



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO  
DE COMBUSTIÓN**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A:**

**JUAN CARLOS HERRERA LOZANO**

**ASESOR: ING. DANIEL BONILLA SAPIEN**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**2005**

**m. 340557**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
 EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Diseño y Construcción de un Horno de Combustión"

que presenta el pasante: Juan Carlos Herrera Lozano  
 con número de cuenta 09309074-8 para obtener el título de  
 "Ingeniero Mecánico Electricista"

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 1 de junio de 2004

PRESIDENTE	<u>Ing. Filiberto Leyva Piña</u>	
VOCAL	<u>Ing. Daniel Bonilla Sapién</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. David García Carreto</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Angel Martínez Jiménez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Eusebio Reyes Carranza</u>	

## INDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.	
I. GENERALIDADES DE COMBUSTIÓN	
1. Principios de combustión	3
2. Energía o calor disponible	5
2.1 Coeficiente de conducción térmica	5
3 Gas L.P.	7
3.1 Características	8
3.2 Concepto físico	9
II. TIPOS DE QUEMADORES	
1. Quemadores industriales	10
2. Quemadores industriales de gas	12
2.1 Criterios genéricos de selección	12
2.2 Criterios específicos de selección y clasificación	13
3 Clasificación de llamas	17
3.1 Velocidad de propagación de flama	18
3.2 Estabilidad de flama	19
III. OPERACIÓN DE LOS COMPONENTES DE UN TREN DE COMBUSTIÓN	
1. Componentes principales	24
1.1 Tren de combustión	25
2. Operación de componentes	26
2.1 Principales reguladores de presión	26
2.2 Principales Válvulas	28
2.3 Dispositivos de vigilancia de flama	30

IV.	DISEÑO DEL QUEMADOR	
1.	Capacidad del horno	34
1.1	Cálculos	36
2.	Planos	44
V.	CONSTRUCCIÓN DEL HORNO	
1.	Construcción	52
2.	Panel de control (extra)	63
VI.	MONTAJE DEL QUEMADOR Y SUS COMPONENTES	
1.	Montaje general del proyecto	66
VII.	RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN SEGURA	
1.	Programa de seguridad en la operación	71
2.	Programa de mantenimiento preventivo	72
	CONCLUSIÓN	73
	DATOS TÉCNICOS GENERALES	
	BIBLIOGRAFÍAS	

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE COMBUSTIÓN.

Objetivo:

Construcción de un equipo prototipo que permita a nivel laboratorio familiarizar al alumnado en sus componentes diseño y operación.

## INTRODUCCIÓN

En la industria un horno es un lugar destinado a la producción de calor necesario para determinadas reacciones químicas.

Según el combustible o fuente calorífica que se emplean, los hornos se conocen como:

- Horno de combustión, a base de sustancias sólidas como el carbón vegetal, madera o hulla ( carbón de piedra que se congutina al arder y, calcinado en vasos cerrados da coque ); a base de sustancias líquidas como el butano, gasolina o gasoil; o gaseosas como el gas natural, o gas L.P.
- horno eléctrico, que se constituye de resistencias eléctricas
- Horno solar, en el que un sistema de espejos permite la concentración de la radiación solar.

De acuerdo a la forma de transmisión de calor, los hornos pueden ser de calentamiento directo donde el material se pone en contacto con el combustible, como es el caso del alto horno o indirecto donde el material entra en contacto con los gases de la combustión como es el caso del reverbero que consta de una parrilla donde se quema hulla.

El horno es un elemento principal de los tratamientos térmicos, un instrumento constituido por una caja susceptible de calentamiento y que permite el control de la atmósfera en el interior, la regulación del tiempo, temperatura y de las velocidades tanto de calentamiento como de enfriamiento.

En la actualidad el uso de hornos en la industria tiene diferentes tipos de utilidades, comercial o industrial dependiendo el proceso o las necesidades los encontramos en diferentes sectores como: Pintura, textil, panadería, plantas de regeneración de calor, cementera para el secado o deshidratación de granos o en la metalurgia para fundición o tratamientos térmicos (muflas), etc.

En este caso en particular se pretende el diseño y construcción de un horno de combustión a nivel laboratorio que permita familiarizar al alumno con sus componentes y operación; dicho horno funcionará con gas L.P. (Licuado de Petróleo) con sus respectivos componentes basado en propiedades de un horno comercial, realizando los cálculos pertinentes con el fin de que se logre su funcionamiento seguro y efectivo para practicas en el laboratorio de termofluidos del campo 4 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

## CAPITULO I.

### GENERALIDADES DE COMBUSTIÓN

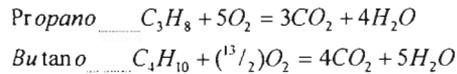
La energía tiene muy diversas manifestaciones, se presenta en forma de movimiento, calor, electricidad, radiación, entre otras. Sin embargo, la energía química se manifiesta cuando las sustancias reaccionan químicamente como en la excitación térmica de las moléculas dónde es liberado calor que tiene diversas aplicaciones en la vida diaria. Gases como el metano, etano, propano y butano pueden reaccionar con el oxígeno del aire que cuando ocurre la combustión, se obtiene dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor de agua y se desprende luz y calor. Se ha comprobado experimentalmente que la cantidad de energía calorífica desprendida o absorbida en las reacciones no es arbitraria, depende de la clase de combustible y de los productos de la reacción, de las cantidades empleadas así como de la temperatura y presión.

