

6
29



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

Facultad de Química



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

**MODELO DE OPTIMIZACION PARA HORNOS
INTERMITENTES PARA LA INDUSTRIA
CERAMICA**

TESIS MANCOMUNADA

Que para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a n

GERARDO ALVAREZ GOMEZ

ARMANDO MADRIGAL ALBARRAN

México, D. F.

1989

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

	PAG
I. INTRODUCCION	1
II. GENERALIDADES	10
2.1 Teoría de Hornos	10
2.2 Establecimiento del Tiro	14
2.3 Tipos de Hornos Intermitentes	18
2.4 Materiales de Construcción	24
2.5 Quemadores	35
2.6 Combustibles	43
III. ESTUDIO DEL HORNO MOTIVO DE LA TESIS	52
3.1 Descripción del horno	56
IV. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	61
4.1 Diseño del Experimento	61
4.2 Toma de Datos	63
4.3 Suposiciones	70
V. ANALISIS ECONOMICO	97
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
VII. BIBLIOGRAFIA	108
ANEXO I Conos Pirométricos	111

CAPITULO I

INTRODUCCION

Se conoce como cerámica al arte de elaborar y cocer al horno vasijas y otros objetos de barro, loza, porcelana de diversas clases y calidades. Para la elaboración de estos objetos se utiliza principalmente arcilla, constituida químicamente por óxidos de silicio y aluminio, que al ser mezclada con una cantidad adecuada de agua, adquiere una plasticidad tal que le permite ser moldeada. Sus características finales de dureza y porosidad se adquieren al someter la mezcla a un proceso químico a alta temperatura que oscila entre 800°C y 1,500°C según el material empleado.

La cerámica fué producida por todas las antiguas civilizaciones tales como Egipto, Mesopotamia, China, India y Persia, adquiriendo rasgos característicos en cada una de ellas. Durante los siglos IV y V A.C., los griegos popularizaron el uso de objetos cerámicos no solo de carácter funerario sino de tipo decorativo, característica que adoptaron mas tarde los romanos. En la Edad Media el arte cerámico decayó en occidente mientras que en oriente adquirió gran importancia, tendencia que continua

hasta el siglo XVIII en que la importación de ejemplares chinos por los navíos franceses, ingleses y holandeses motivó a un gran desarrollo de las porcelanas. Este desarrollo culminó con la industrialización de la porcelana, que después se extendió a todos los productos cerámicos como vidrio, cemento, refractarios, abrasivos, esmaltes porcelánicos, productos estructurales de arcilla, cerámica electrónica y en la última década los superconductores.

En México, la fabricación de productos cerámicos ha adquirido gran importancia, dada su aplicación en muchos tipos de industria como la de la construcción, eléctrica, química, utensilios domésticos y artesanal entre otras.

Las materias primas utilizadas para la fabricación de cerámica, son básicamente arcillas, que son productos secundarios de la corteza terrestre, es decir resultan de la descomposición de roca de tipo feldespático debido a los agentes atmosféricos.

Existen varios tipos de arcilla que se utilizan en la fabricación de productos cerámicos:

Caolines: Estas son las mas blancas entre todas las arcillas debido al bajo contenido de hierro que poseen, en consecuencia son las principales materias primas de la loza blanca y de las pastas de porcelana.

Arcillas de bola o "Ball clay": Estas arcillas cerámicas se encuentran solamente en reducidas zonas de Estados Unidos y del

sur de Inglaterra. Son de grano fino y altamente plásticas, adquieren dureza en el secado y registran gran encogimiento tanto en este como en el quemado por lo que no se pueden utilizar solas. El color al quemado no es tan blanco como el de los caolinos. Las arcillas de bola son generalmente agregadas a los caolinos para mejorar sus condiciones de plasticidad.

Arcillas compactas o "Stoneware": Hay muchas clases de arcillas compactas que contienen suficientes feldspatos (combinados con arcillas plásticas) para darles a ambas, propiedades de plasticidad y dureza al quemado. Son ingrediente importante en muchas pastas, pero también se utilizan solas.

Arcillas de ladrillo rojo: Como su nombre lo indica son las empleadas en la fabricación de ladrillo. En términos generales, estas arcillas conceden buenas condiciones de plasticidad cuando se agregan a pastas de baja temperatura, dando un color rojizo a estas.

Otras arcillas: Pueden mencionarse las bentonitas, de grano sumamente fino y que se usan en pequeñas cantidades para aumentar la plasticidad de una pasta. Existe cierto número distinto de minerales de propiedades similares que son solamente componentes menores de las arcillas plásticas, como la montmorilonita y la haloisita que modifican la plasticidad de otros materiales cerámicos.

La arcilla está compuesta de pequeños cristales (0.5 a 2.0 micras). Estos cristales son de un mineral llamado caolinita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) cuya composición aproximada es:

47% Silice

39% Alúmina

14% Agua

El proceso de fabricación de la cerámica se divide básicamente en cuatro operaciones: Preparación de la mezcla, moldeado o forjado, secado y quemado.

Preparación de la mezcla: A la pasta cerámica seca se le agrega agua en una cantidad adecuada y se incorporan perfectamente hasta obtener las condiciones requeridas para el moldeado, durante este proceso se le agregan a la mezcla agentes defloculantes, que son electrolitos en forma de sales de sodio o de amonio que por su carga (OH-) retardan la formación de la red cristalina obteniéndose una mayor fluidez de la mezcla.

Moldeado o forjado: Esta operación depende del producto final puede llevarse a cabo por varios métodos:

1.- Método de extrusión: La pasta se coloca en un filtro prensa para eliminar el exceso de agua, pasando luego a un extrusor que forma barras o tubos que se secan y tornean para darles forma.

2.- Método de prensado: La pasta debe tener un control de la humedad para ser prensada en moldes de acero. Generalmente se utiliza este método para la fabricación de bloques o de losetas.

3.- Método de colado: En este método la pasta se vacía directamente en los moldes de yeso que absorben el exceso de humedad. Este se utiliza para hacer piezas irregulares de tipo artesanal.

ANALISIS QUIMICO DE LAS ARCILLAS TIPICAS, EN PORCENTAJES

Componente	Arcilla de porcelana inglesa	Caolín de Carolina del Norte	Caolín de plástico de Florida	"Ball Clay" de Kentucky	"Ball Clay" de Tennessee	Arcilla compacta de New Jersey	Arcilla roja de ladrillo
Sílice	48.00	46.00	47.00	53.00	61.00	68.00	57.00
Alúmina	38.00	36.00	37.00	29.00	25.00	22.00	19.00
Oxido de Hierro	0.50	0.60	0.80	2.00	1.00	1.60	7.00
Oxido de Magnesio	----	0.40	0.20	0.30	0.10	0.20	3.00
Oxido de Calcio	----	0.40	0.20	0.40	0.10	0.30	4.00
Oxido de Titanio	----	0.40	0.20	0.80	1.30	----	1.00
Alcalis	2.00	0.70	0.30	2.00	2.00	2.50	5.00
Aqua combinada	12.00	13.00	15.00	12.00	10.00	6.00	4.00
Oxidos básicos	2.50	2.10	1.50	4.70	3.20	4.60	19.00
Oxidos neutros	38.00	36.40	37.2	29.00	25.00	22.00	19.00
Oxidos ácidos	48.00	46.00	47.0	53.80	62.30	68.00	58.00

! Incluye materia orgánica

NORTON, F., "Elements of Ceramics".

Secado: En esta operación se elimina la mayor cantidad de agua que contiene la pieza y deberá hacerse antes del quemado.

Quemado: Es la parte fundamental en el proceso de fabricación de productos cerámicos. Se lleva a cabo en hornos que funcionan como reactores en donde se realiza un proceso químico a alta temperatura. Es de suma importancia regular la velocidad de calentamiento y enfriamiento de las piezas, la atmósfera y la temperatura del horno.

El calor que produce el combustible se destina para calentar el material cerámico que se va a quemar y los carros sobre los cuales se carga este material, evaporar el agua que químicamente está unida al material, proveer las pérdidas de calor sensible que se llevan los gases de combustión al salir por la chimenea y suplir el calor necesario para los cambios químicos que experimenta el material cerámico al quemarse.

Debido a los largos tiempos de quemado y a la alta temperatura que se requiere, el consumo de combustible determinará en gran medida el costo del proceso, por lo que una combustión adecuada y menores pérdidas de calor por conducción, convección y radiación, nos dará un ahorro de combustible y por lo tanto una operación más económica.

La optimización y conservación de los recursos no renovables, en particular la de los energéticos no es una preocupación nueva, ni para la industria petroquímica ni para la de los consumidores debido a las condiciones actuales tanto

económicas como de demanda y suministro, se agudiza aún mas la necesidad de optimizar y conservar los recursos naturales.

En la tabla 1.1 se presentan los precios de venta al público de combustibles tanto pesado como ligero, gas natural y gas licuado en el Distrito Federal en el periodo comprendido entre los años 1978 y 1987. Se puede observar que en estos diez años el aumento en el precio de los energéticos ha sido considerable.

Hoy en día el éxito económico de cualquier proceso industrial, requiere de un uso eficiente de la energía. Tomando en cuenta que en cualquier planta industrial el 75% de la energía total empleada se utiliza como combustible en hornos, calderas de vapor y demás equipos inherentes al proceso, esto nos lleva a la necesidad de optimizar el diseño y la operación de estos equipos.

Para el caso particular de esta tesis se estudiará un horno de tipo intermitente, que actualmente opera en la empresa Función en Arte S.A. de C.V., dedicada a la fabricación de productos cerámicos de uso doméstico, ubicada dentro del perímetro de la Delegación Iztapalapa en la ciudad de México D.F. Esta compañía tiene diez años de operación, pero cabe aclarar que los hornos tienen una antigüedad de 20 años aproximadamente y como es lógico pensar, en este lapso de tiempo han sufrido un desgaste que nos lleva a la necesidad de analizar su operación.

El objetivo fundamental de este trabajo se enfocó a estudiar

los tipos de hornos, quemadores y materiales refractarios utilizados en la fabricación de hornos de este tipo, para que una vez conociendo todos los factores que intervienen en la construcción y operación de un horno en general, se pueda proceder a evaluar el horno objeto de esta tesis, buscar un modelo, aplicarlo y obtener un resultado que nos permita dar solución a un problema práctico.

TABLA 1.2

PRECIOS DE VENTA AL PUBLICO DE
 COMBUSTOLEO, GAS NATURAL Y GAS LICUADO
 EN EL DISTRITO FEDERAL

AÑO	COMBUSTOLEO (\$/m ³)		GAS NATURAL (\$/m ³)		GAS LICUADO (\$/kg)
	PESADO	LIGERO	INDUSTRIAL		
1978	260.00	300.00	0.26		2.40
1979	283.33	328.63	0.28		2.40
1980	345.00	396.66	0.35		2.50
1981	447.58	518.50	0.45		3.15
1982	737.22	856.50	0.92		4.72
1983	4,041.10	4,706.94	6.19		10.60
1984	8,353.60	9,612.85	13.39		13.39
1985	15,557.00	17,968.00	26.30		30.00
1986	35,000.25	40,428.50	58.00		105.00
1987	97,391.30	112,487.00	159.30		334.00

CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1 Teoría de Hornos.

Un horno es un dispositivo en el que se convierte la energía eléctrica o la energía química de un combustible en calor, que se utiliza para aumentar la temperatura de aquellos materiales, denominados carga, que se ponen en su interior.

Frecuentemente la carga sufre alguna transformación física o química en el interior del horno, por lo que este actúa como reactor a temperatura elevada y su forma está determinada por la naturaleza de dicha transformación.

Un horno está constituido por una cavidad interna en forma de cámara, destinada a recibir las piezas que se han de calentar. Esta cámara está formada por material refractario, apto para las temperaturas de trabajo del horno, revestida a su vez por material aislante, destinado a reducir las pérdidas de calor a través de las paredes. Algunos hornos utilizan una coraza de acero reforzada con elementos estructurales para dar mayor rigidez a la construcción.

El secado de las piezas cerámicas puede hacerse al aire libre por circulación natural del aire, a temperatura ambiente. El empleo de estructuras cerradas y la aplicación de calor aceleran el proceso. En cambio, el quemado de los materiales debe hacerse siempre en estructuras cerradas con aplicación de calor, habiéndose construido hornos de algún tipo desde el comienzo de la alfarería.

El método más sencillo de cochura o quemado es el "Horno de hormiguero", el cual, a pesar de ser antiguo, se emplea todavía en ocasiones para la fabricación de ladrillos hechos a mano. Los ladrillos se apilan alternados con el combustible formando un montón, o con frecuencia aprovechando un talud y se cubren después con tierra. A continuación se enciende por el fondo y se deja que el fuego avance através del "hormiguero", aspirando tras sí el aire encargado del enfriamiento. Una vez frío, se derriba el conjunto.

El paso siguiente es el horno periódico o intermitente con estructura permanente (en ocasiones el techo es temporal). Estos hornos son generalmente redondos, pero pueden ser rectangulares. Poseen un revestimiento interior de un refractario adecuado y otro exterior de ladrillo de construcción protector. Los hornos periódicos pueden hacerse trabajar según los principios de tiro ascendente, tiro horizontal o tiro descendente, siendo mucho más satisfactorios los últimos. Se colocan las piezas en el horno y a continuación se calienta este gradualmente, se mantiene la

temperatura máxima durante un cierto período y se deja enfriar. Después puede extraerse la carga e introducirse una carga nueva.

Los hornos continuos, aprovechan el calor residual desprendido durante el enfriamiento. Consisten en esencia en una serie de hornos intermitentes conectados en circuito. Se regula la circulación de aire de forma que pase a través de las piezas que ya se han cocido y se estén enfriando, y a continuación, una vez caliente, pasa al horno que se encuentra en fase de cochura. Los gases residuales calientes pasan sobre las piezas que se encuentran próximas a la cochura, precalentándolas, de tal forma que estas necesitan una menor cantidad de combustible en la cochura propiamente dicha. El principio fundamental es que el fuego se mantiene siempre encendido y en movimiento alrededor del circuito de hornos.

En el horno de túnel ocurre el principio inverso. Una estructura en túnel tiene zonas a temperatura constante y diferentes que corresponden a un programa de quema, y las piezas avanzan sobre carretillas o planchas refractarias (fig. 2.1). En teoría este es el método ideal de cochura con el que puede conseguirse la máxima eficiencia en combustible. En la práctica el horno de túnel está siendo rápidamente reconocido por dicha razón como el método óptimo de cochura para la producción en serie, aunque probablemente seguirán siendo utilizados hornos intermitentes mejorados en el caso de cargas pequeñas o individuales.

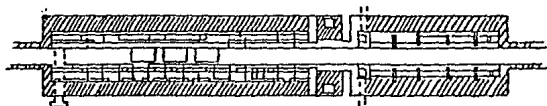


FIG. 2.1 HORNO DE TUNEL

Se debe tomar en cuenta si las piezas pueden o no someterse al contacto directo con las llamas y los gases de combustión producidos al quemar el combustible. En los casos que no es permisible este contacto, se utilizan hornos de mufla o colocando las piezas en recipientes refractarios antes de introducir las en el horno.

2.2 Establecimiento del tiro.

El calentamiento de los hornos quemando combustibles, depende del establecimiento de un cierto tiro. El proceso de la combustión, calienta el aire situado inmediatamente a su alrededor ocasionando una expansión y una reducción de su densidad. Esto hace que se eleve por encima del aire frío más denso que lo rodea. El movimiento ascendente en un recinto cerrado, da lugar a una reducción de la presión en el fondo de tal forma que se aspira aire, y a un aumento de la presión en la parte superior, que obliga al aire a salir al exterior por las aberturas existentes. Entre ambas zonas existe una región neutra en que la presión interna es igual a la atmosférica. La diferencia de presión aumenta con la altura de la columna de aire confinado, por lo cual para conseguir un gradiente importante de presión se requiere de una chimenea alta.

Por lo anterior, el movimiento del aire debido al calentamiento local conduce a un gradiente vertical de presión que induce el tiro requerido para la combustión y para la distribución de los productos de combustión calientes.

2.2.1. Tiro ascendente: En el tipo mas sencillo de horno se permite que los productos calientes de la combustión penetren en la zona principal de este directamente desde el hogar, rodeados solamente por una pared de cámara baja, y describan su recorrido ascendente hacia la chimenea que se abre en la parte superior del horno. Una colocación adecuada de las piezas en el recorrido de los gases contribuye a su distribución y al aprovechamiento del calor de los mismos, pero la zona central del fondo de un horno de tamaño apreciable nunca llega a calentarse suficientemente a no ser que una parte de los gases de la combustión se conduzcan separadamente a través de un conducto bajo la solera y emerjan por la abertura central. No obstante se deja escapar con los gases una cantidad de calor demasiado grande por la chimenea y el consumo de combustible y la emisión de humo son muy elevadas. (fig. 2.2).

2.2.2. Tiro descendente: Un medio de reducir las pérdidas de calor en los gases residuales que representan una parte tan importante del consumo de combustible en el horno de tiro ascendente está en obligar a los gases calientes a describir recorridos mas largos a través de las piezas y a cederles así una proporción mayor de su calor. En el horno de tiro descendente los conductos de aspiración de los gases agotados se abren en la base del horno. A continuación pueden ascender separadamente por los costados del horno contribuyendo de este modo al calentamiento de la estructura, o bien van a parar a una cámara de reunión y una chimenea. Esto último proporciona un mejor tiro. (fig. 2.3).

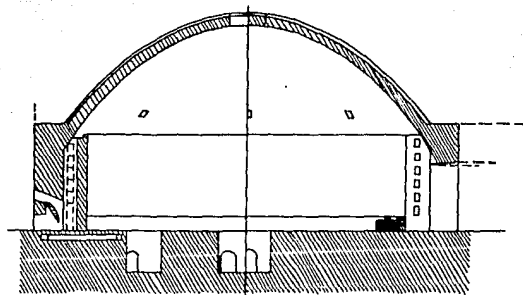


FIG. 2.3 SECCION DE HORNO CIRCULAR.

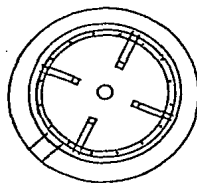
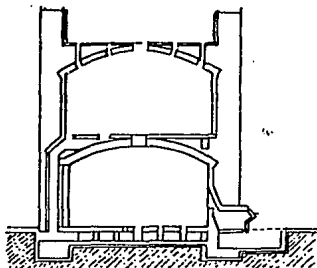
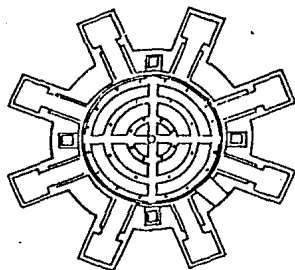


FIG.2.2 HORNO DE DOS PISOS

2.2.3. Tiro Horizontal: Ciertos hornos se disponen de tal forma que los gases calientes se desplazan a través de las piezas más o menos horizontalmente. Tienen una forma estrecha rectangular provista de los hogares y una pared de pantalla en un extremo, y la salida hacia la chimenea se encuentra en el fondo del otro extremo.

