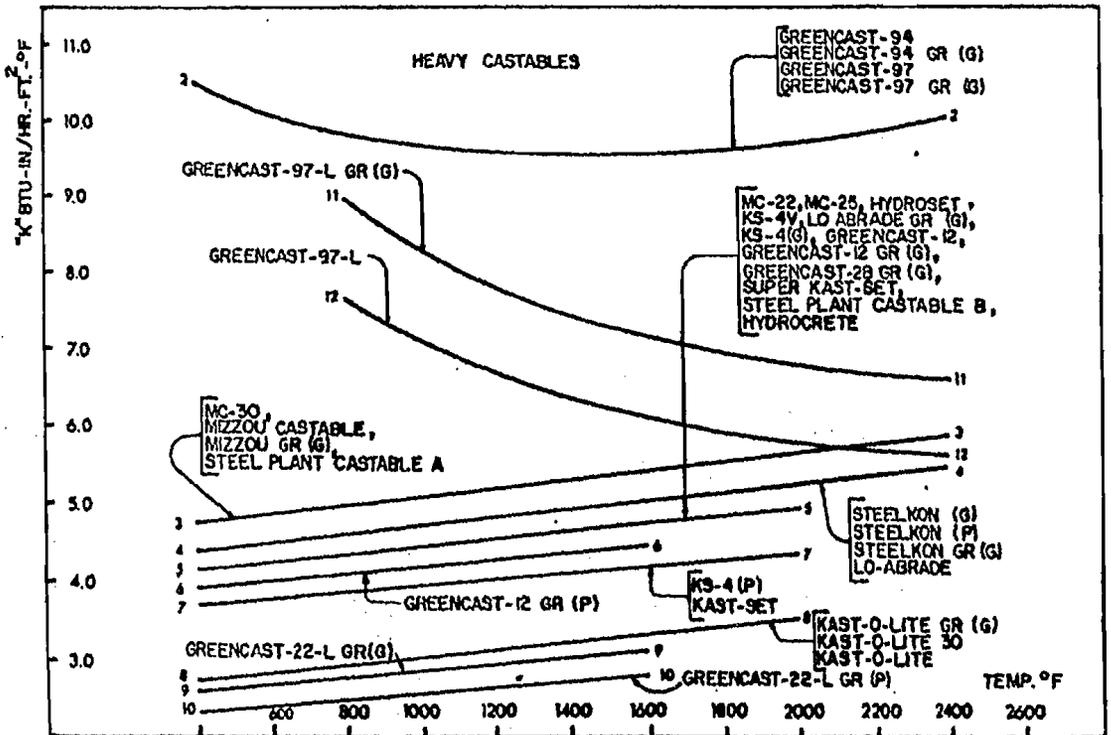
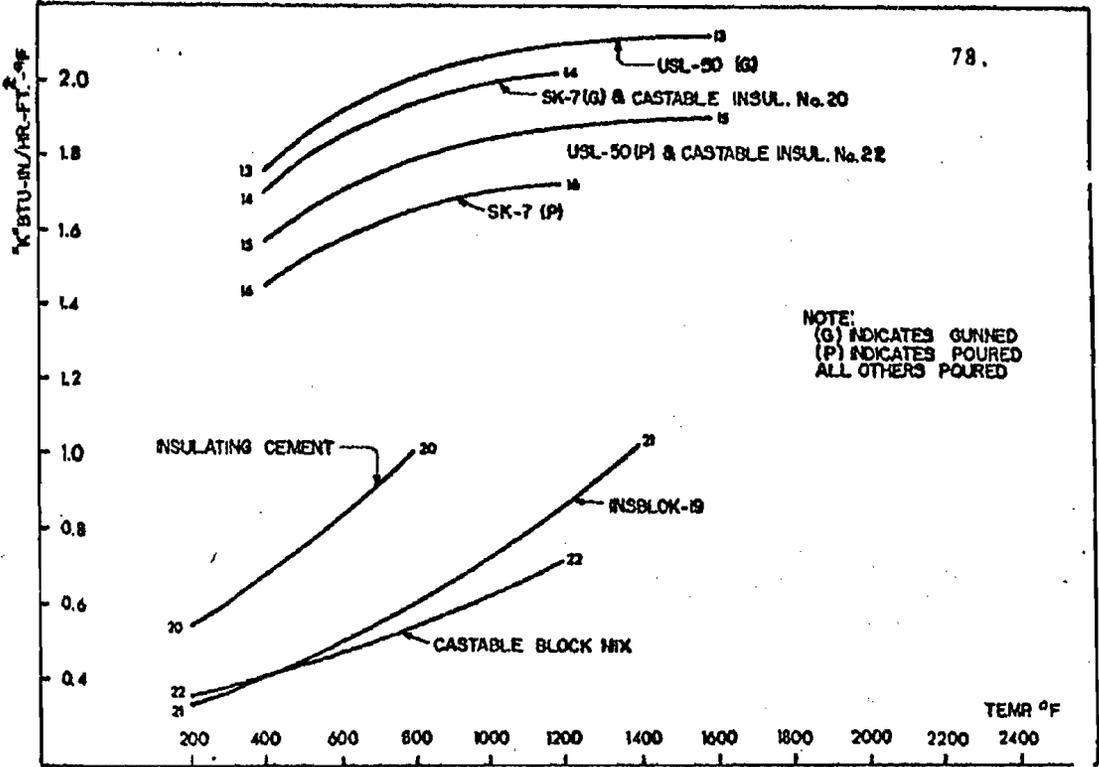
0.4

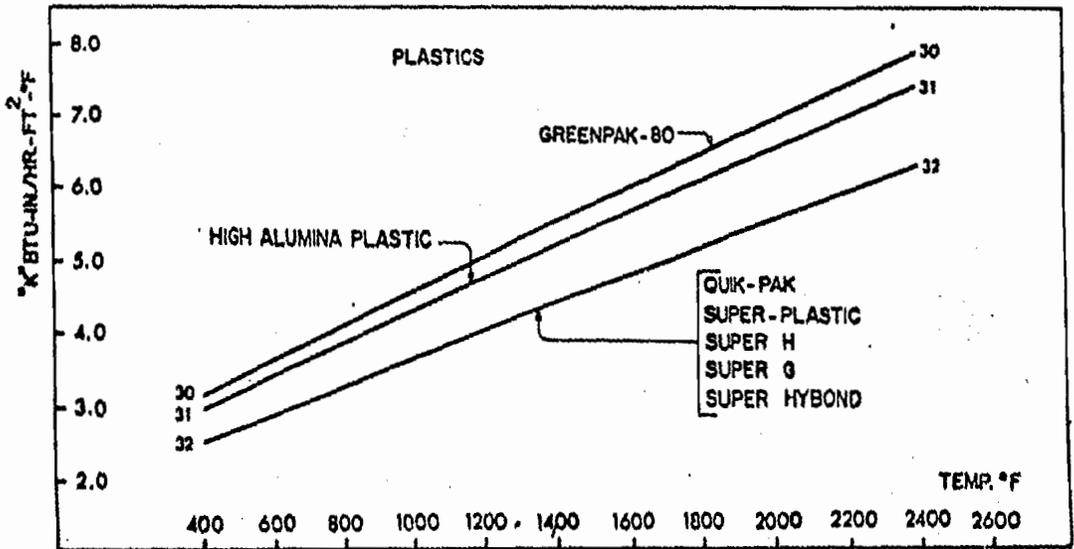
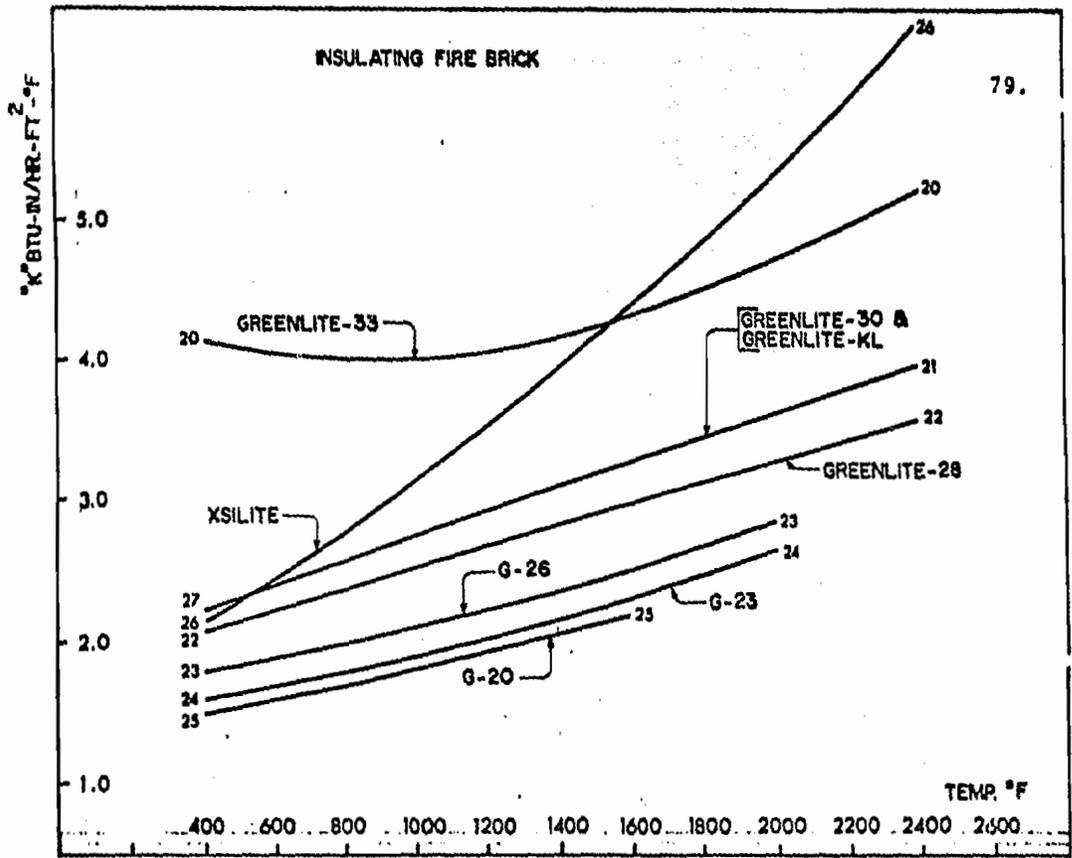
0.3

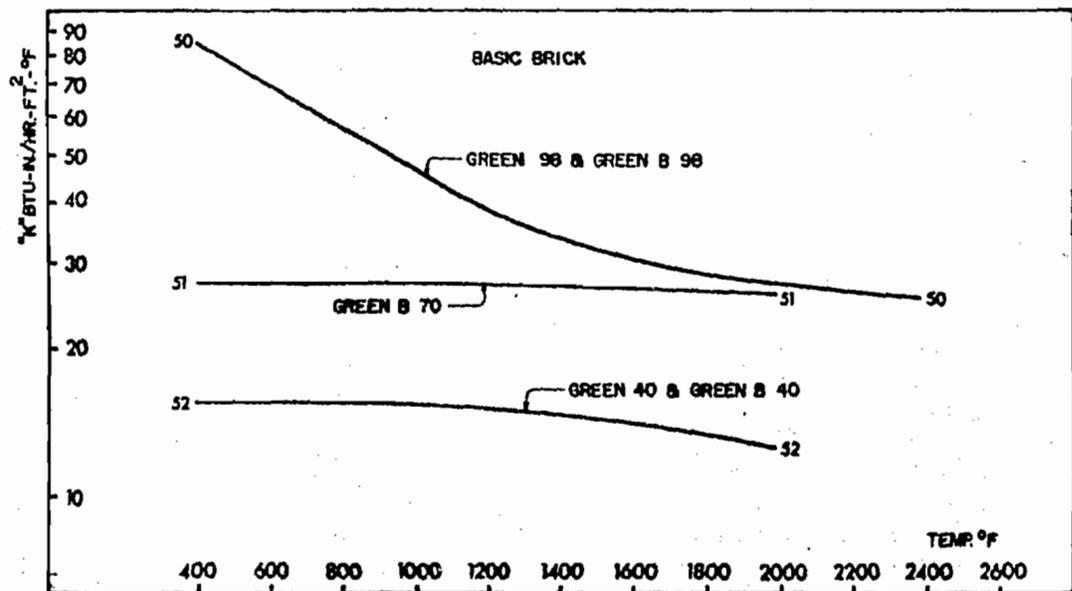
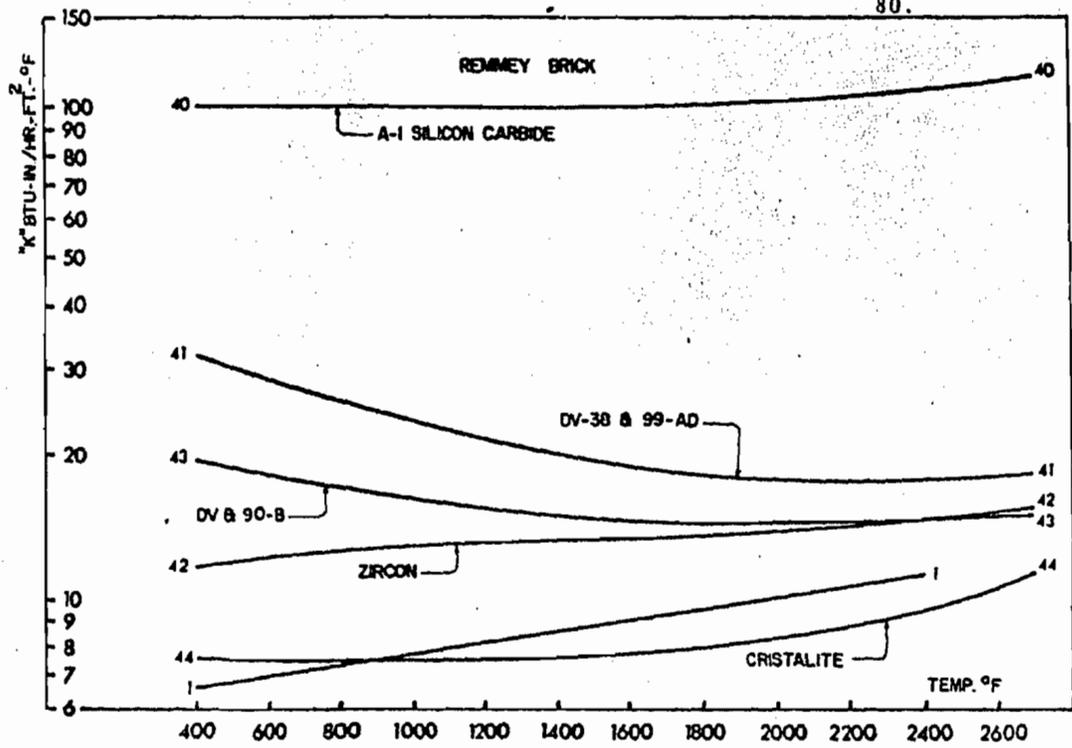
0.2

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600  
TEMP. °F

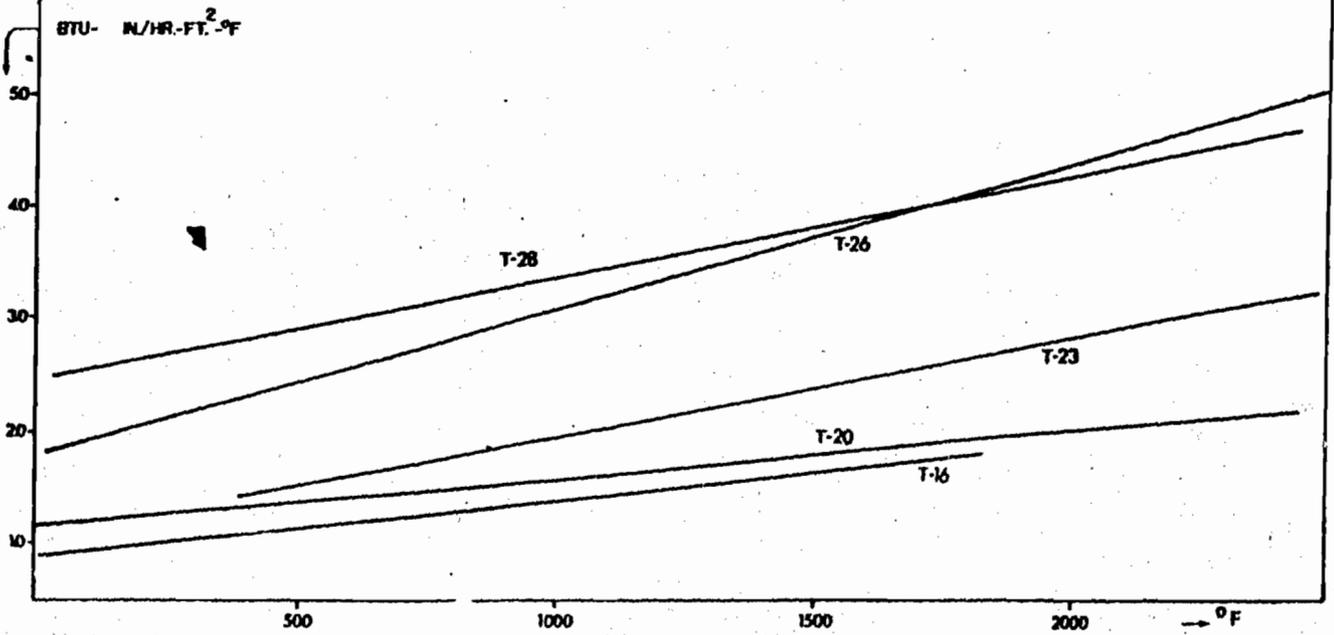
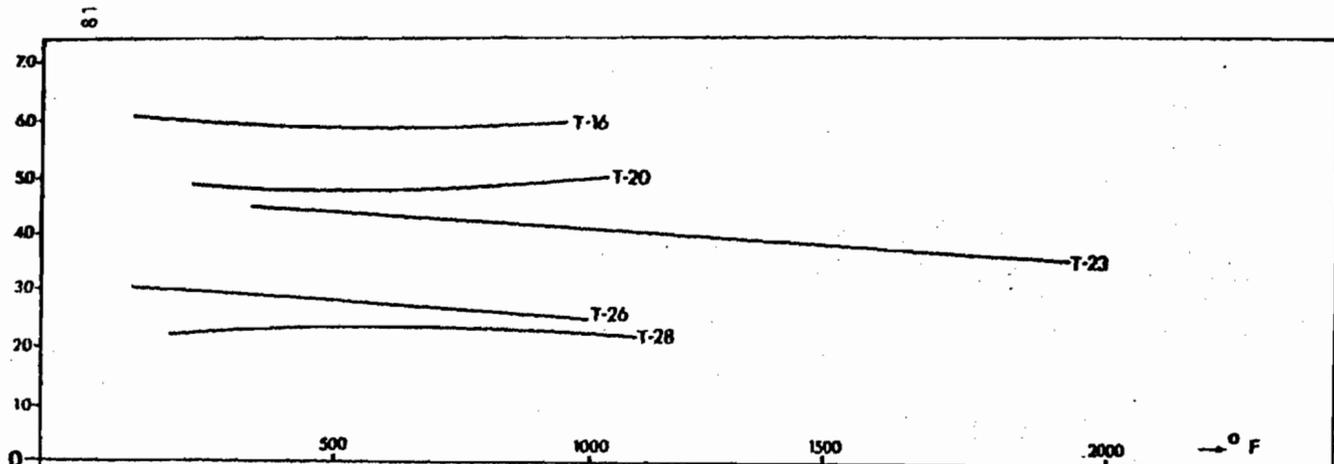
INSULATIONS & INSULATING CASTABLES







GRAFICA. 8. - III.



GRAFICA. 9. - III.

Como ladrillo refractario el 42-M: es un ladrillo de calidad superior con un equivalente al cono pirométrico Orton 33-34 (1745-1769°C); es muy denso y resistente.

Debido a su pureza de sus arcillas y su baja porosidad puede soportar satisfactoriamente condiciones severas de escorificación y de disgregación térmica. Es un ladrillo muy resistente a la deformación bajo carga a altas temperaturas. En paredes de impacto de flama donde hay condiciones muy severas de operación ha mostrado ser insustituible.

Como ladrillo aislante el T-23: es un ladrillo aislante para temperaturas desde 2012-2300°F (1100-1260°C); posee propiedades muy importantes como baja conductividad térmica, buena resistencia mecánica y baja contracción hasta sus temperaturas límite de servicio.

Cálculos: primera forma de hilada de 9" x 9": figura 2-III (2a).

Se tiene 9 pulgadas de 42-M y 9 pulgadas de T-23, con una temperatura de cara caliente de 2282°F (temperatura de trabajo).

Primer ensayo: tomando una pulgada de 42-M la cual equivale a 1 pulgada de ladrillo (valor tomado de la tabla 1-III).

Para el T-23 se toma un promedio intermedio de temperatura de  $1000^{\circ}\text{F}$  y de la gráfica 9-III se obtiene un valor de  $K = 2.0 \text{ BTU-in/ft}^2\text{-hr-}^{\circ}\text{F}$ , en seguida de la gráfica 6-III se tiene un valor equivalente de 4 pulgadas de ladrillo.

Haciendo los productos de los valores del 42-M y T-23 y sus valores equivalentes tenemos:

9" de 42-M =  $9 \times 1 = 9$ " de ladrillo

9" de T-23 =  $9 \times 4 = \underline{36}$ " de ladrillo

Total equivalente 45" de ladrillo

De la gráfica 1-III con el valor total equivalente de 45" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de  $2282^{\circ}\text{F}$ , se obtiene una temperatura de cara fría de  $228^{\circ}\text{F}$ , con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de  $70^{\circ}\text{F}$  y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de  $375 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ .

Con la gráfica 3-III, el ancho del tabique de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 9", la pérdida de calor de  $375 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ , la temperatura de la cara caliente de  $2282^{\circ}\text{F}$ , tenemos una temperatura de la interfase de  $1950^{\circ}\text{F}$ .

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de 42-M} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 1950^{\circ}\text{F}}{2} = 2116^{\circ}\text{F}$$

Se tiene un valor equivalente de 1" (este valor equivalente es estandar para este tipo de ladrillo refractario).

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{1950^{\circ}\text{F} + 228^{\circ}\text{F}}{2} = 1089^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 4.1".

Segundo ensayo: usando los nuevos valores equivalentes.

Una pulgada de 42-M = 1" de ladrillo

Una pulgada de T-23 = 4.1" de ladrillo

9" de 42-M = 9 x 1 = 9" de ladrillo

9" de T-23 = 9 x 4.1 = 36.9" de ladrillo

Total equivalente 45.9" de ladrillo.

De la gráfica 1-III con el valor equivalente de 45.9" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F se obtiene una temperatura de cara fría de 218°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 340 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 30III, el ancho del ladrillo de la fa

se caliente a la interfase, cuyo valor es de 9", la pérdida de calor de  $340 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ , la temperatura de la cara caliente de  $2282^\circ\text{F}$ , tenemos una temperatura de la interfase - de  $1975^\circ\text{F}$ .

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de 42-M} = \frac{2282^\circ\text{F} + 1975^\circ\text{F}}{2} = 2128.5^\circ\text{F}$$

Se tiene un valor equivalente de 1".

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{1975^\circ\text{F} + 218^\circ\text{F}}{2} = 1096.5^\circ\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 4.13".

Estos nuevos valores equivalentes coinciden con los valores anteriores, esto implica que se toman valores definitivos:

Temperatura de la cara fría:  $218^\circ\text{F}$ .

Temperatura de la interfase:  $1975^\circ\text{F}$ .

La pérdida de calor:  $340 \text{ BTU/ft}^2\text{- hr}$ .

Cálculos: segunda forma de hilada de 9" x 4.5", con los mismos materiales 42-M, T-23, Figura 2-III (2b).

Se tiene 9 pulgadas de 42-M y 4.5 pulgadas de T-23,

con una temperatura de cara caliente de 2282°F (temperatura de trabajo).

Primer ensayo: tomando una pulgada de 42-M la cual equivale a 1 pulgada de ladrillo (valor tomado de la tabla 1-III).

Para el T-23 se toma un promedio intermedio de una temperatura de 1000°F y de la gráfica 9-III se obtiene un valor de  $K = 2.0 \text{ BTU-in/ft}^2 \cdot \text{hr-}^\circ\text{F}$ , enseguida de la gráfica 6-III se tiene un valor equivalente de 4 pulgadas de ladrillo.

Haciendo los productos de los valores del 42-M y T-23 y sus valores equivalentes tenemos:

$$9'' \text{ de } 42\text{-M} = 9 \times 1 = 9'' \text{ de ladrillo}$$

$$4.5'' \text{ de T-23} = 4.5 \times 4 = \underline{18''} \text{ de ladrillo}$$

$$\text{Total equivalente } 27'' \text{ de ladrillo}$$

De la gráfica 1-III con el valor equivalente de 27" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 294°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de  $620 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{hr}$ .

Con la gráfica 3-III, el ancho de ladrillo de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 9", la pérdida de calor de  $670 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ , la temperatura de la cara caliente de  $2282^\circ\text{F}$ , tenemos una temperatura de la interfase de  $1700^\circ\text{F}$ .

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de 42-M} = \frac{2282^\circ\text{F} + 1700^\circ\text{F}}{2} = 1991^\circ\text{F}$$

Se tiene un valor equivalente de 1" (este valor equivalente es estandar para este tipo de ladrillo refractario).

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{1700^\circ\text{F} + 294^\circ\text{F}}{2} = 997^\circ\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 4.2".

Segundo ensayo: usando los nuevos valores equivalentes.

Una pulgada de 42-M = 1" de ladrillo

Una pulgada de T-23 = 4.2" de ladrillo

9" de 42-M =  $9 \times 1 = 9$ " de ladrillo

4.5" de T-23 =  $4.5 \times 4.2 = \underline{18.9}$ " de ladrillo

Total equivalente 27.9" de ladrillo

De la gráfica 1-III, con el valor equivalente de 27.9" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 270°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 520 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 3-III el ancho de ladrillo de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 9", la pérdida de calor de 520 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara caliente de 2282°F, tenemos una temperatura de la interfase de 1750°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de 42-M} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 1750^{\circ}\text{F}}{2} = 2016^{\circ}\text{F}$$

Se tiene un valor equivalente de 1".

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{1750^{\circ}\text{F} + 270^{\circ}\text{F}}{2} = 1010^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 4.2".

Estos nuevos valores equivalentes coinciden con los valores anteriores, esto implica que se toman valores definitivos.

Temperatura de la cara fría: 270°F.

Temperatura de la interfase: 1750°F.

La pérdida de calor: 520 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Para una tercera forma de hilada se utilizarán, un ladrillo 42-M, dos ladrillos T-23 y una capa de concreto aislante de Castable Block Mix M. Figura 2-III (2c).