#### 1. PRINCIPIOS DE COMBUSTIÓN.

La combustión es, en realidad, una reacción química en la que los reactivos combustible y comburente desarrollan una reacción de oxidación exotérmica rápida que, por razones técnicas y de economía, debe ser completa y eficiente; los medios necesarios para dicha reacción en cuanto al combustible, lo que exige trabajar con un cierto exceso de comburente el cual provoca o favorece la combustión, pero ello de forma limitada para evitar pérdidas de calor en los productos de la reacción.

El control cuantitativo de la reacción se deberá hacer, en consecuencia, variando la alimentación de combustible; el exceso de comburente (aire), manteniendo su proporción con respecto al combustible empleado. Esto puede darse mediante una relación estequiométrica lo cual se refiere a la estequiometría, que es la parte de la química que trata de la aplicación de las leyes de las proporciones definidas y de la conservación de la materia y de la energía en los procesos y reacciones químicas.

Por ejemplo para el gas L.P. la reacción con el oxígeno esta dada por:



Por otra parte en los productos de la combustión pueden brotar elementos no deseados por el desarrollo de reacciones paralelas, lo que también puede controlarse conduciendo la operación de modo que tenga o no lugar en absoluto o que solo tenga en grado mínimo.

La combustión es considerada como la combinación violenta del oxígeno con combustible, resultando una liberación de calor.

La esencia de una eficiente combustión es lograr que cada molécula de combustible reaccione con una molécula de oxígeno para que libere el calor de la reacción en una proporción específica. En la combustión cuando se introduce más oxígeno, o menos combustible del necesario se excede la proporción de la mezcla, entonces el fuego se convierte en oxidante. El oxígeno de exceso no toma parte en el proceso, e igualmente como entró, sale.

Cuando se introduce menos oxígeno o hay exceso de combustible para la combustión, el fuego se convierte en reductor. Aquí el combustible de exceso no forma parte del proceso y se arroja a la atmósfera.

En la práctica el oxígeno se obtiene del aire, el cual está compuesto por: 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno, 0.94% de Argón y el resto de otros gases. Debido a que en el aire la proporción de oxígeno es menor que la del nitrógeno el volumen requerido de aire es mucho mayor que el requerido para oxígeno puro ya que el nitrógeno del aire no participa en la reacción de combustión, es solo un acompañante indiferente al proceso. Aún así el nitrógeno absorbe cierta cantidad de la energía calórica que se produce en la reacción; es decir, que una proporción de la energía calórica se disipa entre las distintas moléculas de nitrógeno que formaran parte de los gases de combustión. Esto origina una temperatura de llama más baja, si se utiliza aire en vez de oxígeno puro. El mismo fenómeno se presenta si se suministra exceso de aire.

## 2. ENERGÍA O CALOR DISPONIBLE.

El calor es una forma de energía llamada calorífica o térmica; mientras más energía calorífica tenga un cuerpo, más caliente estará.

El calor puede pasar o transferirse de un objeto o espacio a otro, de tres maneras distintas:

- Por conducción: cuando llega a un sólido, por ejemplo: al calentar una olla en la estufa.
- Por convección: cuando se calienta un aire o gas, por ejemplo: al utilizar una secadora para el cabello.
- Por radiación: cuando viaja por el espacio en forma de ondas, por ejemplo: la radiación que llega del sol.

### 2.1 Coeficiente de conducción térmica

Existen materiales que transfieren mejor el calor que otros por lo que se dice que son buenos conductores de calor; mientras que otros, por no conducirlo bien se les llama aislantes térmicos. Casi todos los utensilios que se usan para cocinar los alimentos o calentarlos están hechos con metales o cerámica, que son buenos conductores; mientras que los mangos de las ollas o sartenes contienen materiales aislantes, para evitar que se calienten demasiado y así puedan ser manipulados. Además de calentar algunos materiales, el calor también produce otros efectos en las cosas. El calor hace que los metales, líquidos y los gases cambien.

Algunos metales cuando se calientan se dilatan, es decir se hacen un poco más grandes y al enfriarse se contraen regresando a su tamaño original según sea su coeficiente de contracción térmica, incluyendo a líquidos y gases, que aunque casi no se nota, también se dilatan o expanden como consecuencia del calor, lo cual se debe al efecto del cambio de la densidad producido por el calor a nivel molecular.

El fenómeno de la influencia del exceso de aire en la temperatura de los productos de la combustión nos introduce al concepto de energía disponible.

La energía disponible se evalúa como el calor obtenido de la combustión perfecta de un combustible. Si mezclamos un combustible con la cantidad precisa de aire en una cámara cerrada donde recolectamos el calor obtenido y lo medimos, la cantidad de calor recolectado es la energía disponible y esta se relaciona con la temperatura de los productos de la combustión.