2.3 Tipos de hornos intermitentes:

Hornos periódicos o intermitentes: Podemos decir que los hornos intermitentes se dividen en los llamados tradicionales y en los modernos. Los hornos tradicionales, especialmente los "hornos de botella" de tiro ascendente, dan quemas muy desfavorables en rendimiento, calidad y eficiencia por lo que su construcción ha sido abandonada, aunque todavía se utilizan debido a que tienen una vida útil muy prolongada.

Los hornos periódicos modernos, por lo general, utilizan gas o energía eléctrica y en los últimos años, han adquirido popularidad con respecto a los hornos de túnel por las siguientes razones:

a. Puede no haber espacio disponible en un lugar congestionado para la instalación de un horno túnel, mientras que pueden instalarse varios hornos intermitentes eléctricos o de gas en el espacio anteriormente ocupado por "hornos de botella".

b. Las inversiones de capital son solamente una fracción de las requeridas para un horno túnel.

c. Las fluctuaciones del comercio pueden compensarse fácilmente reduciendo el número de hornos en uso. Un gran horno túnel presenta serias dificultades en circunstancias parecidas.

d. Los hornos pequeños proporcionan un régimen de calentamiento rápido y la quema puede mecanizarse mediante controladores programados, de tal modo que puede efectuarse durante la noche con la supervisión esporádica de un vigilante nocturno.

e. Puede tratarse una mayor variedad de productos que deben cocerse a temperaturas diferentes.

f. El mantenimiento puede llevarse a cabo por lo general sin interrupción de la producción.

2.3.1. Hornos intermitentes tradicionales: Los hornos intermitentes tradicionales se alimentan en su totalidad de combustibles sólidos. Su planta puede ser circular o rectangular. Sus principales desventajas están en los altos costos de construcción y mantenimiento. Las paredes y el techo pueden construirse a base de una doble capa de refractario en el interior y ladrillo de construcción en el exterior.

Cada horno tiene una o dos puertas o ventanillas de acceso para sacar y meter las piezas. Dichas aberturas están cerradas con ladrillos durante su quema. Los fogones o mecheros se distribuyen uniformemente alrededor de la circunferencia de los hornos circulares y a lo largo de uno o de ambos lados de los rectangulares.

2.3.1.1. Hornos intermitentes tradicionales de tiro ascendente:

1.- Horno de "Botella" de tiro ascendente: Debe su nombre a

la peculiar forma que presenta su techo abovedado coronado por un cono exterior que recoge los gases procedentes de las diversas salidas de humo y los conduce a la alta chimenea central. El diámetro está comprendido entre 4.2 y 7.3 m, en tanto que la altura es aproximadamente de 6.1 m. La entrada de aire en la base se lleva a cabo a través de parrillas, puerta hogar o aberturas de regulación. La eficiencia en combustible de los hornos de tiro ascendente, es la mas baja de entre todos los hornos, perdiéndose por la chimenea una proporción considerable de calor.

2.- Horno de porcelana de dos pisos: Es un horno circular de doble cubierta para la quema a dos temperaturas diferentes, aprovechando los gases residuales que con frecuencia están lo suficientemente calientes para cocer los materiales crudos. (fig 2.2).

3.- Horno escocés: es un horno rectangular de tiro ascendente para cocer ladrillos. Tiene diseño y estructura sencillos y puede construirse como horno provisional a base de ladrillos sin cocer. La quema se inicia lentamente con astillas de madera y coque, y su fase principal se realiza con hulla. La cochura o quema total lleva de dos a tres días.

4.- Otros hornos: Existen otros tipos de hornos de tiro ascendente que se utilizan exclusivamente para la fabricación de ladrillo, debido a que su quemado es muy sucio y el material se encuentra en contacto directo con las cenizas. Algunos ejemplos son: horno alemán, horno de Newcastle y horno de Kassel.

2.3.1.2. Hornos tradicionales de tiro descendente: Son los únicos hornos encendidos con carbón que se siguen construyendo por su gran capacidad y buen funcionamiento. Se utilizan principalmente para la quema de materiales pesados de arcilla, tuberías vidriadas con sal y refractarios, mas específicamente para formas especiales, piezas de gran tamaño y cierto tipo de materiales que requieren condiciones especiales de cochura, atmósfera y enfriamiento.

En el verdadero horno de tiro descendente, la parte superior de la carga se calienta antes que el fondo. Si las piezas tienen un contenido apreciable de humedad, existe el peligro de que esta se elimine de la parte superior y se condense en el fondo de la carga. Este sistema produce un calentamiento mucho mas uniforme del horno que el de tiro ascendente.

1.- Horno de Minton: Es el único que se opera totalmente según el sistema de tiro descendente, todos los gases calientes del hogar son obligados a ascender al techo del horno por una alta pared de pantalla que llega generalmente hasta el fondo de la bóveda. Entonces quedan en libertad para circular entre la carga en su recorrido descendente hacia los conductos de la solera. (fig. 2.3).

2.- Hornos de Wilkinson y Robey: Utilizan el principio de tiro ascendente-descendente. Una parte de los gases calientes de cada fogón pueden conducirse bajo la solera y darse salida a través de la abertura de pozo del fondo del horno.

3.- Horno de Thomas: Utiliza el mismo principio de tiro ascendente-descendente, este cuenta con pantallas en los hogares que están prácticamente cerradas por su parte superior pero se abren por adelante, calentando solamente el primer metro contado a partir del fondo del horno, impidiendo así la condensación y haciendo posible el acabado de la quema en el fondo del horno al mismo tiempo que en la parte superior.

2.3.1.3. Hornos intermitentes modernos: Aparte de la modernización de los grandes hornos de tiro descendente, que los convierte en hornos con alimentación automática o con alimentación de gas o fuel-oil, la tendencia principal en los hornos intermitentes modernos está orientada hacia la construcción de hornos pequeños para materiales cerámicos finos. Por lo general estos se calientan eléctricamente o por gas, aunque consumen un combustible mucho mas caro que los hornos de botella alimentados por hulla, se ha demostrado que su costo de operación es inferior al de estos, debido a ciertos factores:

- a. Eliminación de cajas.
- b. Ahorro en la mano de obra empleada en la manipulación de las mismas.
- c. Cochura mas uniforme, con mayor proporción de piezas de primera calidad en la producción.
- d. Cochura automática programada.
- e. Ausencia de trabajos a turno.
- f. Condiciones de trabajo mas agradables en general.

Los hornos mas pequeños se calientan por lo general

eléctricamente, y pueden ser móviles. Los hornos de gran tamaño, en especial los calentados a gas, son de estructura de mampostería, es decir fijos. Estos hornos no solo se usan en la industria, sino también en laboratorios, talleres de arte, universidades y escuelas.

Algunas de las economías de calor y tiempo propias del horno tipo túnel se consiguen en dos nuevos tipos de hornos intermitentes: el horno de vagoneta y el horno de campana. En estos, la base de la carga es independiente de la temperatura de las paredes del horno.

1.- Horno de vagoneta u horno de solera móvil: Está dotado de carretillas que pueden tener incorporada una pared extrema del horno sobre sí mismas. El material se carga en estas fuera del horno, se mantiene en espera fuera de otro en periodo de enfriamiento del cual puede sacarse la carretilla antes de enfriarse por completo, e introducirse la nueva para aprovechar el calor residual.

2.- Horno de campana: En estos hornos la base de carga es estacionaria, eliminando así las posibles pérdidas debidas a la vibración sobre un carro móvil. La estructura calefactora que está constituida por las paredes y el techo, se hace descender sobre la base durante cada quema. También en este caso pueden cargarse los materiales cómodamente fuera del horno y volverse a utilizar las estructuras calefactoras tan pronto como las piezas

en enfriamiento puedan resistir las condiciones atmosféricas.

2.4 Materiales de construcción.

La elección de materiales para construcción de hornos es difícil dado que no existe producto alguno que sea el "mejor" en todos los casos. Deben valorarse cuidadosamente las condiciones de servicio, tales como:

Temperatura máxima de trabajo.

Velocidad de variación de temperatura.

Carga máxima.

Abrasión debido a las cenizas.

Ataque por humos, vapores y escorias.

Atmósfera oxidante o reductora.

Todo ello demuestra que debe conocerse más de una propiedad de los materiales de construcción y elegirse la combinación más adecuada para lograr un servicio duradero.

Los materiales básicos utilizados, son cerámicos en sí mismos consistiendo en ladrillos, bloques y perfiles refractarios, aislantes y comunes. A estos deben añadirse morteros, mezclas apisonables y hormigón.

Para la construcción de hornos utilizados en la industria cerámica, se requiere del conocimiento de las siguientes propiedades:

a. Refracteriedad en servicio: Se refiere a la temperatura

máxima que el material puede soportar durante periodos de tiempo prolongados, en ocasiones repetidas y bajo carga de la estructura que descansa sobre él, mas un factor de seguridad. Debe conocerse tambien el coeficiente de expansión térmica a fin de establecer juntas de dilatación suficientes para dar estabilidad a la estructura.

b. Resistencia térmica al resquebrajamiento o resistencia al choque térmico: Es un factor importante puesto que un material que soporta bien temperaturas elevadas, pero se agrieta si se enfria rápidamente, carece de utilidad en hornos periódicos de ciclo corto.

c. Resistencia a la abrasión y al impacto: Diferentes partes de un horno sufren un tratamiento muy variado durante el servicio, debido a la acción de la carga del combustible sólido, cenizas y polvo transportados por el aire.

d. Resistencia a escorias, humos y vapores: Los refractarios se clasifican en ácidos, neutros o básicos de acuerdo a su resistencia a las escorias ácidas y básicas, siendo los neutros resistentes al menos parcialmente a ambas. Para hornos cerámicos deben conocerse además la resistencia que ofrecen los materiales a los gases de combustión, en particular a los gases sulfurosos en presencia de vapor de agua, vapores desprendidos de los vidriados, especialmente los de plomo.

e. Propiedades de construcción: Debe conocerse todo lo

relativo a las propiedades de soporte de cargas tanto en frío como en caliente, junto con la densidad aparente, posibilidad de construcción, expansión reversible, conductividad térmica y calor específico, a fin de tomar decisiones sobre espesores de pared y métodos de construcción.

2.4.1. Descripción de los materiales refractarios:

A.1. Arcilla refractaria de servicio super: Util hasta el cono 29 empleada como revestimiento de hornos de alta temperatura en general y cimeras de carretillas de horno, por ejemplo, bóvedas de muflas y hornos de fuego directo, envolventes de quemadores y paredes de cámaras.

A.2. Arcilla refractaria de servicio severo: Util hasta el cono 20. Revestimiento general para hornos de temperaturas mas bajas y revestimiento del extremo caliente de zonas de precalentamiento y enfriamiento en los hornos de túnel y muros laterales de hornos periódicos.

A.3. Arcilla refractaria de servicio intermedio: Util hasta el cono 8. Refuerzo de zonas calientes detrás de arcillas de servicio super o severo, y revestimiento para secciones intermedias de las zonas de precalentamiento y enfriamiento en los hornos túnel; muros laterales de hornos periódicos.

A.4. Arcilla refractaria de servicio ligero: Util hasta el cono 4. Material de refuerzo en general y para partes frías de hornos, entradas, salidas y fondos de carros de horno.

B.2. Rico en alúmina, con un contenido aproximado de 60% de óxido de aluminio. Util hasta el cono 32. Alrededores de parrillas, quemadores, paredes de cámaras y otros puntos donde inciden llamas directas y existe abrasión, por ejemplo, bóvedas de hornos de mufla.

B.4 y 5. Rico en alúmina, con un contenido de 80-90% de óxido de aluminio. Util hasta los conos 35-36. Paredes delanteras huecas de cámaras de combustión de muflas. Resistente a la abrasión.

B.5 y 6. Rico en alúmina, con un contenido de 90-99% de óxido de aluminio. Util hasta los conos 36-37. Solera y pared posterior de cámaras de combustión de muflas. Resistente a la abrasión.

D. Semisilíce: Util hasta el cono 15. Bóvedas y revestimientos de hornos.

E. Caolín: Util hasta los conos 16 a 20. Bóvedas y revestimientos de hornos, incluso a los periódicos empleados para el vidriado salino.

F.1. Mullita: Util hasta el cono 32. Solera, pared posterior y pared anterior hueca de cámaras de combustión de hornos de túnel de mufla. Aberturas para quemadores de aceite y de gas. Revestimiento de hornos eléctricos con canales resistores.

G.1. Ladrillo de sílice regular: Util hasta el cono 29-30.
Revestimiento en zona caliente.

G.2. Ladrillo de sílice super: Util hasta el cono 32. Solera
y pared posterior de cámara de combustión de horno de mufla.

H. Carburo de silicio: Util hasta el cono 35. Pared hueca
anterior de cámara de combustión de horno de mufla. Paredes de
cámara en donde inciden las llamas. Resistente a la abrasión.

2.4.2. Materiales aislantes: El principio del aislamiento
está basado en la baja conductividad del aire, y la totalidad de
los materiales aislantes procuran incorporar tanto aire como lo
permitan las otras consideraciones. La transmisión de calor a
través de los sólidos tiene lugar por conducción, pero tan pronto
como se introducen grandes espacios de aire entran en juego la
convección y la radiación. La convección se impide haciendo los
espacios de aire demasiado pequeños para permitir un movimiento
de aire apreciable. La radiación depende de las diferencias de
temperaturas entre dos superficies sólidas en oposición. Cuanto
menor es el espacio de aire que las separa, menor es la
diferencia de temperatura entre ellas y menores las pérdidas por
radiación.

La importancia relativa de los tres factores varia con la
temperatura. A temperaturas bajas la conducción es el factor mas
importante, y cuanto mas ligero sea el material tanto mejor
aisla. A temperaturas elevadas la convección y la radiación

TABLA 2.2

LISTA DE CLASIFICACION DE REFRACTARIOS

REFRACTARIO	TEMPERATURA DE APLICACION								
	RANGO DE APLICACION NORMAL				APLICACION PARA CONDICIONES DE SERVICIO LIBERO				
	DESDE		HASTA		DESDE		HASTA		
	°C	°F	COND. APROX. °C	COND. APROX. °F	COND. APROX. °C	COND. APROX. °F	COND. APROX. °C	COND. APROX. °F	
A) ARCILLA REFRACTARIA									
1. SERVICIO SUPER	981	1800	06	1547	2800	29	1702	3100	32
2. SERVICIO SEVERO	815	1500	014	1225	2200	21	1647	3000	29
3. SERVICIO INTERMEDIO	648	1200	021	1259	2300	6	1572	2900	26
4. SERVICIO LIBERO	527	1000	022	1348	2400	4	1531	2790	26
5. RESISTENTE A LA AGRESION									
6. SERVICIO SUPER, FUERTEMENTE COCIDA.									
7. BLOQUE PARA BALSAS DE VIDRIO FUNDIDO									
B) RICO EN ALUMINA									
1. 90% DE ALUMINA	981	1800	06	1675	3050	30	1720	3150	33
2. 80% DE ALUMINA	1092	2000	1	1700	3100	32	1758	3200	35
3. 70% DE ALUMINA	1203	2200	6	1720	3150	33	1786	3250	36
4. 60% DE ALUMINA	1253	2250	8	1758	3200	35	1814	3300	37
5. 50% DE ALUMINA	1314	2400	11	1786	3250	35	1814	3300	37
6. 99% DE ALUMINA	1314	2400	11	1814	3300	37	1925	3500	40
ALUMINA FUNDIDA	1314	2400	11	1758	3200	35	1659	3400	37
C) LACRILLO REFRACTARIO AISLANTE									
1. GRUPO 1A	527	1000	022	570	1060	011			
2. GRUPO 20	448	830	021	1072	2000	1			
3. GRUPO 25	757	1400	015	1259	2300	8			
4. GRUPO 24	870	1600	011	1414	2550	14			
5. GRUPO 28	981	1800	05	1520	2750	20			
6. DE SILEX LIBERO	527	1000	022	1552	2800	26			
7. AISLAMIENTO SUELTO									
8. GRUPO 30	1092	2000	1	1647	3000	27			
9. LACRILLO AISLANTE DE ALUMINA	1092	2000	1	1703	3100	32			

SE DA EL NUMERO DE COND. BRITANICO MAS PROXIMO
SINGER F. CERAMICA INDUSTRIAL, VOL. 2

LISTA DE CLASIFICACION DE REFRACTARIOS

REFRACTARIO	TEMPERATURA DE APLICACION									
	CAMPO DE APLICACION NORMAL					AMPLIACION PARA CONDICIONES DE SERVICIO LIBRE				
	DESDE		HASTA		DESDE		HASTA		DESDE	
	°C	°F	CONV. APROX. °C	°F	CONV. APROX. °C	°F	CONV. APROX. °C	°F	CONV. APROX. °C	°F
D) SEMISILICE, 80-82% DE SILICE ASULTINADO CON ARELLA	815	1500	014	1425	2620	15	1592	2900	26	
E) CASLIN										
F) MULLITA										
1. MULLITA O SILLIMANITA	1248	2250	3	1700	3100	32	1758	3200	35	
2. MULLITA COLADA FUNDIDA										
G) LADRILLO DE SILICE										
1. REGULAR	648	1200	021	1033	3020	29/30				
2. SUPER	648	1200	021	1700	3100	32				
RESISTENTE AL RESQUEBRAMIENTO	648	1200	071	970	1780	07-06				
H) CARBURO DE SILICIO	615	1130	014	1738	3200	35	1814	3300	37	
I) ZIRCÓN										
J) ALUMINA-ÓXIDO DE ZIRCONIO										
K) CROMO	1314	2400	11	1738	3200	35	1877	3400	37	