Las características del Castable Block Mix M son:

Tiene una conductividad térmica excepcionalmente baja, la más baja de todos los productos fabricados por A. P. Green; el bajo costo inicial de este producto y el gran volumen que se cubre con poco peso hacen que el Castable Block Mix M sea el aislante térmico más económico para calderas, hornos y aislamientos de techos suspendidos. Se embarca en sacos de 25 kgs.

Las características del 42-M y del T-23 ya fueron mencionadas anteriormente.

Cálculos: tercera forma de hilada 4.5" x 9" x 1".

Se tiene 4.5 pulgadas de 42-M, 9 pulgadas de T-23 y una pulgada de Castable Block Mix M, con una temperatura de cara caliente de 2282°F (temperatura de trabajo).

Primer ensayo: tomando una pulgada de 42-M la cual

equivale a 1 pulgada de ladrillo (valor tomado de la tabla 1-III).

Para el T-23 se toma un promedio intermedio de temperatura de 1000°F y de la gráfica 9-III se obtiene un valor de  $K = 2.0 \text{ BTU-in/ft}^2\text{-fr-}^\circ\text{F}$ , enseguida de la gráfica 6-III se tiene un valor equivalente de 4 pulgadas de ladrillo.

Tomando una pulgada de Castable Block Mix M la cual equivale a 14.5 pulgadas de ladrillo (valor tomado de la tabla 1-III).

Haciendo los productos de los valores del 42-M, T-23 y el Castable Block Mix M y sus valores equivalentes tenemos:

$$\begin{aligned}
 4.5'' \text{ de } 42\text{-M} &= 4.5 \times 1 &= 4.5'' \text{ de ladrillo} \\
 9'' \text{ de T-23} &= 9.0 \times 4 &= 36'' \text{ de ladrillo} \\
 1'' \text{ de Mix M} &= 1.0 \times 14.5 = \underline{14.5''} \text{ de ladrillo} \\
 \text{Total equivalente} &&= 55.0'' \text{ de ladrillo}
 \end{aligned}$$

De la gráfica 1-III, con el valor total equivalente de 55'' de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F se obtiene una temperatura de cara fría de 206°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las

pérdidas de calor de  $310 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ .

Aproximando a 5" el valor de 42-M con la gráfica - - 3-III, el ancho de ladrillo de la fase caliente a la primera interfase, cuyo valor es de 5", la pérdida de calor de  $310 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ , la temperatura de la cara caliente de  $2282^\circ\text{F}$  tenemos la temperatura de la primera interfase cuyo valor es de  $2150^\circ\text{F}$ .

Para obtener el valor de la segunda interfase se toma como temperatura de cara caliente el valor de la temperatura de la primera interfase.

La temperatura de la cara caliente es de  $2150^\circ\text{F}$ .

Tomando los valores del T-23 y del Castable Block - Mix M tenemos:

9" de T-23 =  $9 \times 4$  = 36" de ladrillo.

1" de Mix M =  $1 \times 14.5$  = 14.5" de ladrillo.

Total equivalente = 50.5" de ladrillo

De la gráfica 1-III con el valor total equivalente de 50.5" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de  $2282^\circ\text{F}$ , se obtiene una temperatura de cara fría de  $206^\circ\text{F}$ , con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de  $70^\circ\text{F}$  y la gráfica 2-III, obtenemos las -

pérdidas de calor de 310 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 3-III y el ancho de ladrillo de la fase caliente, que en este caso es de 36" de ladrillo, la pérdida de calor de 310 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara caliente de 2282°F, tenemos una temperatura de la interfase de 850°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de 42-M} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 2150^{\circ}\text{F}}{2} = 2216^{\circ}\text{F}$$

Se tiene un valor equivalente de 1" (este valor equivalente es estandar para este tipo de ladrillo refractario).

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2150^{\circ}\text{F} + 850^{\circ}\text{F}}{2} = 1500^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 3.8".

Temperatura media del Castable Block Mix M:

$$\frac{850^{\circ}\text{F} + 206^{\circ}\text{F}}{2} = 528^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 15.6".

Segundo ensayo: usando los nuevos valores equivalentes:

4.5" de 42-M	=	4.5 x 1	=	4.5"	de ladrillo
9.0" de T-23	=	9.0 x 3.8	=	34.2"	de ladrillo
1.0" de Mix M	=	1.0 x 15.6	=	<u>15.6"</u>	de ladrillo
Total equivalente				54.3"	de ladrillo

De la gráfica 1-III, con el valor total equivalente de 54.3" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 208°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, -- con una velocidad de viento de cero millas por hora, y -- temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 320 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Aproximando a 5", el valor de 42-M, con la gráfica 3-III, el ancho de ladrillo de la fase caliente a la primera interfase cuyo valor es de 5", la pérdida de calor de 320 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara caliente de 2282°F, tenemos la temperatura de la primera interfase cuyo valor es de 2125°F.

Para obtener el valor de la segunda interfase se toma como temperatura de cara caliente el valor de la temperatura de la primera interfase.

La temperatura de la cara caliente es de 2125°F.

Tomando los valores del T-23 y del Castable Block-

Mix M tenemos:

9" de T-23	= 9 x 3.8	= 34.2"	de ladrillo
1" de Mix M	= 1 x 15.6	= <u>15.6"</u>	de ladrillo
Total equivalente		49.8"	de ladrillo

De la gráfica 1-III, con el valor total equivalente de 49.8" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2125°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 208.9°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 320 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 3-III y el ancho de ladrillo de la fase caliente, que en éste caso es de 34.2" de ladrillo, la pérdida de calor de 320 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara caliente de 2125°F, tenemos una temperatura de la interfase de 870°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de 42-M} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 2125^{\circ}\text{F}}{2} = 2203.5^{\circ}\text{F}$$

2

Se tiene un valor equivalente de 1". (este valor equivalente es estandar para este tipo de ladrillo refractario).

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2125^{\circ}\text{F} + 870^{\circ}\text{F}}{2} = 1497^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III, se obtiene un valor equivalente de 3.79".

$$\text{Temperatura media del Castable Block Mix M} \\ = \frac{870^{\circ}\text{F} + 208.9^{\circ}\text{F}}{2} = 539.5^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 15.5".

Como estos valores equivalentes coinciden o son aproximados esto implica que se toman valores definitivos:

Temperatura de la cara fría : 208.9°F

Temperatura de la interfase primera: 2125°F

Temperatura de la interfase segunda: 870°F

La pérdida de calor : 320 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

### Elección del Acomodo de Paredes Laterales y Pared de Fondo

Primer arreglo: Figura # 2-III (2a).

Temperatura de la cara fría: 218°F (103°C)

Temperatura de la Interfase: 1975°F (1079°C)

La pérdida de calor: 340 BTU/ft<sup>2</sup>-hr (921.34 Kcal/m<sup>2</sup>-hr)

Total de ladrillos: 426 ladrillos

Segundo arreglo: Figura # 2-III (2b).

Temperatura de la cara fría: 270°F (132.2°C)

Temperatura de la Interfase: 1750°F (954.4°C)

La pérdida de calor: 520 BTU/ft<sup>2</sup>-hr (1408.7 Kal/m<sup>2</sup>-hr)

Total de ladrillos: 321 ladrillos

Tercer arreglo: Figura # 2-III (2c).

Temperatura de la cara fría: 208.8°F (97.77°C)

Temperatura de la interfase 1: 2125°F (1162.7°C)

Temperatura de la interfase 2: 870°F (465.6°C)

La pérdida de calor: 320 BTU/ft<sup>2</sup>-hr (866.9 Kcal/m<sup>2</sup>-hr)

Costos en función del arreglo (2a) y (2c).

En el arreglo (2c) hay un ahorro de ladrillos de 105 comparandolo con el arreglo (2a) economicamente este arreglo es más bajo.

El arreglo (2a) tendrá 105 ladrillos x 141.30 = \$14,836.50 más que el arreglo (2c).

Costo por ladrillo: 141.30 pesos.

El precio del concreto aislante Castable Block Mix M. que se utiliza en el arreglo (2c), cuyo valor por kilogramo es de 80.16 pesos, su venta es de 25 Kg por costal.

Costo total: 25 Kg x \$ 80.16 = 2004.00 pesos.

Restando el costo del concreto aislante Castable - Block Mix M al costo del arreglo (2a) tenemos:

14,836.50 pesos - 2004.00 pesos = 12,832.50 pesos.

Esto implica que el arreglo (2a) va a salir en -- 12,832.50 pesos más caro que el arreglo (2c) además que este último arreglo tiene un espesor de pared menor. El -- arreglo (2b) no se toma en cuenta por su alta pérdida de calor.

Piso del Horno.- Para su diseño, se ha seleccionado la forma de acomodar los ladrillos del piso, de tal manera que nos dé menor pérdida de calor y ahorro de ladrillos.

a) En la Figura 3-III (3a) se tiene un arreglo en el cual se van a emplear, dos ladrillos acostados (42-m y T-23) y un ladrillo parado (T-23).

Cálculo de ladrillo acostado:

El área de un ladrillo =  $0.229\text{m} \times 0.114\text{m} = 0.026 \text{ m}^2$ .

El área del piso del horno =  $0.97 \text{ m}^2$

Se tiene que:  $0.97\text{m}^2 / 0.026\text{m}^2 = 37$  ladrillos

REGLO DE PAREDES LATERALES

Y

PARED DE FONDO

FIGURA # 2 a.

T.C.C

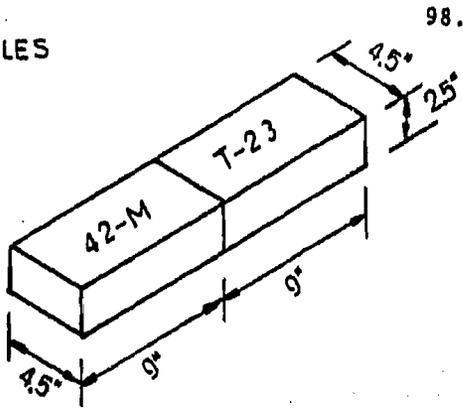
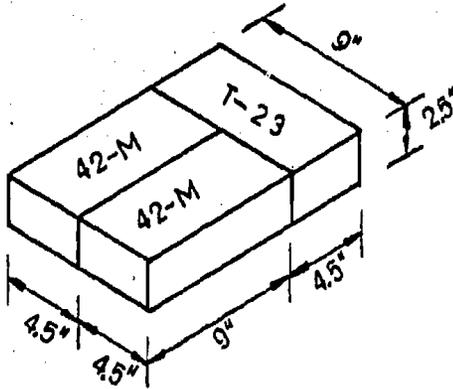


FIGURA # 2 b.

T.C.C



escala: 1 : 7.6

FIGURA # 2 c.

T.C.C

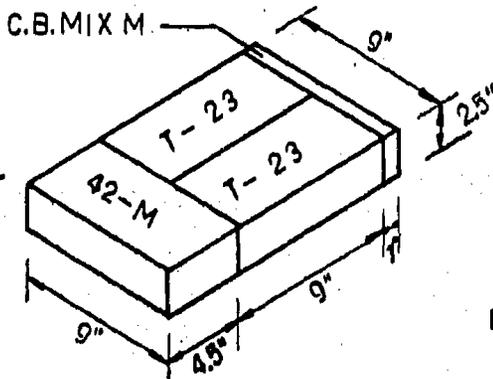


FIG. 2 - III.

Para el ladrillo refractario 42-M se utilizaran 37 ladrillos

Para el ladrillo aislante T-23 se utilizaran 37 ladrillos

En total 74 ladrillos acostados

Cálculo de ladrillo parado:

El área de un ladrillo =  $0.114\text{m} \times 0.054\text{m} = 0.0073\text{m}^2$ .

El área del piso del horno =  $0.97\text{m}^2$

Se tiene que:  $0.97\text{m}^2 / 0.0073\text{m}^2 = 132$  ladrillos

En total 132 ladrillos parados

+ El total de ladrillos en el piso del horno:

$74 + 132 = 206$  ladrillos.

Cálculo del arreglo de la Figura 3-III (3a).

Primer ensayo: tomando una pulgada de 42-M la cual equivale a una pulgada de ladrillo. (valor tomado de la tabla 1-III).

Para el T-23 se toma un promedio intermedio de temperatura de  $1000^\circ\text{F}$  y de la gráfica 9-III, se obtiene un valor de  $K = 2.0 \text{ BTU-in/ft}^2\text{-hr-}^\circ\text{F}$ , en seguida de la gráfica 6-III, se tiene un valor equivalente de 4 pulgadas de ladrillo.

Haciendo los productos de los valores de 42-M y T-23 y sus valores equivalentes tenemos:

2.5" de 42-M	= 2.5 x 1	= 2.5"	de ladrillo
11.5" de T-23	= 11.5 x 4	= <u>46.0"</u>	de ladrillo
Total equivalente		48.5"	de ladrillo

De la gráfica 1-III, con el valor equivalente de 48.5" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 220°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III obtenemos las pérdidas de calor de 350 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Como el valor equivalente de 42-M (2.5" de ladrillo) no alcanzó en la gráfica 3-III, para obtener el valor de la temperatura de la interfase, se toma el valor equivalente de la interfase a la temperatura de la cara fría que en este caso es de 46" de ladrillo y utilizando la gráfica 1-III y la temperatura de la cara fría cuyo valor es de 220°F, obtenemos una temperatura de interfase de 2198°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de 42-M} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 2198^{\circ}\text{F}}{2} = 2240^{\circ}\text{F}$$

Se tiene un valor equivalente de 1". (este valor equivalente es estandar para este tipo de ladrillo refractario).

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2198^{\circ}\text{F} + 220^{\circ}\text{F}}{2} = 1209^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III- se obtiene un valor equivalente de 4".

Como estos valores\*equivalentes coinciden con los valores anteriores ya no se realiza el segundo ensayo y se toman valores definitivos.

Temperatura de la cara fría =  $220^{\circ}\text{F}$

Temperatura de la interfase =  $2198^{\circ}\text{F}$

La pérdida de calor =  $350 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr.}$

b) En la Figura 3-III (3b) se tiene un arreglo en el cual se van a emplear un ladrillo acostado (42-M) y -- cuatro ladrillos acostados (T-23), este arreglo lleva el nombre de "a tizon".

Cálculo de ladrillo acostado:

El área de un ladrillo =  $0.229\text{m} \times 0.114\text{m} = 0.026\text{m}^2$ .

El área del piso del horno =  $0.97\text{m}^2$ .

Se tiene que:  $0.97\text{m}^2 / 0.026\text{m}^2 = 37$  ladrillos

El total de ladrillos:  $37 \times 5 = 185$  ladrillos

Primer ensayo: tomando una pulgada de 42-M la cual equivale a una pulgada de ladrillo. (valor tomado de la -

tabla 1-III).

Para el T-23 se toma un valor intermedio de temperatura de  $1000^{\circ}\text{F}$  y de la gráfica 9-III, se obtiene un valor de  $K = 2.0 \text{ BTU-in/ft}^2\text{-hr-}^{\circ}\text{F}$ , en seguida de la gráfica 6-III, se tiene un valor equivalente de 4 pulgadas de tabique.

Haciendo los productos de los valores de 42-M y T-23 y sus valores equivalentes tenemos:

$$\begin{array}{rcl}
 2.5'' \text{ de 42-M} & = & 2.5 \times 1 = 2.5'' \text{ de ladrillo} \\
 10.0'' \text{ de T-23} & = & 10.0 \times 4 = \underline{40.0''} \text{ de ladrillo} \\
 \text{Total equivalente} & & 42.5'' \text{ de ladrillo}
 \end{array}$$

De la gráfica 1-III, con el valor equivalente de 42.5'' de ladrillo y una temperatura de cara caliente de  $2282^{\circ}\text{F}$ , se obtiene una temperatura de cara fría de  $233^{\circ}\text{F}$ , con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y una temperatura del medio ambiente de  $70^{\circ}\text{F}$  y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de  $380 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ .

Como el valor equivalente de 42-M (2.5'' de ladrillo) no alcanza en la gráfica 3-III, para obtener el valor de la temperatura de la interfase, se toma el valor equivalente de la interfase a la temperatura de la cara

fría que en este caso es de 40" de ladrillo y utilizando la gráfica 1-III y la temperatura de la cara fría cuyo valor es de 233°F, obtenemos una temperatura de interfase de 2130°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de 42-M} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 2130^{\circ}\text{F}}{2} = 2206^{\circ}\text{F}$$

Se tiene un valor equivalente de 1". (este valor equivalente es estandar para este tipo de ladrillo refractario).

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2130^{\circ}\text{F} + 233^{\circ}\text{F}}{2} = 1181.5^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III, se obtiene un valor equivalente de 4".

Como estos valores equivalentes coinciden con los valores anteriores ya no se realiza el segundo ensayo y se toman valores definitivos.

Temperatura de la cara fría = 233°F

Temperatura de la interfase = 2130°F

La pérdida de calor = 380 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

c) En la Figura 3-III (3c) se tiene un arreglo

el cual se van a emplear, dos ladrillos acostados (42-M y T-23) y un ladrillo de canto (T-23), se utilizará en este cálculo valores de la hoja de "datos estimativos".

Para un espesor de ladrillo de 2 1/2 pulgadas se emplean 38.7 ladrillos/m<sup>2</sup>. (dato obtenido de la hoja de "datos estimativos").

El área del piso del horno = 0.97m<sup>2</sup>.

Se tiene que:  $0.97\text{m}^2 \times 38.7 \frac{\text{ladrillos}}{\text{m}^2} = 37.5 = 38 \text{ ladrillos}$

En total  $38 \times 2 = 76$  ladrillos acostados.

Para un espesor de ladrillo de 4 1/2 pulgadas se emplean 68.9 ladrillos/m<sup>2</sup>. (dato obtenido de la hoja de "datos estimativos").

Se tiene que:  $0.97\text{m}^2 \times 68.9 \frac{\text{ladrillos}}{\text{m}^2} = 66.8 = 67 \text{ ladrillos}$

+ El total de ladrillos en el piso del horno:

$$76 + 67 = 143 \text{ ladrillos}$$

Cálculo del arreglo de la Figura 5-III (3c).

Primer ensayo: tomando una pulgada de 42-M la cual equivale a una pulgada de ladrillo. (valor tomado de la tabla 1-III).

Para el T-23 se toma un promedio intermedio de temperatura de  $1000^{\circ}\text{F}$  y de la gráfica 9-III, se obtiene un valor de  $K = 2.0 \text{ BTUin/ft}^2\text{-hr-}^{\circ}\text{F}$ , en seguida de la gráfica 6-III se tiene un valor equivalente de 4 pulgadas de ladrillo.

Haciendo los productos de los valores de 42-M y T-23 y sus valores equivalentes tenemos:

$$2.5'' \text{ de 42-M} = 2.5 \times 1 = 2.5'' \text{ de ladrillo}$$

$$7.0'' \text{ de T-23} = 7.0 \times 4 = \underline{28.0''} \text{ de ladrillo}$$

$$30.5'' \text{ de ladrillo}$$

De la gráfica 1-III, con el valor equivalente de 30.5" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de  $2282^{\circ}\text{F}$ , se obtiene una temperatura de cara fría de  $280^{\circ}\text{F}$ , con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de  $70^{\circ}\text{F}$  y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de  $570 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ .

Como el valor equivalente de 42-M (2.5" de ladrillo) no alcanza en la gráfica 3-III para obtener el valor de la temperatura de la interfase, se toma el valor equivalente de la interfase a la temperatura de la cara fría que en este caso es de 28.0" de ladrillo y utilizando la gráfica 1-III y la temperatura de la cara fría cuyo valor

es de 280°F, obtenemos una temperatura de interfase de --  
2190°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de 42-M} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 2190^{\circ}\text{F}}{2} = 2236^{\circ}\text{F}$$

Se tiene un valor equivalente de 1". (este valor -  
equivalente es estandar para este tipo de ladrillo refrac-  
tario).

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2190^{\circ}\text{F} + 280^{\circ}\text{F}}{2} = 1235^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III,  
se obtiene un valor equivalente de 4.05".

Segundo ensayo: usando los nuevos valores equiva-  
lentes.

$$\begin{aligned} 2.5'' \text{ de 42-M} &= 2.5 \times 1 &= 2.5'' \text{ de ladrillo} \\ 7.0'' \text{ de T-23} &= 7.0 \times 4.05 &= \frac{28.35''}{30.85''} \text{ de ladrillo} \end{aligned}$$

De la gráfica 1-III con el valor equivalente de --  
30.85'' de ladrillo y una temperatura de cara caliente de-  
2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 278°F,  
con el valor de la temperatura de la cara fría, con una -

velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 555 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Como el valor equivalente de 42-M (2.5" de ladrillo) no alcanza en la gráfica 3-III, para obtener el valor de la temperatura de la interfase, se toma el valor equivalente de la interfase a la temperatura de la cara fría que en este caso es de 28.35" de ladrillo y utilizando la gráfica 1-III y la temperatura de la cara fría cuyo valor es de 278°F, obtenemos una temperatura de interfase de 2195°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de 42-M} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 2195^{\circ}\text{F}}{2} = 2238.5^{\circ}\text{F}$$

Se tiene un valor equivalente de 1". (este valor equivalente es estandar para este tipo de ladrillo refractario).

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2195^{\circ}\text{F} + 278^{\circ}\text{F}}{2} = 1236.5^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 4.05".

Estos nuevos valores equivalentes coinciden con los

valores anteriores, esto implica que se toman valores definitivos:

Temperatura de la cara fría : 278°F

Temperatura de la interfase: 2195°F

La pérdida de calor: 555 BTU/ft<sup>2</sup>-hr

### Elección del Piso del Horno.

Primer arreglo: Figura 3-III (3a).

1 ladrillo acostado 42-M (2.5")

1 ladrillo acostado T-23 (2.5")

1 ladrillo parado T-23 (9.0")

Espesor total = 14"

Temperatura de la cara fría = 220°F (104°C)

Temperatura de la Interfase = 2198°F (1203°C)

La pérdida de calor = 350 BTU/ft<sup>2</sup>-hr. (948.15 Kcal/m<sup>2</sup>-hr)

Total de ladrillos = 206 Unidades

Segundo arreglo: Figura 3-III (3b).

1 capa de ladrillo acostado de 42-M (2.5")

4 capas de ladrillo acostado T-23 (10")

Espesor total = 12.5"

Temperatura de la cara fría = 233°F (111.6°C)

Temperatura de la interfase = 2130°F (1165.5°C)

La pérdida de calor =  $380 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr.}$  ( $1029.40 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr.}$ )

Total de ladrillos = 185 Unidades

Tercer arreglo: Figura 3-III (3c).

1 capa de ladrillo acostado de 42-M (2.5")

1 capa de ladrillo acostado de T-23 (2.5")

1 capa de ladrillo de canto de T-23 (4.5")

Temperatura de la cara fría =  $278^\circ\text{F}$  ( $136^\circ\text{C}$ )

Temperatura de la Interfase =  $2195^\circ\text{F}$  ( $1207.6^\circ\text{C}$ )

La pérdida de calor =  $555 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr.}$  ( $1503 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr.}$ )

Total de ladrillos = 143 Unidades

En conclusión se utilizará el arreglo de la Figura (3c), por su ahorro de ladrillos, en este caso son 42 ladrillos menos con respecto al arreglo de la Figura (3b) - y 63 ladrillos menos con respecto al arreglo de la Figura (3a).

Otro motivo por el que se eligió el arreglo de la Figura (3c), es por su facilidad en su construcción.

Aunque en el arreglo de la Figura (3c) las pérdidas de calor son ligeramente mayores que las de los arreglos de las Figuras (3a) y (3b), esto no será de mucha importancia debido a que los gases calientes tienden a subir, - además la parte inferior externa del horno no será un lu-

gar que afecte la seguridad del operario. (Recomendación de A.P Green).

Diseño de la Bóveda. Para la construcción de la bóveda se utilizarán los materiales siguientes: como ladrillo aislante el T-23 cuya descripción se tiene en el cálculo anterior, se aplicará como concreto refractario el MC-22M.

Concreto refractario MC-22M: este concreto refractario es de alta resistencia mecánica y puede utilizarse hasta su temperatura límite de servicio (1290°C) ya sea en contacto directo con la flama o como revestimiento posterior. Por el agregado usado que contienen y su especial distribución granulométrica dan como resultado una gran resistencia mecánica, excelente resistencia al choque térmico así como al abuso mecánico.

a) Cálculos: primer arreglo de 4.5" de ladrillo aislante y 3" de concreto refractario. Figura 4-III (4a).

Se tiene 4.5 pulgadas de T-23 y 3" de MC-22M, con una temperatura de cara caliente de 2282°F (temperatura de trabajo).

Primer ensayo: tomando una pulgada de MC-22M la cual equivale a 1.95 pulgadas de ladrillo (valor tomado de la tabla 1-III).

ARREGLO DEL PISO  
DEL  
HORNO

FIGURA # 3a.

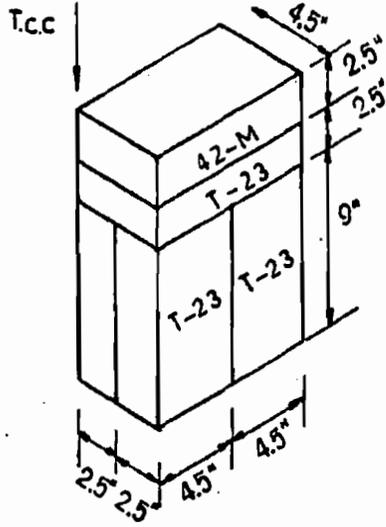
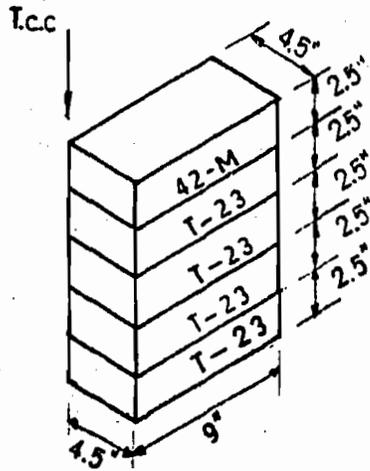


FIGURA # 3b.



escala: 1 : 7.6

FIGURA # 3c.

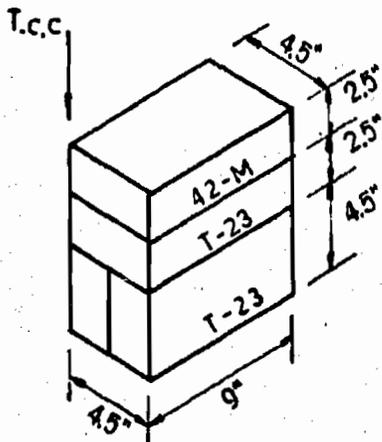


FIG. 3 - III.

Para el T-23 se toma un valor intermedio de temperatura de  $1000^{\circ}\text{F}$  y de la gráfica 9-III, se obtiene un valor de  $K=2.0 \text{ BTU-in/ft}^2\text{-hr-}^{\circ}\text{F}$ , en seguida de la gráfica 6-III, se tiene un valor equivalente de 4 pulgadas de ladrillo.