Por ejemplo: 1 pie<sup>3</sup> de metano quemado con la proporción perfecta de aire genera 1010 Btu (9.005 Kcal.) de energía, si los gases de combustión son enfriados hasta 60 °F ( 15.6 °C ); este mismo pie<sup>3</sup>, genera 911 Btu ( 8.110 Kcal. ) de energía. Si enfriamos los gases de combustión hasta 220 °F (105 °C); el primer valor de energía se conoce como poder calorífico superior, y al segundo se le conoce como calor específico inferior.

El calor desarrollado en la combustión es el calor de las reacciones de oxidación que tienen lugar en el proceso que, de forma global puede ponerse como:

Combustible + Aire = Productos + Calor desarrollado

En general, y así se ha hecho hasta ahora, el calor desarrollado se atribuye al combustible, lo que permite realizar los cálculos térmicos con el poder calorífico de éste:

$$\text{Poder } \circ \text{calorífico } \circ \text{del } \circ \text{combustible} = \frac{\text{Calor } \circ \text{desarrollado}}{\text{Combustible } \circ \text{utilizado}}$$

Del mismo modo que el calor de la reacción se atribuye a uno de los reaccionantes, también podría atribuírsele al otro, y definir así el poder calorífico del aire por:

$$\text{Poder } \circ \text{calorífico } \circ \text{del } \circ \text{aire} = \frac{\text{Calor } \circ \text{desarrollado}}{\text{Aire } \circ \text{mínimo } \circ \text{utilizado}}$$

Según este punto de vista, una cantidad dada de aire es capaz de desarrollar una cantidad de calor calculable por el producto de aquella cantidad por el calor específico del aire; esa

cantidad de calor depende en realidad de la naturaleza y composición del combustible, pero con los combustibles usuales, el poder calorífico inferior de aire es del orden de los 3 MJ/Kg. (  $\approx 2.92 \text{ MJ} / \text{Kg.}$  ).

De lo anterior podemos deducir que mientras mejor aprovechemos la energía disponible de la combustión, menor será la cantidad de combustible necesario para obtenerla. Así mismo mientras más exceso de aire se introduzca ( o menor la temperatura del mismo ) menor será la energía a obtener.

### 3. GAS LP.

El gas L.P. es un hidrocarburo, derivado del petróleo, que se obtiene durante el proceso de refinación de otro derivado denominado gasolina.

Este gas L.P. se le denomina licuado de petróleo por que se produce en estado de vapor pero se convierte en líquido mediante compresión y enfriamiento simultáneos de estos vapores, necesitándose 273 litros de vapor para obtener un litro de gas líquido.

El gas al ser comprimido y enfriado se condensa hasta convertirse en líquido en cuyo estado se le transporta y maneja desde las refinerías, a las plantas de almacenamiento y de estas a los usuarios ya sea por auto-tanques, tuberías o recipientes portátiles en donde el gas sale en estado de vapor para poder ser utilizado.

El Propano y el Butano son los principales gases que forman el Gas L.P. , que se distinguen entre sí por su composición química, presión, punto de ebullición y en su poder calorífico o de calentamiento.

Nota: un litro de gas líquido pesa aproximadamente  $\frac{1}{2}$  Kg. Y se transforma en 270 litros de vapor de gas.

El gas L.P. inmediatamente se evapora está listo para su consumo, pasando del estado líquido al gaseoso, sucediendo aquí el fenómeno inverso al de la licuación. Se consume en

forma de vapor en los quemadores de estufas, calentadores de agua, calefactores, quemadores de hornos. etc. Este vapor se produce al abrir la válvula de cualquier quemador conectado a un cilindro o almacén ya que en ese momento tiende a escapar la presión del recipiente, haciendo que hierva el líquido para formar más vapor. Si el consumo de gas se prolonga también continuará hirviendo el líquido, tomando calor necesario para ello del medio ambiente, a través de las paredes metálicas del cilindro, este tipo de gas tiene un poder calorífico de 41,290 BTU/Kg. De esta manera se consume el líquido, transformándose poco a poco en vapor hasta terminarse.

### 3.1 Características.

- Se produce en estado de vapor, pero se licua con cierta facilidad, mediante compresión y enfriamiento simultáneo.
- No tiene color. es transparente como el agua en su estado líquido
- No tiene olor cuando se produce y licua, pero se le agrega una sustancia de olor penetrante para detectarlo cuando se fugue, llamada etyl mercaptano.
- No es tóxico. solo desplaza el oxígeno, por lo que no es propio para respirarlo mucho tiempo.
- Es muy flamable, cuando se escapa y se vaporiza se enciende violentamente con la menor llama o chispa.
- Excesivamente frío, por pasar rápidamente del estado líquido a vapor, por lo cual, al contacto con la piel producirá siempre quemaduras de la misma manera que lo hace el fuego.
- Es limpio, cuando se quema debidamente combinado con el aire, no forma hollín, ni deja mal sabor en los alimentos preparados con él.
- Es económico. por su rendimiento en comparación con otros combustibles.
- Es más pesado que el aire, por lo que al escaparse el gas, tendrá que ocupar las partes más bajas, como el piso, fosas y pozos que haya en el área.