SE DA EL NUMERO DE CONO BRITANICO MAS PROXIMO
SINGER F. CERAMICA INDUSTRIAL, VOL. 2

LISTA DE CLASIFICACION DE REFRACTARIOS

REFRACTARIO	TEMPERATURA DE APLICACION								
	CAMPO DE APLICACION NORMAL				APLICACION PARA CONDICIONES DE SERVICIO LIGERO				
	DESDE		HASTA		DESDE		HASTA		
	°C	°F	COND. AFECT. °C	°F	COND. AFECT. °C	°F	COND. AFECT. °C	°F	
L1 MAGNESITA	1314	2400	11	1514	3300	27	1925?	3500?	40
1. CALCINADA A MUERTE 85-90% DE MgO (PERICLASA)									
M1 MAGNESITA-CRUDO	1092	2000	1	1756	3200	35	1877	3450?	39
N1 CRUDO-MAGNESITA	1092	2000	1	1756	3200	35	1877	3450	39
O1 FORSTERITA	1392	2600	1	1572	2900	25	1417	3000	29
ANDRITA DE BARRO				1450	3002	29			
PI LADRILLO REFRACTARIO PLASTICO									
1. REGULAR									
2. SUPER	1092	2000	1	1617	3000	29	1703	3100	32
Q1 MEZCLAS PARA FUSION									
1. MAGNESITA									
2. MAGNESITA-CRUDO									
3. CRUDO-MAGNESITA									
4. FORSTERITA									
5. RICA EN ALUMINA									
6. ARCILLA REFRACTARIA									
7. AISLANTE									
R1 MOLDEABLES PER COLADA									
1. ARCILLA REFRACTARIA									
2. BASICO									
3. AISLANTE 501b	(-10)	0		1072	2000	1			
4. RICO EN ALUMINA									
GRUPO 24	(-15)	0		1314	2400	11			
GRUPO 27	815	1500	014	1451	2700	17			
GRUPO 30	815	1500	014	1647	3000	29			
CRUDO	(-16)	0		1556	2800	20	1723	3200	35
MULLITA	(-18)	0		1503	2750	19	1647	3000	29
AISLANTE 701b	(-18)	0		1342	2400	12			

SE DA EL NUMERO DEL COND. BRITANICO MAS FACILMENTE
SINGER F. CERAMICA INDUSTRIAL, VOL. 2

LISTA DE CLASIFICACION DE REFRACTARIOS

REFRACTARIO	TEMPERATURA DE APLICACION									
	CAMPO DE APLICACION NORMAL						AMPLIACION PARA CONDICIONES DE SERVICIO LIGERO			
	DESDE		HASTA							
	°C	°F	COND. AFECI. °C	°F	COND. AFECI. °C	°F	COND. AFECI.	°C	°F	COND. AFECI.
P) LABRILLO REFRACTARIO PLASTICO										
3. SERVICIO SEVERO	1072	2000	1	1536	2800	20	1647	3000	29	
4. SUPER, RESISTENTE A LA ESCORIA	1072	2000	1	1647	3000	29	1703	3100	32	
5. CRONO	(-18)	0		1647	3000	29	1752	3200	35	
6. MULLITA	1072	2000	1	1730	3150	33				
SI MORTEROS										
1. ARCILLA REFRACTARIA--	215	400	014	1481	2700	17	1703	3100	32	
2. METCLA ARCILLA REFRACTARIA CALDINA	215	400	014	1536	2800	20	1703	3100	32	
3. DE FRASADO MIDEAULICO	(-18)	0		1370	2500	15	1481	2700	17	
4. DE ALTA TEMPERATURA, FRASADO AL AIRE	(-18)	0		1647	3000	29				
5. DE ALTA TEMPERATURA, FRASADO POR EL CALOR	1072	2000	1	1703	3100	32				
6. CEMENTO DE SILICE	215	400	014	1536	2800	20	1572	2900	26	
7. DE SILICE, SUPER	215	400	014	1703	3100	32				
8. RICO EN ALUMINA	1072	2000	1	1752	3200	35				
9. MULLITA DE FRASADO AL AIRE	(-18)	0		1752	3200	35				
10. MULLITA DE FRASADO, POR CALOR	215	400	014	1752	3200	35				
11. CRONO DE FRASADO AL AIRE	(-18)	0		1647	3000	29	1752	3200	35	
12. CRONO DE FRASADO POR CALOR	1072	2000	1	1752	3200	35				

SE DA EL NUMERO DEL COND BRITANICO MAS PROXIMO
SINGER F. CERAMICA INDUSTRIAL, VOL. 2

transmiten tanto calor que los espacios de aire deben ser muy reducidos. Por ejemplo, a 1027°C un poro de 0.1 mm transmite por radiación la mitad que por conducción, en tanto que uno de 5.0 mm de diametro transmite treinta veces mas por radiación.

Al mismo tiempo que el tamaño de los poros, una cuestión de mucha importancia en el aislamiento de hornos es la temperatura que puede soportar un material poroso sin que los poros se aplasten y se produzca una fuerte contracción. El material poroso del que se dispone con mayor abundancia entre los de elevado poder aislante es la tierra de diatomeas. Esta se utiliza como relleno suelto, aglomerada y convertida en ladrillos, o como agregado en el hormigón aislante. Pero normalmente no puede resistir temperaturas superiores a $800-900^{\circ}\text{C}$. Por consiguiente ha de protegerse con una capa de ladrillo refractario suficientemente gruesa para reducir la temperatura de la cara situada frente a la tierra de diatomeas a menos de 900°C . Esto hace que la estructura total sea voluminosa y si bien es muy adecuada para hornos de túnel no puede utilizarse para el aislamiento realmente eficiente de hornos periódicos debido al peso total.

Actualmente se fabrican ladrillos aislantes-refractarios de cerámica que soportan temperaturas hasta de 1540°C . Estos pueden utilizarse directamente como revestimiento del horno, y no solo aíslan sino que además reducen apreciablemente el peso de la estructura. Con su empleo pueden lograrse verdaderas economías de combustible en el caso de los hornos periódicos.

La mayor porosidad de la superficie de los ladrillos aislantes los hace más propensos al desmoronamiento y producción de polvo. A fin de evitar esto se lavan frecuentemente con una preparación de zircón para obturar la capa superficial y mejorar así su resistencia.

2.5 Quemadores.

El sistema de calentamiento puede ser a base de combustión de algún combustible comercial o a base de energía eléctrica.

Analizaremos los sistemas a base de combustión, en los cuales el elemento principal es el quemador. Los quemadores están destinados a mezclar íntimamente un combustible fluido o pulverizado y un comburente gaseoso (aire u oxígeno), con el fin de producir su combustión a la salida. Los quemadores más simples son los que hacen fluir el combustible solo, sea al aire libre o en un hogar. Sin embargo, la mayor parte de los quemadores mezclan en su interior o a la salida el combustible con el comburente. En ocasiones el combustible solo se mezcla en el quemador con una fracción del aire necesario para la combustión (aire primario); este es el caso de quemadores de combustibles pulverizados, en los cuales esta fracción de aire arrastra el combustible. El complemento de aire se suministra a la salida (aire secundario).

Del quemador dependen varios puntos importantes como son: dimensiones de la cámara de acuerdo al volumen de gases

MATERIALES AISLANTES

No.	MATERIAL	INTERVALES		TEMPERATURA MÁXIMA	
		(°C)	(°F)	(°C)	(°F)
SELLOS PUERTO DE DIATOMITA, VERMICULITA DIC- TÉNICA, ETC.					
CLASES DE LADRILLOS Y BLOQUES CERÁMICOS					
1	1.	HASTA 900	1652		
2	2.	900-1200	1652-2192		
3	3.	1200-1350	2192-2462		
4	4.				
Ejemplos					
5	PLACAS DE DIATOMITA DE BAJA TEMPERATURA, TAL COMO SE ENTRAEN DEL YACIMIENTO			900	1652
6	LADRILLOS DE DIATOMITA DE GRADO COMPACTO			651	1564
7	LADRILLOS DE DIATOMITA DE GRADO LIGERO			950	1562
8	LADRILLOS MOLER			850-900	1562-1652
9	LADRILLOS DE TEMPERATURA INTERMEDIA CON BASE DE DIATOMITA			1100	2012
10	LADRILLOS DE VERMICULITA			1100	2012
11	MORTAJÓN DE VERMICULITA (CEMENTO FUNDIDO)			2192	
12	FO-ALSI SUPER			1350	2452
13	PRODUCTOS DE SILEX, LÍMITES			1250 A 1400	2282 A 2552
14	LADRILLO REFRACTARIO AISLANTE DE CARA CALIENTE I			1350	2462
15	LADRILLO REFRACTARIO AISLANTE DE CARA CALIENTE II			1450	2642
16	LADRILLO REFRACTARIO AISLANTE DE CARA CALIENTE III			1550	2822
17	AISLADOR REFRACTARIO			1538	2806

SINGER F. CERÁMICA INDUSTRIAL, VOL. 2

TABLA 2.3

MATERIALES AISLANTES

No.	CONDUCTIVIDAD	TENSOR A LA	REFRACTARIEDAD		DENSIDAD APARENTE		CONTRACCION LINEAL (% DESPUES DE 2 H A TEMPERATURA)
	(KCAL/CM ²)	INTERMEDIA	(PDI)	(PFI)	(G/CM ³)	(G/CC)	
1	0.689	1.26 A 750°C			0.56-0.64	35/40	
2	1.365	2.76 A 870°C			0.67-0.65	42/47	
3	1.742	3.50 A 1000°C			0.80-0.68	50/55	
4	2.477-1.052	4.5/3.5 A 1000°C			0.80-1.12	50/70	
5	0.305	0.55 A 300°C					
	0.321	0.59 A 400°C					
	0.339	0.61 A 450°C					
6	0.656	1.17 A 300°C					
	0.677	1.22 A 400°C					
	0.653	1.25 A 450°C					
7	0.466	0.94 A 400°C					
	0.452	0.95 A 450°C					
	0.610	0.92 A 500°C					
8	0.333-0.666	0.5-1.2			0.40-0.60	25-50	
9	0.627	1.13 A 350°C					
	0.649	1.17 A 400°C					
	0.682	1.23 A 500°C					
10	0.577	1.04 A 200°C					
	0.621	1.48 A 500°C					
11	1.073	1.77 A 78-647°C					
12	0.632	1.5 A 625°C			0.65	53	
13	0.658 A	1.0 A	1600 A	2912 A	0.45 A	28 A	
	1655	3.0	1650	3002	1.15	72	
14	0.621	1.48 A 200°C	1690	3074	0.76	47.4	-0.03 A 1200°C
	0.888	1.60 A 300°C					-0.37 A 1500°C
	0.954	1.72 A 400°C					-2.19 A 1600°C
15	1.632	1.56 A 500°C					
	1.148	2.07 A 600					
	1.276	2.50 A 200°C	1730	3146	0.94		0.02 A 1500°C
	1.376	2.46 A 300°C					0.02 A 1500°C
	1.476	2.66 A 400°C					-0.21 A 1400°C
	1.570	2.83 A 500°C					-0.66 A 1500°C
16	1.670	3.01 A 600°C					
	1.148	2.07 A 100°C	M88 DE	M85 DE	1.32		0.01 A 1500°C
	1.531	2.65 A 300°C	1776	3219			-0.10 A 1500°C
	1.637	2.95 A 400°C					-0.16 A 1600°C
17	1.720	3.10 A 500°C					-0.79 A 1500°C
	1.631	3.50 A 600°C					
17	1.332	2.4 A 500°C					
	1.609	2.9 A 615°C	1710	3110	0.76	47.5	

producidos por la combustión y espesores de la pared de refractario de acuerdo a las temperaturas existentes en el horno.

Las características principales que nos definirán al sistema de combustión adecuado y por consiguiente, el quemador, son las siguientes:

1.- Aprovechamiento de los productos de combustión.

2.- Rango de operación (turn down): Atendiendo fundamentalmente al proceso y a la forma de control del quemador, esta característica es también muy importante y se refiere a las temperaturas de operación.

3.- Forma de control: La forma de control varía de acuerdo a la aplicación del quemador, con las necesidades reales del horno y muy frecuentemente con los recursos económicos del usuario.

4.- Capacidad y combustible: Estas dos características son determinadas una vez que se han establecido los tres puntos anteriores.

Una vez analizados estos puntos, se puede estar seguro de que la selección del equipo de combustión va a llenar los requerimientos de operación del horno. Para estos es necesario conocer los distintos tipos de quemadores, tanto para combustibles líquidos como gaseosos, que existen en el mercado. Para esto se hará una clasificación de dichos dispositivos:

1.- Por la localización del punto de mezcla:

- a. Quemadores de mezcla exterior, como el mostrado en la figura 2.4.
- b. Quemadores con mezcla en la nariz. (fig. 2.5).

- c. Quemadores de premezcla. (fig. 2.6).
- 2.- Por la presión de suministro de gas:
 - a. Quemadores de baja presión.
 - b. Quemadores de alta presión.
- 3.- Por el combustible de trabajo:
 - a. Quemadores de gas.
 - b. Quemadores de combustibles líquidos.
- 4.- Por el suministro de aire primario:
 - a. Quemadores atmosféricos (fig. 2.7).
 - b. Quemadores con aire a presión.
- 5.- Por la longitud de la flama:
 - a. Quemadores de flama larga.
 - b. Quemadores de flama plana.
 - c. Quemadores de flama corta.
 - d. Quemadores de flama abierta.
- 6.- Por el tipo de atomización del combustible:
 - a. Atomización mecánica.
 - b. Atomización por vapor.
 - c. Atomización por aire.

En términos generales, dentro de la clasificación anterior, entran todos los quemadores fabricados bajo diferentes marcas.

Las partes esenciales de un quemador son mostradas en la figura 2.7, prácticamente todos los quemadores constan de estas partes con algunas variaciones que los hacen aplicables a diferentes procesos de calentamiento.

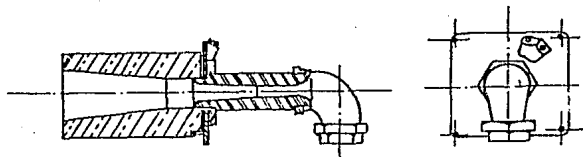


FIG. 2.6 QUEMADOR TIPO PREMEZCLA

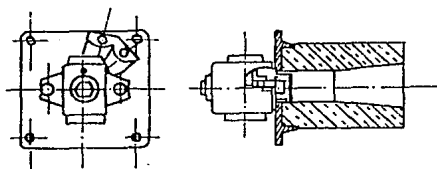


FIG. 2.5 QUEMADOR DE MEZCLA EN LA NARIZ.

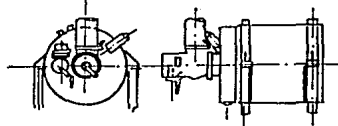


FIG. 2.4 QUEMADOR TIPO

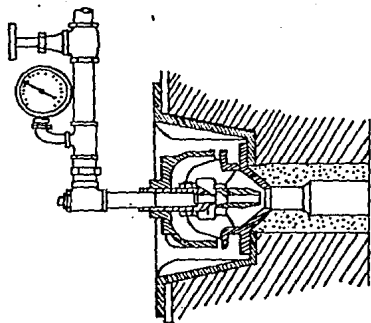


FIG. 2.7 QUEMADOR DE GAS

Conociendo la clasificación anterior y por consiguiente, los tipos de quemadores existentes en el mercado, se puede seleccionar un quemador, el primer paso es determinar los efectos aceptables y no aceptables de la liberación de calor sobre la carga del horno. Para explicar esto se citará un ejemplo de efectos deseados dentro de la cámara de calentamiento de hornos industriales.

En primer lugar, para seleccionar un quemador, se debe tomar en cuenta las condiciones internas de presión de la cámara, es decir que se deberá seleccionar aquél quemador que proporcione una mezcla con mayor rapidez, que la velocidad de propagación de la flama con el objeto de evitar un regreso que en algunos casos quemarían las boquillas del quemador o causarían daños de mayor gravedad.

La velocidad de la mezcla tampoco debe ser mucho mayor que la velocidad de propagación de la flama ya que en este caso se obtienen mezclas gaseosas no quemadas en los gases de combustión, lo que se refleja en reducciones de la eficiencia del horno en general y da lugar además, a formación de mezclas gaseosas peligrosas que al acumularse dentro de la cámara de combustión o en el área de calentamiento pueden ocasionar explosiones.

Actualmente los fabricantes de equipo de combustión editan catálogos de sus productos en los que señalan las características de sus equipos, con lo que se simplifica la selección de un quemador determinado para una operación específica. Estos catálogos contienen tabuladas las capacidades de los quemadores,

gráficas de funcionamiento a varios rangos de capacidad y características tales como longitud de la flama y las aplicaciones para las cuales tienen un mayor rendimiento.

En procesos como son el cocido y el secado de la cerámica, la composición de los gases de combustión juegan un papel muy importante, puesto que un alto contenido de bióxido de carbono o de gases no quemados perjudican el esmalte de las piezas. En estos casos es recomendable utilizar quemadores de baja presión del tipo premezcla que además de ser un quemador que nos permite dar un ajuste muy preciso a las condiciones de combustión, tienen la característica de poder realizar una combustión muy cercana a la estequiométrica, es decir una combustión casi perfecta y libre de combustibles no quemados.

2.6 Combustibles.

2.6.1 Combustibles gaseosos:

De los tres tipos de combustibles (gaseosos, líquidos y sólidos) los gases son los que ofrecen mayores ventajas. Se transportan fácilmente a cualquier número de hornos. La mayoría se queman sin humo incluso en hornos "fríos". Pueden ser mezclados con aire en cualquier proporción sin ninguna preparación previa; el flujo puede ser medido con exactitud; permiten un fácil control de temperatura, de atmósfera y de distribución de calor.

1.- Gas natural: Como su nombre lo indica es un gas que no es producido artificialmente; puede ser utilizado en las

condiciones en que es extraído de la tierra.

Los poderes caloríficos de los gases naturales varían desde los 350 hasta los 1500 BTU por pie cúbico. El volumen de aire requerido para la combustión de una unidad de volumen de gas es aproximadamente proporcional al poder calorífico del gas por lo que los requerimientos de aire para el gas natural varían en un amplio rango.

Los gases naturales con alto poder calorífico contienen cantidades pequeñas de gasolina, butano y propano. Una vez retirados estos constituyentes al gas se le denomina "gas seco" término que se refiere al vapor de agua.

El gas natural aparenta ser el combustible industrial ideal ya que por su alto poder calorífico puede ser transportado en tuberías comparativamente pequeñas; el gas es limpio y, salvo algunas excepciones, libre de azufre.

El gas natural está compuesto casi en su totalidad por hidrocarburos, por lo que su flama es luminosa, pero al mismo tiempo impide su precalentamiento en regeneradores y recuperadores ya que los hidrocarburos se descomponen a altas temperaturas y bloquean las tuberías con hollín, es más, el calor recuperado por el precalentamiento es despreciable ya que el peso del gas es menor a 1/15 del peso de la mezcla aire-gas. Una mezcla que contenga una pequeña cantidad de gas natural y gran cantidad de gas para alto horno, puede ser precalentada sin

formación de hollín, probablemente porque el carbón liberado puede combinarse con el bióxido de carbono.

El costo de calentar unidades con gas natural, depende de varias variables; la mas importante es el costo de instalación de líneas de tubería y estaciones de bombeo que son necesarias dada la distancia entre los pozos y el punto de consumo. Cabe mencionar que en el análisis del gas natural generalmente se reporta un cierto porcentaje de "etano". En realidad el gas contiene pequeños porcentajes de hidrocarburos mas complejos y estos son reemplazados por una cantidad de etano que tenga el mismo poder calorífico.