Haciendo los productos de los valores del T-23 y MC-22M y sus valores equivalentes tenemos:

$$4.5'' \text{ de T-23} \quad = 4.5 \times 4 \quad = 18'' \text{ de ladrillo}$$

$$3.0'' \text{ de MC-22M} \quad = 3.0 \times 1.95 \quad = \underline{5.85''} \text{ de ladrillo}$$

$$\text{Total equivalente} \quad 23.85 \text{ de ladrillo}$$

De la gráfica 1-III, con el valor equivalente total de 23.85" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de  $2282^{\circ}\text{F}$ , se obtiene una temperatura de cara fría de  $313^{\circ}\text{F}$ , con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de  $70^{\circ}\text{F}$  y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de  $710 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ .

Con la gráfica 3-III, el ancho de ladrillo de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 18" , la pérdida de calor de  $710 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ , la temperatura de la cara caliente de  $2282^{\circ}\text{F}$ , tenemos una temperatura de la interfase de  $825^{\circ}\text{F}$ .

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 825^{\circ}\text{F}}{2} = 1553.5^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 3.8".

$$\text{Temperatura media de MC-22M} = \frac{825^{\circ}\text{F} + 313^{\circ}\text{F}}{2} = 569^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 1.65".

Segundo ensayo: usando los nuevos valores equivalentes.

4.5" de T-23	= 4.5 x 3.8	= 17.10" de ladrillo
3.0" de MC-22M	= 3.0 x 1.65	= <u>4.95"</u> de ladrillo
Total equivalente		22.05 de ladrillo

De la gráfica 1-III con el valor equivalente de 22.05" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 326°F, con el valor de la temperatura de cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 750 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 3-III el ancho de ladrillo de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 17.1, la pérdida de calor de 750 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara ca-

liente de 2282°F, tenemos una temperatura de interfase de - 850°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 850^{\circ}\text{F}}{2} = 1566^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 3.75".

$$\text{Temperatura media de MC-22M} = \frac{850^{\circ}\text{F} + 327^{\circ}\text{F}}{2} = 588.5^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 1.65".

Estos nuevos valores equivalentes coinciden con los valores anteriores, esto implica que se toman valores definitivos:

Temperatura de la cara fría: 326°F

Temperatura de interfase: 850°F

La pérdida de calor: 750BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

b) Cálculos: segundo arreglo de 9" de ladrillo aislante y 3" de concreto refractario. Figura 4-III (4b).

Se tiene 9 pulgadas de T-23 y 3" de MC-22M con una temperatura de cara caliente de 2282°F (temperatura de tra-

bajo).

Primer ensayo: tomando una pulgada de MC-22M la cual equivale a 1.95 pulgadas de ladrillo (valor tomado de la tabla 1-III).

Para el T-23 se toma un valor intermedio de temperatura de 1000°F y de la gráfica 9-III se obtiene un valor de  $k = 2.0 \text{ BTU-in/ft}^2\text{-hr-}^\circ\text{F}$ , en seguida de la gráfica 6-III se tiene un valor equivalente de 4 pulgadas de ladrillo.

Haciendo los productos de los valores del T-23 y MC-22M y sus valores equivalentes tenemos:

$$\begin{array}{rcl}
 9.0'' \text{ de T-23} & = & 9 \times 4 = 36'' \text{ de ladrillo} \\
 3.0'' \text{ de MC-22M} & = & 3 \times 1.95 = \underline{5.85''} \text{ de ladrillo} \\
 \text{Total equivalente} & & 41.85'' \text{ de ladrillo}
 \end{array}$$

De la gráfica 1-III con el valor equivalente total de 41.85'' de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 237°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 400 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 3-III el ancho de ladrillo de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 36'', la pérdi-

da de calor de  $400 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ , la temperatura de la cara caliente de  $2282^\circ\text{F}$ , tenemos una temperatura de la interfase de  $600^\circ\text{F}$ .

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2282^\circ\text{F} + 600^\circ\text{F}}{2} = 1141^\circ\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III, se obtiene un valor equivalente de 3.8".

$$\text{Temperatura media de MC-22M} = \frac{600^\circ\text{F} + 237^\circ\text{F}}{2} = 418.5^\circ\text{F}$$

Con esta temperatura y la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 1.6".

Segundo ensayo: usando los nuevos valores equivalentes:

$$9'' \text{ de T-23} = 9 \times 3.8 = 34.2'' \text{ de ladrillo}$$

$$3'' \text{ de MC-22M} = 3 \times 1.6 = \underline{4.8''} \text{ de ladrillo}$$

$$\text{Total equivalente} = 39.0'' \text{ de ladrillo}$$

De la gráfica 1-III con el valor equivalente de 39.0" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de  $2282^\circ\text{F}$ , se obtiene una temperatura de cara fría de  $254^\circ\text{F}$ , con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio am-

biente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas - de calor de 430 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 3-III el ancho de ladrillo de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 9", la pérdida de calor de 430BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara caliente de 2282°F, tenemos una temperatura de interfase de 725°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 725^{\circ}\text{F}}{2} = 1503^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 3.80".

$$\text{Temperatura media de MC-22M} = \frac{725^{\circ}\text{F} + 254^{\circ}\text{F}}{2} = 489.5^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 1.65".

Estos nuevos valores equivalentes coinciden con los valores anteriores, esto implica que se toman valores definitivos:

Temperatura de la cara fría: 244°F

Temperatura de la interfase: 725°F.

La pérdida de calor: 430 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Se ha observado que las pérdidas de calor son elevadas en los cálculos anteriores, por tal motivo se seleccionará un concreto aislante que tiene mayor resistencia al paso del calor.

Como ladrillo aislante se tomará el T-23 y como concreto aislante el insblok-19.

Concreto aislante insblok-19: su temperatura límite de trabajo es de 2200°F-1204°F, es un concreto muy aislante y de peso muy ligero, ideal para emplearse en bóvedas.

Cálculos: tercer arreglo de 9" de ladrillo aislante y 3" de concreto aislante. Figura 4-III (4c).

Primer ensayo: tomando una pulgada de insblok-19, la cual equivale a 13.4" de ladrillo (valor tomado de la tabla 1-III).

Para el T-23 se toma un valor intermedio de temperatura de 1000°F y de la gráfica 9-III se obtiene un valor de  $K = 2.0 \text{ BTU-in/ft}^2\text{-hr}$ , en seguida de la gráfica 6-III, se tiene un valor equivalente de 4 pulgadas de ladrillo.

Haciendo los productos de los valores de T-23 y del insblok-19 con sus valores equivalentes tenemos:

$$9'' \text{ de T-23} = 9 \times 4 = 36.0'' \text{ de ladrillo}$$

3" de insblok-19= 3 x 13.4 = 40.2" de ladrillo.

Total equivalente      76.2" de ladrillo

De la gráfica 1-III con el valor equivalente total de 76.2" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 179°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 230 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 3-III, el ancho de ladrillo de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 36", la pérdida de calor de 230 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara caliente de 2282°F, tenemos una temperatura de la interfase de 1425°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 1425^{\circ}\text{F}}{2} = 1853.5^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 3.7".

$$\text{Temperatura media de insblok-19} = \frac{1425^{\circ}\text{F} + 179^{\circ}\text{F}}{2} = 802^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 12.4".

Segundo ensayo: usando los nuevos valores equivalentes:

$$\begin{array}{rcl}
 9'' \text{ de T-23} & = 9 \times 3.7 & = 33.3'' \text{ de ladrillo} \\
 3'' \text{ de insblok-19} & = 3 \times 12.4 & = \underline{37.2''} \text{ de ladrillo} \\
 \text{Total equivalente} & & 70.5'' \text{ de ladrillo}
 \end{array}$$

De la gráfica 1-III con el valor equivalente de 70.5'' de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F se obtiene una temperatura de cara fría de 184°F, con el valor de la temperatura de cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 240 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 3-III el ancho del ladrillo de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 33.3'', la pérdida de calor de 240 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara caliente de 2282°F, tenemos una temperatura de interfase de 1400°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 1400^{\circ}\text{F}}{2} = 1841^{\circ}\text{F}.$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 3.7''.

$$\text{Temperatura media de Insblok-19} = \frac{1400^{\circ}\text{F} + 184^{\circ}\text{F}}{2} = 792^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 12.41".

Estos nuevos valores equivalentes coinciden con los valores anteriores, esto implica que se toman valores definitivos.

Temperatura de la cara fría: 184°F

Temperatura de interfase: 1400°F

La pérdida de calor: 240 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

#### Elección del Diseño de la Bóveda.

Primer arreglo: Figura 4-III (4a).

4.5" de T-23 = ladrillo aislante.

3.0" de Mc-22M = concreto refractario.

Temperatura de la cara fría = 244°F (177.7°C).

Temperatura de la interfase = 725 (429.5°C).

La pérdida de calor: 430 BTU/ft<sup>2</sup>-hr (1165.22 Kcal/m<sup>2</sup>-hr).

1165.22 Kcal/m<sup>2</sup>-hr.

Segundo arreglo: figura 4-III (4b): se descarta debido a que el cambio de concreto refractario a concreto aislante da menos pérdidas de calor.

Tercer arreglo: Figura 4-III (4c).

9.0" de T-23 = ladrillo aislante

3.0" de Insblok-19 = concreto aislante.

Temperatura de la cara fría: 184°F (84.4°C).

Temperatura de la interfase: 1400°F (760°C).

La pérdida de calor: 240 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

(650.16 Kcal/m<sup>2</sup>-hr).

### Conclusión:

Para elegir el diseño de la bóveda, se toma el arreglo que dé menos pérdidas de calor, debido a que los gases de la combustión tienden a subir. La superficie de la bóveda es el área más caliente dentro del horno, por lo tanto debe ser la mejor aislada.

Para este caso el arreglo elegido será el segundo:

9.0" de T-23 = ladrillo aislante

3.0" de Insblock-19 = concreto aislante.

Para la construcción de la bóveda nos guiaremos de la tabla 2-III.

- Para un arco de 9" (.299 m).

- Angulo central de 60°.

- Claro de 1.22 m (1220 mm).

Se tendrá:

9 ladrillos Dovela punta No. 1 (Fig. 12-III).

15 ladrillo Dovela punta No. 1-X (Fig. 12-III).

Total/hilada = 24 ladrillos por hilada (bóveda compuesta por 10 hiladas).

Total de ladrillos en la bóveda: 240 ladrillos

Cada hilada de la bóveda utiliza dos Salmers de tipo 4160-B (Fig. 13-III).

Como la bóveda está compuesta de 10 hiladas el total de ladrillos Salmer 416-B es de 20 ladrillos.

Diseño de la Compuerta. Para el diseño de la compuerta se utilizará un concreto aislante insblok-19 de 7" de espesor, para poder aislar el calor.

Este concreto aislante tendrá una estructura metálica y será vaciado en ésta y en la parte de la cara caliente tendrá una malla metálica soldada a los bordes de la estructura cuyo objetivo será sostener el concreto aislante.

Cálculos: arreglo de 7" de concreto aislante insblok-19.

Primer ensayo: (sólo habrá un solo ensayo, por ser una sola componente) tomando una pulgada de insblok-19 la cual equivale a 8.3" de ladrillo (valor tomado de la Tabla 1-III).

Haciendo el producto del valor del insblok-19 y su

ARREGLO DE LA BOVEDA

124.

FIGURA 4a.

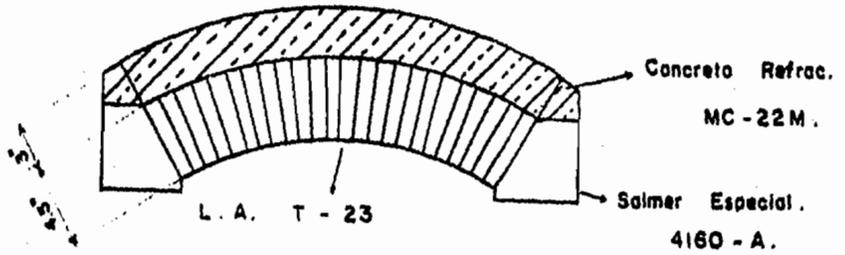


FIGURA 4b.

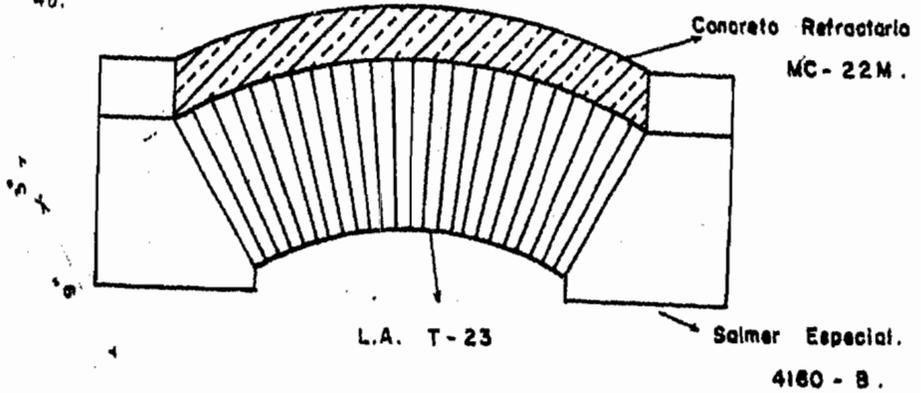
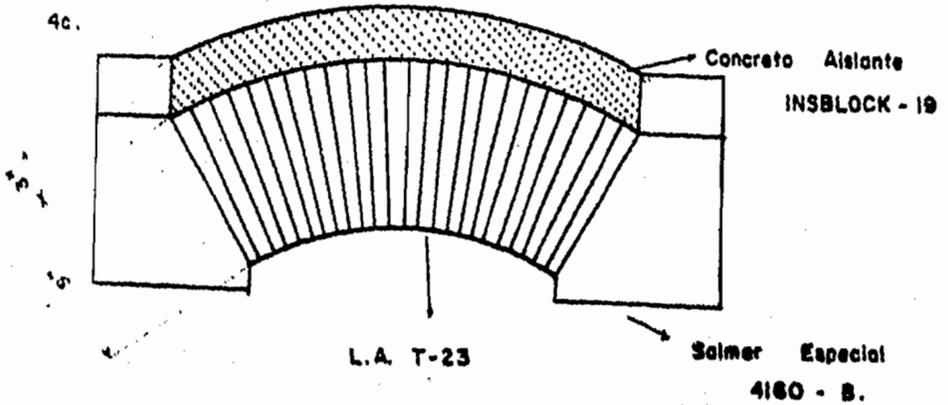


FIGURA 4c.

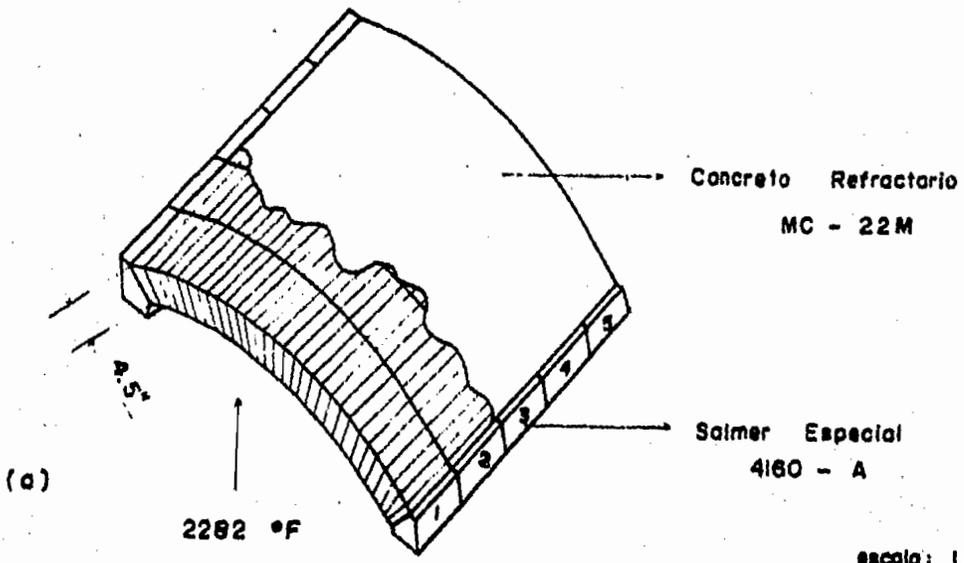
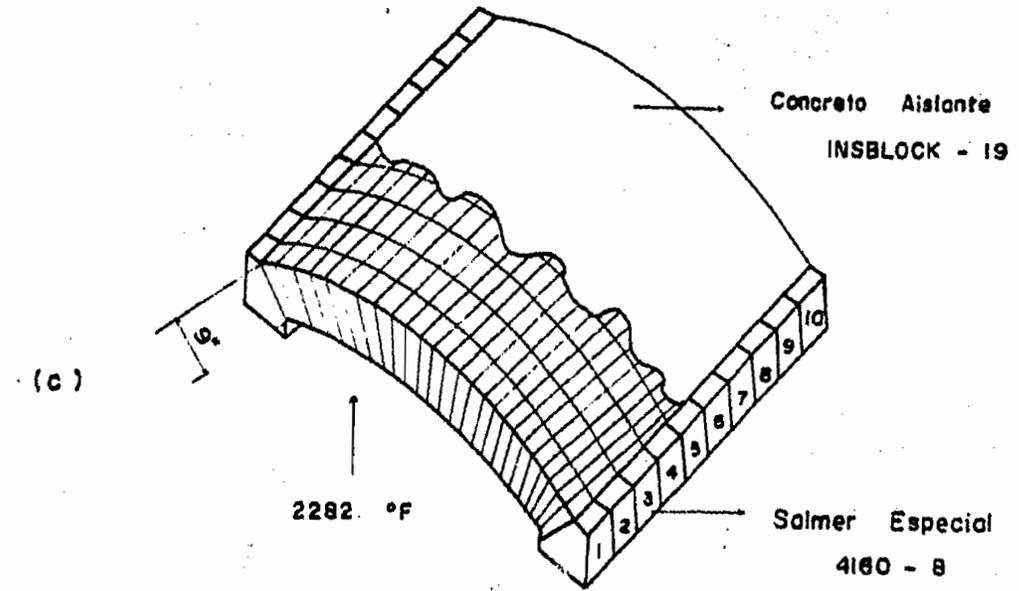


escala: 7.6

FIG. 4-III.

ARREGLO DE LA BOVEDA

125.



escala: 1:18

FIG. 5 - III

Para un arco de 229 mm. : Flecha = 13.40 cms./m. de claro.

Arco = 9"

Radio = Claro

Angulo Central = 60°

126.

Claro	Flecha	Radio Interior	LADRILLOS POR HILADA				
			Dovela Punta No. 2	Dovela Punta No. 1	Dovela Punta No. 1-X	Rectangulares	Total
45.72 cms. (1'6")	6.11 cms. (2 13/32")	45.72 cms. (1'6")	7	5	.....	.....	12
48.26 cms. (1'7")	6.43 cms. (2 11/32")	48.26 cms. (1'7")	6	6	.....	.....	12
50.80 cms. (1'8")	6.83 cms. (2 11/16")	50.80 cms. (1'8")	5	8	.....	.....	13
53.34 cms. (1'9")	7.14 cms. (2 13/16")	53.34 cms. (1'9")	4	9	.....	.....	13
55.88 cms. (1'10")	7.46 cms. (2 13/16")	55.88 cms. (1'10")	3	10	.....	.....	13
58.42 cms. (1'11")	7.86 cms. (3 1/32")	58.42 cms. (1'11")	3	11	.....	.....	14
60.96 cms. (2'0")	8.18 cms. (3 1/32")	60.96 cms. (2'0")	2	12	.....	.....	14
63.50 cms. (2'1")	8.50 cms. (3 11/32")	63.50 cms. (2'1")	2	13	.....	.....	15
66.04 cms. (2'2")	8.81 cms. (3 13/32")	66.04 cms. (2'2")	1	14	.....	.....	15
68.58 cms. (2'3")	9.21 cms. (3 1/8")	68.58 cms. (2'3")	.....	15	.....	.....	15
76.20 cms. (2'6")	10.24 cms. (4 1/32")	76.20 cms. (2'6")	.....	15	2	.....	17
91.44 cms. (3'0")	12.22 cms. (4 13/16")	91.44 cms. (3'0")	.....	13	6	.....	19
1.07 Mts. (3'6")	14.29 cms. (5 1/8")	1.07 Mts. (3'6")	.....	11	11	.....	22
1.22 Mts. (4'0")	16.35 cms. (6 1/16")	1.22 Mts. (4'0")	.....	9	15	.....	24
1.37 Mts. (4'6")	18.42 cms. (7 1/4")	1.37 Mts. (4'6")	.....	8	19	.....	27
1.52 Mts. (5'0")	20.40 cms. (8 1/32")	1.52 Mts. (5'0")	.....	6	23	.....	29
1.68 Mts. (5'6")	22.46 cms. (8 21/32")	1.68 Mts. (5'6")	.....	4	28	.....	32
1.83 Mts. (6'0")	24.53 cms. (9 21/32")	1.83 Mts. (6'0")	.....	3	31	.....	34
1.98 Mts. (6'6")	26.51 cms. (10 1/16")	1.98 Mts. (6'6")	.....	1	36	.....	37
2.13 Mts. (7'0")	28.58 cms. (11 1/4")	2.13 Mts. (7'0")	.....	.....	38	1	39
2.29 Mts. (7'6")	30.64 cms. (1'0 1/16")	2.29 Mts. (7'6")	.....	.....	38	4	42
2.44 Mts. (8'0")	32.70 cms. (1'0 1/8")	2.44 Mts. (8'0")	.....	.....	38	6	44
2.59 Mts. (8'6")	34.69 cms. (1'1 21/32")	2.59 Mts. (8'6")	.....	.....	38	9	47
2.74 Mts. (9'0")	36.75 cms. (1'2 13/32")	2.74 Mts. (9'0")	.....	.....	38	11	49
2.90 Mts. (9'6")	38.81 cms. (1'3 1/32")	2.90 Mts. (9'6")	.....	.....	38	14	52
3.05 Mts. (10'0")	40.80 cms. (1'4 1/16")	3.05 Mts. (10'0")	.....	.....	38	16	54
3.20 Mts. (10'6")	42.86 cms. (1'4 1/8")	3.20 Mts. (10'6")	.....	.....	38	19	57
3.35 Mts. (11'0")	44.93 cms. (1'5 11/32")	3.35 Mts. (11'0")	.....	.....	38	21	59
3.51 Mts. (11'6")	47.00 cms. (1'6 1/8")	3.51 Mts. (11'6")	.....	.....	38	24	62
3.66 Mts. (12'0")	48.97 cms. (1'7 1/16")	3.66 Mts. (12'0")	.....	.....	38	26	64

TABLA. 2 - III

valor equivalente tenemos:

$$7'' \text{ de insblok-19} = 7 \times 8.3 = 58.1'' \text{ de ladrillo}$$

$$\text{Total equivalente} = 58.1'' \text{ de ladrillo.}$$

De la gráfica 1-III con el valor equivalente total de 58.1'' de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 202°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 290 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Como no hay temperatura de interfase, se obtiene la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de insblok-19} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 202^{\circ}\text{F}}{2} = 1242^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y la gráfica 4A-III, se obtiene un valor equivalente de 9.6''.

Con el nuevo valor equivalente:

$$7'' \text{ de insblok-19} = 7 \times 9.6 = 67.2'' \text{ de ladrillo}$$

$$\text{Total equivalente} = 67.2'' \text{ de ladrillo}$$

De la gráfica 1-III con el valor equivalente total de 67.2'' de ladrillo y una temperatura de cara caliente de

2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 190°F, - con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las - pérdidas de calor de 260 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Obteniendo la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de Insblock-19} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 190^{\circ}\text{F}}{2} = 1236^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 9.55".

Como este valor coincide con el valor anterior, esto implica que se toman valores definitivos:

Temperatura de cara fría: 190°F.

La pérdida de calor: 260 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Otro arreglo para el diseño de la compuerta es el de utilizar 2.5" de T-23 y 3" de Insblock-19, el objetivo de este nuevo arreglo es el de bajar el costo ya que si sólo se emplea el Insblock-19, será muy elevado el precio de este material.

Se utilizará la misma estructura mencionada anteriormente para sostener el material.

Las características del Insblock -19 son:

Este es un concreto de peso ligero que puede emplearse hasta temperaturas de 1500°F.. Puede ponerse en contacto con la atmósfera de un horno o como protección secundaria detrás de otros refractarios. Cuando se mezcla con agua y se vacía o se apisona en su lugar tiene aproximadamente el mismo poder de aislamiento, peso y resistencia de un bloque aislante.

Las características del T-23 ya fueron mencionadas anteriormente.

Cálculos: arreglo de 2.5" de ladrillo aislante y 3" de concreto aislante.

Primer ensayo: tomando una pulgada de Insblock-19 la cual equivale a 13.4" de ladrillo (valor tomado de la tabla 1-III).

Para el T-23 se toma un promedio intermedio de temperatura de 1000°F y de la gráfica 9-III se obtiene un valor de  $K = 2.0 \text{ BTU-in/ft}^2\text{-hr-}^\circ\text{F}$ , en seguida de la gráfica 6-III, se tiene un valor equivalente de 4 pulgadas de ladrillo.

Haciendo los productos de los valores del T-23 y del Insblock-19 y sus valores equivalentes tenemos:

$$2.5" \text{ de T-23} = 2.5 \times 4 = 10.0" \text{ de ladrillo}$$

3.0" de Insblock-19 =  $3.0 \times 13.4 = \underline{40.2}$ " de ladrillo  
 Total equivalente = 50.2" de ladrillo

De la gráfica 1-III con el valor equivalente total - de 50.2" de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 218°F - con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las - pérdidas de calor de 340 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 3-III el ancho del ladrillo de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 10", la pérdida - de calor de 340 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara ca - liente de 2282°F, tenemos una temperatura de la interfase de 1950°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2282^{\circ}\text{F} + 1950^{\circ}\text{F}}{2} = 2116^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 3.4".

$$\text{Temperatura media de Insblock-19} = \frac{1950^{\circ}\text{F} + 218^{\circ}\text{F}}{2} = 1084^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 10.50".

Segundo ensayo: usando los nuevos valores equivalentes:

$$\begin{aligned}
 2.5'' \text{ de T- 23} &= 2.5 \times 3.4 = 8.5'' \text{ de ladrillo} \\
 3.0'' \text{ de Insblock-19} &= 3.0 \times 10.50 = \underline{31.50''} \text{ de ladrillo} \\
 \text{Total equivalente} &= 40.0'' \text{ de ladrillo}
 \end{aligned}$$

De la gráfica 1-III, con el valor equivalente total de 40'' de ladrillo y una temperatura de cara caliente de 2282°F, se obtiene una temperatura de cara fría de 240°F, con el valor de la temperatura de la cara fría, con una velocidad de viento de cero millas por hora y temperatura del medio ambiente de 70°F y la gráfica 2-III, obtenemos las pérdidas de calor de 415 BTU/ft<sup>2</sup>-hr.