### 3.2 Concepto físico:

Tabla 3.1

GAS	PROPANO	BUTANO
FORMULA	$C_3H_8$	$C_4H_{10}$
Presión normal a temperatura ambiente.	9 Kg./cm <sup>2</sup>	2 Kg./cm <sup>2</sup>
Poder calorífico.	11657 Cal/Kg.	11823 Cal/Kg.
Punto de ebullición.	-42 °C.	0 °C.
Peso específico.	508 gr./L	584 gr./L

## CAPITULO II.

### TIPOS DE QUEMADORES

Los quemadores son los dispositivos que permiten realizar la reacción de combustión entre el combustible (sustancia reductora) y el comburente (sustancia oxidante) de manera controlada y regulable asegurando la aportación adecuada de ambos para conseguir la potencia calorífica especificada, o distribuyendo la zona de reacción (llamas) y la circulación de los productos de combustión de modo que se transfiera a la carga, del modo más eficiente posible todo el calor producido.

#### 1. Quemadores industriales.

En la industria actualmente hay quemadores tales como:

Los quemadores HiRAM de North American que son quemadores de alta velocidad de grandes capacidades que van desde 4,150,000 BTU/hr hasta los 25,000,000 BTU/Hr con aire estequiométrico a 16 OSIG.....

Los quemadores HiRAM generan una verdadera alta velocidad resultado del diseño del block de combustión el cual reduce el aire de salida. La velocidad de salida de los gases de combustión del block oscila entre 540 y 800 Km/hr generando un gran "momentum" que transfiere calor hacia la carga mientras los gases de combustión en el Horno se mueven en una relación de 7 a 10 veces el volumen de salida de los gases del quemador. Estos quemadores son apropiados para temperaturas hasta 1315°C, sin embargo pueden usarse para aplicaciones de calentamiento de aire desde 300°C . La aplicación de estos quemadores son en horno de reverbero de fusión de Aluminio y debido a lo reducido del área de descarga del block, los elementos internos del quemador están protegidos contra la radiación de la cámara del horno y del fenómeno de "splash" que ocurre cuando salpica el aluminio al incidir la flama y los gases a alta velocidad sobre la superficie del metal. Existe una versión del quemador HiRAM denominado LNI el cual esta diseñado para disminuir drásticamente las emisiones de Nox hasta 80% con respecto al quemador HiRAM estándar.

Los quemadores **TEMPEST** pueden lograr una alta homogeneidad de temperatura dentro del Horno y aumentan la penetración del calor a la carga porque tienen un diseño que produce una velocidad de salida de gases del quemador muy grande (hasta 384 Km/hr) recirculando los gases de combustión del horno hasta 7 veces su propio volumen, con lo que eliminan la necesidad de usar ventiladores de recirculación o sistemas de exceso de aire. Estos quemadores se suministran con un amplio rango de capacidades que van desde 71,600 hasta 2,175,000 BTU/hr. Cuando operan con aire a 16 OSIG en relación estequiométrica.

Los quemadores Tempest tienen un amplio rango de aplicaciones de temperaturas de servicio desde 300°C. hasta 1650°C. Los quemadores Tempest tienen una excelente aplicación en horno para cerámica y para ladrillo tipo túnel, en horno de carro abajo, para cerámica o para Tratamiento térmico, en pailas de galvanizado, en horno de crisol y en aplicaciones de calentamiento de aire y secado.

Los quemadores de flama plana producen una fuente de radiación uniforme en el techo o pared de donde son instalados, ya que la flama sale del block hacia los lados adyacentes del refractario de la bóveda o pared del horno. Teniendo una nula velocidad de gases hacia el frente, lo que forma un plato de radiación uniforme que convierte al refractario en una gran fuente de radiación que calienta la carga evitando los puntos calientes.

Los quemadores de flama plana de la denominada serie 4832 tienen capacidades que van desde 2,340,000 hasta 2,620,000 BTU/hr cuando operan con aire a 16 OSIG.

Estos quemadores se pueden suministrar con el block de combustión de material refractario en forma cuadrada o en forma de cuña, cuando van a ser montados en bóvedas tipo arco. Las aplicaciones de este tipo de quemador son en horno tipo campana para recocido, en hornos de sales, en hornos de recalentamiento de billets o planchones de acero, en hornos rotatorios, en tanques de galvanizado y patentado de alambre.

En el caso de los quemadores de la serie **Ecoflam Industriale**; al ser fabricados bajo las especificaciones individuales para cada caso o aplicación, puede contener tantos dispositivos como sean requeridos, incluyendo analizadores de oxígeno con regulación e impresión, distintos tipos de señales de modulación, recirculación de humos para aún más

bajo NO<sub>x</sub>, dispositivos de variación automática e instantánea de la cabeza de combustión según la potencia, compensador axial anti-vibraciones, control de tensión electrónico entre válvulas de seguridad. versiones para manejo de aire-combustión a alta temperatura, etc. y según sea el combustible utilizado, los quemadores los clasifican como de gas, de combustibles líquidos y de combustibles sólidos.