2.- Gas de horno de coque: Este gas es producido en una destilación a alta temperatura de carbón bituminoso o una mezcla de este y carbón semibituminoso. Por regla general, este gas no es accesible para el público en general ya que se produce en plantas coquizadoras que se encuentran junto a plantas acereras que consumen mas gas que el que producen las coquizadoras. Estas condiciones difieren en algunos países europeos como Alemania en que el gas se produce en las minas de carbón y se distribuye a través de tuberías.

3.- Gas de agua: Es producido al poner en contacto vapor de agua con un lecho de carbón incandescente. A bajas temperaturas (930 C) se forma bióxido de carbono e hidrógeno mientras que a temperatura alta (1,600 C) se forma monóxido de carbono e hidrógeno. A temperaturas intermedias, se forman las tres

substancias. En el proceso se le quita calor al lecho de carbón y por lo tanto se disminuye su temperatura. Si se permite que la temperatura baje demasiado, una gran cantidad de agua en forma de vapor pasará a formar parte del gas de agua.

Actualmente no existe ningún proceso industrial comercial para producir gas de agua continuamente en el mismo generador ya que se produce menor calor con la combinación del carbón con el oxígeno que el necesario para transformar el vapor de agua en hidrógeno y oxígeno; por lo que el proceso debe ser intermitente con una eficiencia que varía entre el 50 y 55% pudiéndose aumentar si se utiliza el calor sensible de los gases que salen del generador para producir vapor de agua.

El gas se debe limpiar antes de ser quemado. Es rico en monóxido de carbono y por lo tanto es venenoso. Quema con llama azul y posee la temperatura mas alta de flama adiabática de todos los gases industriales.

4.- Gas de refinería: En el proceso del cracking del petróleo se producen como sub-productos coque de petróleo y gas de refinería. Este gas contiene hidrógeno e hidrocarburos de diferentes composiciones. Los valores del poder calorífico se encuentran entre los 1,300 y 2,000 BTU por pie cúbico aunque en la mayoría de las refinerías se obtienen gases con poderes caloríficos en rangos mas pequeños que van de los 1,400 a los 1,700 BTU por pie cúbico.

5.- Gas de alto horno: Este se obtiene en la parte mas alta

de los altos hornos que producen acero en lingotes. Solo se utiliza para combustible de hornos en plantas acereras. Este gas a menudo se mezcla con sub-productos del gas de hornos de coque y a la mezcla se le llama gas mixto. Es extremadamente tóxico y su poder calorífico es tan bajo que no solo el aire sino también el combustible es precalentado.

6.- Gases licuados de petróleo (gas licuado): Estos combustibles son hidrocarburos desde el propano hasta el butano. Son gases o vapores a condiciones atmosféricas pero son líquidos a alta presión y temperatura ambiente. Los gases L.P. se obtienen a partir de los gases de refinería y son mezclas de gases que tienen distintas composiciones como se muestra en la tabla 2.4

Este tipo de gases se transporta en forma líquida. Primero se comprimen se enfrían y se envasan en recipientes a presión. El gas L.P.G. es utilizado con frecuencia como un gas de reserva cuando escasea el gas natural. El que más se usa con este propósito, es el propano que generalmente se mezcla con una pequeña cantidad de aire con el propósito de bajar el poder calorífico de la mezcla a un valor cercano al del gas natural.

7.- Otros gases: Existen otros gases que se obtienen al hacer pasar corrientes de vapor a través de lechos de carbón incandescente como el gas de ciudad, gas gasógeno, gas gasógeno puro y otros, pero debido a la abundancia de petróleo y gas natural en nuestro país no se producen estos gases.

TABLA 2.4

PROPIEDADES DEL GAS LPG COMERCIAL

	PROPANO COMERCIAL	PROPANO- BUTANO	BUTANO COMERCIAL
COMPOSICION			
1 ETANO	2.50	0.75	
1 PROPANO	96.09	29.25	20.00
1 ISOBUTANO	1.50	21.45	
1 BUTANO		49.00	20.00
GRABACION ESPECIFICA DEL LIQUIDO (60°/60°F)	0.507	0.536	0.569
PESO POR GALON DE LIQUIDO A 60 F, LB.	4.23	4.63	4.74
PIES CUADROS DE GAS A 60°F Y 30" Hg POR GALON DE LIQUIDO A 60°F.	56.46	32.11	37.81
VOLUMEN ESPECIFICO DEL GAS A 60°F Y 30" Hg, (L3/LB.	6.66	7.15	6.93
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS A 60°F Y 30" Hg (aire=1)	1.52	1.542	1.907
TEMPERATURA DE IGNICION EN EL AIRE, °F.	950-1,020	910-1,040	905-1,025
MAXIMA TEMPERATURA DE FLAMA, °F.	3,520	3,625	3,629
MAXIMA PROPORCION DE FLAMA (MEZCLO AEA), in/s.	11.40	12.00	12.00
AIRE NECESARIO PARA LA COMBUSTION			
113 aire/113 gas	25.76	25.62	27.47
1b aire/1b gas	13.39	15.24	15.22
PRODUCTOS DE COMBUSTION COMPLETA			
113 CO2/113 gas	2.99	3.66	3.78
113 H2O/113 gas	2.99	4.64	4.78
113 N2/113 gas	19.79	22.62	23.29
1b CO2/1b gas	2.99	3.62	3.02
1b H2O/1b gas	1.72	1.60	1.56
1b N2/1b gas	11.76	11.64	11.63
CALOR LATENTE DE VAPORIZACION EN EL PUNTO DE EBULICION			
btu/lb	164.00	169.00	170.00
btu/gal	775.00	784.00	805.00
POWER CALORIFICO ALTO (DESPUES DE VAPORIZACION)			
BASE SECA A 60°F Y 30" Hg.			
btu/ft3	2,510.0	3,014.0	3,112.0
btu/lb	21,796.0	21,426.0	21,403.0

• DATOS OBTENIDOS DEL NATURAL GASOLINE ASSOCIATION OF AMERICA DATA

2.6.2. Combustibles líquidos: Los combustibles líquidos que se usan comúnmente en hornos industriales son: Combustóleo y alquitrán o brea líquida. La gasolina, el keroseno y el alcohol son muy caros para ser considerados como combustibles en hornos industriales, excepto en pequeños hornos de tipo casero o artesanal.

2.6.3. Combustibles sólidos: Los combustibles sólidos debido a su dificultad de transportación al lugar en que se encuentra el horno, además de ser muy sucio, ya que producen cenizas y residuos que deben ser eliminados constantemente; todas estas desventajas se reducen al utilizar combustibles sólidos pulverizados.

La combustión del combustible sólido no se puede controlar en forma tan eficiente como en el caso de los combustibles líquidos o gaseosos, sin embargo al pulverizarlo, se obtiene una mayor eficiencia en el control sin alcanzar la de los otros combustibles.

1.- Carbón mineral: El carbón mineral es el combustible industrial más importante del mundo. Muchos otros combustibles como el coque, gas de horno de coque, gas de retorta, gas de agua, gas gasógeno y algunos otros se obtienen a partir de él. El término carbón mineral, es un término genérico que abarca una gran cantidad de combustibles que tienen propiedades distintas y distinto poder calorífico.

No hay forma de predecir todas las propiedades de un carbón

mineral ya que los hidrocarburos que contiene no se encuentran siempre en la misma proporción ni combinación. La cantidad y composición de la ceniza tiene una gran influencia en la elección de un carbón determinado para un proceso específico. Se debe cuidar en forma especial el punto de fusión y la relación temperatura-viscosidad de la ceniza derretida.

En base a la relación calor generado-costos, el carbón mineral es el combustible más barato, sin embargo existen muchos otros factores que lo hacen indeseable. En México la escasez de carbón, y al mismo tiempo la abundancia de petróleo y gas natural lo hacen un combustible poco competitivo.

2.- Carbón pulverizado: Como su nombre lo indica, es un carbón que ha sido reducido a un polvo muy fino que al igual que el carbón en bruto, tiene muy poco uso en México. Cabe aclarar que en los países con poco petróleo y abundancia de carbón este es el principal combustible de hornos industriales.

Las características más importantes de este combustible son: Finura del polvo, ya que el tamaño de la partícula determina las dimensiones del espacio de combustión; humedad, que tiene gran influencia en la combustión y alimentación del combustible y bajo contenido de ceniza para evitar los problemas que esta acarrea.

3.- Coque: Se utiliza principalmente para la obtención de ciertos combustibles gaseosos y rara vez se utiliza en hornos industriales más que en ciertos países europeos.

2.6.4. Energía eléctrica: La electricidad es una manera muy conveniente de transmitir energía a largas distancias. Se convierte espontáneamente en calor y esta conversión es fácilmente controlable.

La energía eléctrica se vende por kilowatt/hr, que equivale a 3,413 btu/hr. El precio de venta depende de muchos factores como son el costo del combustible en la estación generadora, el costo de construcción de la planta, tamaño y eficiencia de los generadores y distancia a la estación generadora.

Los hornos calentados por energía eléctrica se caracterizan por una quema muy limpia, un fácil control, no emite gases contaminantes, y bajo costo de mantenimiento. Sin embargo presentan varios inconvenientes como el alto costo de la energía eléctrica y las continuas interrupciones en el servicio que hacen incosteables a este tipo de hornos desde el punto de vista industrial.

CAPITULO III

ESTUDIO DEL HORNO MOTIVO DE LA TESIS

El horno motivo de esta tesis es uno de los tres con que cuenta actualmente la fábrica Función en Arte S.A. de C.V. dedicada a la elaboración de productos cerámicos. La empresa utiliza desde hace 20 años un proceso de bicocción en que los hornos son una parte fundamental.

El proceso que se sigue para la fabricación de los productos cerámicos se inicia con la preparación de la pasta en barriles de madera, en donde se mezcla la pasta seca con un cierto porcentaje de agua y agentes defloculantes sometiéndose a agitación constante durante un periodo de 6 a 8 horas, dejándose luego reposar un mínimo de doce horas quedando entonces con una consistencia adecuada. Se tamiza con malla del número 80 y se procede al vaciado directo en moldes previamente preparados para recibir la pasta (método de colada). Estos moldes están hechos de yeso, que por su porosidad absorben el exceso de agua y al mismo tiempo la pasta se adhiere a las paredes de este; cuando se tiene el grosor requerido se vacía el excedente y se deja escurrir y orear hasta que la pieza comienza a separarse del molde, una vez que esta adquiere una consistencia en la cual se puede manipular

sin deformarla comienza el proceso de pulido que consiste en quitarle a la pieza todas las costuras del molde (que varían según la figura) con una navaja, se le pasa después una esponja húmeda para que quede tersa, sin las imperfecciones que pueda ocasionar el molde o la manipulación.

Una vez terminado el pulido la pieza se deja secar completamente para ser sometida a su primera cocción con una duración aproximada de seis horas después de las cuales se alcanza una temperatura de $1,015^{\circ}\text{C}$. Esta temperatura se mide por medio de conos pirométricos, en este caso conos 06, los cuales van colocados en diferentes partes de la vagoneta o carrito y se vigilan a través de mirillas o perforaciones con que cuentan las paredes laterales del horno. Los conos se doblan al alcanzarse la temperatura deseada. En este momento se apaga el horno y se debe esperar como mínimo 8 horas antes de abrirlo para que este se enfríe para evitar así choques térmicos y el resquebrajamiento del material.

La pieza al salir de su primera cocción recibe el nombre de bizcocho, sancocho, o bisquet y tiene una dureza, color y porosidad características y está lista para ser enviada al siguiente paso del proceso, ya sea decorado a mano o esmaltado en diferentes colores lisos. En ambos casos la pieza se somete a una revisión previa con el fin de eliminar cualquier imperfección mediante el uso de lija delgada; el esmaltado del bizcocho, ya sea decorado o sin dibujo se realiza por inmersión o con pistola de aire según el tamaño de la pieza. Deben de utilizarse pinzas

para evitar el manejar la pieza con las manos ya que la grasa presente en estas puede tapar los poros y evitar una absorción adecuada del esmalte, una vez esmaltada se le quita la marca de la pinza y se limpia el espejuelo (si lo tiene la pieza) para impedir que se peguen en las placas de carga, si no presenta espejuelo se puede cargar con pernetas o picos con el mismo fin.

La cochura del esmalte se realiza en forma similar que la primera aunque esta requiere de mayor atención tanto en la carga como el proceso de quemado, con el fin de obtener óptimos resultados. El tiempo de quemado es también de seis horas y se utilizan conos del 05 para detectar el punto de temperatura máxima a que debe llegar el horno (1070°C). Una vez alcanzada dicha temperatura se reduce el flujo de gas y permanece en estas condiciones durante media hora mas con el fin de obtener mejores resultados de tersura y brillantez de la pieza, a este lapso de tiempo se le conoce como maduración.

Cabe aclarar que tanto la primera como la segunda cochura se pueden realizar en el mismo horno.

Una vez salida la pieza del horno se somete a una estricta revisión antes de ser almacenada o distribuida a los clientes. En caso de que esta vaya a ser decorada "sobre barniz", con calcomanía, oro, platino o lustres, una vez aplicados estos se somete a una tercera cocción de una menor duración (4.5 horas) y temperatura (720 °C-cono 018), lo cual a de repercutir en el costo final.

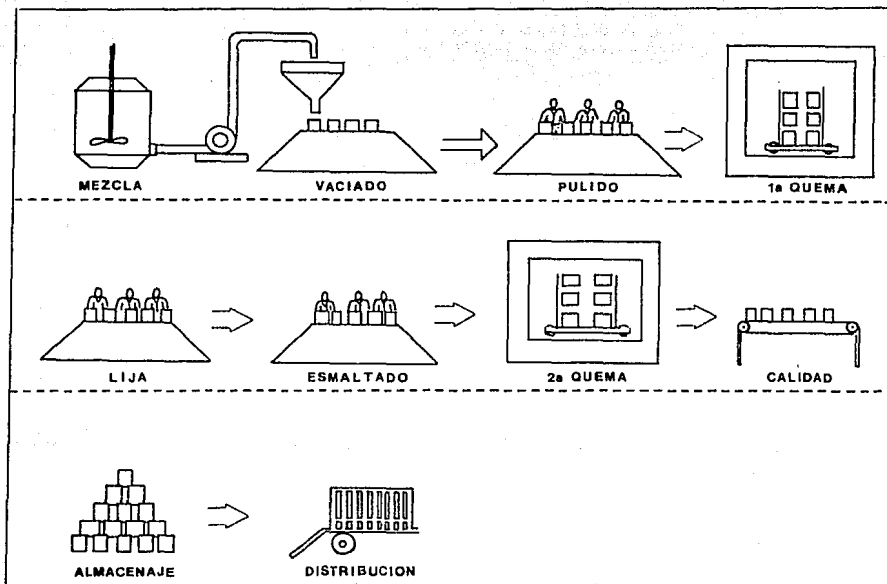


FIG. 3.1

3.1. Descripción del horno:

El horno de estudio, es un horno intermitente de solera móvil, de tiro ascendente con once quemadores atmosféricos alimentados a baja presión y flama larga quemando gas L.P. Estos quemadores están distribuidos de la siguiente manera: Dos hileras laterales de cuatro quemadores cada una y una hilera central con tres.

La alimentación de gas se controla por secciones (lateral y central), sin embargo para regular el tamaño de la flama, cada quemador cuenta con una válvula de control independiente.

Posee una estructura metálica que constituye el soporte del horno que está construido con ladrillo refractario tipo crown de A.P. Green con espesor de pared de 30 cms., de techo abovedado del mismo material. Cuenta con dos puertas de tipo levadizo hechas también de refractario. El aislamiento está constituido por láminas de asbesto de 6 mm. de espesor. La salida de los gases se lleva a cabo a través de dos troneras con compuerta ubicadas en la parte superior del horno.

Este horno cuenta con dos vagonetas o carritos, uno de cada lado del horno que corren sobre rieles. Están hechas del mismo material refractario que recibe la flama directamente de los quemadores centrales.

La carga del material cerámico se hace sobre la plataforma

del carrito, y para mayor aprovechamiento de la cámara de quemado se construyen pisos con los llamados postes y placas de carga.

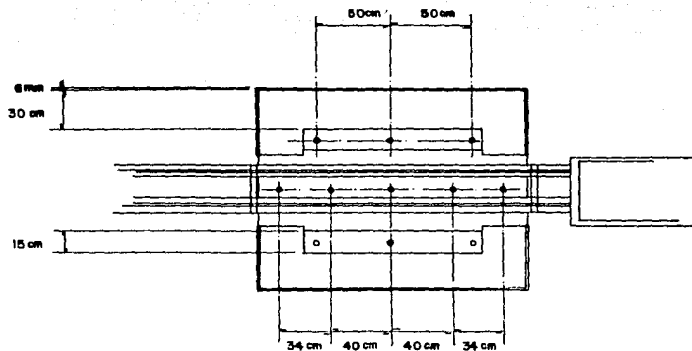


FIG. 3.3 HORNO (CORTE)

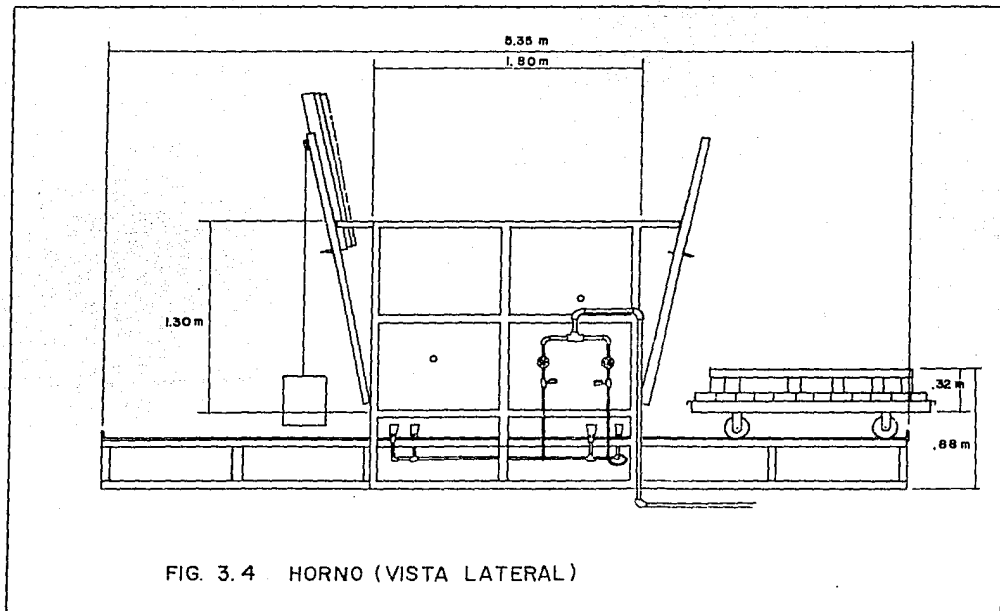


FIG. 3.4 HORNO (VISTA LATERAL)

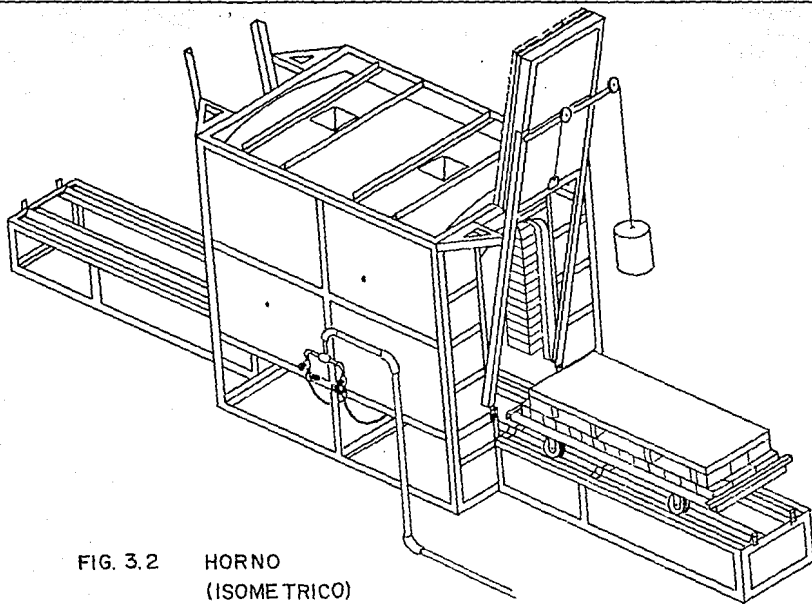


FIG. 3.2 HORN
(ISOMETRICO)

CAPITULO IV

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

En este capítulo se detallará la mecánica que se siguió para obtener el modelo, así como los datos necesarios para validarlo, aplicarlo y proceder a evaluar el horno descrito en el capítulo anterior.