Con la gráfica 3-III y el ancho del ladrillo de la fase caliente a la interfase, cuyo valor es de 8.5'', la pérdida de calor de 415 BTU/ft<sup>2</sup>-hr, la temperatura de la cara caliente de 2282°F, tenemos una temperatura de la interfase de 1960°F.

Cálculo de la temperatura media:

$$\text{Temperatura media de T-23} = \frac{2282^\circ\text{F} + 1960^\circ\text{F}}{2} = 2121^\circ\text{F}$$

Con esta temperatura y empleando la gráfica 9-III se obtiene un valor equivalente de 3.35''.

$$\text{Temperatura media de Insblock-19} = \frac{1960^{\circ}\text{F} + 240^{\circ}\text{F}}{2} = 1100^{\circ}\text{F}$$

Con esta temperatura y la gráfica 4A-III se obtiene un valor equivalente de 10.45".

Estos nuevos valores equivalentes son aproximados - con los valores anteriores, esto implica que se toman valores definitivos:

Temperatura de la cara fría:  $240^{\circ}\text{F}$ .

Temperatura de la interfase:  $1960^{\circ}\text{F}$ .

La pérdida de calor:  $415 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ .

### Elección en el Diseño de la Compuerta.

Primer arreglo:

7" de concreto aislante Insblock-19, espesor 7".

Temperatura de la cara fría =  $190^{\circ}\text{F}$  ( $87.7^{\circ}\text{C}$ ).

La pérdida de calor =  $260 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr}$ .

( $704.34 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr}$ ).

Segundo arreglo:

2.5" de ladrillo aislante T-23

3.0" de concreto aislante Insblock-19, espesor total 5.5"

Temperatura de la cara fría =  $240^{\circ}\text{F}$  ( $115.5^{\circ}\text{C}$ ).

Temperatura de la interfase =  $1960^{\circ}\text{F}$  ( $1071.1^{\circ}\text{C}$ ).

La pérdida de calor =  $451 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr.}$

$(1124.23 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr}).$

Para la elección de la compuerta se tomará el arreglo de menos espesor (5.5") debido a que usar espesores muy grandes dificultan las operaciones en el horno, por tal motivo elegimos el segundo arreglo que además de tener menor espesor que el primero, es más económico que este último - (recomendación de A.P. Green).

Elección del Mortero. La elección del mortero ha sido el SAIREST-M.

Se eligió este mortero por su resistencia a la temperatura interior del horno, además por las siguientes características:

- a) Tiene una liga excepcionalmente fuerte.
- b) Aumenta la estabilidad de la construcción.
- c) Evita que se aflojen los ladrillos impidiendo el paso de gases a través de las paredes del refractario.
- d) Su consistencia es plástica y de fácil adherencia.
- e) Su granulometría muy fina permite obtener juntas delgadas entre ladrillo.

Chimenea.

Se ha visto la posibilidad de utilizar la chimenea -

COMPUERTA DEL HORNO

134.

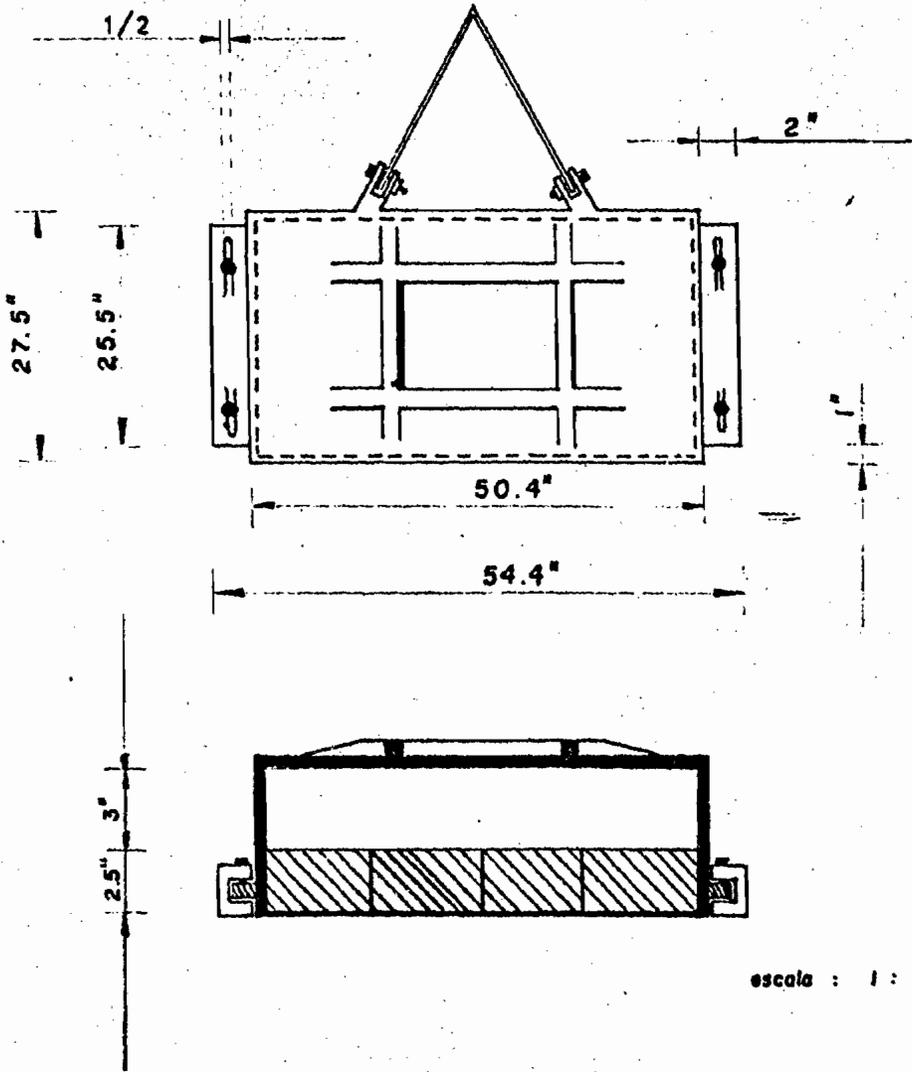


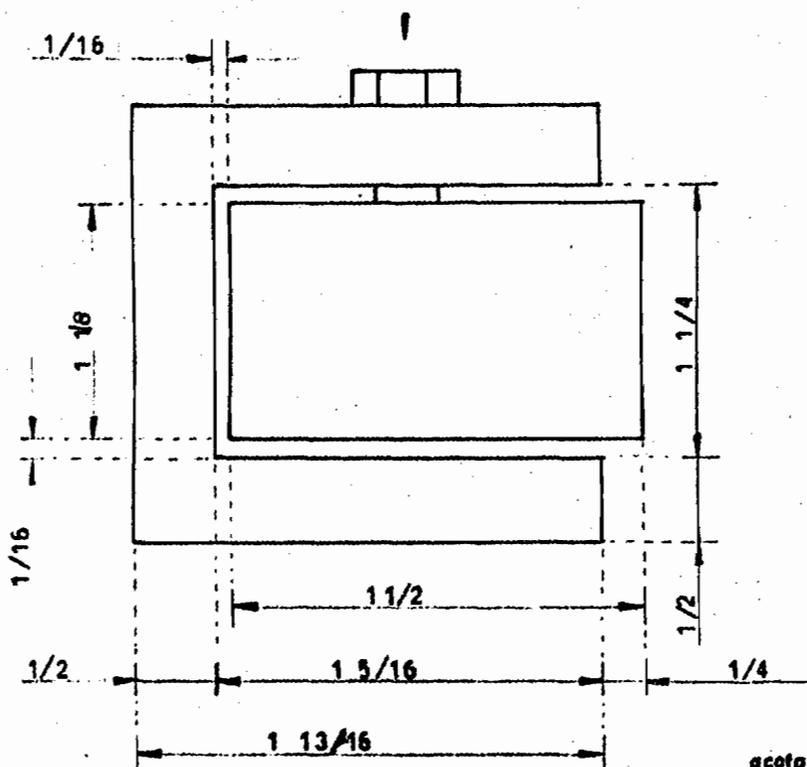
FIG. 6 - III.

CORREDERA DE LA COMPUERTA.

135.

( vista de planta ).

TORNILLO  $1/2 \text{ } \phi$

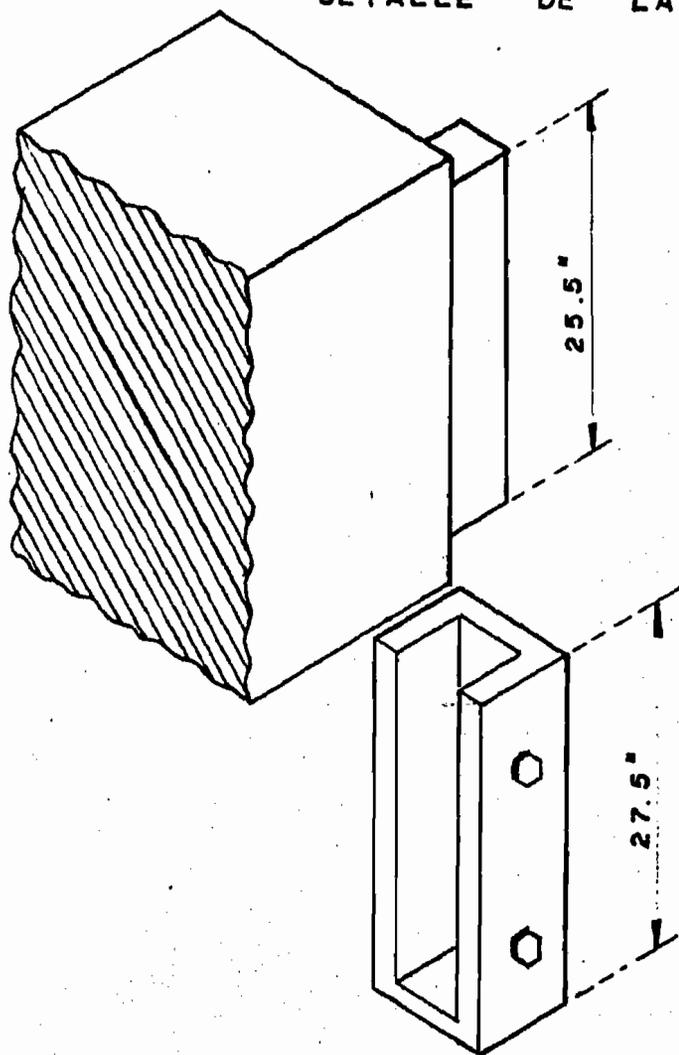


acotación: pulg.  
escala : 2 : 1

FIG. 7 - III.

DETALLE DE LA CORREDERA.

136.



escala: 1:11.6

FIG. 8 - III.

MECANISMO DE LA  
COMPUERTA.

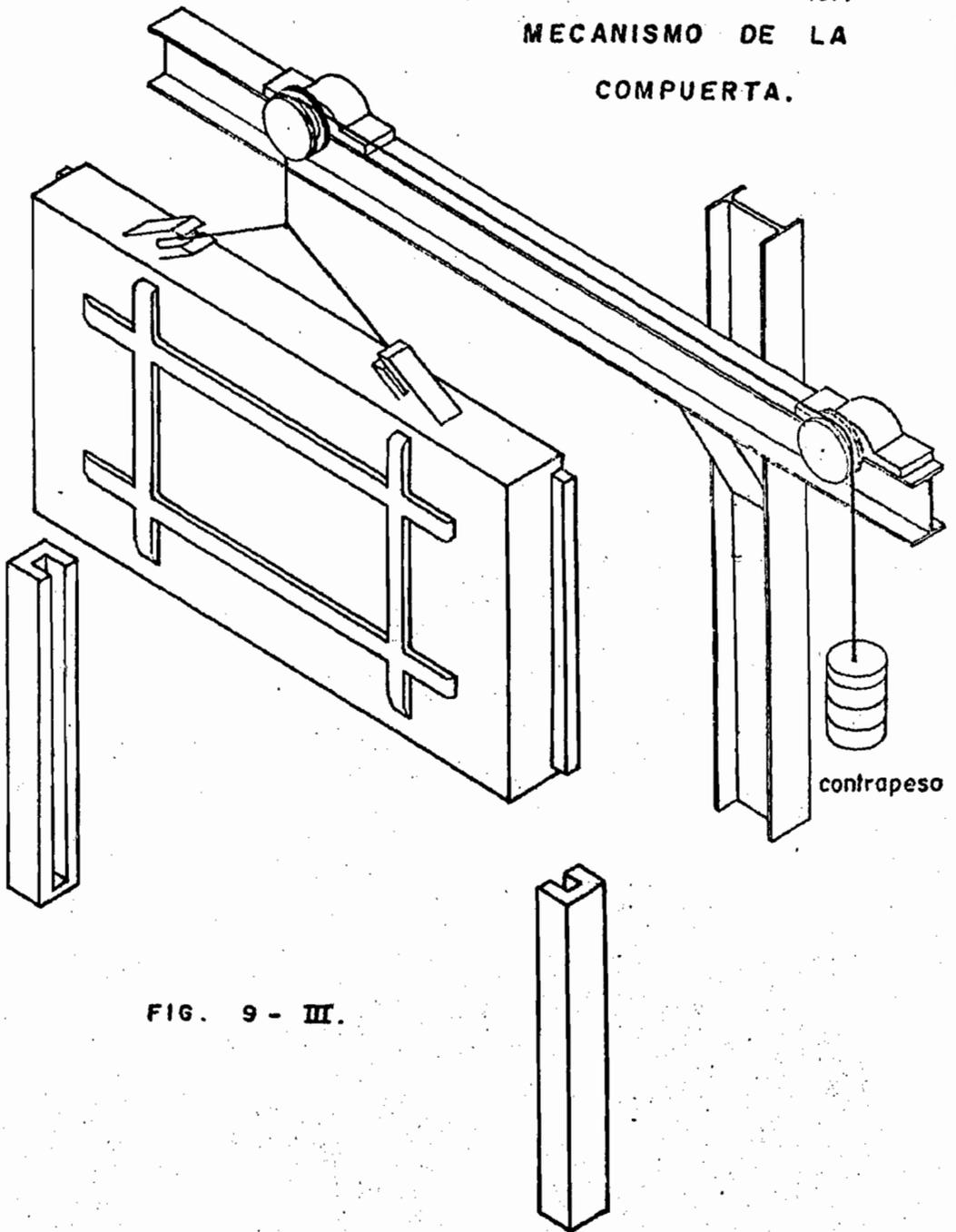


FIG. 9 - III.

CONSTRUCCION

138.

REFRACTARIA

DEL HORNO.

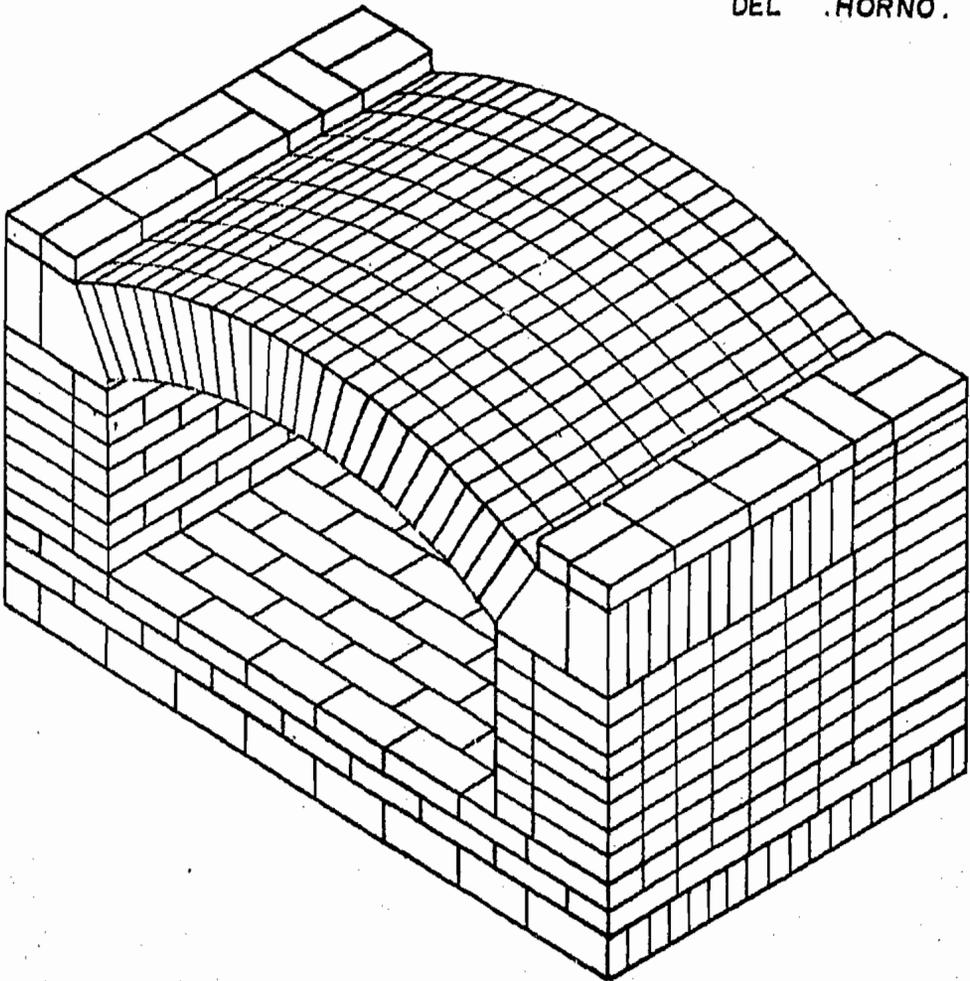


FIG. 10- III.

escala : 1 : 15

ladrillos  
refractarios

*A.P. Green*

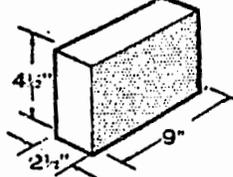
series normales

rectangular

teja y jamba

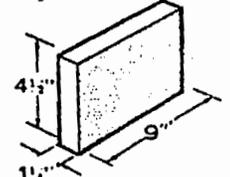
139.

rectangular



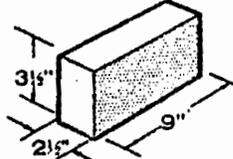
229 x 114 x 64 mm.

teja No. 1



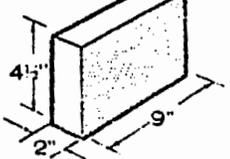
229 x 114 x 32 mm.

mediano



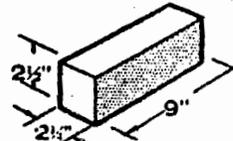
229 x 89 x 64 mm.

No. 2



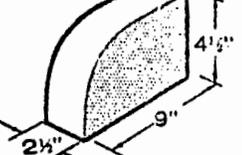
229 x 114 x 51 mm.

chico



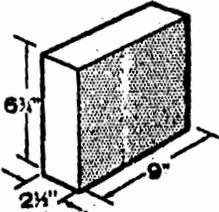
229 x 64 x 57 mm.

jamba



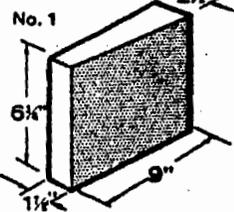
229 x 114 x 64 mm.

Rectangular



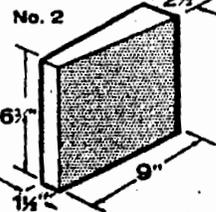
229 x 171 x 64 mm.

Dovela Punta



229 x 171 x (64-48) mm.

Dovela Punta



229 x 171 x (64-38) mm.

FIG. II - III.

**canto**

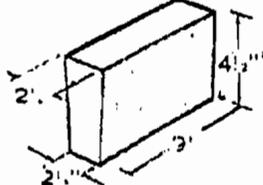
**circulo**

**punta**

**salmon**

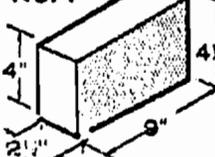
140.

**Dovela canto No. 1**



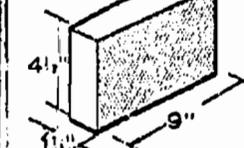
229 x 114 x (64-34) mm.

**Dovela circulo No. 1**



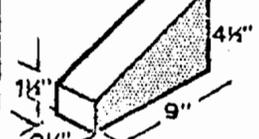
229 x (114-102) x 64 mm

**Dov. la punta No. 1**



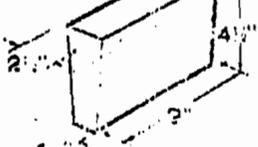
229 x 114 x (64-48) mm.

**cuña**



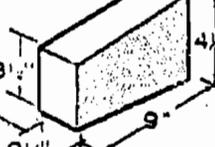
229 x (114-88) x 64 mm.

**No. 2**



229 x 114 x (54-44) mm.

**No. 2**

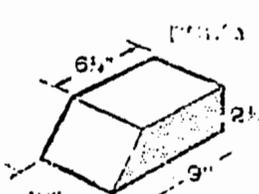


229 x (114-89) x 64 mm.

**No. 1-X**

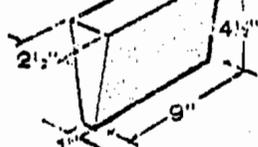


229 x 114 x (64-57) mm.



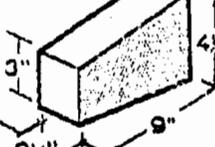
(229-171) x 114 x 64 mm.

**No. 3**



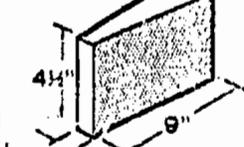
229 x 114 x (64-25) mm.

**No. 3**

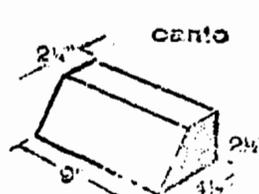


229 x (114-76) x 64 mm.

**No. 2**



229 x 114 x (64-38) mm.



229 x (114-57) x 64 mm.

**No. 4**



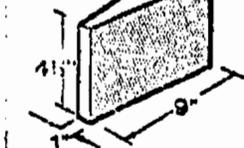
229 x 114 x (64-3) mm.

**No. 4**

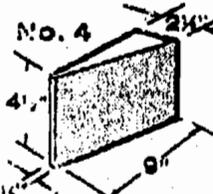


229 x (114-57) x 64 mm.

**No. 3**



229 x 114 x (64-28) mm.



229 x 114 x (64-3) mm.

Para las instalaciones que requieran formas de disco particular pueden fabricarse todo tipo de piezas especiales

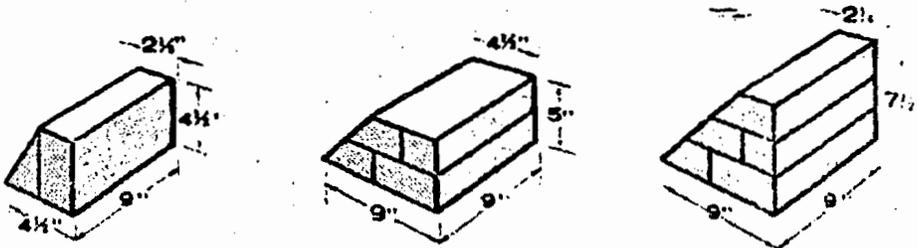
Para el cálculo de materiales y una recomendación correcta sugerimos ponerse en contacto con el Departamento Técnico quien sin cargo alguno encontrará la mejor solución a su problema.

**FIG. 12 - III.**

serie de 3"

	Millimetros	Pulgadas	141.
Rectangular	229 x 114 x 76	9 x 4 1/2 x 3	
Rectangular Mediano	229 x 89 x 76	9 x 3 1/2 x 3	
Rectangular Chico	229 x 76 x 57	9 x 3 x 2 1/4	
Teja	229 x 114 x 38	9 x 4 1/2 x 1 1/2	
Dovela Círculo No. 1	229 x (114-101) x 76	9 x (4 1/2-4) x 3	
Dovela Círculo No. 2	229 x (114-89) x 76	9 x (4 1/2-3 1/2) x 3	
Dovela Círculo No. 3	229 x (114-76) x 75	9 x (4 1/2-3) x 3	
Dovela Círculo No. 4	229 x (114-57) x 76	9 x (4 1/2-2 1/4) x 3	
Dovela Canto No. 1	229 x 114 x (76-70)	9 x 4 1/2 x (3-2 3/4)	
Dovela Canto No. 2	229 x 114 x (76-64)	9 x 4 1/2 x (3-2 1/4)	
Dovela Canto No. 3	229 x 114 x (76-51)	9 x 4 1/2 x (3-2)	
Dovela Canto No. 4	229 x 114 x (76-25)	9 x 4 1/2 x (3-1)	
Dovela Punta No. 1	229 x 114 x (76-70)	9 x 4 1/2 x (3-2 1/4)	
Dovela Punta No. 1-X	229 x 114 x (76-73)	9 x 4 1/2 x (3-2 1/4)	
Dovela Punta No. 2	229 x 114 x (76-64)	9 x 4 1/2 x (3-2 1/4)	
Dovela Punta No. 3	229 x 114 x (76-51)	9 x 4 1/2 x (3-2)	
Salmer Cuña	229 x (114-38) x 76	9 x (4 1/2-1 1/2) x 3	
Jamba	229 x 114 x 76	9 x 4 1/2 x 3	
Salmer Punta	(229-160) x 114 x 76	(9-6 5/16) x 4 1/2 x 3	
Salmer Canto	229 x (114-46) x 3	9 x (4 1/2-1 13/16) x 3	

Salmeres formados con piezas normales de la serie de 229 x 114 x 76 mm. (9 x 4 1/2 x 3")

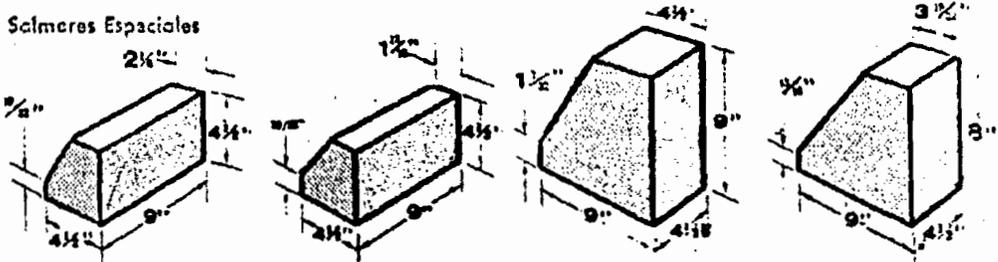


Para un arco de 114 mm. (4 1/2"), flecha=125 mm. por metro de claro (1 1/2" por pie de claro). Un salmer requiere: Una doreta Canto No. 4 y una Teja No. 2. Angulo central=56°

Para un arco de 114 mm. (4 1/2"), flecha=191 mm. por metro de claro (2.302" por pie de claro). Un salmer requiere: 2 Salmeres Canto, un Lodrillo Rectangular y un Rectangular Chico. Angulo central=84°

Para un arco de 229 mm. (9"), flecha=211 mm. por metro de claro (2.302" por pie de claro). Un Salmer requiere: Tres Salmeres Canto, un Lodrillo Rectangular y un Rectangular Chico. Angulo central=84°

Salmeres Espaciales



4160-A-Para un arco de 114 mm. (4 1/2"), flecha=134 mm. por metro de claro (1.608" por pie de claro) ángulo central=60°, radio=claro.