## 2. Quemadores industriales de gas.

Criterios de selección:

Para especificar el equipo de combustión se han de aplicar criterios de selección de carácter general relativos al quemador y de carácter específico, teniendo en cuenta la aplicación concreta y el tipo de horno.

### 2.1 Criterios genéricos de selección:

- Temperatura a alcanzar. Lo que implicará principalmente tasas de aireación, reciclado, precalentamiento, oxigenación.
- Naturaleza de productos de combustión. Selección del carácter oxidante o reductor de la atmósfera del horno, concentraciones de NO<sub>x</sub>.
- Flexibilidad de funcionamiento. Relación de potencia máxima y mínima a regulación nominal, que puede exigir modulación de tiempo de funcionamiento o la utilización de series de quemadores.
- Flexibilidad de regulación. Relación de las tasas de aireación extremas entre las que el quemador funciona correctamente.
- Ruido.

## 2.2 Criterios específicos de selección:

- Receptividad térmica del producto, que depende de la conductibilidad térmica, coeficiente de absorción de la radiación, superficie específica y oxidabilidad.
- Receptividad térmica del horno. Aislamiento térmico, inercia térmica, vestíbulos de precalentamiento de la carga, recuperadores de precalentamiento aire, paredes térmicas como crisoles, muflas, semimuflas y tubos radiantes.

### Clasificación.

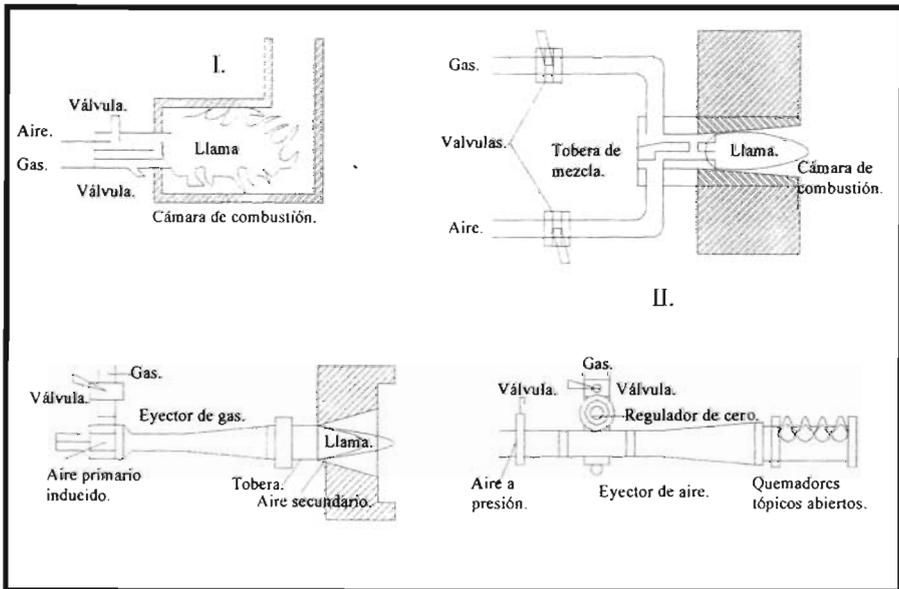
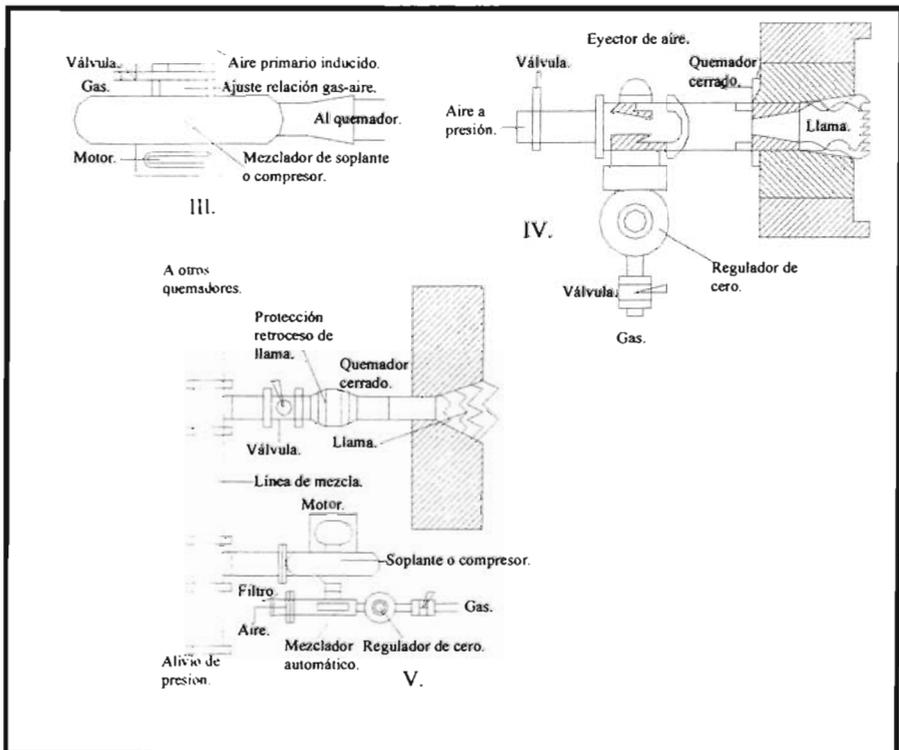


Figura 1. Clasificación de Quemadores.