4.1. Diseño del experimento:

En primer lugar se definió como objetivo final, el obtener la eficiencia del horno por ser esta el mejor indicativo de la correcta operación del mismo. El algoritmo utilizado para obtener esta eficiencia está basado en la relación de calor producido por el combustible y calor perdido en el proceso:

$$E_f = 1 - [(Q_p/Q_c) - (Q_g/Q_c) - (Q_l/Q_c)]$$

en donde :

E_f = eficiencia del horno

Q_p = calor perdido por las paredes

Q_g = calor perdido por los gases de combustión

Q_l = calor perdido por la evaporación del agua del material

Q_c = calor producido por el combustible

Para obtener los valores de los calores involucrados en la ecuación anterior, se utilizaron las siguientes relaciones:

Calor perdido por las paredes: (Qp)

en donde:
$$Q_p = [(T_2 - T_1) / ((X_1 / K_1 A) + (X_2 / K_2 A))]$$

T₂=temperatura interna

T₁=temperatura cara fría

X₁=espesor del refractario

K₁=conductividad térmica del refractario

A=área de las paredes

X₂=espesor del aislante

K₂=conductividad térmica del aislante

Calor perdido por los gases de combustión (Qg):

$$Q_g = W_{gc} C_{pgc} (T_{sg} - T_a)$$

en donde:

W_{gc}=flujo de los gases que salen por la tronera

C_{pgc}=calor específico gases combustión

T_{sg}=temperatura de salida de los gases de combustión

T_a=temperatura ambiente

Calor perdido por la evaporación del agua del material (Q₁):

$$Q_1 = ML$$

en donde:

M=cantidad de material alimentado

L=calor latente de vaporización

Calor producido por el combustible (Q_c):

$$Q_c = W_c P_c$$

en donde:

W_c = flujo del gas utilizado

P_c = poder calorífico del gas

Una vez establecidas estas ecuaciones se pueden determinar todos los parámetros que afectan la eficiencia del horno, lo cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$E_f = f(A, X_1, X_2, K_1, K_2, T_2, T_1, T_a, T_{sg}, W_{gc}, C_{pgc}, W_c, P_c, M, L)$$

Estos parámetros se clasificaron como sigue:

- a) Parámetros fijos: A (largo, ancho, alto), X_1, X_2, P_c, M .
- b) Parámetros que dependen de T : K_1, K_2, C_{pgc}, L .
- c) Parámetros medibles: $T_1, T_2, T_a, T_{sg}, W_{gc}, W_c$.

4.2. Toma de datos:

Como el horno de estudio carece de indicadores de temperatura y flujo se utilizaron los siguientes instrumentos de medición:

Para la temperatura interna se utilizó un pirómetro óptico marca Leeds & Northrup modelo 8630, que emplea el método de filamento invisible, basado en la brillantez de objetos o sustancias incandescentes. Es recomendado para medir temperaturas de metales fundidos, paredes y techos de distintos tipos de hornos.

El flujo de combustible fue determinado en base a la diferencia de presión del gas en la tubería y la presión de

TABLA 4.1

HISTORIA TERMICA DEL HORN

TIEMPO HRS	TEMPERATURA INTERNA °C	TEMPERATURA CARA FRÍA °C
0.00	22.0	22.0
0.50	154.0	27.0
1.00	217.0	24.0
1.50	368.0	25.0
2.00	470.0	26.0
2.50	532.0	30.0
3.00	676.0	34.0
3.50	778.0	37.0
4.00	850.0	42.0
4.25	880.0	43.0
4.50	710.0	46.0
4.75	940.0	47.0
5.00	965.0	49.0
5.25	990.0	51.0
5.50	1,020.0	53.0
5.75	1,040.0	55.0
6.00	1,061.0	57.0
6.08	1,070.0	58.0

salida en el quemador que es la atmosférica. Se utilizó la siguiente ecuación:

$INT[(G^2VdV)/(gc^2a)] + INT[(g/gc)dz] + INT[(fG^2V^2)/(2gcD)dL] = -Wf$
 como no hay trabajo $-Wf=0$ y $dz \rightarrow 0$ por lo que la ecuación queda:

$INT[(G^2VdV)/(gc^2a)] + INT[VdP] + INT[(fG^2V^2)/(2gcD)dL] = 0$
 dividiendo todo entre V^2 :

$INT[(G^2dV)/(gcVa)] + INT[dP/V] + INT[(fG^2)/(2gcD)dL] = 0$. . 3
 por las condiciones de diámetro de la tubería asumimos la existencia de un No. de Reynolds turbulento por lo que el factor de corrección para la energía cinética $a \rightarrow 1$. Suponemos que podemos usar la Ley de los Gases Perfectos:

$$PV = (1/M)RT$$

$$V = (RT)/(PM)$$
 4

sustituyendo 4 en el segundo término de la ecuación 3:

$INT[(G^2dV)/(gcVa)] + INT[(PMdP)/(RT)] + INT[(fG^2)/(2gcD)dL] = 0$. . 5
 integrando la ecuación 5:

$[(G^2/(agc))Ln(V2/V1)] + [(M(P2^2 - P1^2))/(2RT)] + [(fGL)/(2gcD)] = 0$. . 6
 para gas ideal:

$$P1V1 = P2V2$$

por lo que:

$[(G^2/(agc))Ln(P1/P2)] + [(M(P2^2 - P1^2))/(2RT)] + [(fGL)/(2gcD)] = 0$. . 7
 resolviendo con el siguiente algoritmo:

*W ----> G ----> Re ----> f ----> cero

El flujo de los gases de combustión (Wgc) se obtuvo indirectamente con los datos de composición de estos gases mediante el uso de un Cromatógrafo de gases Pye Unicam Philips serie No. 304, cuyo funcionamiento está basado en la distribución

TABLA 4.2

FLUJO DE GAS

TIEMPO HRS	PRESION DE QUEMADORES CENTRALES PSIG	PRESION QUEMADORES LATERALES PSIG	FLUJO TOTAL DE GAS LTS/HR
0.00	2,302.00	2,290.00	67.03
1.00	2,404.00	2,332.00	68.53
2.00	2,476.00	2,404.00	69.27
3.00	2,548.00	2,476.00	70.37
4.00	2,620.00	2,548.00	71.48
5.00	2,692.00	2,620.00	72.51
5.50	2,302.00	2,300.00	67.00
6.00	0.00	0.00	0.00

de una muestra entre dos fases, una estacionaria que consiste en una columna empacada y la otra líquida o gaseosa representada en este caso por nitrógeno. Los datos que se obtuvieron son los que corresponden al por ciento de dióxido de carbono y por ciento de aire de las muestras de estudio obtenidas a varios intervalos de tiempo y en varios días de quema de la tronera del horno.

Para obtener el flujo se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Se supuso que el gas utilizado para la combustión, se comportaba como gas ideal por lo que responde a la ecuación general de los gases.

$$PV=nRT$$

con lo que se obtuvieron las moles (n) de gas saturado. Es necesario trabajar con las moles de gas seco por lo que este valor se multiplicó por la presión de vapor del agua a las condiciones de operación.

$$n_{H_2O}=n_{PH_2O}$$

en donde n_{H_2O} , son las moles de agua que contiene el gas que restadas a (n) darán la cantidad de gas seco (n_s) alimentado al horno.

$$n_s=n-n_{H_2O}$$

Basados en las ecuaciones estequiométricas de la combustión de hidrocarburos:





Se obtuvieron los valores de:

Oxígeno teórico requerido para la combustión.

Bióxido de carbono producido en la combustión.

Agua producida en la combustión.

Con estos valores y la cantidad de moles de gas seco, obtenidas con la ecuación anterior, tenemos:

$$n_{CO_2 \text{ seco}} = n_s \times X_{CO_2}$$

en donde:

$$n_{CO_2 \text{ seco}} = \text{moles de } CO_2 \text{ seco}$$

$$X_{CO_2} = \% \text{ de } CO_2 \text{ producido en la combustión}$$

$$n_{g \text{ seco}} = n_{CO_2 \text{ seco}} / \%CO_2$$

en donde:

$$n_{g \text{ seco}} = \text{moles totales de gases de combustión secos}$$

$$\%CO_2 = \text{porcentaje de } CO_2 \text{ producido en la combustión}$$

Al valor obtenido hubo que agregarle:

Agua presente en el aire (humedad relativa).

Agua producida en la reacción de combustión.

Agua proveniente del material.

para así obtener los gases de combustión totales.

Para la medición de las temperaturas de la cara fría,

TABLA 4.3

COMPOSICION DE GASES DE COMBUSTION

TIEMPO HRS	% AIRE	% CO2
0.50	91.0	3.5
1.00	90.0	4.0
1.50	89.0	4.0
2.00	88.0	4.0
2.50	88.0	5.0
3.00	88.0	6.0
3.50	87.0	6.5
4.00	86.0	7.0
4.50	85.5	7.0
5.00	85.0	7.0
5.50	85.0	8.0
6.00	85.0	9.0

ambiente y la de salida de los gases de combustión se utilizaron termómetros convencionales.

4.3. Suposiciones:

4.3.1. Las pérdidas de calor por convección no existen. La transferencia de calor por convección se debe al movimiento del fluido. El fluido frío adyacente a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él. El aire que se encuentra en la parte inferior del horno, cerca de los quemadores, se calienta disminuyendo su densidad provocando un ascenso a capas superiores en donde cede su calor al material y al aire frío, por lo que se considera calor aprovechado.

4.3.2. Las pérdidas de calor por radiación se consideraron despreciables ya que las distancias que existen entre las fuentes de calor y las paredes son muy pequeñas por lo que la temperatura de éstas son prácticamente iguales no permitiendo que se realice el fenómeno de radiación que requiere de un diferencial de temperaturas considerable.

4.3.3. Los valores de conductividad térmica, tanto del refractario como del aislante, son utilizados como promedio. En cálculos preliminares se detectó que el calor perdido por las paredes con respecto a las pérdidas por los gases de combustión es pequeño. El realizar los cálculos con una constante de conductividad térmica promedio lleva a un error de menos del 1%.

que comparado con las pérdidas totales se vuelve aun mas pequeño.

4.3.4. La temperatura en el interior del horno se considera uniforme. Al tomar las temperaturas por las distintas mirillas con que cuenta el horno se obtuvieron lecturas prácticamente iguales.

4.3.5. La temperatura de salida de los gases es igual a la temperatura interna del horno. El horno de estudio de la tesis no cuenta con una chimenea por lo que las muestras de los gases tuvieron que ser tomadas a través de troneras localizadas en la parte mas alta de la bóveda, es decir dentro del horno, por lo que la temperatura de estos es la interna.

4.3.6. Se considera que el gas utilizado se comporta como gas ideal (fig. 4.1).

4.3.7. La superficie de carga del carrito se tomó como pared para fines de pérdidas de calor ya que está constituido con el mismo ladrillo refractario que el resto de las paredes.

4.3.8. Se considera la composición del gas utilizado como constante y con un porcentaje despreciable de impurezas.

4.3.9. Se considera temperatura ambiente constante.

4.3.10. El area de las paredes se considera como el area del refractario y del aislante.

FIGURA 4.1

FACTORES DE COMPRESIBILIDAD (hidrocarburos)

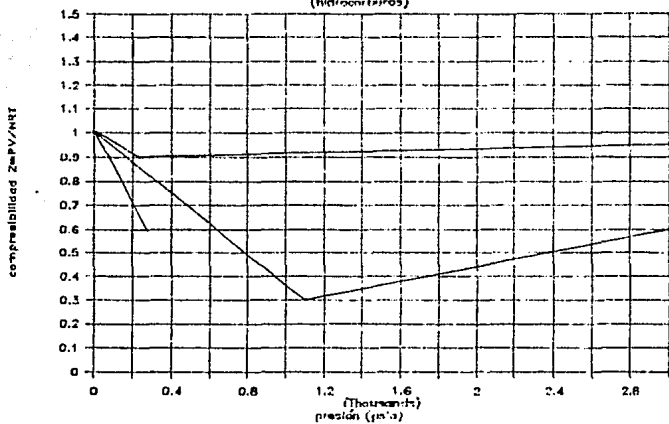
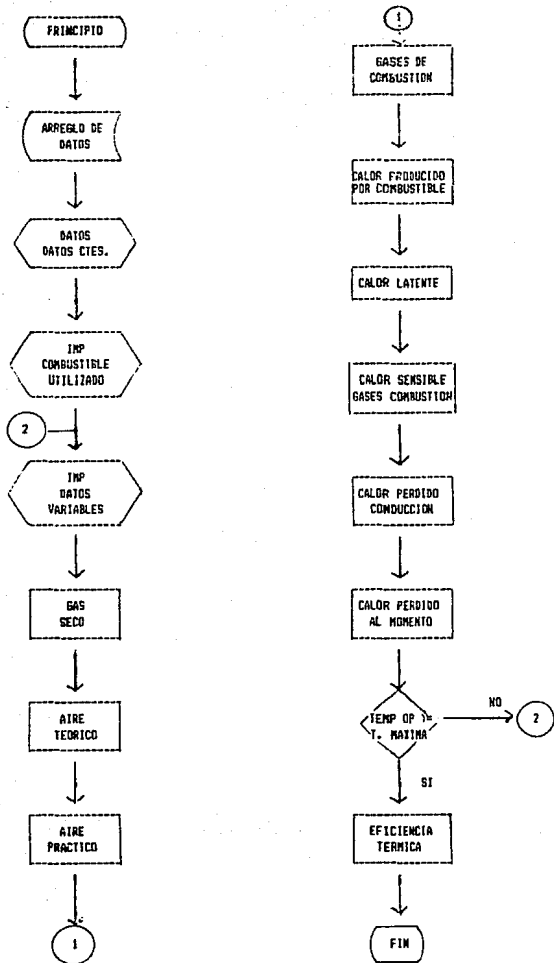


TABLA 4.4

TABLA DE DATOS

PRECION ATMOSFERICA	0.785 atm
HUMEDAD RELATIVA	30%
CANTIDAD DE MATERIAL ALIMENTADO	75 Kg
DENSIDAD DEL COMBUSTIBLE	0.57 Kg/lit
HUMEDAD DEL MATERIAL ALIMENTADO	10%
CALOR LATENTE DE VAPORIZACION DEL AGUA	539.6 Kcal/Kg H ₂ O
TEMPERATURA MAXIMA DEL HORNO	1070 °C
ESPESOR DEL REFRACTARIO	0.3 m
PRECION DE VAPOR DEL AGUA A T. AMBIENTE	0.07 Kg/cm ²
ESPESOR DEL AISLANTE	0.026 m
CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL REFRACTARIO	0.77 Kcal/m/m ² h°C
CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL AISLANTE	0.22 Kcal/m/m ² h°C
AREA DE LAS PAREDES DEL HORNO	2.93 m ²
TEMPERATURA AMBIENTE	27 °C
PODER CALORIFICO DEL GAS SATURADO	11,880 Kcal/Kg
COMPOSICION DEL GAS UTILIZADO	
PROPANO	40%
BUTANO	60%



```

1 PRINT "PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LA EFICIENCIA EN UN HORNO INTERMITENTE"
10 INPUT "PRESION ATMOSFERICA (atm)":P
20 INPUT "HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE":HA
30 INPUT "CANTIDAD DEL MATERIAL ALIMENTADO kg":M
35 INPUT "DENSIDAD DEL COMBUSTIBLE kg/l":RC
40 INPUT "HUMEDAD DEL MATERIAL ALIMENTADO EN %":HM
50 INPUT "CALOR LATENTE DE VAPORIZACION kcal/kg C":L
55 INPUT "TEMPERATURA MAXIMA DEL HORNO C":TMAX
60 INPUT "ESPESOR DEL REFRACTARIO m":XP
70 INPUT "PRESION DE VAPOR DEL AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE kg/cm2":PV
80 INPUT "ESPESOR DEL AISLANTE m":XA
90 INPUT "CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL REFRACTARIO":KA
100 INPUT "CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL AISLANTE":KA
110 INPUT "AREA DE LAS PAREDES m2":AP
120 INPUT "TEMPERATURA AMBIENTE C":TA
130 INPUT "PODER CALORIFICO DEL GAS SATURADO kcal/kg":PC
140 PRINT "COMPOSICION DEL GAS UTILIZADO"
150 INPUT "% METANO":XM
160 INPUT "% ETANO":XE
170 INPUT "% PROPANO":XP
180 INPUT "% BUTANO":XB
190 INPUT "% CO2 DE LOS GASES DE COMBUSTION":C
200 INPUT "% AIRE DE LOS GASES DE COMBUSTION":A
210 INPUT "TEMPERATURA INTERNA C":TI
220 INPUT "TEMPERATURA DE LA PARED FRIA C":TF
230 INPUT "VOLUMEN DE GAS UTILIZADO l":VW
240 REM "DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE GAS SATURADO A 20 C Y 0.77 ATM"
250 PRINT "CANTIDAD DE GAS SATURADO A 20 C Y 0.77 ATM (moles)"
260 N=(P*VW*249.5)/(0.082*(TA+273.15))
270 PRINT "n=":N
280 REM "DETERMINACION DE LA HUMEDAD PROVENIENTE DEL COMBUSTIBLE"
290 PRINT "CANTIDAD DE AGUA EN EL COMBUSTIBLE (moles)"
300 NA=N*PV
310 PRINT "na=":NA
320 REM "GAS SECO"
330 PRINT "GAS SECO (kgmol)"
340 NS=(N-NA)/1000
350 PRINT "ns=":NS
355 INPUT "CONTINUA":M2
360 PRINT "DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE UTILIZADO PARA LA COMBUSTION DEL
GAS"
370 PRINT "REACCIONES DE COMBUSTION"
380 PRINT "CH4 + 2O2 ----> CO2 + 2H2O"
390 PRINT "C2H6 + 3.5 O2 ----> 2CO2 + 3H2O"
400 PRINT "C3H8 + 5O2 ----> 3CO2 + 4H2O"
410 PRINT "C4H10 + 6.5O2 ----> 4CO2 + 5H2O"
420 XOM=(XM*2)/100
430 XOE=(XE*3.5)/100
440 XOP=(XP*5)/100
450 XOB=(XB*6.5)/100
460 XCOM=XM/100
470 YCOE=(XE*2)/100
480 XCOE=(XP*3)/100
490 XCOB=(XB*4)/100