4160-C-Para un arco de 114 mm. (4 1/2"), flecha=167 mm. por metro de claro (2" por pie de claro). Angulo central=74°

4160-B-Para un arco de 229 mm. (9"), flecha=134 mm. por metro de claro (1.608" por pie de claro), ángulo central=60°, radio=claro.

4160-D-Para un arco de 229 mm. (9"), flecha=167 mm. por metro de claro (2" por pie de claro). Angulo central=74°

FIG. 13 - III.

Un ladrillo de 229 mm. x 114 mm. x 64 mm. (9" x 4 1/2" x 2 1/2") pesa aproximadamente de 3 a 3.5 kgs.

Un muro de 1 m<sup>2</sup> requiere 600 ladrillos y tiene un peso aproximado de 1,800 a 2,100 kgs.

Un muro de 0.0238 m<sup>3</sup> (un pie cúbico) requiere 17 ladrillos y pesa aproximadamente de 51 a 59.5 kgs. (112 a 131 lbs.).

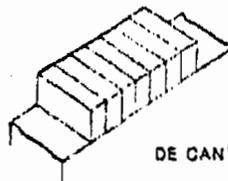
Cantidades estimativas de ladrillos rectangulares de 229 mm. x 114 mm. x 64 mm. (9" x 4 1/2" x 2 1/2") necesarias para cubrir diversos espesores:

64 mm. ( 2 1/2") de espesor necesita	38.7 ladrillos/m <sup>2</sup>	3.6 ladrillos/pie <sup>2</sup>
114 mm. ( 4 1/2") de espesor necesita	60.9 ladrillos/m <sup>2</sup>	6.4 ladrillos/pie <sup>2</sup>
127 mm. ( 5") de espesor necesita	77.5 ladrillos/m <sup>2</sup>	7.2 ladrillos/pie <sup>2</sup>
191 mm. ( 7 1/2") de espesor necesita	116.3 ladrillos/m <sup>2</sup>	10.8 ladrillos/pie <sup>2</sup>
229 mm. ( 9") de espesor necesita	137.8 ladrillos/m <sup>2</sup>	12.8 ladrillos/pie <sup>2</sup>
343 mm. (13 1/4") de espesor necesita	206.7 ladrillos/m <sup>2</sup>	19.2 ladrillos/pie <sup>2</sup>

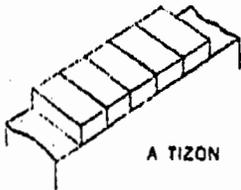
CUATRO TIPOS DE HILADAS



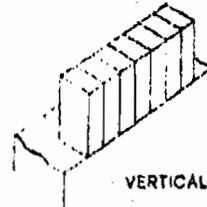
DOBLE AL HILO O ACOSTADO



DE CANTO



A TIZON



VERTICAL O PARADO

FORMULAS

(CIRCULO):

Circunferencia:	Diámetro	×	3.1416	
Area:	Radio <sup>2</sup>	×	3.1416	
	d:	Diámetro	×	.7854

TRIANGULO: Area = 1/2 base x altura.

CILINDRO: Volumen = Area de sección x altura.

CONO O PIRAMIDE: Volumen = Area de la base x 1/3 de la altura.

CONO TRUNCADO: Volumen = 2618 x altura x (diámetro mayor<sup>2</sup> + diámetro menor<sup>2</sup> + producto de los diámetros mayor y menor).

ARCOS:

$$\text{Radio} = \frac{\text{Claro}^2}{8 \times \text{Flecha}} + \frac{\text{Flecha}}{2}$$

$$\text{Flecha} = \text{Radio} - \sqrt{\text{Radio}^2 - \left(\frac{\text{Claro}}{2}\right)^2}$$

$$\text{Flecha} = \text{Radio} - (\text{Coseno } 1/2 \text{ del ángulo central} \times \text{radio}).$$

que sirve al horno de fragua del laboratorio para nuestro horno.

Esta chimenea es un conducto circular de acero de 10" de diámetro y está encargada de conducir los gases de la combustión fuera del laboratorio.

La dimensión de la abertura que tendrá nuestro horno para el escape de los gases hacia la chimenea será el del horno de fragua.

Debido a que los gases de la combustión tienden a su bir, la abertura del horno se encuentra ubicada en el fondo del horno en la parte superior. La finalidad de tener una abertura para la chimenea es la de no crear fuerzas internas dentro del horno al no tener escape los gases de la com bustión.

Las pérdidas de calor por escape de los gases por la abertura de la chimenea serán calculados en el capítulo IV, en el inciso: pérdidas por cuerpo negro.

Con la finalidad de que haya un mayor flujo de gases desde el interior del horno hacia fuera de la chimenea, ésta se ha provisto de un ventilador de tiro inducido (figura 2-1) de esta manera se mejorará la eficiencia del horno.

### El Quemador de Petróleo.

Para la elección del quemador es necesario saber las características a las que ésta va a trabajar. A continuación mencionaremos las características más importantes para poder elegir el quemador más adecuado.

- a) Tipo de combustible (Diesel).
- b) Tipo de proceso (forjado).
- c) Temperatura máxima de operación (1200°C).
- d) Carga de material.
- e) Dimensiones del horno y material del que está constituido.
- f) Gasto de combustible Lt/hr.

El quemador que se seleccionó para este horno es: Quemador eclipse 84 LCF - 0, que tiene las siguientes características:

- 1. Capacidad máxima 5.1 gal/hr.
- 2. Longitud de flama 3.5 pies aprox. un metro.
- 3. Angulo de apertura de flama 60°

Su ubicación es en una pared lateral del horno a unos 20 cms, del piso donde reposan las barretas.

El quemador está constituido por algunos elementos que hacen posible su funcionamiento.

## Partes del quemador y su cotización:

Quemador	\$73,305.00
Ventilador	106,570.00
Motor del ventilador	29,015.00
Ratiotol	67,395.00
Válvula de Mariposa	3,895.00
Reg. de presión	10,478.00
Bomba de Motor	41,201.00
Filtro	1,775.00 (*)

Nota: se puede elegir un filtro de placas opcional el cual tiene un valor de \$ 52,500.00

(\*) Estos precios son a fecha Agosto 15 de 1983.

Estructura Metálica del Horno.

La estructura metálica del horno consiste en elementos estructurales que le darán mayor rigidez a nuestro horno, generalmente, las paredes laterales de los hornos de calentamiento y de recocido originan menos problemas que las bóvedas y las soleras. No obstante, no se puede olvidar que estas paredes también pueden agrietarse, ceder, quemarse o derrumbarse.

Las paredes lisas, sin orificios, resisten excelentemente en los hornos pequeños, incluso cuando la temperatura

ra alcanza los  $1260^{\circ}\text{C}$  ( $2300^{\circ}\text{F}$ ).

Los hornos modernos, construidos con ladrillos aislantes deben protegerse exteriormente con placas de acero, puesto que estos refractarios son frágiles y se vuelven quebradizos en mayor o menor grado y porque generalmente se emplean aislamientos en bloque en capas delgadas en el exterior. Hay que tener en cuenta que la mayoría de los materiales aislantes se desintegran con el tiempo.

Por lo general, las paredes laterales se sujetan por su parte superior, lo que evita su caída en el interior del horno, pues el empuje del arco presiona el salmer y la parte superior de la pared mantiene ésta en su posición.

Las capas superiores de la pared tienen tendencia a inclinarse hacia el interior ya que los ladrillos de la cara caliente cerca del fondo, donde el peso es mayor, se deforman lentamente mientras que los ladrillos exteriores o sea los de la cara fría conservan su forma.

Debe indicarse que la estructura de acero que soporta la bóveda está protegida del calor por ladrillos refractarios y mortero.

Las paredes de ladrillos soportadas por estructuras metálicas se emplean desde hace tiempo. En esta aplicación,

los refractarios están sometidos no sólo a temperaturas elevadas sino también a cenizas volátiles que provienen del carbón pulverizado.

También son causa de problemas las aberturas de las puertas, cuyos arcos pueden derrumbarse en el horno, pero - este derrumbamiento se debe en muchas ocasiones a la falta de cuidado del personal que no procura evitar los golpes en la jamba (pieza lateral que sostiene el dintel en la puerta) por lingotes, desbastes y semiproductos. También puede ocurrir que al descargar el horno, la puerta sea arrastrada con la carga (mientras se retira ésta) y luego choque violentamente contra el horno.

Por eso es de suma importancia la estructura metálica en los hornos.

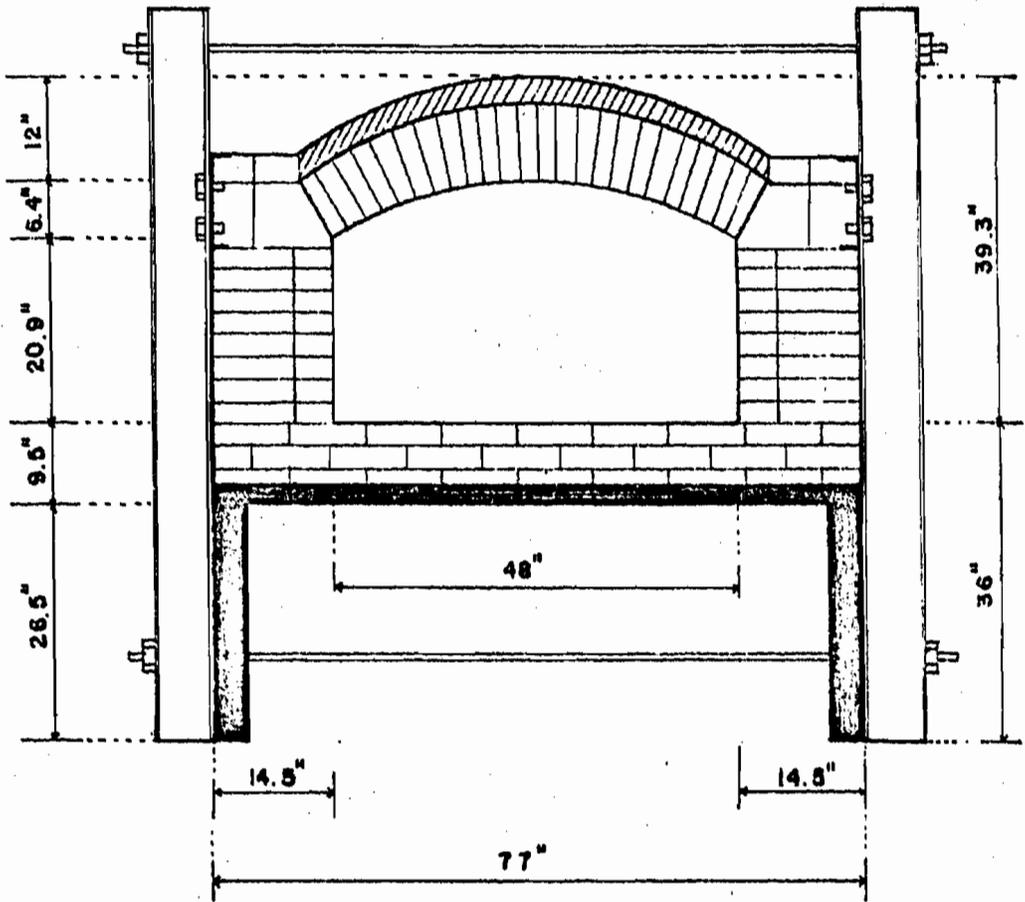
#### Perfiles de la Estructura Metálica.

	Perfil		Dimensiones
1.	Angulo de lados iguales		4 x 4 x 1/2 pulg.
2.	Angulo de lados iguales		3 x 3 x 1/2 pulg.
3.	Canal	30.81 Kg/m Peralte	12 pulg.
4.	Planchas		90 x 8 x 1/2 pulg.
+	Vigas de amarre	Peralte	8 pulg.
+	Viga soporte de la		
	compuerta	Peralte	4 pulg.

DIBUJO FRONTAL CON DETALLE

148.

DE AMARRE.

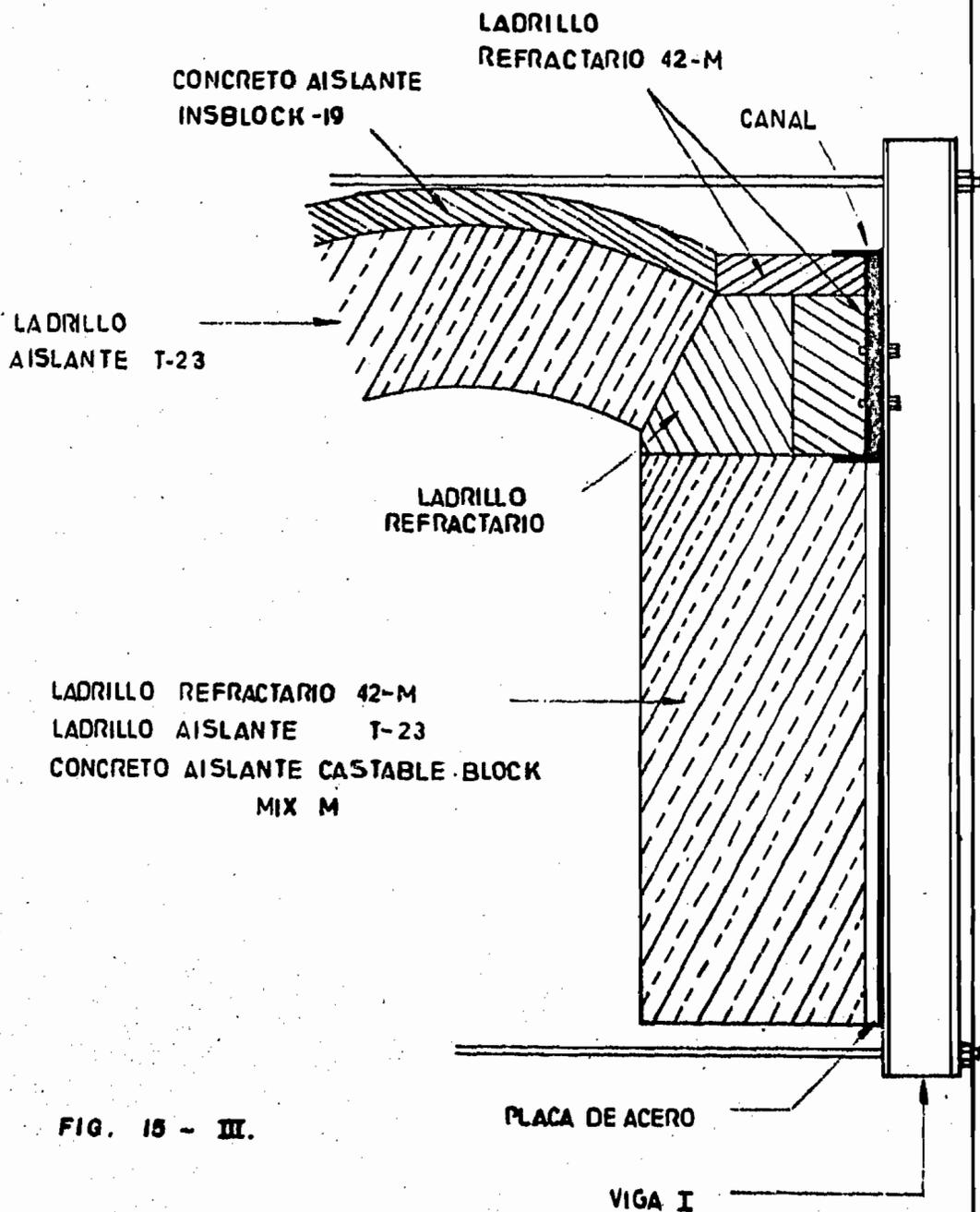


escala : 1:16

FIG. 14 - III.

DISPOSICION DE LA PARED DEL HORNO

149.



ESTRUCTURA METALICA  
DEL HORNO. 150.  
PERFILES.

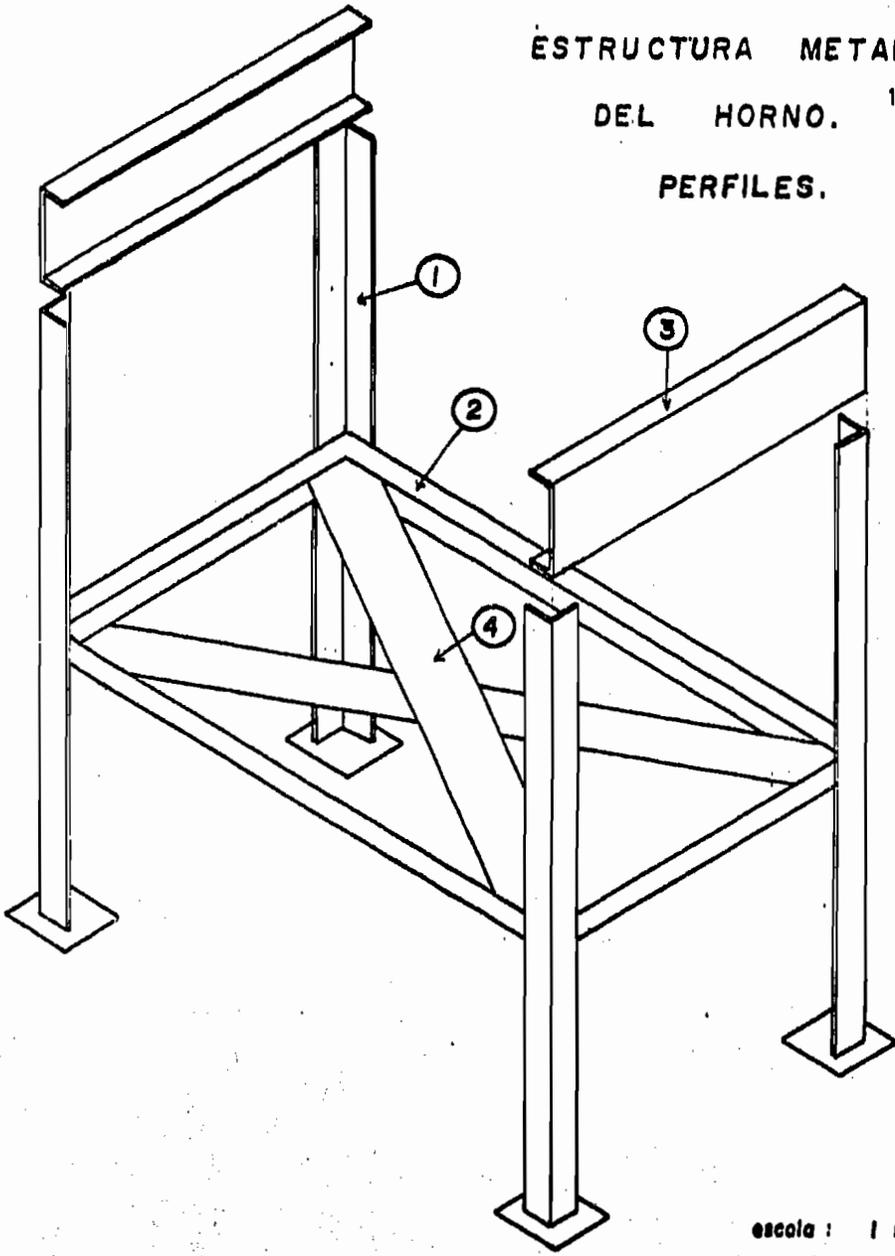


FIG. 16 - III.

escala : 1 : 10

	Perfil	Dimensiones
+	2 Barras de Amarre	1/2" diam.
<u>Recubrimiento Metálico.</u>		
+	Lámina protectora de paredes	1/16 pulg.
+	Placa del piso	1/4 pulg.

Componentes del Mecanismo de la Compuerta.

+	2 Poleas	5" Diam.
+	Cable	1/2" Diam.
+	Contrapeso	155 Kgs.

Cantidad y Tipo de Ladrillo a Utilizar.

Piso:

$$(1.91 \text{ m}) (1.14 \text{ m}) = 2.18 \text{ m}^2.$$

$$2.18 \text{ m}^2 (38.7 \text{ ladrillos/m}^2) = 85 \text{ ladrillos 42-M}$$

$$2.18 \text{ m}^2 (69.9 \text{ ladrillos/m}^2) = 151 \text{ ladrillos T-23}$$

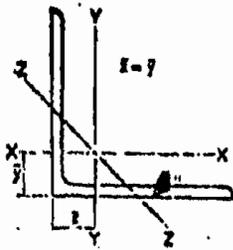
$$2.18 \text{ m}^2 (38.7 \text{ ladrillos/m}^2) = 85 \text{ ladrillos T-23}$$

$$\text{Total } 85 + 151 + 85 = 321 \text{ ladrillos.}$$

Paredes Laterales:

$$(.80 \text{ m}) (.50 \text{ m}) = .40 \text{ m}^2$$

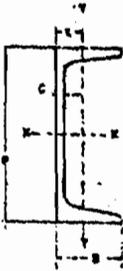
$$(.40 \text{ m}^2) (2) = .80 \text{ m}^2$$



PROPIEDADES DE ANGULOS  
DE LADOS IGUALES

DIMENSIONES		PESO		Area	EJE X-X y EJE Y-Y				EJE Z-Z
Pulg.	mm	Kg/m	lbs/pie		cm <sup>2</sup>	I	r	S	r <sub>min</sub>
				cm <sup>4</sup>		cm	cm <sup>3</sup>	cm	cm
6 x 1	152.4 x 25.4	55.66	37.4	70.97	1476.0	4.57	140.4	4.72	2.98
6 x 3/8	152.4 x 22.3	49.26	33.1	62.77	1328.6	4.60	123.0	4.62	2.97
6 x 3/4	152.4 x 19.0	42.71	28.7	54.45	1171.7	4.63	109.1	4.52	2.97
6 x 7/8	152.4 x 15.9	36.01	24.2	45.87	1005.6	4.67	92.8	4.39	3.00
6 x 1 1/8	152.4 x 14.3	32.59	21.9	41.48	919.5	4.70	84.2	4.34	3.00
6 x 1 1/4	152.4 x 12.7	29.17	19.6	37.10	828.7	4.72	75.5	4.27	3.00
6 x 1 3/8	152.4 x 11.1	25.60	17.2	32.65	735.9	4.75	66.7	4.22	3.02
6 x 1 1/2	152.4 x 9.5	22.17	14.7	28.13	640.6	4.78	57.8	4.16	3.02
5 x 3/8	127.0 x 19.0	35.12	23.6	44.77	655.2	3.81	74.2	3.86	2.46
5 x 1/2	127.0 x 15.9	29.76	20.0	37.81	565.5	3.86	63.5	3.76	2.46
5 x 1 1/4	127.0 x 12.7	24.11	16.2	30.65	468.3	3.91	51.6	3.63	2.49
5 x 3/4	127.0 x 11.1	21.28	14.3	26.97	417.1	3.94	45.7	3.58	2.49
5 x 3/8	127.0 x 9.5	18.30	12.3	23.29	363.8	3.96	39.7	3.53	2.51
4 x 3/8	101.6 x 19.0	27.53	18.5	35.10	318.8	3.02	46.0	3.22	1.95
4 x 3/4	101.6 x 15.9	23.36	15.7	29.74	277.2	3.05	39.3	3.12	1.95
4 x 1 1/4	101.6 x 12.7	19.05	12.8	24.19	231.4	3.10	32.3	2.99	1.98
4 x 1 1/8	101.6 x 11.1	16.82	11.3	21.33	206.9	3.12	28.7	2.94	1.98
4 x 3/8	101.6 x 9.5	14.58	9.8	18.45	181.5	3.12	24.9	2.89	2.01
4 x 1 1/8	101.6 x 7.9	12.20	8.2	15.48	154.4	3.13	21.1	2.84	2.01
4 x 1/4	101.6 x 6.3	9.82	6.6	12.52	124.9	3.18	17.2	2.77	2.01
3 x 3/8	76.2 x 15.9	17.11	11.5	21.68	109.1	2.74	21.3	2.49	1.48
3 x 1/2	76.2 x 12.7	13.99	9.4	17.74	92.4	2.29	17.5	2.36	1.47
3 x 3/4	76.2 x 11.1	12.33	8.3	15.68	82.8	2.31	15.6	2.31	1.47
3 x 1/4	76.2 x 9.5	10.72	7.2	13.61	73.3	2.31	13.6	2.26	1.47
3 x 3/8	76.2 x 7.9	9.08	6.1	11.48	62.9	2.34	11.6	2.21	1.50
3 x 1/8	76.2 x 6.3	7.29	4.9	9.29	51.6	2.36	9.5	2.13	1.59

TABLA. 3 - III.



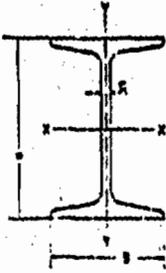
## PROPIEDADES DE CANALES

Perfil P	Peso	Área	EJE X - X			EJE Y - Y			Distancia X	
			I	r	S	I	r	S		
mm	Pulg.	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm
76.2	3	6.10	7.68	68.1	2.97	17.9	8.3	1.04	3.4	11.18
101.6	4	8.04	10.00	157.9	3.97	31.1	13.3	1.15	4.7	11.68
152.4	6	12.20	15.35	541.0	5.94	71.0	29.1	1.38	8.2	13.21
152.4	6	23.07	29.42	812.9	5.26	106.7	33.3	1.35	12.1	13.97
203.2	8	17.11	21.61	1344.5	7.89	132.3	55.4	1.60	13.0	14.73
203.2	8	31.62	40.32	1988.1	7.02	195.7	93.7	1.52	18.2	14.99
254.0	10	22.77	28.77	2783.8	9.54	219.2	95.7	1.82	19.2	16.26
254.0	10	52.09	56.29	4607.1	8.51	378.5	194.0	1.71	30.7	17.53
304.8	12	30.91	32.90	5532.4	11.70	349.9	162.7	2.05	28.6	17.78
304.8	12	59.53	75.87	8197.4	10.40	527.9	276.0	1.91	40.2	18.29

TENEMOS MAS DE 60 AÑOS DE  
EXPERIENCIA EN NUESTRAS  
FABRICACIONES

COMPANIA FUNDIDORA DE FIERRO Y ACERO DE MONTERREY, S. A.