Continuación figura 1. Clasificación de Quemadores.

Quemadores.

- Quemadores de premezcla a presión.
- Quemadores atmosféricos ( gas a presión que induce aire ).
- Quemadores oxi-gas.

Tabla explicativa de quemadores.

Tabla 3.2

Sistema y definición.	Forma de mezclado.	Método de control.	Tipo de quemador.	Aplicación típica.
I.- Alimentación aire-gas separadas.	No hay mezclado. Ambos llegan a presión.	Manual: dos válvulas. Automático: Presiones equilibradas y acoplamiento mecánico.	-----	Hornos de vidrio Hornos de caliza Grandes instalaciones.
II.- Mezcla en la boca.	En el punto de combustión ambos llegan a presión.	Como en I.	De mezcla en boca con bloque refractario.	Calefactores de aire. Hornos de tratamiento. Hornos de forja. Calderas.
III.- Premezcla parcial (requiere aire secundario).	Eyector de gas y aire atmosférico., Eyector de aire y gas a presión cero. Mezclado mecánico (ambos a presión cero).	Manual o automático.	Quemadores abiertos: toberas, inyectoros, lineales, rampa.	Aplicaciones en la que se acepta exceso de aire. Calentamiento.
IV.- Premezcla total por inducción.	Eyector de gas y aire atmosférico Eyector de gas y aire a presión cero.	Manual (variable) o automático (fijado).	Quemadores túnel cerrados. Quemadores abiertos.	Hornos de calentamiento. Hornos de fusión. Generadores. Calderas.

V.- Premezcla total con mezclador mecánico.	Soplantes, compresor, bombas ambos fluidos a presión cero.	Ajustable o fijo. Manual o automático.	Como en IV.	Como en IV si se requieren condiciones variables.
VI.- Combinación de equipos I a V.	En función de cada caso.			Procesos especiales.

Continuación Tabla 3.2

Valores del diámetro límite y de la distancia de seguridad para algunos gases combustibles:

Tabla 3.3

Combustible.	Diámetro límite mm.	Diámetro de seguridad mm.
H <sub>2</sub> (hidrógeno)	1	0.28
CO (monóxido de carbono)	2	0.56
CH <sub>4</sub> (metano)	3.3	0.93
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (propano)	3.4	0.96

Actualmente en la industria los quemadores de gas L.P. tienen ciertas características tales como:

- Una alta eficiencia de combustión que implica el ahorro de combustible.
- Un mayor nivel de equipo de seguridad.

Emissiones de gases de combustión dentro de las normativas (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>).

- Bajo NO<sub>x</sub>.
- Son de fácil instalación, calibración y mantenimiento.
- Cuentan con funcionamiento automático.
- Verificación electrónica del estado de sus componentes previa a la ignición.
- Tableros de control individuales de operación manual opcional.

- Funcionamiento silencioso y flexibilidad en operación de gas L.P. o natural sin cambio de boquillas o válvulas.

Además cuentan con diferentes tipos de operación tales como: On-Off; propios para uso dónde la presión de la cámara de combustión no es significativa, ni las variantes de la temperatura son tan estrictas, High-Low; que aumentan la eficiencia del sistema de combustión al operar sin apagarse durante todo el ciclo del proceso ahorrando combustible y mejorando las variantes de temperatura, High-Low-Progressive; con un alza y disminución de la potencia térmica de forma progresiva lo que permite vencer lentamente la contrapresión de la cámara de combustión y mejora las variantes o picos de temperatura en el proceso y Modulante, para temperaturas muy precisas, potencias y contrapresiones mayores en la cámara de combustión.

### 3. CLASIFICACION DE LLAMAS.

La llama es la zona o región en la que tiene lugar la reacción de combustión entre el gas combustible y el gas comburente.

Como esta reacción va acompañada de desarrollo de calor, los gases producidos adquieren temperaturas elevadas, con lo que emiten radiación en parte luminosa. De ahí que una de las acepciones de llama es precisamente la masa de gases incandescentes producidos por la combustión.

La localización de la reacción, que en sí es un proceso dinámico, puede ser o no estacionaria, lo cual solo tiene sentido si se definen previamente unas coordenadas de referencia, si el sistema de referencia es, por ejemplo, la mezcla de combustible y comburente, una vez iniciada la reacción por una chispa por ejemplo, ésta se propaga hacia la mezcla fresca con una velocidad que suele designar como velocidad de propagación de la llama; si a esta mezcla fresca se le imprime una velocidad igual y de signo contrario, la

llama aparecerá fija con respecto al sistema de referencia en relación al cual se mueven aquellos gases, por ejemplo, la boca de salida de un mechero.