```

```

500 XWM=(XM+Z)/100
510 XWE=(XE+Z)/100
520 XWP=(XW+Z)/100
530 XMB=(XB+Z)/100
540 PRINT "OXIGENO TEORICO PARA LA COMBUSTION"
550 PRINT "METANO=";XOM
560 PRINT "ETANO=";XOE
570 PRINT "PROPANO=";XOP
580 PRINT "BUTANO=";XOB
590 PRINT "CO2 PRODUCIDA"
600 PRINT "METANO=";XCOM
610 PRINT "ETANO=";XCOE
620 PRINT "PROPANO=";XCOP
630 PRINT "BUTANO=";XCGB
640 PRINT "H2O PRODUCIDA"
650 PRINT "METANO=";XWM
660 PRINT "ETANO=";XWE
670 PRINT "PROPANO=";XWP
680 PRINT "BUTANO=";XWB
685 INPUT "CONTINUA=";K3K3
690 XOT=XOM+XOE+XOP+XOB
700 XCOI=XCOM+XCOE+XCOP+XCGB
710 XUT=XWM+XWE+XWP+XWB
720 PRINT "TOTAL DE OXIGENO TEORICO";XOT
730 PRINT "TOTAL DE CO2 PRODUCIDA";XCOI
740 PRINT "TOTAL DE H2O PRODUCIDA";XUT
750 XCOS=(XCOI*NS)
760 PRINT "CO2 SECO (kgmol)";XCOS
770 ITNS=XCOS/(C/100)
780 PRINT "TOTAL DE GASES DE COMBUSTION SECOS (kgmol)";ITNS
790 MOXS=(A+ITNS*.21)/100
800 MO=MO*NS
810 MOT=MO+MOXS
820 ATOT=MOT/.21
830 NTOT=ATOT*.79
840 PRINT "EXCESO DE OXIGENO (kgmol)";MOXS
850 PRINT "NITROGENO EN LOS GASES DE COMBUSTION (kgmol)";NTGT
860 PRINT "AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION"
870 PPW=HR/PPV
880 MWA=ATOT*(PPW/P)
890 PRINT "AGUA EN EL AIRE (kgmol)";MWA
900 WR=XWT*NS
910 PRINT "AGUA PRODUCIDA EN LA REACCION DE COMBUSTION (kgmol)";WR
920 WMAT=(M*(HM/100))/19
930 PRINT "AGUA PROVENIENTE DEL MATERIAL (kgmol)";WMAT
940 WTP=MWA+WR+WMAT/(NA/1000)
950 PRINT "AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION (kgmol)";WTP
960 PRINT "GASES DE COMBUSTION TOTALES"
970 PRINT "CO2=";XCOS
980 PRINT "H2O=";WTP
990 PRINT "O2=";MOXS
1000 PRINT "N2=";NTOT
1005 INPUT "CONTINUA=";K3K3

```

```

1010 PRINT "BALANZAS DE CALOR"
1020 GC=#PCIRO
1025 GCT=Z+GC
1026 Z=OCT
1030 PRINT "CALOR PRODUCIDO POR EL COMBUSTIBLE HASTA EL MOMENTO (kcal)":"G
1040 OL=(WMAT*16#L)
1050 PRINT "CALOR LATENTE (kcal)":"OL
1055 REM "CALCULO DE LOS CP'S MOLARES DE LOS GASES DE COMBUSTION"
1060 CPO2=6.373+(.0053*(TI+273.15))-(.0000034*((TI+273.15)^2))
1070 CPN2=6.45+(.0014125*(TI+273.15))-(8.07E-08*((TI+273.15)^2))
1080 CPO2=6.095+(.00325*(TI+273.15))-(.000001*((TI+273.15)^2))
1090 CPH2O=7.219+(.002374*(TI+273.15))-(2.67E-07*((TI+273.15)^2))
1100 GCO2=XCO2*CPO2*(TI-TA)
1110 ON2=NTOT*CPN2*(TI-TA)
1120 O22=MOX2*CPN2*(TI-TA)
1130 OH2O=WTP*CPH2O*(TI-TA)
1140 OTOT=GCO2+ON2+O22+OH2O
1150 PRINT "GCO2=";GCO2
1160 PRINT "ON2=";ON2
1170 PRINT "O22=";O22
1180 PRINT "OH2O=";OH2O
1190 PRINT "CALOR SENSIBLE DE LOS GASES DE COMBUSTION (kcal)":"OTOT
1154 TCI=TI-TL
1195 TL=TI
1197 TCE=TF-TZ
1198 TZ=TF
1200 CCOND=(TCI-TCE)/((XA/(KA*AP))+XR/(KR*AF))
1210 PRINT "CALOR PERDIDO POR CONDUCCION (kcal)":"CCOND
1214 QSUM=CCOND+OTOT
1215 G=Q+QSUM
1216 G=00
1217 PRINT "CALOR PERDIDO HASTA EL MOMENTO":G
1218 IF TI>TNAX THEN GOTO 1220
1219 GOTO 190
1220 EF=1-(OO/GCT)+(OL/GCT)
1230 PRINT "EFICIENCIA DEL HORNO=";EF*100

```


RUN

PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LA EFICIENCIA EN UN HORNO INTERMITENTE

PRESION ATMOSFERICA (atm)? .705

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE? .3

CANTIDAD DEL MATERIAL ALIMENTADO kg? 75

DENSIDAD DEL COMBUSTIBLE kg/17 .57

HUMEDAD DEL MATERIAL ALIMENTADO EN %? 10

CALOR LATENTE DE VAPORIZACION Kcal/Kg C? 558.6

TEMPERATURA MAXIMA DEL HORNO C? 1070

ESPEJOR DEL REFRACTARIO m? .3

PRESION DE VAPOR DEL AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE kg/cm2? .09

ESPEJOR DEL AISLANTE m? .006

CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL REFRACTARIO? .97

CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL AISLANTE? .22

AREA DE LAS PAREDES m2? 9.92

TEMPERATURA AMBIENTE C? 22

PODER CALORIFICO DEL GAS SATURADO kcal/kg? 11880

COMPOSICION DEL GAS UTILIZADO

% METANO?

% ETANO?

% PROPANO? 40

% BUTANO? 60

% CO2 DE LOS GASES DE COMBUSTION? 4

% AIRE DE LOS GASES DE COMBUSTION? 90

TEMPERATURA INTERNA C? 247

TEMPERATURA DE LA PARED FRIA C? 24

VOLUMEN DE GAS UTILIZADO l? 67.02

CANTIDAD DE GAS SATURADO A 20 C Y 0.77 ATM (moles)

n= 542.3604

CANTIDAD DE AGUA EN EL COMBUSTIBLE (moles)

na= 48.81243

GAS SECO (kmol)

ns= .4935479

CONTINUA?

DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE UTILIZADO PARA LA COMBUSTION DEL GAS

REACCIONES DE COMBUSTION

CH4 + 2O2 ----> CO2 + 2H2O

C2H6 + 3.5 O2 ----> 2CO2 + 3H2O

C3H8 + 5O2 ----> 3CO2 + 4H2O

C4H10 + 6.5O2 ----> 4CO2 + 5H2O

OXIGENO TEORICO PARA LA COMBUSTION

METANO= 0

ETANO= 0

PROPANO= 2

BUTANO= 3.9

CO2 PRODUCIDO

METANO= 0

ETANO= 0

PROPANO= 1.2

BUTANO= 2.4

H2O PRODUCIDA

METANO= 0

ETANO= 0

PROPANO= 1.6

BUTANO= 3

CONTINUAR

TOTAL DE OXIGENO TEORICO 5.9

TOTAL DE CO2 PRODUCIDO 3.6

TOTAL DE H2O PRODUCIDA 4.6

CO2 SECO (kgmol) = 1.776773

TOTAL DE GASES DE COMBUSTION SECOS (kgmol) = 44.41932

EXCESO DE OXIGENO (kgmol) = 9.392351

NITROGENO EN LOS GASES DE COMBUSTION (kgmol) = 42.50655

AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION

AGUA EN EL AIRE (kgmol) = 1.85195

AGUA PRODUCIDA EN LA REACCION DE COMBUSTION (kgmol) = 2.270321

AGUA PROVENIENTE DEL MATERIAL (kgmol) = .416667

AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION (kgmol) = 4.56775

GASES DE COMBUSTION TOTALES

CO2 = 1.776773

H2O = 4.56775

O2 = 9.392351

N2 = 42.50655

CONTINUAR

BALANZO DE CALOR

CALOR PRODUCIDO POR EL COMBUSTIBLE HASTA EL MOMENTO (kcal) = 453032.5

CALOR LATENTE (kcal) = 4009.5

CO2 = 3290.101

H2O = 4853.93

O2 = 14195.19

H2O = 8651.051

CALOR SENSIBLE DE LOS GASES DE COMBUSTION (kcal) = 74471.06

CALOR PERDIDO POR CONDUCCION (kcal) = 3573.029

CALOR PERDIDO HASTA EL MOMENTO 101244.1

% CO2 DE LOS GASES DE COMBUSTION? 4

% AIRE DE LOS GASES DE COMBUSTION? 80

TEMPERATURA INTERNA C? 470

TEMPERATURA DE LA PARED FRIA C? 26

VOLUMEN DE GAS UTILIZADO l? 68.33

CANTIDAD DE GAS SATURADO A 20 C Y 0.77 ATM (moles)

n = 552.9616

CANTIDAD DE AGUA EN EL COMBUSTIBLE (moles)

n = 49.76653

GAS SECO (kgmol)

n = 1.501931

CONTINUAR

DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE UTILIZADO PARA LA COMBUSTION DEL GAS

REACCIONES DE COMBUSTION

CH4 + 2O2 ----> CO2 + 2H2O

C2H6 + 3.5 O2 ----> 2CO2 + 3H2O

C3H8 + 5O2 ----> 3CO2 + 4H2O

C4H10 + 6.5O2 ----> 4CO2 + 5H2O

OXIGENO TEORICO PARA LA COMBUSTION

METANO = 0

ETANO = 0

PROPANO = 2

BUTANO = 3.7

CO2 PRODUCIDO
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 1.2
 BUTANO= 2.4
 H2O PRODUCIDA
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 1.6
 BUTANO= 3
 CONTINUA?
 TOTAL DE OXIGENO TEORICO 5.9
 TOTAL DE CO2 PRODUCIDO 3.6
 TOTAL DE H2O PRODUCIDA 4.6
 CO2 SECO (kgmol)= 1.811502
 TOTAL DE GASES DE COMBUSTION SECCOS (kgmol)= 45.28756
 EXCESO DE OXIGENO (kgmol)= 8.36914
 NITROGENO EN LOS GASES DE COMBUSTION (kgmol)= 42.65245
 AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION
 AGUA EN EL AIRE (kgmol)= 1.036996
 AGUA PRODUCIDA EN LA REACCION DE COMBUSTION (kgmol)= 2.314697
 AGUA PROVENIENTE DEL MATERIAL (kgmol)= .4166667
 AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION (kgmol)= 4.658126
 GASES DE COMBUSTION TOTALES
 CO2= 1.811502
 H2O= 4.658126
 O2= 8.36914
 N2= 42.65245
 CONTINUA?
 BALANCES DE CALOR
 CALOR PRODUCIDO POR EL COMBUSTIBLE HASTA EL MOMENTO (kcal)= 462703.5
 CALOR LATENTE (kcal)= 4039.5
 QCO2= 6860.846
 QN2= 142454.8
 QO2= 29837.4
 QH2O= 18339.7
 CALOR SENSIBLE DE LOS GASES DE COMBUSTION (kcal)= 197512.8
 CALOR PERDIDO POR CONDUCCION (kcal)= 6514.078
 CALOR PERDIDO HASTA EL MOMENTO 309291
 % CO2 DE LOS GASES DE COMBUSTION? 6
 % AIRE DE LOS GASES DE COMBUSTION? 88
 TEMPERATURA INTERNA C? 676
 TEMPERATURA DE LA PARED FRIA C? 34
 VOLUMEN DE GAS UTILIZADO l? 67.27
 CANTIDAD DE GAS SATURADO A 20 C Y 0.77 ATM (moles)
 n= 360.5586
 CANTIDAD DE AGUA EN EL COMBUSTIBLE (moles)
 na= 50.45117
 GAS SECO (kgmol)
 ns= .5101174

CONTINUAR
 DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE UTILIZADO PARA LA COMBUSTION DEL GAS
 REACCIONES DE COMBUSTION
 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
 $\text{C}_2\text{H}_6 + 3.5 \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
 $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
 $\text{C}_4\text{H}_{10} + 6.5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$
 OXIGENO TEORICO PARA LA COMBUSTION
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 2
 BUTANO= 3.9
 CO2 PRODUCCION
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 1.2
 BUTANO= 2.4
 H2O PRODUCCION
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 1.6
 BUTANO= 3
 CONTINUAR
 TOTAL DE OXIGENO TEORICO 5.9
 TOTAL DE CO2 PRODUCCION 5.4
 TOTAL DE H2O PRODUCCION 4.6
 CO2 SECO (kgmol)= 1.836423
 TOTAL DE GASES DE COMBUSTION SECOS (kgmol)= 30.60705
 EXCESO DE OXIGENO (kgmol)= 5.656182
 NITROGENO EN LOS GASES DE COMBUSTION (kgmol)= 32.6002
 AGUA PRODUCCION EN EL PROCESO DE COMBUSTION
 AGUA EN EL AIRE (kgmol)= 1.419343
 AGUA PRODUCCION EN LA REACCION DE COMBUSTION (kgmol)= 2.34854
 AGUA PROVENIENTE DEL MATERIAL (kgmol)= .416667
 AGUA PRODUCCION EN EL PROCESO DE COMBUSTION (kgmol)= 4.233001
 GASES DE COMBUSTION TOTALES
 CO2= 1.836423
 H2O= 4.233001
 O2= 5.656182
 N2= 32.6002
 CONTINUAR
 BALANCO DE CALOR
 CALOR PRODUCCION POR EL COMBUSTIBLE HASTA EL MOMENTO (kcal)= 469049.7
 CALOR LATENTE (kcal)= 4039.5
 QCO2= 10317.92
 QN2= 170136.1
 QO2= 31662.73
 QH2O= 26444.6
 CALOR SENSIBLE DE LOS GASES DE COMBUSTION (kcal)= 230561.6
 CALOR PERDIDO POR CONDUCCION (kcal)= 6425.652
 CALOR PERDIDO HASTA EL MOMENTO 550276.1

% CO2 DE LOS GASES DE COMBUSTION? 7
 % AIRE DE LOS GASES DE COMBUSTION? 86
 TEMPERATURA INTERIA CT 650
 TEMPERATURA DE LA PARED FRIA CT 42
 VOLUMEN DE GAS UTILIZADO 1? 70.37
 CANTIDAD DE GAS SATURADO A 20 C Y 0.77 ATM (moles)
 n= 569.4704
 CANTIDAD DE AGUA EN EL COMBUSTIBLE (moles)
 na= 51.25234
 GAS SECO (kgmol)
 ns= .5182181
 CONTINUA?
 DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE UTILIZADO PARA LA COMBUSTION DEL GAS
 REACCIONES DE COMBUSTION
 $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$
 $C_2H_6 + 3.5 O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$
 $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$
 $C_4H_{10} + 6.5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$
 OXIGENO TEORICO PARA LA COMBUSTION
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 2
 BUTANO= 3.9
 CO2 PRODUCIDO
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 1.2
 BUTANO= 2.4
 H2O PRODUCIDA
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 1.6
 BUTANO= 3
 CONTINUA?
 TOTAL DE OXIGENO TEORICO 5.9
 TOTAL DE CO2 PRODUCIDO 3.6
 TOTAL DE H2O PRODUCIDA 4.6
 CO2 SECO (kgmol)= 1.865385
 TOTAL DE GASES DE COMBUSTION SECOS (kgmol)= 26.65122
 EXCESO DE OXIGENO (kgmol)= 4.813209
 NITROGENO EN LOS GASES DE COMBUSTION (kgmol)= 29.60881
 AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION
 AGUA EN EL AIRE (kgmol)= 1.289104
 AGUA PRODUCIDA EN LA REACCION DE COMBUSTION (kgmol)= 2.363803
 AGUA PROVENIENTE DEL MATERIAL (kgmol)= .1166667
 AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION (kgmol)= 4.140826
 GASES DE COMBUSTION TOTALES
 CO2= 1.865385
 H2O= 4.140826
 O2= 4.813209
 N2= 29.60881

CONTINUA?

BALANACE DE CALOR

CALOR PRODUCIDO POR EL COMBUSTIBLE HASTA EL MOMENTO (kcal)= 476517.5

CALOR LATENTE (kcal)= 4059.5

CO2= 12445.24

CO= 194526.6

OH2= 33810.49

OH2O= 32739.18

CALOR SENSIBLE DE LOS GASES DE COMBUSTION (kcal)= 273520.7

CALOR PERDIDO POR CONDUCCION (kcal)= 4303.418

CALOR PERDIDO HASTA EL MOMENTO 220102.3

% CO2 DE LOS GASES DE COMBUSTION? 7

% AIRE DE LOS GASES DE COMBUSTION? 85

TEMPERATURA INTERNA C? 965

TEMPERATURA DE LA PARED FRIA C? 49

VOLUMEN DE GAS UTILIZADO l? 71.48

CANTIDAD DE GAS SATURADO A 20 C Y 0.77 ATM (moles)

n= 578.4331

CANTIDAD DE AGUA EN EL COMBUSTIBLE (moles)

na= 52.06078

GAS SECO (kgmol)

na= .5263723

CONTINUA?

DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE UTILIZADO PARA LA COMBUSTION DEL GAS

REACCIONES DE COMBUSTION

CH4 + 2O2 ----> CO2 + 2H2O

C2H6 + 3.5 O2 ----> 2CO2 + 3H2O

C3H8 + 5O2 ----> 3CO2 + 4H2O

C4H10 + 6.5O2 ----> 4CO2 + 5H2O

OXIGENO TEORICO PARA LA COMBUSTION

METANO= 0

ETANO= 0

PROPANO= 2

BUTANO= 3.7

CO2 PRODUCIDO

METANO= 0

ETANO= 0

PROPANO= 1.2

BUTANO= 2.4

H2O PRODUCIDA

METANO= 0

ETANO= 0

PROPANO= 1.6

BUTANO= 3

CONTINUA?

TOTAL DE OXIGENO TEORICO 5.9

TOTAL DE CO2 PRODUCIDO 3.6

TOTAL DE H2O PRODUCIDA 4.6

CO2 SECO (kgmol)= 1.895012

TOTAL DE GASES DE COMBUSTION SECOS (kgmol)= 27.07161

EXCESO DE OXIGENO (kgmol)= 4.022272

NITROGENO EN LOS GASES DE COMBUSTION (kgmol)= 29.86197

AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION

AGUA EN EL AIRE (kgmol)= 1.300127
 AGUA PRODUCIDA EN LA REACCION DE COMBUSTION (kgmol)= 2.421404
 AGUA PROVENIENTE DEL MATERIAL (kgmol)= .416667
 AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION (kgmol)= 4.170255
 BASES DE COMBUSTION TOTALES
 CO2= 1.875012
 H2O= 4.190255
 O2= 4.632282
 N2= 29.56199
 CONTINUAR
 BALANCES DE CALOR
 CALOR PRODUCIDO POR EL COMBUSTIBLE HASTA EL MOMENTO (kcal)= 434034
 CALOR LATENTE (kcal)= 4607.5
 QCCO= 15956.61
 QN2= 227065.7
 QO2= 39124.72
 QH2O= 38522.51
 CALOR SENSIBLE DE LOS GASES DE COMBUSTION (kcal)= 318379.7
 CALOR PERDIDO POR CONDUCCION (kcal)= 3183.05
 CALOR PERDIDO HASTA EL MOMENTO 1150165
 % CO2 DE LOS GASES DE COMBUSTION? 9
 % AIRE DE LOS GASES DE COMBUSTION? 95
 TEMPERATURA INTERNA C? 1071
 TEMPERATURA DE LA PARED FRIA C? 58
 VOLUMEN DE GAS UTILIZADO l? 70.2
 CANTIDAD DE GAS SATURADO A 20 C Y 0.77 ATM (moles)
 n= 548.0916
 CANTIDAD DE AGUA EN EL COMBUSTIBLE (mol%)
 na= 51.12652
 GAS SECO (kgmol)
 ns= .5169661
 CONTINUAR
 DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AIRE UTILIZADO PARA LA COMBUSTION DEL GAS
 REACCIONES DE COMBUSTION
 $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$
 $C_2H_6 + 3.5 O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$
 $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$
 $C_4H_{10} + 6.5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$
 OXIGENO TEORICO PARA LA COMBUSTION
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 2
 BUTANO= 3.7
 CO2 PRODUCIDO
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 1.2
 BUTANO= 2.4
 H2O PRODUCIDA
 METANO= 0
 ETANO= 0
 PROPANO= 1.6
 BUTANO= 3

CONTINUAR

TOTAL DE OXIGENO TEORICO 5.9

TOTAL DE CO2 PRODUCIDO 3.6

TOTAL DE H2O PRODUCIDA 4.5

CO2 SECO (kgmol)= 1.861076

TOTAL DE GASES DE COMBUSTION SECCS (kgmol)= 20.67864

EXCESO DE OXIGENO (kgmol)= 3.691137

NITROGENO EN LOS GASES DE COMBUSTION (kgmol)= 25.35967

AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION

AGUA EN EL AIRE (kgmol)= 1.104115

AGUA PRODUCIDA EN LA REACCION DE COMBUSTION (kgmol)= 2.376044

AGUA PROVENIENTE DEL MATERIAL (kgmol)= .4166667

AGUA PRODUCIDA EN EL PROCESO DE COMBUSTION (kgmol)= 3.949754

GASES DE COMBUSTION TOTALES

CO2= 1.861076

H2O= 3.949754

O2= 3.691137

N2= 25.35967

CONTINUAR

BALANCES DE CALOR

CALOR PRODUCIDO POR EL COMBUSTIBLE HASTA EL MOMENTO (kcal)= 475366.3

CALOR LATENTE (kcal)= 4039.5

CO2= 14376.2

H2O= 218215.5

O2= 33510.96

N2= 41135.08

CALOR SENSIBLE DE LOS GASES DE COMBUSTION (kcal)= 307245.7

CALOR PERDIDO POR CONDUCCION (kcal)= 2559.12

CALOR PERDIDO HASTA EL MOMENTO 1460290

EFICIENCIA DEL HORNO= 48.10144

OK

TABLA 4.5

TABLA DE RESULTADOS

TIEMPO HRS	TEMPERATURA INTERNA °C	TEMPERATURA EXTERNA °C	FLUJO DE COMBUSTIBLE LTS	CALOR PRODUCIDO KCAL	CALOR PERDIDO POR PAREDES KCAL	CALOR PERDIDO POR CONDUCCION KCAL	CALOR ACUMULADO KCAL
0.50	134.00	23.00	33.515	228,950.20	25,762.91	3,271.77	29,020.40
1.00	247.00	24.00	33.515	228,950.20	47,745.43	3,361.25	80,867.28
1.50	350.00	25.00	34.165	231,351.70	74,126.88	3,501.25	157,658.50
2.00	470.00	26.00	34.165	231,351.70	95,521.06	3,212.82	260,349.40
2.50	525.00	30.00	34.325	234,534.40	111,106.80	3,271.77	374,757.19
3.00	595.00	34.00	34.635	234,534.40	128,582.30	3,153.27	493,474.10
3.50	778.00	37.00	35.195	238,269.80	131,540.20	2,323.58	625,292.70
4.00	100.00	42.00	35.165	238,269.80	136,407.80	1,174.85	771,748.20
4.50	710.00	46.00	35.740	242,417.00	151,409.70	1,000.40	923,234.70
5.00	985.99	49.00	35.740	242,017.00	161,258.10	1,522.72	1,083,852.00
5.50	1,020.00	53.00	35.100	237,632.20	158,772.60	1,522.25	1,246,520.00
6.00	1,071.00	56.00	35.100	227,453.20	155,602.40	1,355.87	1,404,146.00

η = 4,037.50

EFICIENCIA=50.09

Una vez analizados los resultados obtenidos en la tabla 4.5 se procede a graficarlos para así hacer mas evidente su comportamiento con respecto al tiempo y así mismo compararlos entre sí. La palabra "promedio" que aparece en algunas gráficas indica que se trata de valores representativos de los resultados obtenidos.

En las figuras 4.3 y 4.4 se muestra el aumento lógico de la temperatura interna y de la cara fría con respecto al tiempo dándose los valores máximos al final de la quema.

En la figura 4.5 de tiempo contra calor producido, se observa que el calor presenta rangos constantes debido a que el flujo de gas en esos intervalos de tiempo se mantiene fijo. El máximo se observa durante la cuarta y quinta horas dándose una disminución después de estas, que continua hasta el final de la quema, tiempo que corresponde a la maduración.

En las figuras 4.6 y 4.7 se muestran las pérdidas de calor tanto por conducción como por los gases de combustión y en la figura 4.8 se pueden ver las pérdidas totales.

Las figuras 4.9 y 4.10 son gráficas comparativas, la primera muestra los porcentajes que representan cada una de las distintas pérdidas de calor mientras que la segunda compara el calor producido con el calor perdido total. La fig. 4.11 que se comporta como la fig. 4.5, nos muestra los intervalos en que el flujo de gas se mantiene constante.

FIGURA 4.3

TIEMPO VS TEMPERATURA INTERNA

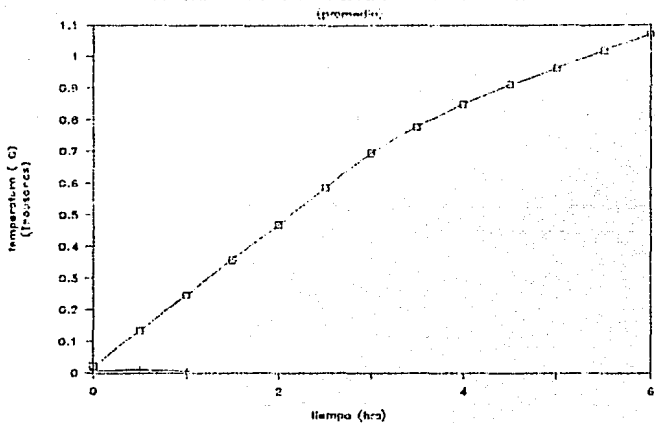


FIGURA 4.4

TIEMPO VS T. CARA FRIA
(promedio)

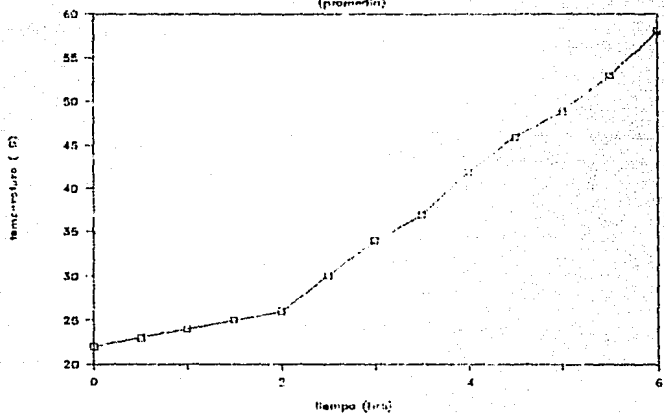


FIGURA 4.5

TIEMPO VS CALOR PRODUCIDO

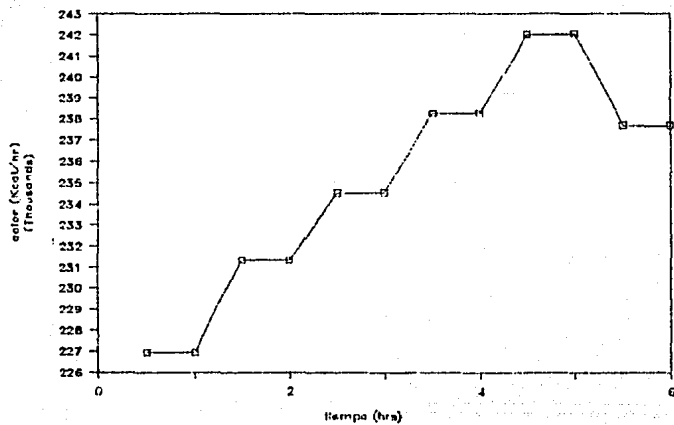


FIGURA 4.6

TIEMPO VS CALOR NO APROVECHADO

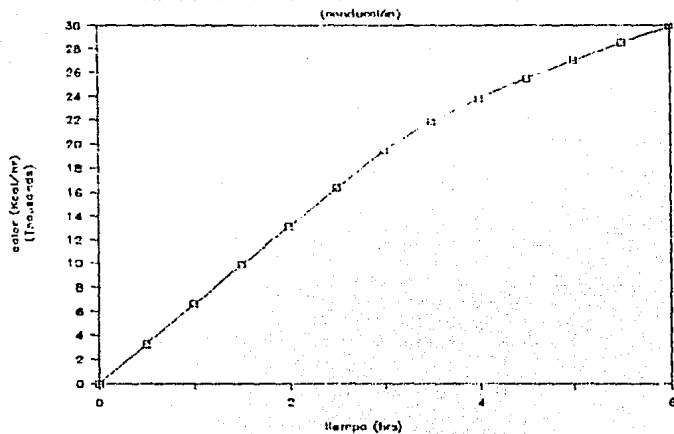


FIGURA 4.7

TIEMPO VS CALOR NO APROVECHADO (gases de combustión)

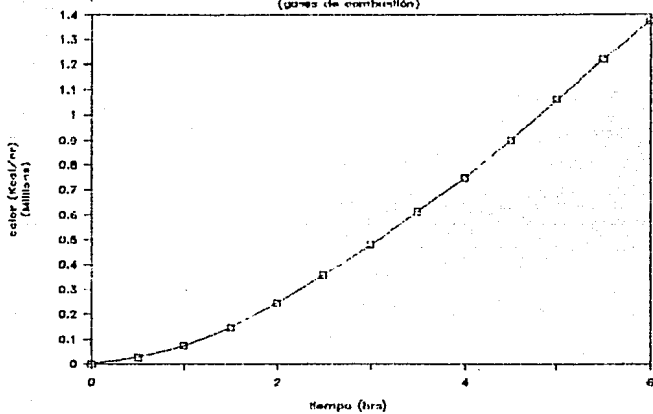


FIGURA 4.8

TIEMPO VS CALOR NO APROVECHADO

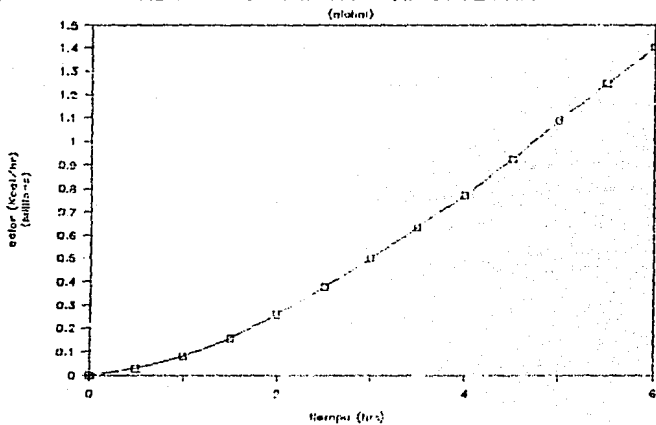


FIGURA 4.9

CALOR NO APROVECHADO

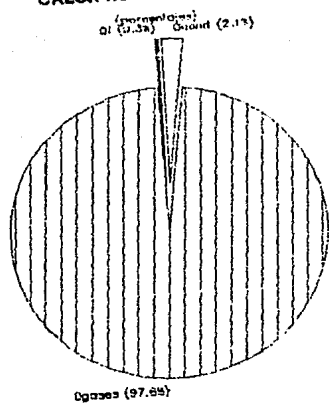


FIGURA 4.10

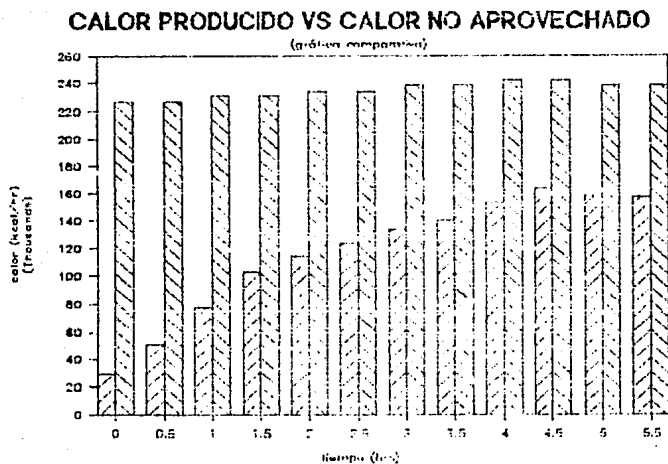
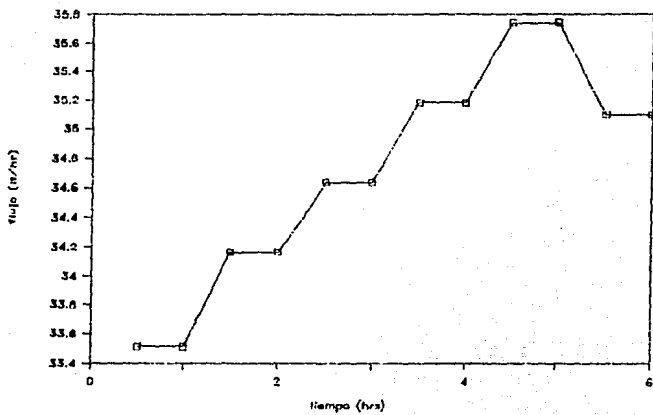


FIGURA 4.11

TIEMPO VS FLUJO DE GAS



CAPITULO V

ANALISIS ECONOMICO

En este capitulo se analizarán los resultados obtenidos anteriormente para determinar el lugar o los lugares precisos por donde se tienen las mayores pérdidas de calor, para así proponer varias alternativas que al mismo tiempo se estudiarán desde el punto de vista económico, para obtener la mas viable.

De acuerdo con los valores correspondientes a las pérdidas de calor mostrados en la tabla 4.5, se pueden proponer las siguientes alternativas como soluciones posibles:

1.- Recubrimiento de las paredes del horno con fibra cerámica a manera de aislante. Como podemos ver en la tabla anterior las pérdidas por las paredes no son significativas y representan tan solo un uno por ciento de las pérdidas totales.

2.- Reutilización de los gases de combustión: Se puede apreciar fácilmente en la misma tabla 4.5 que el grueso de las pérdidas se da por los gases de combustión a salir por la tronera. Es por esto que se pondrá especial atención en recuperar la mayor cantidad posible de calor. Se proponen a continuación tres alternativas:

a) Calentamiento de agua para servicios. Esta solución es poco práctica ya que la fábrica no requiere de agua caliente ni vapor en ninguno de sus procesos.

b) Canalización de los gases a un secador, que básicamente sería una cámara donde entraría el material húmedo antes de ser quemado. En la actualidad el proceso de secado se lleva a cabo acercando las piezas húmedas al horno caliente permaneciendo ahí durante 24 horas antes de ser introducidas a este, perdiendo gran parte de la humedad. La poca humedad con que quedan las piezas cerámicas, absorbe tan poco calor que el tratar de secarlas aún mas se refleja en un ahorro muy pequeño, poco costeable.

c) Aprovechar la alta temperatura a la que salen los gases de combustión para llevarlos a un cambiador de calor y precalentar así el aire que mas tarde se alimenta a los quemadores. Este cambiador de calor implicaría un ventilador para alimentar el aire y vencer la caída de presión que ocurre en el cambiador. Por otro lado se requiere una chimenea que de el tiro suficiente para sacar los gases de combustión frios.