TABLA. 4 - III.



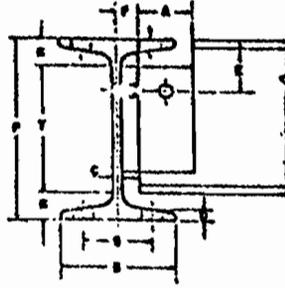
### PROPIEDADES DE VIGAS

PERALTE		Peso Kg/m	Area cm <sup>2</sup>	EJE X-X			EJE Y-Y		
P mm	P Pulg.			I cm <sup>4</sup>	r cm	S cm <sup>3</sup>	I cm <sup>4</sup>	r cm	S cm <sup>3</sup>
76.2	3	8.48	10.52	103.3	3.12	27.1	19.1	1.35	6.5
101.6	4	11.46	14.26	248.3	4.17	48.9	32.1	1.50	9.5
127.0	5	14.08	18.52	503.3	5.21	79.3	51.2	1.65	13.4
152.4	6	18.60	23.29	906.8	6.25	119.0	77.0	1.83	18.2
177.8	7	22.77	28.52	1507.9	7.26	169.6	111.1	1.98	23.9
203.2	8	27.38	34.39	2367.2	8.31	233.0	157.3	2.13	31.0
228.6	9	32.44	40.71	3534.8	9.32	309.3	214.8	2.29	39.1
254.0	10	37.80	47.55	5082.0	10.34	400.2	286.8	2.45	48.4
304.8	12	47.32	59.74	8982.9	12.27	569.4	395.4	2.57	62.3
304.8	12	60.72	76.39	11193.7	12.12	734.8	574.8	2.74	86.2
381.0	15	63.84	80.52	18387.3	15.11	963.2	698.3	2.75	87.1
381.0	15	90.48	114.00	25749.6	14.91	1330.6	1000.5	3.07	141.8

NUESTROS ACEROS SON  
DE LA MEJOR  
CALIDAD

COMPANIA FUNDIDORA DE FIERRO Y ACERO DE MONTERREY, S. A.

DATOS PARA DETALLE DE  
VIGAS



Peralte de la Viga	Peso	Patin		Alme		DISTANCIAS					Gra- mil G	Día- met. Máx. de los reme- chos o tor- nillos
		Ancho	Espesor	Espesor	Medio espesor	Tangente	K	E	F	A		
		B	D	C	$\frac{C}{2}$	T	mm	mm	mm	mm		
76.2	6.48	59	6.6	4.3	2	45	15.5	38	12	27	36	9.5
101.6	11.46	68	7.4	4.8	3	70	16.0	50	13	32	38	12.7
127.0	14.88	76	8.3	5.3	3	89	19.0	64	13	35	40	12.7
152.4	18.60	85	9.1	5.8	3	114	19.0	76	13	40	44	15.8
177.8	22.77	93	9.9	6.4	3	133	22.5	59	13	43	56	15.8
203.2	27.38	102	10.8	6.9	4	159	22.0	72	14	48	56	19.0
228.6	32.44	110	11.6	7.4	4	178	25.5	85	14	51	60	19.0
254.0	37.80	118	12.5	7.9	4	203	25.5	97	14	55	66	19.0
304.8	47.32	127	13.8	8.9	5	248	28.5	93	15	59	74	19.0
304.8	60.72	133	16.7	11.7	6	235	35.0	93	16	61	74	19.0
381.0	61.84	140	15.8	10.4	6	317	32.0	111	16	65	80	19.0
381.0	90.48	152	20.7	15.0	8	298	41.5	111	18	89	80	19.0

VENDEMOS CALIDAD;  
GARANTIZAMOS NUESTROS  
PRODUCTOS

COMPANIA FUNDIDORA DE FIERRO Y ACERO DE MONTERREY, S. A.

TABLA . 6 - III.

.80 M<sup>2</sup> (68.9 ladrillos/m<sup>2</sup>) = 55 ladrillos 42-T.

.80 m<sup>2</sup> (137.8 ladrillos/m<sup>2</sup>) = 110 ladrillos T-23

Total 55 + 110 = 165 ladrillos.

Pared de Fondo:

1.088 M<sup>2</sup> área de la pared de fondo.

1.088 m<sup>2</sup> (68.9 ladrillos/m<sup>2</sup>) = 75 ladrillos.

1.088 m<sup>2</sup> (137.8 ladrillos/m<sup>2</sup>) = 150 ladrillos T-23.

Total: 75 + 150 = 225 ladrillos.

Bóveda:

La bóveda estará compuesta por 10 hileras de 24 ladrillos cada una.

24 ladrillos (10 hileras) = 240 ladrillos T-23.

La cantidad de salmers son 20 unidades, los cuales son 10 hileras de dos salmers por hilera.

Total de ladrillos de la bóveda 240 + 20 = 260 ladrillos

Ladrillos complementarios: 30 + 14 + 24 = 68 ladrillos 42-M, en ambas paredes laterales.

283 ladrillos 42-M

1019 ladrillos T-23

20 ladrillos T-23 (Salmers).

1322 ladrillos en total del horno.

## Precio por unidad:

Ladrillos T-23	\$ 77.70
Ladrillos 42-M	122.85
Salmers	617.35
Concreto Aislante	31,500.00 Ton.
Concreto refractario	29,900.00 Ton.
Mortero Sairset-M	23,500.00 Ton.
283 ladrillos 42-M (122.85) =	\$34,766.55
1019 ladrillos T-23 (77.70) =	79,176.30
20 Salmers T-23 (617.35) =	12,347.00

Para los 1322 ladrillos se utilizarán 270 kgs. de mortero aproximadamente con un costo de \$6,345.00.

Dimensiones Finales del Horno.

En el inciso 2 de este capítulo se calcularon las di mensiones interiores que tendría el horno los cuales son:

Longitud de alimentación del horno	122.00 cm (48.0").
Profundidad del horno	80.00 cm (31.5").
Altura	50.00 cm (19.7").
Altura máxima interior incluyendo el arco de la bóveda	69.44 cm (27.30").

Las dimensiones que a continuación tenemos, son las

que se han obtenido en base a los cálculos de la transferencia de calor, desarrollados a lo largo de este capítulo, de esta manera tendremos las siguientes dimensiones definitivas del horno:

Espesor de las paredes	36.83 cm. (14.5").
Espesor de la bóveda	30.48 cm. (12.0").
Espesor del piso	24.13 cm. (9.5").
Espesor de la compuerta	13.97 cm. (5.5").
Dimensión frontal del horno	195.66 cm. (77.0").
Dimensión lateral del horno	116.83 cm. (46.0").
Altura máxima del horno	124.10 cm. (48.8").

(con el espesor del piso y de la bóveda).

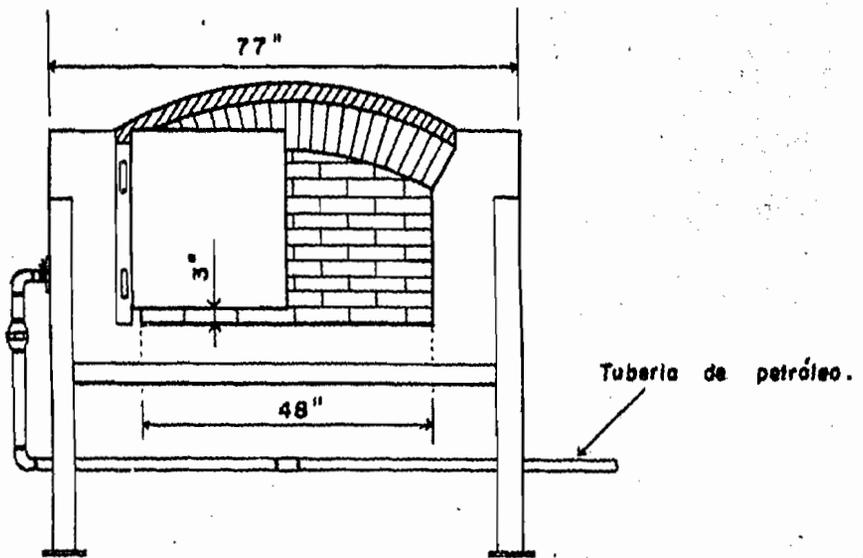
#### Precios de los Elementos Metálicos.

- Angulo de lados iguales de (4 x 4 x 1/2 pulg.) tramo de seis metros, \$48.00 kg.; 20 kg./m aproximadamente.
- Angulo de lados iguales de (3 x 3 x 1/2 pulg.) tramo de seis metros, \$46.35 kg.; 14 kg./m aproximadamente.
- Canal de (12") tramo de seis metros, \$101.10 kg. - 30.81 kg./m aproximadamente.

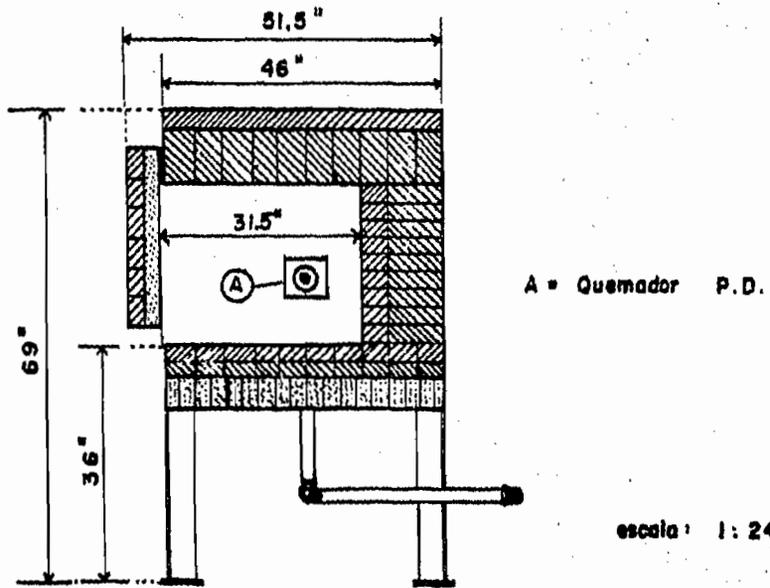
- Plancha de (0.91 x 2.94 x 1/2 pulg.) \$57.90 Kg.
- Viga de (8") tramo de cuatro metros \$69.45 kg.; -  
28 kg./m aproximadamente.
- Viga de (4") tramo de cuatro metros, \$ 69.45 kg. -  
12 kg./m. aproximadamente.
- Lámina de (1/16") de (0.91 x 1.83) \$ 89.20 kg.
- Placa de (1/4") de (0.91 x 1.83) \$57.90 kg.
- Poleas de (5" de diam.) \$2,380.00 c/u.
- Cable de (1/2") \$32.50 metro.

CORTES DEL HORNO DE FORJA.

160.



CORTE LONGITUDINAL.



CORTE TRANSVERSAL

escala: 1:24

FIG. 17 - III.

HORNO DE FORJA

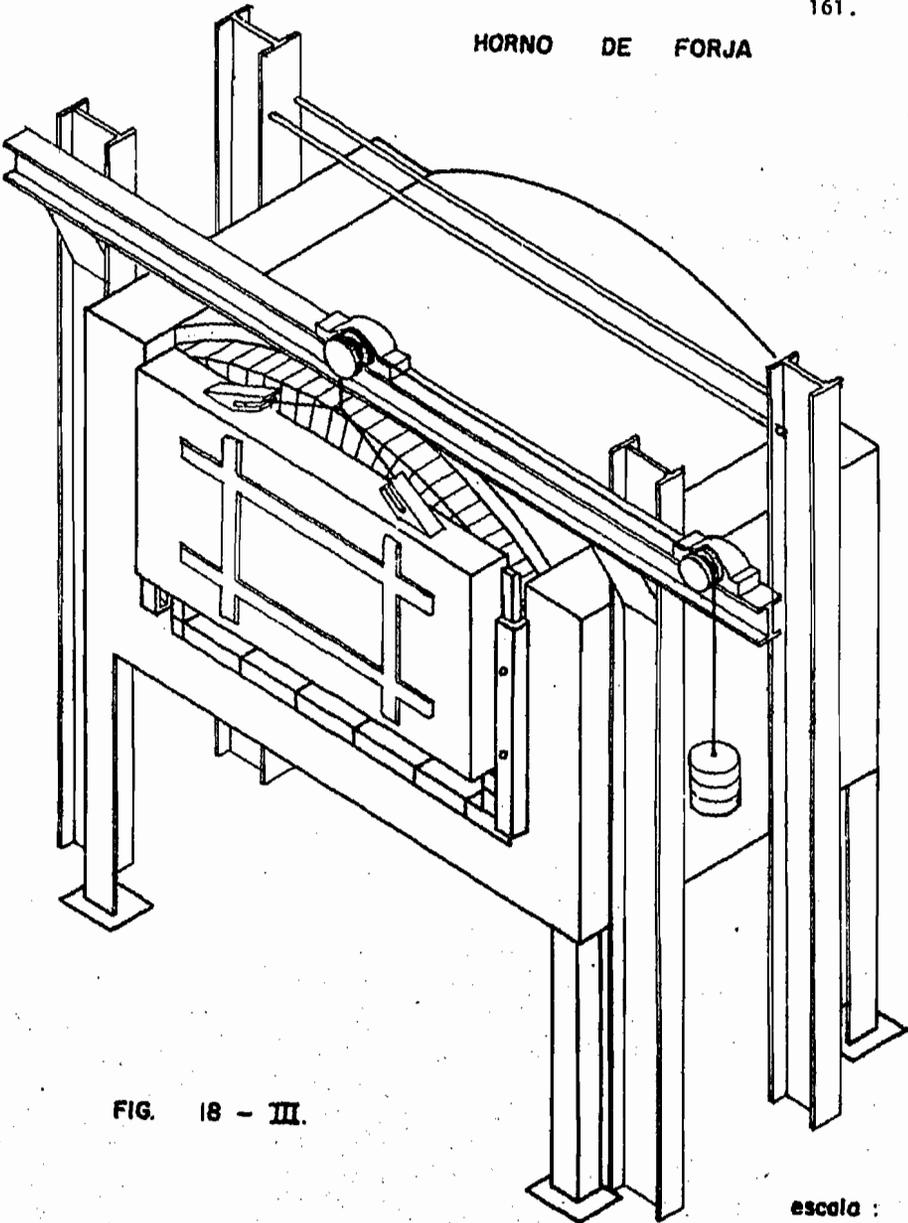


FIG. 18 - III.

escala : 1 : 18

## CAPITULO IV

### CALOR NECESARIO PARA OPERAR EL HORNO

1. Magnitud de Trabajo.
2. Cálculo de la Energía que se Utilizará para Operar el -  
Horno.
  - A) Calor Util:
    - a) calor requerido para calentar el material.
  - B) Pérdidas de Calor:
    - a) Calor utilizado para calentar las paredes del hor-  
no.
    - b) Calor perdido por las aberturas del horno.
    - c) Calor perdido a través de las paredes del horno.
3. Suma de Calores.

## CAPITULO IV

### CALOR NECESARIO PARA OPERAR EL HORNO

#### Magnitud del Trabajo.

El rango de temperatura a la que va a trabajar el horno de forja es de 20°C a 1200°C. La cantidad estimada de material que el horno va a calentar es de 60 kg./hr. pero por razones de tener un amplio rango y pensando en futuras prácticas en las que se podrían utilizar mayores cargas de material se estimará que la cantidad de material a calentar es de 80 kgs.

La manera en que se calculó el peso del material fue de la siguiente manera:

- suponiendo que cada barra pese 10 kgs.
- serán seis barras por cada práctica de laboratorio.

el peso total será:  $6 \times 10 \text{ kgs.} = 60 \text{ kgs.}$ , esto más un excedente de 20 kgs.  $\text{Peso total} = 80 \text{ kgs.}$

El horno entonces tendrá que soportar una carga de 80 kgs. por hora suponiendo un uso continuo.

Las prácticas de laboratorio tienen una duración de dos horas y son en un total de cuatro prácticas diarias por

esto se tomará en cuenta que el horno será utilizado ocho horas diarias y cinco días a la semana.

Cálculo de la Energía que se Utilizará para Operar el Horno.

El cálculo de la energía para operar el horno se hará tomando en cuenta los siguientes puntos:

Calor Util.

- a) Calor requerido para calentar el material de 20°C a 1200°C.

Pérdidas de Calor.

- a) Calor utilizado para calentar las paredes del horno.
- b) Calor perdido por las aberturas del horno (pérdidas por cuerpo negro ) a 1200°C.
- c) Calor perdido a través de las paredes refractarias del horno (pérdidas por transferencia de calor).

la suma total de estos calores:

Calor útil + pérdida de calor = Calor necesario para operar el horno.

El calor necesario para operar el horno es el que -

nos va a dar la pauta para encontrar la cantidad de combustible que se utilizará para poder realizar las prácticas.

El ahorro de combustible dependerá del tipo de refractario que se utilizará para la construcción del horno y al aislamiento de éste para evitar las pérdidas de calor a través de las paredes. En el capítulo anterior se seleccionó el refractario y el acomodo de éste de la manera más adecuada para que el horno tenga las menores pérdidas de calor posibles. Es importante señalar que el mejor diseño del horno va a estar basado en el aspecto económico.

### Calor Util.

a) Calor requerido para calentar el material.

(de 20°C a 1200°C).

los datos son:

- carga de material = 80 kgs./hr.
- Cp. del acero = 0.11 Kcal/Kg.°C
- incremento de Temp. = 1200 °C-20°C

La fórmula:

$$Q = m \text{ Cp} \cdot \Delta t$$

$$Q = 80 \text{ Kgs./hr.} \times 0.11 \text{ Kcal/kgs.}^\circ\text{C} \times (1200-20^\circ\text{C}).$$

$$Q = 10,384 \text{ Kcal/hr.}$$

Este será el calor requerido para calentar el material y dejarlo listo para ser forjado.

### Pérdidas de Calor.

a) Calor utilizado para calentar las paredes del horno.

Una cuestión que no forma parte de la economía del combustible es la siguiente: cuánto tiempo se demora en calentar un horno vacío a la temperatura de funcionamiento.

Muchos aspectos diversos afectan a dicha cuestión, entre los que se incluyen: la temperatura a la que el operador juzga que el horno está suficientemente caliente, el tiempo transcurrido desde la parada, el espesor y la composición de las paredes y la capacidad de liberación de calor de los quemadores.

Evidentemente es imposible tener en cuenta todas las variables; sin embargo, es factible calcular algunos casos simples y utilizar los resultados con fines estimativos en otros casos. Un caso simple es el calentamiento de la cara caliente de un horno inicialmente frío (temperatura ambiente) a un 95 por ciento de la diferencia entre la temperatura final de la pared y la temperatura ambiente. Los resultados de estos cálculos se encuentran en la gráfica 1-IV. En

esta gráfica podemos apreciar con facilidad los efectos de los tipos de refractarios y de la magnitud del flujo calorífico en las paredes.

En el funcionamiento típico de los hornos, los refractarios pierden la totalidad del calor que almacenan solamente después de una parada prolongada. En una parada de corta duración queda mucho calor en las paredes.

En la práctica los tiempos de calentamiento son mucho más cortos que los indicados en la gráfica 1-IV, porque las paredes retienen mucho calor durante los períodos de parada, que usualmente son cortos. Existiendo tantas influencias que se superponen, resulta casi imposible realizar un cálculo teórico exacto de la cantidad de calor que se empleará para calentar el interior del horno. Por esta razón la siguiente regla experimental puede ser valiosa. Las partes del horno construídas con refractario aislante utilizará la mitad de calor que se necesita cuando las partes a calentar son de ladrillo refractario compacto.

Basándonos en este punto de vista podremos calcular con la misma gráfica (1-IV) el calor para calentar el ladrillo aislante y el ladrillo refractario denso.

Cálculo de:	Area ( $m^2$ )	Espesor (mm)
Paredes laterales y pared de fondo	1.545	114 mm de lad.

Cálculo de:	Area (m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)
Piso del horno	0.976	Ref. y lad. Ref. aislante.
	<u>2.521 m<sup>2</sup></u>	

Si vemos la gráfica 1-IV con 1205°C; con el espesor 114 mm (4.5") y un tiempo de una hora, encontramos 9000 Kcal/m<sup>2</sup>-hr.

$$Q_1 = 9,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr.}} \times 2.521 \text{ m}^2 = 22,689.00 \text{ Kcal/hr.}$$

*Compuerta*  $Q_2 = 4,500 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr.}} (0.745 \text{ m}^2) = 3352.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr.}}$

Cálculo de:	Area (m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)
Bóveda	1.128	229 mm. de lad. refrac y aislante
	<u>1.128 m<sup>2</sup></u>	

De la gráfica 1-IV con 1204°C; con el espesor de 229 mm (9") y en un tiempo de una hora, encontramos 10,500 Kcal/m<sup>2</sup>-hr, para un ladrillo refractario, por ser la bóveda de ladrillo refractario aislante la cantidad de calor utilizada será la mitad que la del ladrillo refractario, así tendremos: 5,250 Kcal/m<sup>2</sup>-hr. para un ladrillo aislante de 229 mm (9") de espesor y aislante, que en este caso será el Ins

block-19.

$$Q_3 = 5,250 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{hr.}} \times 1.128 \text{ m}^2 = 5922 \text{ Kcal/hr.}$$

La suma de estos tres calores obtenidos nos dará el total:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 22689 + 3352.5 + 5922 = 31,963.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr.}}$$

Que es el calor necesario para calentar las paredes del horno. Debemos tomar en cuenta que los calores anteriormente calculados son cuando el horno es puesto en marcha y tiene una temperatura inicial igual a la del medio ambiente (20°C) aproximadamente, además hay que tomar en cuenta que el calentamiento muy rápido de las paredes destruye los refractarios por desconchamiento.

Calor Perdido por las Aberturas del Horno. A este tipo de calor también se le llama pérdidas por cuerpo negro y las pérdidas de calor van a depender del tamaño y forma de la abertura, de la temperatura interior del horno y del espesor que éstas tengan.

En nuestro horno tenemos dos aberturas:

1. La abertura de la compuerta (abierta a 3").
2. La abertura de la chimenea.

La suma de estas dos aberturas da el total de pérdidas en el horno.

- 1) Pérdidas por la abertura de la Compuerta; Fig. 1a-IV.

D = diámetro o ancho mínimo = 3.0 pulgadas.

X = espesor de la pared = 5.5 pulgadas.

Tipo de abertura: ranura muy alargada.

Para encontrar las pérdidas de calor, primero se calculará la superficie del diagrama equivalente:

$$\text{Area} = 3.0'' \times 48.0'' = 144 \text{ in}^2.$$

De la gráfica 2-IV se deduce que la radiación por pulgada cuadrada es de 599 BTU/hr, a una temperatura de 2200°F (1204°C).

La pérdida de calor del diafragma libremente expuesto es:

$$Q = 599 \text{ BTU/in}^2\text{-hr} \times 144 \text{ in}^2 = 86,256 \text{ BTU/hr.}$$

Para encontrar el factor total de radiación, primero se calcula:

Relación del ancho menor del orificio/al espesor de

la compuerta.

$$D/X = \frac{3.0}{5.5} = 0.545$$

En la gráfica 3-IV para un  $D/X = 0.545$  y la curva de ranura muy alargada, el factor total de radiación resulta ser  $F_{tr} = 0.58$ .

Con esto encontramos la radiación real a través de la abertura:

$$Q_{cn_1} = 86,256 \text{ BTU/hr} \times 0.58 = 50,028.4 \text{ BTU/hr.}$$

$$Q_{cn_1} = 12,607.98 \text{ Kcal/hr.}$$

Pérdidas por la abertura de la chimenea: Fig. 1b-IV.

D = Diámetro de la abertura = 10 pulgadas

X = Espesor de la pared = 14.5 pulgadas

Tipo de abertura: redonda.

Para encontrar las pérdidas de calor en la chimenea se calculará:

La superficie del diagrama equivalente:

$$\text{Area} = r^2 = 3.1416 \times 5^2 = 78.54 \text{ in}^2.$$

De la gráfica 2-IV se deduce que la radiación por

pulgada cuadrada es 599 BTU/hr, a una temperatura de 2200°F.

Las pérdidas de calor del diafragma libremente expuesto son:

$$Q = 599 \text{ BTU/in}^2\text{-hr} \times 78.54 \text{ in}^2 = 47,045.46 \text{ BTU/hr.}$$

Para encontrar el factor de radiación, calculamos: -

Diámetro del orificio/espesor de la pared = D/X.

$$D/X = 10/14.5 = 0.689$$

De la gráfica 3-IV. para un D/X = 0.689 y la curva de abertura redonda se obtiene un Factor de radiación de 0.41.

Con este valor se encuentra la radiación real a través de la abertura:

$$Q_{cn_2} = 47,045.46 \text{ BTU/hr} \times 0.41 = 19,288.64 \text{ BTU/hr.}$$

$$Q_{cn_2} = 4,861.04 \text{ Kcal/hr.}$$

La pérdida total por las aberturas del horno son:

$$Q_{cn_{total}} = Q_{cn_1} + Q_{cn_2} = 12,607.98 + 4,861.04 = 17,469.02 \text{ Kcal/hr.}$$

$$Q_{cn_{total}} = 17,469.02 \text{ Kcal/hr.}$$

ABERTURA DE LA COMPUERTA

173.

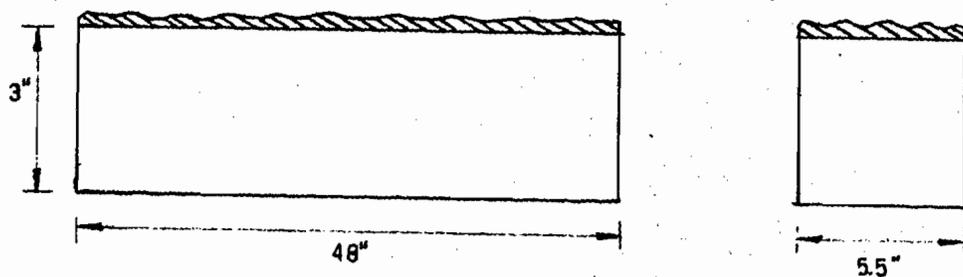


FIG. 1a - IV.