En el estudio técnico de estos procesos se distinguen dos mecanismos posibles: la deflagración o combustión y la detonación, que pueden definirse como procesos en los que la reacción química está soportada por ondas subsónicas en el primer caso, y supersónicas en el segundo; si bien la detonación es un fenómeno inusual, o incluso inexistente, para ciertos gases como el gas natural.

### 3.1 Velocidad de propagación.

La velocidad de llama es objeto de estudio experimental usando principalmente los métodos conocidos por:

- Llamas cónicas estacionarias en tubos cilíndricos.
- Llamas dentro de tubos.
- Método de la burbuja de jabón.
- Explosión a volumen constante en recipiente esférico.
- Métodos de llama plana.

Estos métodos sólo se mencionan para dejar una constancia de variedad.

El efecto de la temperatura es doble, ya que tiene influencia en la velocidad de reacción (energía de activación) y en la difusividad, la cual altera proporcionalmente a  $T^{1.75}$ .

Existen formulas empiricas que dan una dependencia global de  $T^2$ .

$$U_L = 0.45 \times 10^{-5} \times T^2 + 0.06.$$

En el siguiente cuadro se muestran los valores de la velocidad de propagación de la llama en régimen laminar para mezclas de gas-aire. Los valores se dan en m/s y dependen de la proporción de gas aire.

Tabla 3.4

Gas	Valor Máximo $U_L$	Valor en Mezcla estequiométrica.
H <sub>2</sub>	3.46	2.37
CO (seco)	0.2	0.18
CH <sub>4</sub>	0.43	0.42
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.47	0.46
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.45	0.43

El efecto de la presión sobre la velocidad de propagación es  $U_L \approx p^{n-2}$ , siendo n el orden global de reacción. Como éste está comprendido entre 1.5 y 2.0 la velocidad puede bajar con la presión como se pone de manifiesto empíricamente.

El estudio teórico de las llamas turbulentas es complicado y se halla aún muy incompleto debido, fundamentalmente, a que no existe una modelización hidrodinámica de este flujo.

Por lo tanto puede decirse en resumen que:

- La velocidad de deflagración (combustión con llama y chispotorreo sin explosión) turbulenta  $U_T$  es mayor que la velocidad de propagación de la llama en régimen laminar  $U_L$ .
- El valor de  $U_T$  aumenta al aumentar la turbulencia por encima de la llama (se dice que en forma lineal).
- En llamas abiertas la variación de  $U_T$  con la composición es muy similar a la de  $U_L$ , y tienen un máximo próximo al estequiométrico.

$U_T$  se suele definir como el consumo másico de combustible dividido por el área de la llama y la densidad de los gases no quemados. A un que la definición de área entraña dificultades, ya que existen marcadas diferencias entre el área interna y la externa al frente de la llama.

Forma y longitud de la llama.

En las llamas de premezcla se observa un cono interno cuya superficie constituye el frente de la llama en el que tiene lugar la reacción del aire primario con la parte del combustible correspondiente; si la premezcla es total, la reacción acaba ahí, de lo contrario el resto de combustible sigue quemando en el llamado cono externo tomando aire secundario, o sea del exterior por difusión.

En general, el cono interno tiene una coloración azul, de ahí su nombre de cono azul debido a la presencia de radicales OH. Pero en mezclas con poco aire la tonalidad es verde. La longitud de la llama se calcula asimilándola al cono interior. Si se tiene en cuenta que el ángulo del cono es pequeño, la condición de estabilidad (siendo  $L$  la altura del cono,  $r$  el radio de la boca de salida y  $u$  la velocidad media).

$$\frac{u}{U_L} = \frac{L}{r}$$

Con lo que:

$$L = r \cdot \frac{u}{U_L}$$

Otros modelos que tienen en cuenta el perfil de la velocidad llegan al resultado de:

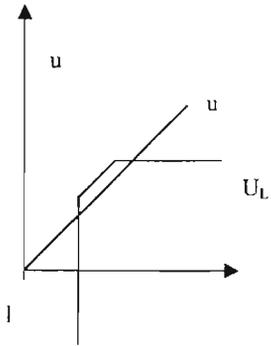
$$L = \frac{4}{3} r \cdot \frac{u}{U_L}$$

Nota: en la practica se encuentran valores comprendidos entre ambos.

### 3.2 Estabilidad de flama.

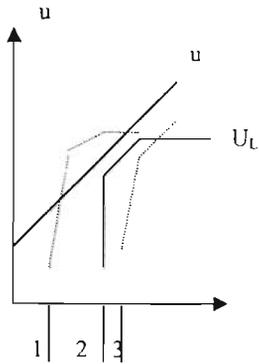
Aunque la proporción de mezcla gas-aire se halle dentro de los límites de flamabilidad, no siempre se consiguen llamas estables. Si se aumenta la velocidad de la mezcla de gases, la llama se separa de la boca de salida y puede incluso desprenderse y extinguirse. Por el contrario disminuyéndola y llegar incluso a prender antes de la boca de salida.

En los siguientes casos a). b) y c) se plantean 3 situaciones posibles de los perfiles de las velocidades en la boca de salida de un quemador. La salida de gases de la boca tiene un perfil de velocidades que también es nulo en la pared y crece hacia el centro del orificio (aproximadamente el perfil de  $u$  se dibuja recto pero es parabólico).