Esta parecería ser la opción mas factible aunque es la que requiere de mas equipo, y por lo tanto de una mayor inversión. El equipo necesario sería:

- Campana recolectora de los gases de combustión.
- Intercambiador de calor.
- Chimenea que de el tiro suficiente para sacar los gases ya

fríos.

-Ventilador para alimentar el aire con presión suficiente para vencer las caídas de presión inherentes al equipo.

Como esta es la solución de la que se esperan mejores resultados se procederá a un análisis mas a fondo del equipo necesario. Siendo el intercambiador el principal equipo de esta alternativa se comenzará con el cálculo del mismo.

En la tabla 5.1 se muestran los resultados que se obtuvieron al calcular un intercambiador de calor de doble tubo propuesto para el servicio requerido.

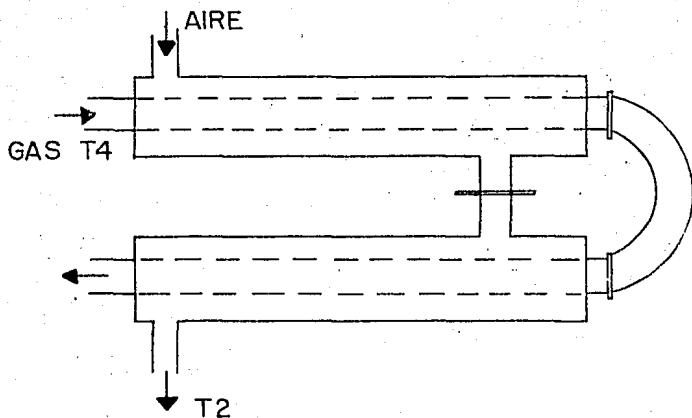
Basados en nuestro cálculos se pidieron cotizaciones de diversas compañías dedicadas a la fabricación de equipos comerciales obteniéndose los resultados siguientes:

Industrias Herdel:

Intercambiador de calor de aire tipo radiador para calentar el aire desde una temperatura ambiente hasta 450 C usando como medio de calentamiento gases de combustión de su proceso.

El precio es de: \$ 9'855,486.00 + IVA

Materiales de construcción: Cabezales y bastidor en acero al carbón, tubos flux de cobre tipo "M", y aletas de cobre.



CALCULO INTERCAMBIADOR DE CALOR

FLUJO DE AIRE (lb/hr)	FLUJO DE GAS (lb/hr)	T1 (F)	T2 (F)	DIAMETRO TUBO GRANDE (in)	DIAMETRO TUBO CHICO (in)	LONGITUD (ft)
2,223.68	2,339.27	1,616.00	759.28	2.00	1.25	107.00
2,223.68	2,339.27	1,616.00	759.28	3.50	3.00	101.55
2,223.68	2,339.27	1,616.00	759.28	3.00	2.50	132.24
2,223.68	2,339.27	1,616.00	759.28	4.00	3.00	125.00
2,223.68	2,339.27	950.00	1,299.09	3.50	3.00	25.83
2,223.68	2,339.27	950.00	1,299.09	4.00	3.00	22.85
2,223.68	2,339.27	950.00	1,299.09	4.00	2.00	51.72
2,223.68	2,339.27	950.00	1,299.09	3.50	2.00	41.51
2,223.68	2,339.27	950.00	1,299.09	3.00	2.00	33.654

EL P EN EL TUBO GRANDE= 7.00 lb/in2

EL P EN EL TUBO CHICO = 9.16 lb/in2

EQUIPO MAS ADECUADO.

El análisis económico se hará en base a la cantidad de calor que se pierde por la chimenea equivalente al flujo de combustible que genera ese calor. Este flujo transformado a pesos nos dará un estimado del monto de las pérdidas sufridas durante un año. Estas pérdidas comparadas con el monto de la inversión que representa el equipo descrito, nos dará el tiempo de recuperación de la inversión.

1.- Gasto total de gas (anualizado):

Costo del gas L.P.	\$ 180.36/ l	(comprado a un distribuidor al 28 de Febrero de 1989)
Quemas por mes	20	
Litros de gas por quema	420 l	

20 Quemas/mes * 12 meses/año * 420 l/quema * 180.36 \$/l =
\$ 18'180,288.00 al año.

2.- Monto de las pérdidas por la chimenea (anualizado):

Calor perdido por la chimenea	1,374,287 kcal
Poder calorífico del combustible	11,880 Kcal/Kg
Densidad del combustible	0.57 Kg/l

$$Q=WPC$$

$$W = (1,374,287.00/11,880)/0.57 = 203.00 l$$

$$135.87 l/quema * 180.36 $/l * 240 quemas/año =$$

$$$ 8'787,139.00 /año$$

3.- Ahorro por el cambiador (anualizado):

Calor recuperado por el cambiador 507,853 Kcal

$$W = (507,853/11,880)/0.57 = 75 \text{ l/quema}$$

$$75 \text{ l/quema} * 180.36 \text{ \$/l} * 240 \text{ quemas/año} =$$

$$\text{\$ } 3'246,480.00 \text{ al año}$$

4.- Tiempo de recuperación de la inversión:

Costo estimado del intercambiador \\$ 10'000,000.00

Cantidad recuperada anualmente \\$ 3'246,480.00

$$\text{Tiempo recuperación} = \$ 10'000,000/3'246,480.00$$

$$= 3,08 \text{ años.}$$

5.- Porcentaje de recuperación:

Inversión..... \\$ 10'000,000.00

Ahorro..... \\$ 3'246,480.00

$$\% \text{ Recuperación} = [\text{Ahorro}/\text{Inversión}] * 100$$

$$\% \text{ Recuperación} = [3'246,480/10'000,000] * 100 =$$

$$= 32.46\%$$

6.- Sensibilidad: Debido a la situación inflacionaria que vive el país se hace un análisis de sensibilidad suponiendo un aumento hasta de un 100% del gas L.P. y de un aumento de más del 50% de la inversión.

Los resultados se muestran en las figuras 5.1 y 5.2

FIGURA 5.1

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

L.P.G.

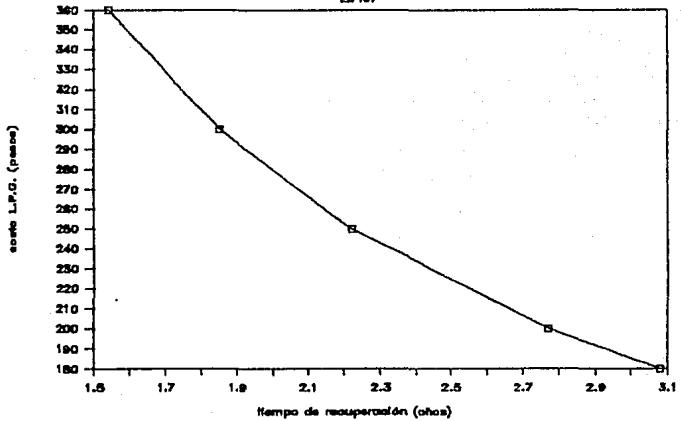
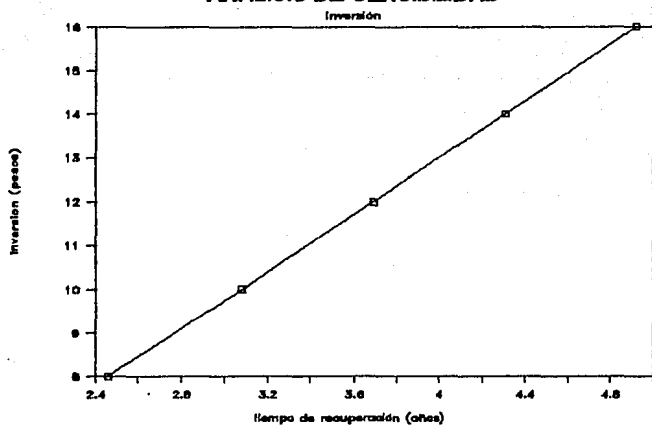


FIGURA 5.7

ANALISIS DE SENSIBILIDAD



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizada la investigación, así como el análisis de todos los factores que intervienen en la construcción, operación y control de un horno, habiendo evaluado el horno motivo de esta tesis y dado soluciones para resolver los problemas se llegó a las siguientes conclusiones:

1.- Un horno es un dispositivo en el que se convierte la energía eléctrica o química de un combustible en calor provocando transformaciones físicas o químicas en la carga debido al cambio de temperatura, por lo que se le considera como un reactor.

2.- Los hornos están constituidos generalmente por los siguientes elementos: Ladrillo refractario, cuya función es la de soportar los cambios de temperatura a los que se ve sometido; recubrimiento aislante que disminuye las pérdidas de calor por conducción; quemadores que, junto con los combustibles, proveen el calor necesario para el proceso.

3.- El horno de estudio es de tipo intermitente (batch), de solera móvil y tiro ascendente. Sus quemadores son de tipo

atmosférico, alimentados a baja presión y flama larga. La pared refractaria es de ladrillo A.P. Green tipo crown (alta alúmina) con un espesor de 30 cm. y el aislamiento está constituido por lámina de asbesto de 6 mm. El combustible utilizado es gas L.P. que se alimenta a temperatura atmosférica. Los gases de combustión salen a la atmósfera a través de dos troneras situadas en la parte superior de la bóveda.

4.- Para hacer y validar el modelo, se hicieron las siguientes mediciones: área de las paredes, espesores tanto del refractario como del aislante, cantidad de material alimentado, humedad del material alimentado, temperatura interna, temperatura de la cara fría, temperatura ambiente, temperatura de salida de los gases, flujo de los gases de combustión, composición de los gases de combustión, flujo del gas utilizado y tiempo de quema.

5.- Se buscó un modelo matemático que se adaptara al objetivo de esta tesis encontrándose muchos obstáculos debido a la gran cantidad de variables dependientes y la necesidad de establecer funciones que representaran su comportamiento, por lo que se diseñó un modelo de tipo estadístico, sencillo y práctico que no presenta problemas para el usuario, basado en ecuaciones sencillas de generación y transmisión de calor.

6.- El programa del método de evaluación está codificado en lenguaje BASIC y no representa en general ninguna complicación en cuanto a su comprensión, un conocimiento básico del lenguaje es

suficiente no solo para manejarlo adecuadamente sino tambien - como fue su intención al hacerlo- para modificarlo, ampliarlo o corregirlo de acuerdo con los requerimientos del usuario. El programa es flexible en el sentido de que con una sola instrucción adicional es posible conocer la historia térmica del horno o bien evaluar tan solo, su eficiencia global.

7.- El método de evaluación presentado representa un ahorro considerable de tiempo si se compara con el tiempo necesario para llevar a cabo esta evaluación manualmente. Una vez cargado el programa en la computadora, no se necesita mas que proporcionar los datos necesarios para efectuar la corrida del programa.

8.- Al analizar los resultados se observó que la mayor parte del calor se pierde con los gases de combustión por lo que se le dió mayor atención. Al mismo tiempo se observó que el horno es bastante eficiente comparado con hornos del mismo tipo.

9.- Tanto la instalación de un recubrimiento aislante como la instalación de un secador, son soluciones que poco han de economizar el costo de la operación del horno por lo que no son recomendables estas inversiones.

10.- La adquisición de un intercambiador de calor del tipo que se requiere, implicaría una inversión muy fuerte con respecto al ahorro esperado de combustible dándose un tiempo de recuperación de la inversión de 3.08 años, lo que nos hace pensar en la posibilidad de invertir este capital en alguna otra parte del proceso o incluso en el estudio del proceso mismo.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIA

- 1.- BROWN, G.G. y FOUST, A.S., "Unit Operations", John Wiley & Sons Inc., 1a. Ed., New York, 1951.
- 2.- BUDNIKOV, P., "The Technology of Ceramics and Refractories", The M.I.T. press, 1964.
- 3.- CRANE, "Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe", New York, 1965.
- 4.- DUDEROV, G., "Tecnología de la Cerámica y Materiales Refractarios", Ed. Hispanoamericana, Buenos Aires, 1949.
- 5.- ETHERINGTON, H. y ETHERINGTON, G., "Modern Furnace Technology", Griffin, 3a. Ed., New York, 1961.
- 6.- FISHENDEN, M. y SAUNDER, O.A., "An Introduction to Heat Transfer", Clarendon Press, Oxford, 1950.

- 7.- FOUST, A.S., "Principios de Operaciones Unitarias", C.E.C.S.A., 1a. Ed., México, 1979.
- 8.- GILCHRIST, J.D., "Hornos", Ed. Alhambra, Madrid, 1969.
- 9.- JIMENEZ, E. "Control de un Horno Intermittente para Cerámica", Tesis Profesional, UNAM, 1942.
- 10.- KERN, D.Q., "Procesos de Transferencia de Calor", C.E.C.S.A., 1a. Ed., México, 1980.
- 11.- LEEDS & NORTHRUP, "Optical Pyrometers", Leeds & Northrup, North Wales, Pa., 1970.
- 12.- MC NAIR, H.M., "Cromatografía de Gases", Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington D.C., 1981.
- 13.- MEZA, H., "Determinación de la Eficiencia Térmica de un Horno Túnel Utilizado para Quemar Refractarios" Tesis Profesional, UNAM, 1964.
- 14.- NORTON, F., "Cerámica para el Artista Alfarero", Cia. Ed. Continental S.A., México, 1960.
- 15.- NORTON, F., "Elements of Ceramics", Adison-Wesley Publs, 2a. Ed., Reading Mass., 1974.

- 16.- PERRY, R.H. y CHILTON, C.H., "Chemical Engineers' Handbook", 5th. Ed., Mc. Graw Hill, New York, 1973.
- 17.- PETROLEOS MEXICANOS, "Anuario Estadístico 1987", Instituto Mexicano del Petróleo, 1987.
- 18.- RUIZ, R.N., "Estudio Técnico Económico de un Secador por Atomización en una Planta de Productos Cerámicos", Tesis Profesional, UNAM, 1981.
- 19.- SINGER, F. y SINGER, S., "Cerámica Industrial", Ed. URMO, Bilbao, 1976. 3 Vol.
- 20.- SPEIRS, H.M., "Technical Data of Fuel", British Natl. Comete, World Power Conference, London, 1970.
- 21.- THRING, M.W., "The Science of Fuels and Furnaces", Capman & Hall, 1st. Ed., Washington, 1962.
- 22.- TRINKS, W., "Hornos Industriales", Ed. URMO, Bilbao, 1971.

ANEXO I

CONOS PIROMETRICOS

El método más sencillo y menos costoso de determinar las temperaturas de quema es el de usar los conos pirométricos. Son unas pequeñas pirámides de material cerámico hechas en series graduadas, de modo que a cierta temperatura y tiempo se ablandan e inclinan. Hay que recalcar que esos conos no miden la temperatura como tal, sino que más bien miden combinadamente temperatura y tiempo lo cual, al fin y al cabo, es lo que necesita saber el operador.

Se pueden obtener en el comercio tales conos, en distintas series, cada una de ellas convenientemente adaptadas a determinada condición de quema.

El número de serie y la temperatura correspondiente se muestran en las páginas siguientes.

RAYOS DE OPERACION DE REGISTRADORES DE CALOR-TRABAJO

		COMIS DE ORTON DE LOS ESTADOS UNIDOS				COMIS DE ORTON DE LOS ESTADOS UNIDOS	
C	F	C	F	C	F	C	F
REGIMEN DE NORMALIZACION (1) (2)				REGIMEN DE NORMALIZACION (1) (2)			
1205	2201		5	1370	2334	14	
1210	2210	7		1400	2352		14
1215	2217			1410	2370	15	
1220	2223			1420	2382		
1225	2237	8		1430	2406		
1230	2245		6	1435	2415		15
1240	2254			1440	2424		
1250	2292	9	7	1450	2442	16	
1250	2300	10	8	1460	2460		
1270	2319			1465	2459	17	15
1280	2336			1470	2476		
1295	2345	11	9	1475	2497		17
1290	2354			1480	2498		
1300	2372			1485	2705	18	
1302	2381		10	1490	2714		18
1310	2390	12		1500	2732		
1320	2408			1502	2741		
1325	2417		11	1510	2750		
1330	2426			1515	2759	19	
1335	2435		12	1520	2763	20	17
1340	2444			1520	2766		20
1350	2462	13	13	1535	2775		
1350	2480			1540	2804		
1370	2492			1550	2822		
1390	2510						

(1) CALIENTAS A 20 C/HORA
 (2) CALIENTAS A 150 C/HORA
 SINGER F. CERAMICA INDUSTRIAL, VOL. 2.

RANGOS DE OPERACION DE REGISTRADORES DE CALOR TRABAJO

C	F	CONDICIONES DE ESTADOS UNIDOS		C	F	CONDICIONES DE ESTADOS UNIDOS	
		REGIMEN DE NORMALIZACION (1)	GRIGN LER UNIDADES (2)			REGIMEN DE NORMALIZACION (1)	GRIGN LER UNIDADES (2)
559	1076			875	1643		011
585	1085	022		900	1652		
590	1094			903	1661		010
595	1103	021		910	1670		
600	1112			920	1688		
605	1121		022	930	1706	09	09
619	1130			935	1715		
615	1139		021	940	1724		
670	1149			945	1733	08	
625	1157	020		950	1742		08
630	1166	019		960	1760		
640	1174			970	1778		
650	1202		020	975	1787	07	
660	1220		019	980	1796		
670	1239	018		985	1805		
690	1256			990	1814		07
690	1274			1000	1832		
700	1292			1005	1841	06	
710	1310			1010	1850		
720	1329	017	016	1015	1859		06
730	1346			1020	1868		
735	1355	016		1030	1886	05	
740	1364			1040	1904		05
750	1382			1050	1922	04	
760	1400			1060	1940		04
770	1418	015	017	1070	1958		
780	1436			1080	1976	03	
790	1454			1090	1994		
795	1463	014	016	1095	2003	02	
800	1472			1100	2012		
805	1481		015	1110	2030	01	
810	1490			1115	2039		03
815	1499			1120	2048		
820	1508			1125	2057	1	02
825	1517	013		1130	2066		
839	1526		014	1135	2075	2	
835	1535			1140	2084		
840	1544	012		1145	2093	3	01
850	1562			1150	2102		
855	1571			1160	2120		1
860	1580		013	1165	2129	4	2
870	1599			1170	2138		3
875	1607	011	012	1180	2156	5	
880	1616			1190	2174	6	4
890	1634	010		1200	2192		

(1) C/LENTAR A 20 C/MORA

(2) C/LENTAR A 150 C/MORA

SINGER F. CERAMICA INDUSTRIAL, VOL. 3.