ABERTURA DE LA CHIMENEA

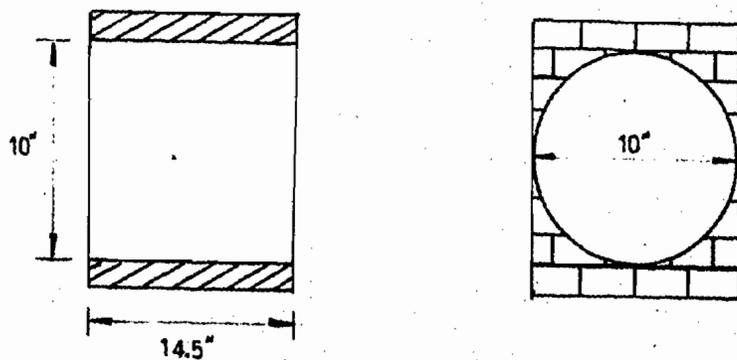


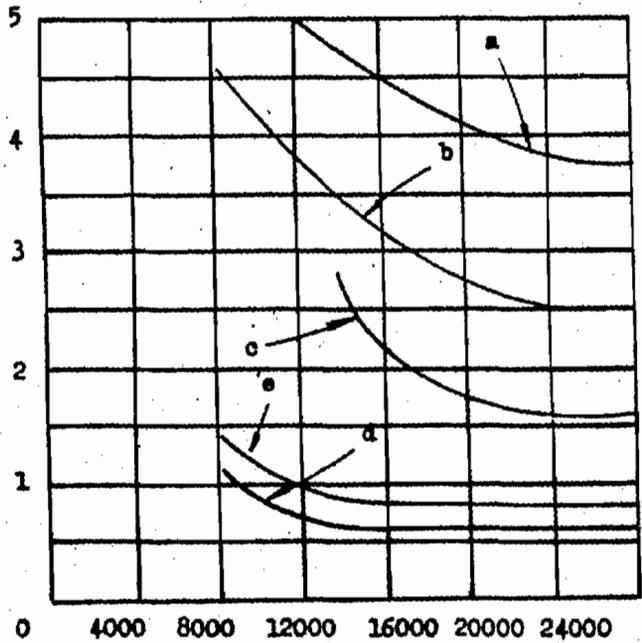
FIG. 1b - IV.

Tiempo necesario para el calentamiento rápido. Tiempo para que la superficie interior de la pared complete el 95% de la diferencia de temperaturas que alcanzaría si se consiguiese la distribución permanente de temperaturas. Si las paredes retienen algo de calor de operaciones anteriores, el tiempo de calentamiento se reduce. 174

CURVAS PARA DISTINTOS ESPESORES DE PARED.

- a).- Pared de ladrillo refractario de 457.2mm.
- b).- Pared de ladrillo refractario de 228.6mm.
- c).- Pared de ladrillo refractario de 114.3mm.
- d).- Pared de ladrillo refractario de 114.3mm, y ladrillo refractario aislante.
- e).- Pared de refractario de 228.6mm y ladrillo refractario aislante.

Tiempo para adquirir el calentamiento rápido ( Horas ).

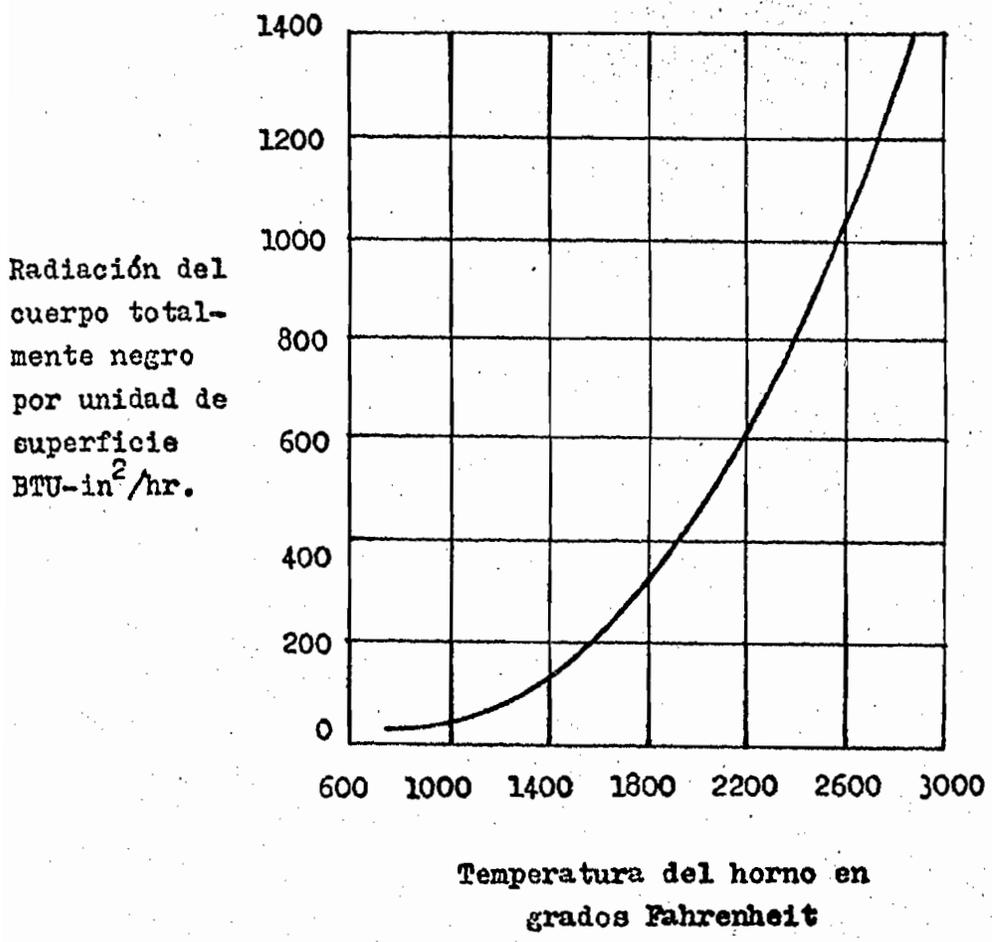


GRAFICA. I- IV.

Cantidad de calor aportado a las paredes

( Kcal/m<sup>2</sup>-hr )

# Radiación del cuerpo negro en función de la temperatura



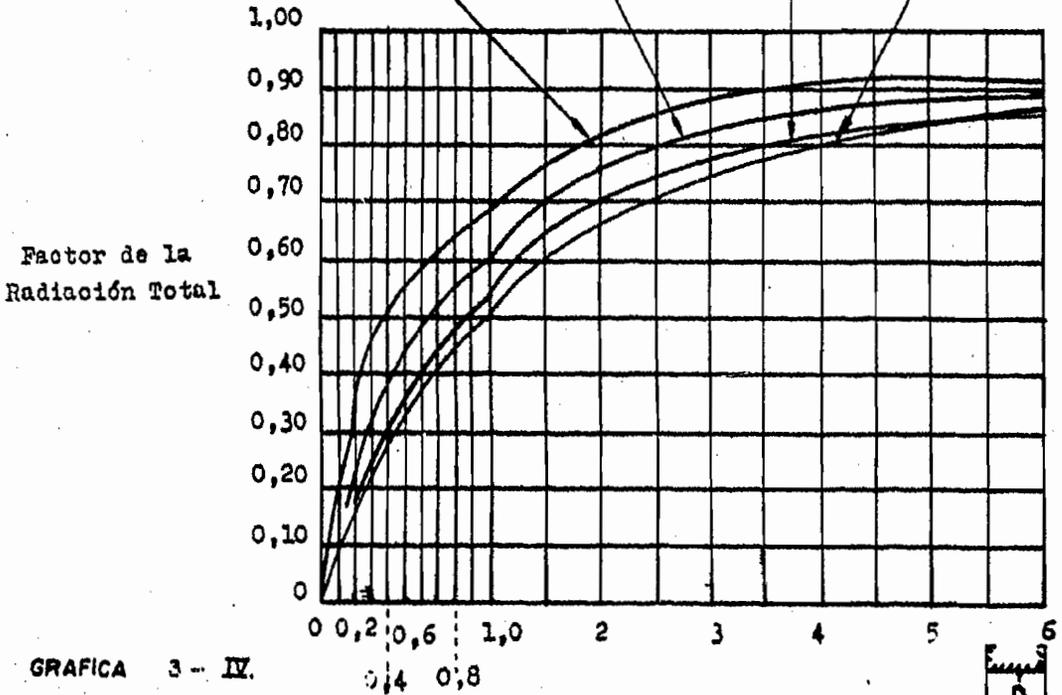
GRAFICA 2 - IV

Abertura rectangular 2:1.

Abertura cuadrada.

Abertura redonda.

Ranura muy Alargada.



GRAFICA 3 - IV.

$$\text{Relación} = \frac{\text{Diámetro o Ancho mínimo}}{\text{Espesor de la pared}} = \frac{D}{X}$$



Radiación a través de aberturas de formas diversas, expresada como fracción de la radiación de una superficie libremente expuesta que tenga la misma superficie que la sección transversal de la abertura.

Calor Perdido a través de las Paredes del Horno. Estos calores han sido encontrados en el capítulo anterior (Cap. III, Diseño del Horno). El calor que se pierde a través de las paredes del horno va a depender del tipo de material con que éste ha sido contruido y el espesor de la pared del mismo.

Los calores que a continuación tenemos, han sido tomados después de haber seleccionado el diseño más óptimo de las paredes del horno, para esto hemos elegido un diseño que nos permita las menores pérdidas de calor posibles y una construcción económica y sencilla.

En resumidas cuentas, las pérdidas de calor y la construcción económica del Horno dependerá del refractario utilizado.

Pérdidas de calor a través del refractario del horno.

Lugar	$Q_p t$ (Kcal/m <sup>2</sup> -hr)	Area (m <sup>2</sup> )	Q (Kcal/kr)
Paredes laterales y pared de fondo	866.90	1.545	1339.36
Bóveda	650.16	1.128	733.31
Compuerta	1124.23	0.745	837.55
Piso del horno	1503.00	0.976	1466.92

Calor Total<sub>p</sub> (Transferencia) = 4,377.14  $\frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$

Suma de Calores.

La energía total que utilizará el horno para operar eficientemente será:

Calor útil + pérdidas de calor.

Calor útil:

- Calor requerido para calentar el material	10,384.00 Kcal/hr.
Pérdida de calor	
- Calor utilizado para calentar las paredes del horno	31,963.50 Kcal/hr.
- Calor perdido por las aberturas del horno	17,469.02 Kcal/hr.
- Calor perdido a través de las paredes del horno	<u>4,377.14 Kcal/hr.</u>
	64,193.66 Kcal/hr.

El calor total que se utilizará para operar el horno será:

$$Q_{\text{total}} = 64,193.66 \text{ Kcal/hr.}$$

Nota: Este calor encontrado, fue considerando que las paredes del horno están a la temperatura del medio ambiente, ya que si la temperatura de las paredes fuera mayor, el calor necesario para operar el horno sería menor.

## CAPITULO V

### COMBUSTIBLE

#### 1. Introducción.

#### 2. Análisis del Gas.

##### A) Calor Aprovechado:

a) Poder calorífico del Gas L. P.

##### B) Calor Perdido:

a) Calor de los gases de la combustión.

#### 3. Análisis del Petróleo Diáfano.

##### A) Calor Aprovechado:

a) Poder calorífico del petróleo diáfano.

##### B) Calor Perdido:

a) Calor de los gases de la Combustión.

#### 4. Análisis de los Precios de Ambos Combustibles.

A) Gas L. P.

B) Petróleo Diáfano.

## CAPITULO V

### COMBUSTIBLE

#### Introducción.

La selección del mejor combustible, se basa en un estudio de los costos comparativos, en la limpieza del funcionamiento, en su control de la temperatura, en la mano de obra requerida y en los efectos del combustible sobre el material que ha de calentarse y sobre el revestimiento del horno.

Para las necesidades de laboratorio, el combustible a emplear será el diesel (petróleo).

El petróleo no se quema como líquido; se quema como vapor de petróleo. La rápida combustión exige una rápida evaporación; esto se alcanza obteniendo una superficie grande para una cierta cantidad dada de combustible. Cuando el petróleo se subdivide toma la forma de gotas, con lo cual se obtiene la superficie máxima cuando las gotas son extremadamente pequeñas.

Otro factor importante en la vaporización del petróleo es la temperatura de la superficie de las gotas, ya que ésta aumenta tensión del vapor. La alta temperatura de la superficie de una gota se produce por la alta tempe-

ratura del petróleo o del gas circundante (aire más productos de la combustión) o de ambos.

Un tercer factor en la rápida combustión es la mezcla de las gotitas de petróleo con aire.

En realidad la combustión rápida no se produce instantáneamente, esto se debe a la dimensión de las moléculas del petróleo. Las moléculas más comunes del Fuel-Oil son:  $C_{11}$ ,  $H_{23}$  y  $C_{12}H_{26}$ , ésta última molécula necesita 25 moléculas de  $O_2$  para conseguir la combustión perfecta, es imposible o mejor dicho es nulo que la molécula de Fuel-Oil alcance 25 moléculas de oxígeno simultáneamente con la temperatura de ignición, realmente se queman uno o dos átomos de la molécula de Fuel-Oil. La molécula inestable de Fuel-Oil se rompe o craquea en pequeñas moléculas que tienen que encontrar el oxígeno.

Una prueba para verificar la rápida pero no instantánea combustión, es la de mediante motores diesel muy rápidos en la que se produce la combustión completa de Fuel-Oil en una fracción de segundo. El tiempo en el que se debe de quemar el Fuel-Oil varía con el diseño y tamaño del horno y la relación combustible-aire.

Por ejemplo, una combustión lenta con una relación directa al diseño, es la primera etapa de la combustión, -

en el cual una molécula de Fuel-Oil se forman pequeñas moléculas ricas en carbón e incluso carbón libre. Estas partículas que flotan en la corriente, chocan perpendicularmente con la pared del horno y se adhieren a ésta formando una capa llamada cok de petróleo, cuando esta capa se va acercando al quemador la combustión será aún más incompleta. Si este diseño no se cambia se remediará esta combustión incompleta buscando una combustión más rápida (Fig. 1-V).

El control exacto de la temperatura, previa a la combustión no puede conseguirse, esto implica que en un momento dado hay un sobrecalentamiento. Este sobrecalentamiento produce un rompimiento de las moléculas, implicando que los conductos se llenen de carbón y se atasquen.

Como se mencionó anteriormente, para una buena combustión rápida es necesario la subdivisión del Fuel-Oil.

Este proceso se consigue con la atomización, que se produce al fluir una corriente delgada de fluido a una gran velocidad a través de un gas. Cuanto mayor sea la velocidad relativa más pequeñas serán las gotas resultantes.

Un factor que se opone a la división y deformación es la viscosidad del líquido, esto da como resultado que las moléculas en la atomización no sean del mismo tamaño.

FORMACION DE CARBONO EN EL TABIQUE DEFLECTOR  
( FRENTE AL QUEMADOR DE PETROLEO ),

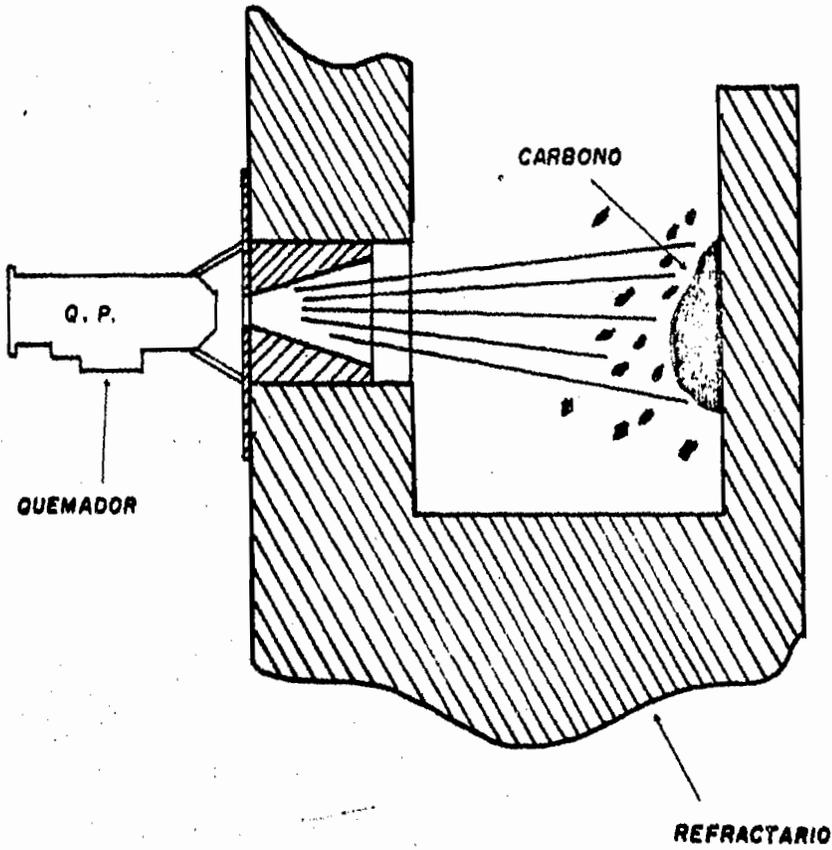


FIG. I-V.

Un factor que favorece a la división y deformación es el calor; éste reduce la tensión superficial y la viscosidad.

La velocidad del flujo disminuye a causa de una mayor sección transversal y posteriormente aumenta debido al incremento de volumen. La velocidad de propagación de la llama aumenta porque la radiación en el interior del horno hace subir la temperatura. En la parte cónica del quemador llamada cámara refractaria, se realiza la atomización, mezcla, evaporación, la separación de las moléculas y la combustión (Fig. 2-V). Nótese que la combustión comienza donde la velocidad de propagación de la llama iguala a la velocidad de la mezcla combustible-aire.

### Análisis del Gas.

#### A) Calor Aprovechado.

a) Poder calorífico del gas L.P.

#### B) Calor Perdido.

a) Calor de los gases de la combustión.

- El calor empleado del combustible gas L.P. es igual:

Calor aprovechado - calor perdido = calor empleado.

VARIACION DE LA VELOCIDAD EN LA CAMARA  
REFRACTARIA DEL QUEMADOR .

185.

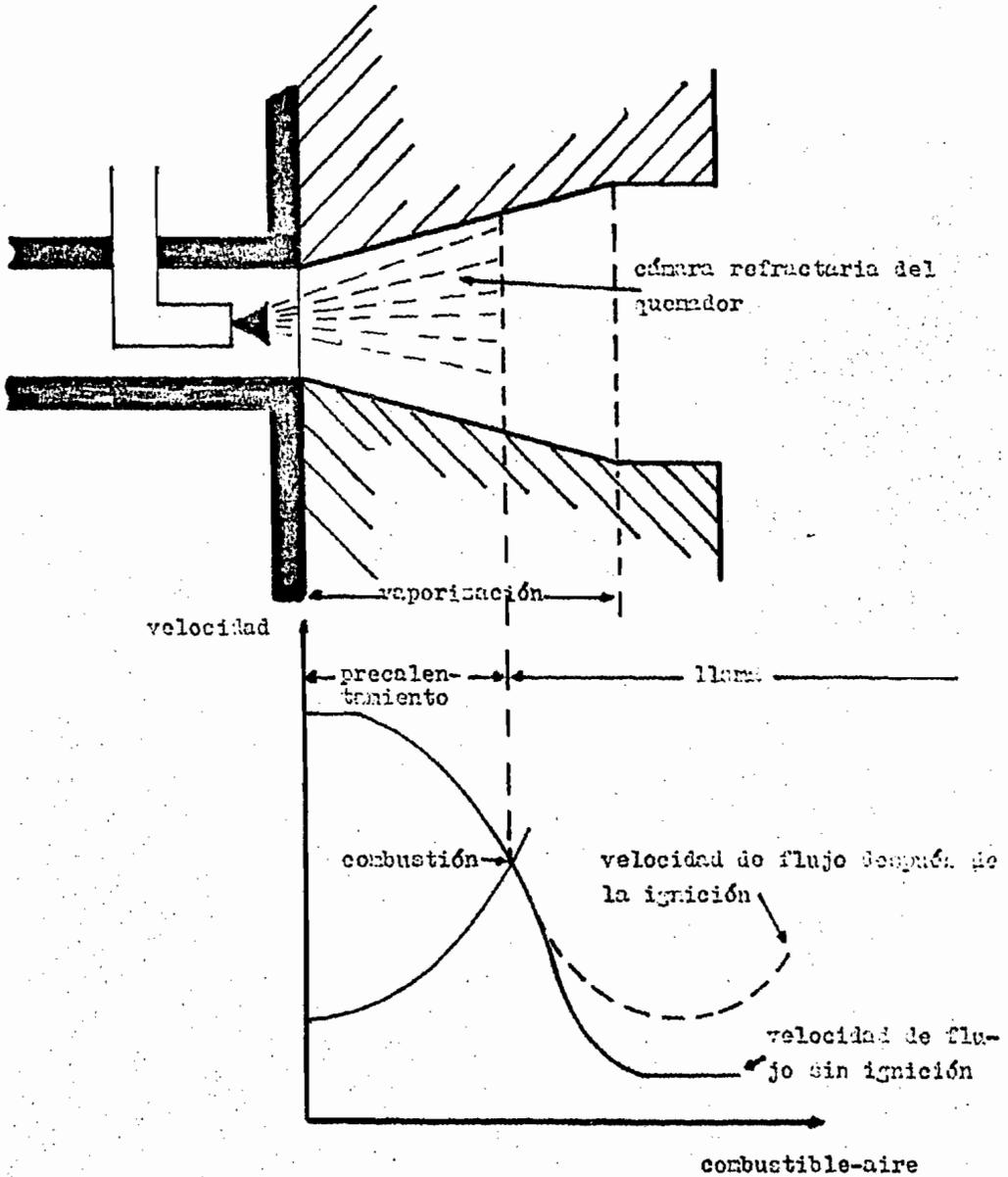


FIG. 2 - V.

- El gasto de combustible gas L.P. será:

$$\text{Gasto de gas L.P.} = \frac{\text{calor requerido para operar el horno}}{\text{calor empleado}}$$

A) Calor Aprovechado.

a) Poder calorífico del gas L.P.

Para obtener el calor aprovechado es necesario saber el poder calorífico del gas L.P.

El poder calorífico del gas L.P. es de:

$$11,365 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg. Gas L.P.}} \dots 1$$

Para el cálculo del calor aprovechado sólo se tomará en cuenta el poder calorífico del gas L.P. debido a que los demás calores que acompañan a los gases a la entrada del horno son despreciables.

B) Calor Perdido. El calor perdido es debido a los gases de la combustión que escapan del horno, debido a que el proceso de forja no requiere de vapores para vaporizar agua u otro tipo de compuesto, el único calor que se pierde es el que no toma el material que se encuentra en el horno y éste es el de los gases de la combustión que salen por la

..... 1 Dato obtenido de Petróleos Mexicanos.

chimenea de dicho horno.

Para el cálculo de gases de la combustión se hacen una serie de consideraciones.

Se considerará una temperatura de salida de los gases de 200°C que es un valor aceptable de los gases que salen de la chimenea hacia el medio ambiente.

La temperatura de referencia será la que es promedio en el medio ambiente de la ciudad de México y ésta es de aproximadamente de 20°C.

La temperatura media será tomada entre la temperatura de salida de los gases y la temperatura de referencia.

Se tiene que:

Temperatura de referencia:	20°C (239.1°K.)
Temperatura de salida de los gases	200°C (473.1°K.)
Temperatura media	110°C (383.1°k.)

a) Calor de los gases de combustión.

Reacciones durante la combustión.

Para fines de cálculo se tomaron 20 kgs. de Gas L.P.

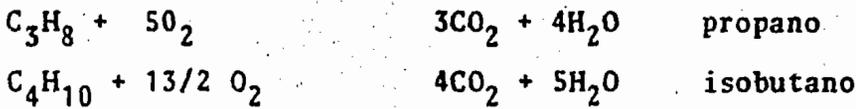
$$C_3H_8 = 12(3) + 1(8) = 44 \text{ Peso Mol del Propano.}$$

$$C_4H_{10} = 12(4) + 1(10) = 58$$

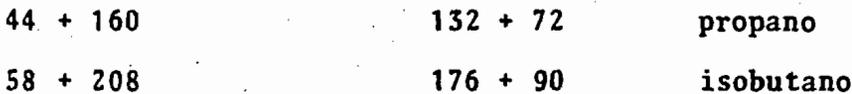
Peso Mol del Isobutano.

	PROPANO (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	ISOBUTANO (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	TOTAL
Comp. % Vol.	40	60	100%
Peso Molecular	44	58	52.4
Masa	1760	3480	5240.0
% en masa	33.588	66.412	100%
Can. en masa Kg. (20 kgs.) (%)	6.717	13,283	20 Kgs.gas <u>L.P.</u>
Kg. mol.	0.153	0.229	

Reacciones:



Reacciones en pesos moleculares:



Cálculo del oxígeno necesario para la combustión.

i) Para quemar el Propano se requiere:

$$44 \text{ kgs/Kgmol } C_3H_8 \dots\dots\dots 160 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. mol. } O_2}$$

$$6.717 \text{ Kg. } C_3H_8 \dots\dots\dots X$$

$$X = 24.43 \text{ Kgs. de } O_2$$

ii) Para quemar el Isobutano se requiere:

$$58 \frac{\text{Kg.}}{\text{Kg. mol. } C_4H_{10}} \dots\dots\dots 208 \frac{\text{Kg.}}{\text{Kg. mol. } O_2}$$

$$13.283 \text{ Kg. } C_4H_{10} \dots\dots\dots X$$

$$X = 47.64 \text{ Kg. de } O_2$$

En base a lo anterior la cantidad de oxígeno requerido para quemar 20 Kgs. de combustible es

$$24.43 + 47.64 = 72 \text{ Kgs. de } O_2$$

Cálculo del Aire correspondiente

AIRE	% Vol.	% Masa	P.M.	Masa
O <sub>2</sub>	21	23.3	32	672
N <sub>2</sub>	79	76.7	28	2212
Totales	100	100.0	29	2884

$$\text{- masa} = (\% \text{ vol.}) (\text{P.M.}); \quad \% \text{ Masa} = \frac{\text{masa}}{\Sigma \text{masas}} (100\%)$$

Como la cantidad de oxígeno presente en el aire es de 23.3 por ciento de la masa se tiene:

$$72 \dots\dots\dots 23.3\%$$

$$X \dots\dots\dots 100.0\%$$

$$X = 309 \text{ Kgs. de aire seco.}$$

Es necesario para poder asegurar una combustión com-

pleta y además tener una atmósfera oxidante en el horno - - agregar un exceso de aire que es conveniente para estos casos.

Este exceso de aire según datos de operación en algunos hornos es de un 60 por ciento aproximadamente en promedio por esto queda:

$$0.60 \times 309 = 185.4$$

Total de aire seco con exceso será:

$$309 + 185.4 = 494.4 \text{ Kgs. de aire seco con exceso.}$$

La cantidad de Nitrógeno correspondiente será:

$$N_2 \dots 494.4 \times 0.767 = 379.2 \text{ Kgs. de Nitrógeno.}$$

El exceso de  $O_2$  será:

$$O_2 \text{ exc.} \dots 0.60 \times 72 = 43.2 \text{ Kgs. de Oxígeno.}$$

El Oxígeno total que entra será:

$$O_2 \dots 494.4 \times 0.233 = 115.2 \text{ Kgs. de Oxígeno.}$$

Recopilando los datos anteriormente encontrados.

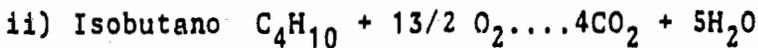
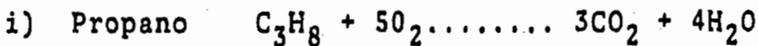
	OXIGENO	NITROGENO	TOTAL
% Volumen	21	79	100
Peso molecular	32	28	
Kilogramo	672	2211	2884
% masa	23.3	76.7	100

	OXIGENO		NITROGENO	TOTAL
Kgs. de aire	115.2	+	379.2	494.4

Por lo tanto la cantidad de aire para realizar la combustión adecuada por cada 20 kgs. de gas L.P. es de  $494.4/20 = 24.72$  Kgs. de aire seco por Kg. de gas L.P.

Cálculo de los gases de salida ( $\text{CO}_2$ ).

Reacciones:



$$3\text{CO}_2 = 132 \text{ Propano}$$

$$4\text{CO}_2 = 176 \text{ Isobutano}$$

i) Para el Propano.

$$44 \frac{\text{Kg.}}{\text{Kg. Mol. C}_3\text{H}_8} \dots\dots\dots 132 \frac{\text{Kg.}}{\text{Kg. Mol. CO}_2}$$

$$6.71 \text{ Kgs. C}_3\text{H}_8 \dots\dots\dots X$$

$$X = 20.13 \text{ Kgs. de CO}_2$$

ii) Para el Isobutano.

$$58 \frac{\text{Kg.}}{\text{Kgs. Mol. C}_4\text{H}_{10}} \dots\dots\dots 176 \frac{\text{Kg.}}{\text{Kg. Mol. CO}_2}$$

$$13.28 \text{ Kg. C}_4\text{H}_{10} \dots\dots\dots X$$

$$X = 40.28 \text{ Kgs. CO}_2$$

El total de kgs. de  $\text{CO}_2$  producidos por la combustión de 20 kgs. de gas L.P. es la suma de los dos componentes: (i) + (ii).

$$20.13 + 40.28 = 60.41 \text{ kg. de } \text{CO}_2$$

Una vez encontrados todos los datos que son indispensables para encontrar el calor total de los gases de combustión procederemos a calcular estos calores.

Cálculo de la masa de los gases:

- Cantidad de  $\text{CO}_2$  correspondiente es de: 60.41 Kg. de  $\text{CO}_2$
- Cantidad de nitrógeno es de: 379 kg. de  $\text{N}_2$
- Cantidad de oxígeno en exceso es de: 43.20 kg. de  $\text{O}_2$  exc.

La cantidad de gases de combustión a la salida por cada kilogramo de gas L.P. quemado son:

$\text{CO}_2$ : 60.41 Kg/20 kg. de gas L.P. = 3.02 kg/kg. gas L.P.

$\text{N}_2$ : 379.20 kg/20 kg. gas L.P. = 18.96 kg/kg. gas L.P.

$\text{O}_2$  exc.: 43.20 kg/20 kg. gas L.P. = 2.16 kg/kg. gas L.P.

Total = 24.14 kg/kg. gas L.P.

A continuación tendremos las fórmulas o ecuaciones térmicas de los gases ( $C_p$ ) en Kcal/kg. mol. °K.

Gas	Fórmula Molar	$C_p$ .	
$\text{CO}_2$	$C_p = 16.2 - \frac{11.95 \times 10^3}{T}$	$+ \frac{0.43 \times 10^6}{T^2}$	... (1)

$$N_2 \quad C_p = 9.47 - \frac{1.92 \times 10^3}{T} + \frac{0.36 \times 10^6}{T^2} \dots (2)$$

$$O_2 \quad C_p = 11.515 - \frac{172}{3\sqrt{T/5}} + \frac{850}{T^2} \dots (3)$$

Para hacer el cálculo que acompaña a dichos gases - primero se tendrá que calcular el  $C_p$  a la temperatura promedio utilizando las fórmulas.....(1) (2) (3) para el  $CO_2$ , -  $N_2$ ,  $O_2$ , respectivamente.

La temperatura promedio fue encontrada a principios del capítulo y será de  $383.1^\circ K$  (temperatura absoluta).

∴ Aplicando la fórmula (1) para el  $CO_2$  tenemos:

$$\begin{aligned} C_p CO_2 &= 16.2 - 11.95 \times 10^3 / (383) + 0.43 \times 10^6 / (383)^2 \\ &= 16.2 - 31.19 + 2.93 = 12.06 \\ &= 12.06 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. Mol.}^\circ K} \times \frac{1}{44 \text{ Kg}} = 0.27 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg. Mol.}} \end{aligned}$$

∴ Aplicando la fórmula (2) para el  $N_2$  tenemos:

$$\begin{aligned} C_p N_2 &= 9.47 - 1.92 \times 10^3 / (383) + 0.36 \times 10^6 / (383)^2 \\ &= 9.47 - 50.1 + 2.45 = 6.91 \\ &= 6.91 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. Mo.}^\circ K} \times \frac{1}{14 \text{ kg.}} = 0.49 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg.}^\circ K} \end{aligned}$$

Aplicando la fórmula (3) para el  $O_2$  tenemos;

$$\begin{aligned}
 C_p O_2 &= 11.515 - \frac{172}{3 \sqrt{383/5}} + 850/(383) \\
 &= 11.515 - 6.55 + 2.21 = 7.18 \\
 &= 7.18 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. Mol. } ^\circ\text{K}} \times \frac{1}{\frac{32 \text{ kg.}}{\text{Kg. Mol}}} = 0.22 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg. } ^\circ\text{K}}
 \end{aligned}$$

Para encontrar los calores de los gases utilizaremos la fórmula  $Q = m C_p \Delta t$ .

$$Q_{CO_2} = 3.02 \frac{\text{Kg.}}{\text{Kg. gas}} \times 0.27 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg. } ^\circ\text{K}} (473.1 - 293.1) ^\circ\text{K} =$$

$$Q_{CO_2} = 146.77 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. gas}}$$

$$Q_{N_2} = 18.96 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. gas}} \times 0.49 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg. } ^\circ\text{K}} (473.1 - 293.1) ^\circ\text{K} =$$

$$Q_{N_2} = 1672.27 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. gas}}$$

$$Q_{O_2 \text{ exc.}} = 2.16 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. gas}} \times 0.22 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. } ^\circ\text{K}} (473.1 - 293.1) ^\circ\text{K} =$$

$$Q_{O_2 \text{ exc.}} = 85.53 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg. gas}}$$

El calor total que acompaña a los gases de salida será:

$$Q_t = 1904.57 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. gas}}$$

Calor aprovechado - Calor perdido = CALOR USADO.

$$11,365 \quad - \quad 1904.57 \quad = \quad 9,460.43$$

$$\text{Calor usado} = 9,460.43 \quad \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. gas L.P.}}$$

$$\text{Gasto de Gas L.P.} = \frac{\text{CALOR REQUERIDO PARA OPERAR EL HORNO}}{\text{CALOR USADO}}$$

El calor requerido para operar el horno de forja:

$$\text{CR} = 64,193.66 \text{ Kcal/hr.}$$

(encontrado en el capítulo anterior).

$$\text{Gasto de Gas L.P.} = \frac{64,193.66 \text{ Kcal/hr}}{9460.43 \text{ Kcal/kg. gas L.P.}}$$

$$\text{Gasto} + 6.78 \frac{\text{Kg. gas L.P.}}{\text{hr.}} \times 1.23 \frac{\text{lt. gas}}{\text{kg. gas}} = 8.34 \frac{\text{lt. gas}}{\text{hr.}}$$

$$\text{Gasto/hr.} = 8.34 \frac{\text{lt. gas}}{\text{hr.}}$$

$$\text{Gasto/día} = 66.72 \frac{\text{lt. gas}}{\text{día}}$$

$$\text{Gasto/mes} = 1,334.40 \frac{\text{lt. gas}}{\text{mes}} *$$

\* Suponiendo un mes de 20 días efectivos de prácticas en el laboratorio.

Análisis del Petróleo Diáfano.A) Calor Aprovechado.

a) Poder calorífico del petróleo diáfano.

B) Calor Perdido.

a) Calor de los gases de la combustión.

El calor empleado del combustible es igual:

Calor aprovechado - Calor perdido = Calor empleado

El gasto de combustible será:

$$\text{Gasto de P.D.} = \frac{\text{calor requerido para operar el horno}}{\text{calor empleado}}$$
A) Calor Aprovechado.

a) Poder calorífico del petróleo diáfano. Para obtener el calor aprovechado es necesario saber el poder calorífico del petróleo diáfano.

El poder calorífico del petróleo diáfano es de:

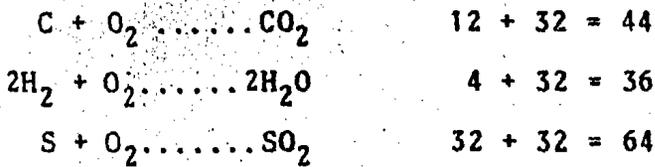
$$11,100 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. P.D.}} \quad \text{-----}1$$

-----1 Dato obtenido de Petróleos Mexicanos.

B) Calor Perdido.

a) Calor de los gases de la combustión. Para fines de cálculo se tomarán como base 20 kgs. de petróleo diáfano.

Reacciones:



Composición del petróleo diáfano:

Elemento	%	P.M.	Cant. de Masa
Carbón	85	12	17.00
Hidrógeno	13	1	2.60
Oxígeno	1	16	0.20
Nitrógeno	0.5	14	0.10
Azufre	0.5	32	0.10
	<u>100.0%</u>		<u>20.0 Kgs.</u>

i) El  $\text{CO}_2$



$$12 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. Mol. C.}} \dots\dots 44 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. Mol. CO}_2}$$

17 kgs. de carbón.....X kg. de CO<sub>2</sub>

$$X = 62.33 \text{ kgs. de CO}_2$$

ii) Cálculo del oxígeno necesario para la combustión.

O<sub>2</sub> necesario por kg. de carbón (C).

$$12 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. Mol. de C}} \dots\dots\dots 32 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. Mol. de O}_2}$$

1 kg. de carbón..... X kgs. de O<sub>2</sub>

$$X = 2.66 \text{ kgs. de O}_2$$

O<sub>2</sub> necesario por Kg. de hidrógeno (H<sub>2</sub>).

$$4 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. Mol. de H}_2} \dots\dots\dots 32 \frac{\text{kg.}}{\text{kg. Mol. de O}_2}$$

1 KG. de H<sub>2</sub> ..... X

$$X = 8 \text{ kgs. de O}_2$$

O<sub>2</sub> necesario por kg. de azufre (S)

$$32 \frac{\text{kg.}}{\text{kg. Mol. de S}} \dots\dots\dots 32 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. Mol. de O}_2}$$

1 kg. de azufre.....X

$$X = 1.0 \text{ kg. de O}_2$$

Con estos datos podemos encontrar la cantidad de  $O_2$  necesaria para 20 kgs. de petróleo diáfano.

Cantidad de oxígeno  $O_2$  necesario:

Componente	% peso	peso por 20 kg.	peso de $O_2$
Carbón	0.85	17.0	$17(2.66) = 45.33$
Hidrógeno	0.13	2.6	$2.6(8) = 20.80$
Oxígeno	0.01	0.2	$0.2(1) = 0.20$
Azufre	0.005	0.1	$0.1(1) = 0.10$
Nitrógeno	0.005	0.1	<u>0.00</u>
		Total	66.00 kg.

El peso del oxígeno por 20 kgs. de petróleo diáfano será:

66.0 kgs.

Como al aire se le agrega un 60 por ciento más de - exceso el: exceso de oxígeno es =  $66.0 \times 0.60 = 39.60$  kgs.

exceso de  $O_2 = 39.60$  kgs.

Cálculo del aire correspondiente:

Aire	% Vol.	% Masa	PM	Masa
$O_2$	21.00	23.30	32	672
$N_2$	<u>79</u>	<u>76.70</u>	28	<u>2212</u>
	100.00	100.00		2884

El aire correspondiente lo encontraremos tomando en cuenta el porcentaje del  $O_2$  contenido en el aire por el peso total del  $O_2$  encontrados en la tabla anterior (p. 199) : el % del  $O_2$  es el 23 por ciento del 100 por ciento del aire.

Peso del aire:

23.30% de  $O_2$  ..... 66.0 kgs. de  $O_2$

100.00% de aire ..... X kgs. de aire.

X = 283 kgs. de aire por cada 20 kgs. de P.D.

Como es de costumbre meter un 60 por ciento de exceso de aire:  $283 \text{ kgs.} \times 0.60 = 169.80 \text{ kgs.}$  de aire será el exceso.

Cantidad de Aire total será de:

$283 \text{ kgs.} + 169 \text{ kgs.} = 452 \text{ kgs de Aire.}$

i) Cantidad de  $N_2$

$452 \text{ kgs.} \times 0.767 = 346.80 \text{ kgs. de } N_2$

$N_2 = 346.80 \text{ kgs.}$

ii) Cantidad de  $O_2$

$452 \text{ kg.} \times 0.233 = 105.35 \text{ kgs. de } O_2$

$O_2 = 105.35 \text{ kgs.}$

Exceso de O<sub>2</sub>

$$O_2 = 39.60 \text{ kgs.}$$

iii) Cantidad de CO<sub>2</sub>

$$CO_2 = 62.33 \text{ kgs. (ya encontrado anteriormente).}$$

En lo que respecta a la cantidad de gases se tiene:  
Gases de la combustión a la salida por cada kilogramo de petróleo diáfano quemado:

CO <sub>2</sub> :	62.33 kg/20 kg. de P.D. =	3.117 kg/kg. P.D.
N <sub>2</sub> :	346.80 kg/20 kg. de P.D. =	17.340 kg/kg. P.D.
O <sub>2</sub> exc:	39.56 kg/20kg. de P.D. =	1.978 kg/kg. P.D.
	<b>Total</b>	<b>22.435 kg. gases/kg. P.D.</b>

La capacidad calorífica para los gases tomando en cuenta una temperatura media de 383.1°K es:

$$CO_2 \quad C_p = 0.27 \text{ Kcal/kg.}^\circ K$$

$$N_2 \quad C_p = 0.49 \text{ Kcal/kg.}^\circ K.$$

$$O_2 \quad C_p = 0.22 \text{ Kcal/kg.}^\circ K.$$

Calor que acompaña a los gases de combustión.

$$Q_{CO_2} = 3.117 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. P.D.}} \times 0.27 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg.}^\circ K} (473.1 - 239.1)^\circ K = 151.48$$

$$Q_{N_2} + 17.340 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. P.D.}} \times 0.49 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg.}^\circ K} (473.1 - 293.1)^\circ K = 1529.38$$

$$Q_{O_2} = 1.978 \frac{\text{Kg.}}{\text{kg. P.D.}} \times 0.22 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. K}} (473.1 - 293.1)^\circ\text{K} = 78.32$$

Total de calor de los gases que salen de la combustión.

$$Q_{\text{gases}} = 1759.18 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. de P.D.}}$$

Calor aprovechado - Calor perdido = Calor usado.

$$11,100 \quad - \quad 1,759.18 \quad = \quad 9,340.82$$

$$\text{Calor usado} = 9,340.82 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg. P. D.}}$$

Gastos de Petróleo Diáfano =  $\frac{\text{Calor requerido para operar}}{\text{Calor usado}}$

El calor requerido para operar el Horno de Forja:

CR = 64,193.66 Kcal/hr. (encontrado en el capítulo anterior).

$$\text{Gasto de petróleo diáfano} = \frac{64,193.66 \text{ Kcal/hr.}}{9,340.82 \text{ Kcal/kg. de P.D.}}$$

$$\text{Gasto} = 6.87 \frac{\text{kgs. P.D.}}{\text{hr.}} \times 1.23 \frac{\text{lt. p.}}{\text{kg. p.}} = 8.45 \frac{\text{lt. P.D.}}{\text{hr.}}$$

$$\text{Gasto/hr.} = 8.45 \frac{\text{lt. P.D.}}{\text{hr.}}$$

$$\text{Gasto/día} = 67.60 \frac{\text{lt. P.D.}}{\text{día}}$$

$$\text{Gasto/mes} = 1,352.00 \frac{\text{lt. P.D.}}{\text{mes}} \quad (*)$$

(\*) Suponiendo un mes de 20 días de prácticas efectivas en el laboratorio.

Análisis del Precio de Ambos Combustibles.

a) Para el Gas L.P. tenemos:

Gasto de gas L.P./hr. = 8.34 lit. gas L.P./Hr.

Gasto de gas L.P./día = 66.72 lt. gas L.P./día.

Gasto de gas L.P./mes = 1,334.40 lt. gas L.P./mes.

(Gasto gas L.P./mes = 1,084.87 kgs. gas L.P./mes).

El costo por kilogramo de gas L.P. = \$10.00... (1)

El costo mensual de gas L.P. será:

$$\text{Costo mensual} = 1,084.87 \frac{\text{kg. gas L.P.}}{\text{mes}} \times 10.0 \frac{\$}{\text{kg.}} =$$

Costo/mes = 10,848.7 pesos /mes.

b) Para el petróleo diáfano tenemos:

Gasto P.D./hr. = 8.45 lt. P.D./hr.

Gasto P.D./día = 67.60 lt. P.D./día

Gasto P.D./mes = 1,352.00 lt. P.D./mes.

El costo por litro del petróleo es: \$10.70 pesos ..(2)

El costo mensual del petróleo diáfano será:

$$\text{Costo mensual} = 1,352.00 \frac{\text{lt. P.D.}}{\text{mes}} \times 10.7 \frac{\$}{\text{lt.}} =$$

$$\text{Costo/mes} = 14,466.4 \text{ pesos/mes.}$$

Conclusión: Si comparamos los precios, podemos ver que el gas es más económico que el petróleo diáfano, pero por requerimientos operativos del Laboratorio de Ingeniería se utilizará el petróleo diáfano para la operación de nuestro horno, pues este combustible también se empleará para operar el horno de crisol de fundición del mismo laboratorio.

(1) y (2) costos tomados de Petróleos Mexicanos (válido mes octubre de 1983.

## CONCLUSIONES

A continuación, como epílogo de la presente investigación, se indican brevemente, aquellos elementos que se consideran determinantes y concluyentes, a fin de destacar los criterios fundamentales observados:

- En el diseño y proyecto del horno, se ha observado que los objetivos establecidos son reales y prácticos para la aplicación de la tecnología de la forja, en la cual se tendrá mayor eficiencia y economía en el desarrollo de las prácticas del laboratorio, mayor espacio, agilidad e interés en la ejecución de éstas.

- Una definición explícita de horno, no es posible de describir por las variantes tanto en la aplicación como en su construcción, pero se puede aceptar una definición como la citada en el Capítulo I, página 3.

- Se destacan componentes de la construcción del horno tales como: cámara de combustión, quemador, compuerta, etc., incluyendo la definición de forja (Cap. I, p. 6) indicando más adelante que no habrá un control de temperatura, lo que ocasiona que al estar trabajando cierto material, el operario se base en los colores de forja para mayor seguridad y así llevar el material a su estado plástico para su deformación.

- Los sistemas del horno como sus diagramas indican, los elementos y procesos del combustible, gases de la combustión y manejo de sólidos. Se establece que el combustible a utilizar será el petróleo diáfano, ventilador, depósito de combustible, etc.; diagrama de flujo (fig. 1-I, p. 9). En los gases de la combustión se dan a entender los elementos de expulsión y extracción de los gases (fig. 2-I, p.11). En lo referente al sistema o manejo de sólidos, se da una visión de la forma de trabajo y sus herramientas (fig. 3-I, p. 12).

- Las medidas de seguridad son importantes para evitar toda clase de accidentes y sobre todo en el laboratorio donde los operarios serán en este caso alumnos, los cuales no tienen experiencia en esta clase de actividades y se debe de prevenir toda mala ejecución.

- La elección del refractario, refractario aislante, mortero y concreto es muy importante, tal vez fundamental, debido que en esta decisión recae la transferencia de calor a través de las paredes, piso y bóveda; ligado a esto, está directamente el consumo de combustible. Se indica también la descripción de cada uno de los elementos de que se componen estos refractarios, temperaturas de trabajo, aplicaciones, cocimientos (cocción) y formas de moldeo.

- Se dan a entender de los refractario aislantes -

(ladrillos aislantes) su conductividad térmica, temperatura máxima recomendable, densidad, compresión en plano (tabla 1-II, p. 31, gráfica 1-II, p. 32).

- En lo referente a los morteros se dan los productos, tipo (arcilla, calidad superior, alúmina, etc.) forma de envase, fraguado, temperatura máxima de trabajo, porcentaje de alúmina, kilogramos necesarios para colocar 1000 ladrillos, capacidad de envase, pruebas de control pirométrico (tabla 2-II, p. 37, tabla 3-II, p. 38, tabla 4-II, p. 39). Se citan concretos refractarios y concretos aislantes para la aplicación en la bóveda y compuerta; temperatura de trabajo, aplicaciones, resistencia a diferentes condiciones de abrasión, tipo de embarco, módulo de ruptura, compresión en plano (tabla 5-II-A, 5-II-B, p. 47).

- La forma del horno seleccionada para nuestro caso ha sido la rectangular por las diferentes variantes tanto en sentido económico como por las necesidades del laboratorio; la decisión de las dimensiones, se tomó por las piezas a trabajar, como por el tamaño de éstas, implicando en esto la abertura de la compuerta (fig. 1-III, p. 52).

- La aplicación del método para calcular la transferencia de calor a través de las paredes del horno, se basa en ensayos cuyos valores deben aproximarse. Estos ensayos dependen de los factores "K", que varían con la temperatu-

ra, la anchura equivalente que es obtenida con datos ya establecidos (tabla 1-III, p. 68); con las medidas de los ladrillos y su forma de hilada (colocación) y la temperatura de trabajo que en este caso es la temperatura de la cara caliente, se obtiene la temperatura de la cara fría (gráfica 1-III, p. 71).

- Sucesivamente, con la temperatura de la cara fría y tomando como el estandar para los cálculos una temperatura del aire de 70°F (21°C) y cero millas por hora como velocidad de viento se obtienen las pérdidas de calor (gráfica 2-III, p. 72); con las pérdidas de calor, con la temperatura de la cara caliente y el equivalente de la anchura del ladrillo de la fase caliente (temperatura de trabajo) a la interfase se encuentra la temperatura de la interfase (gráfica 3-III, p. 73); otro método para obtener el valor de la temperatura de la interfase se describe en el Capítulo III, página 55. En las gráficas 4A-III, p. 74; 4B-III, p. 75; 5-III, p. 76; se encuentran los valores equivalentes en pulgadas, como en la tabla 1-III, p. 68. Se indica también la precisión y error en los cálculos de conducción de calor, como el factor "K", ambientes, pérdida de calor de la superficie, medición de la temperatura y otros factores (p. 65).

- En ocasiones no había en la tabla 1-III, algún material para las necesidades requeridas, esto implica que -

no se sabrá el valor equivalente, pero si de este material se sabe al factor "K" utilizando la gráfica 6-III, p. 77, se podrá obtener su valor equivalente del ladrillo y posteriormente concluir los cálculos.

- Se expone el proceso de los cálculos de las paredes laterales y de fondo (Cap. III, p. 67) elección de éstas (Cap. III, p. 95) arreglo de las paredes laterales y pared de fondo (fig. 2-III, p. 98). Cálculos del piso del horno (Cap. III, p. 97) elección del piso (Cap. III, p. 108) arreglo del piso del horno (fig. 3-III, p. 111). Cálculos de la bóveda (Cap. III, p. 110) elección de la bóveda (Cap. III, p. 121) arreglo de la bóveda (fig. 4-III, p. 124). Cálculos de la compuerta (Cap. III, p. 123) elección de la compuerta (Cap. III, p. 132). Elección del mortero de la compuerta (Cap. III, p. 133) compuerta del horno (fig. 6-III, p. 134). Chimenea (Cap. III, p. 133). Quemador de petróleo (Cap. III, p. 144). Estructura metálica del horno (Cap. III, p. 145). Perfiles de la estructura metálica (Cap. III, p. 147, fig. 16-III, p. 150). Componentes del mecanismo de la compuerta (Cap. III, p. 151). Cantidad y tipo de ladrillo a utilizar en el horno (Cap. III, p. 151). Dimensiones finales del horno (Cap. III, p. 157). Dibujo del horno de forja (fig. 18-III, p. 161). Estas citas se indican en el apartado de conclusiones por resultar determinantes para fundamentar la elección de materiales -

del horno, especificar temperaturas, etc.

- Las magnitudes de trabajo dan las cantidades de material a trabajar en base a cada práctica; el calor necesario para poder operar el horno es el camino para llegar a tener el combustible necesario en cada sesión de laboratorio, que a la vez depende del refractario seleccionado; las pérdidas de calor varían dependiendo de factores tales como el criterio del operario para decidir si la temperatura es correcta para empezar a trabajar, el intermedio que transcurre entre práctica y práctica, espesores, etc., es imposible saber el valor de estos parámetros, pero hay casos en que sí se puede obtener ciertos valores como en el caso del calentamiento de la cara caliente (gráfica 1-IV, p. 174) las pérdidas de calor por cuerpo negro, se toman por las aberturas de la compuerta y de la chimenea, dependiendo de su forma, tamaño, temperatura interior del horno y espesor que éstas tengan (gráfica 2-IV, p. 175; gráfica 3-IV, p. 176).

- En los cálculos que se realizaron en el capítulo V, se llegó a la conclusión que el gas L.P. es más económico que el petróleo diáfano, pero debido a los requerimientos que fija el laboratorio por su aplicación tanto en el horno de forja como en la fundición, se utilizará el petróleo diáfano. Se efectuó el análisis del gas L.P., como del

petróleo diáfano (Cap. V, p. 184 y p. 196 respectivamente) para obtener los calores y gasto de cada uno.

+ NOTA:

Los datos suministrados y ayuda para la toma de decisiones fueron determinantes en base a consulta previa y documentación con la compañía de refractarios A. P. GREEN, S. A. de C. V. y la compañía ENTERPRISE, S. A.

## BIBLIOGRAFIA

1. Avallone, Baumeister, Baumeister III.  
Marks Manual del Ingeniero Mecánico  
McGraw-Hill.  
México, 1981.
2. Kreith, Frank.  
Principios de transferencia de calor.  
Herrero Hermanos, Sucesores, S. A.  
México, 1970.
3. Mawhinney, Trinks.  
Hornos Industriales  
Volumen I.  
Urmos, S. A. de Ediciones.  
España, 1975.
4. Mawhinney, Trinks.  
Hornos Industriales.  
Volumen 2  
Urmos, S. A. de Ediciones.  
España, 1976.
5. El más amplio porcentaje de la investigación para este -  
trabajo, requirió de la consulta específica al  
material aportado por la compañía de refracta-  
rios A.P. GREEN, S. A. de C. V. y la compañía  
ENTERPRISE, S. A.