Caso:

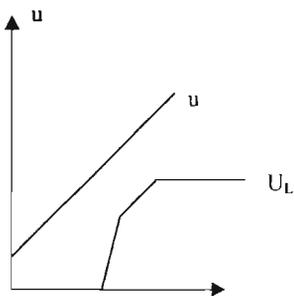
- a). La velocidad  $U_L$  supera a la de  $u$ , con lo que habrá retroceso de flama.



Caso:

- b). Situación estable.

1. distancia de inhibición de desprendimiento
2. distancia de extinción.
3. distancia de inhibición retorno.



Caso:

- c). Desprendimiento.

Debido al efecto de la pared, existe una distancia de extinción de llama  $l$  en la que no puede tener lugar la reacción y en la que la velocidad de propagación de llama es, por tanto, nula. La velocidad de salida de gases adoptó un perfil de tipo parabólico de modo que la velocidad local crece desde 0 en la pared hasta un máximo del eje.

En el caso **a)** la velocidad de propagación supera la salida de gases, con lo que el frente de llama retrocede; en el caso **b)** se igualan ambos valores y se estabiliza; en el caso **c)** la velocidad de salida supera a la de propagación, con lo que la llama se desprende.

El fenómeno no es tan simple como se ha expuesto, ya que existen fenómenos superpuestos: cuando la llama tiende a elevarse, por ejemplo, se altera el perfil de  $U_L$  (deflagración), varía la posición de la distancia de extinción y la llama sigue prendida. De hecho, se pueden calcular, además de la distancia de extinción, dos nuevas distancias, llamadas de inhibición de retorno de llama y de inhibición del soplado, dentro de cuyos márgenes se tiene estabilidad completa, lo cual nos internaría en otro punto un tanto ajeno a la naturaleza del proyecto.

## CAPITULO III.

### OPERACIÓN DE LOS COMPONENTES DE UN TREN DE COMBUSTIÓN

#### 1. COMPONENTES PRINCIPALES.

Un tren de combustión normalmente cuenta con diferentes tipos de válvulas, reguladores, tubería, accesorios, bridas, turbo ventiladores, etc.

Por ejemplo, Las válvulas, que son dispositivos para controlar o regular el arranque, parada y sentido así como la presión o el flujo del medio de presión, impulsado por una bomba hidráulica, un compresor, una bomba de vacío o acumulado en un depósito. La denominación de válvula es de significado superior -correspondiendo al uso internacional del idioma- para todas las formas de construcción tales como, válvulas de compuerta de bola, de plato, grifos. etc.; en la industria existen las llamadas válvulas de tipo mariposa, las cuales tienen una construcción robusta y se emplean normalmente para controlar el flujo de aire y combustión de baja presión. Las hay roscadas desde  $\frac{3}{4}$  a 6 pulgadas o bridadas desde 3 hasta 16 pulgadas con flujos que van desde 560 hasta 291,000 SCFH a 1 pulgada de caída de presión a una apertura de 70°.

Las válvulas comercialmente se pueden pedir por serie; por ejemplo las de las series 1123, 1124 y 1126 que son apropiadas para temperaturas de servicio con aire precalentado hasta 200°C. Para temperaturas de 200 a 370°C se deben especificar con designación H, es decir, 1122H, 1124H y 1126H las cuales cuentan con sellos de grafoil.

Para capacidades mayores se pueden suministrar válvulas de mariposa llamadas tipo wafer de las series 1136 y 1156 las cuales van instaladas como un sándwich entre 2 bridas. Estas válvulas se suministran en tamaños que van desde 6 hasta 42 pulgadas con flujos desde 9,650 hasta 1,760,000 SCFH con una caída de presión de 1 pulgada C.A. y a una apertura de 70°.

En el caso de los turboventiladores hay en la industria los que cuentan con el más amplio rango de capacidades en el mercado (55 a 30, 000 cfm y de 4 a 44 psi) para cumplir las necesidades de combustión, secado y otros procesos industriales. Se dispone de altos flujos volumétricos ya sea a 1800 ó 3600 rpm. con diseño de simple o múltiple etapa para cumplir la mayoría de las necesidades que se presentan en la industria. Estos turboventiladores están diseñados para proporcionar curvas de operación planas que minimizan las variaciones sobre el rango de operación del ventilador. Además cuentan con una extensa gama de accesorios los cuales incluyen filtros, silenciadores, juntas flexibles, dampers a la succión, variadores de velocidad y arrancadores. Estas opciones ofrecen la protección necesaria para mantener los costos de operación bajos e incrementan la vida útil del ventilador.

#### 1.1 Tren de combustión.

Es utilizado principalmente para controlar y asegurar el correcto funcionamiento del proceso, que el desarrollo del calor sea el adecuado mediante el control del caudal del combustible, que la proporción utilizada de cada combustible sea la más conveniente, mantener la proporción de aire-combustible en los límites prefijados en todos los regímenes de marcha y que la presión del hogar o cámara de combustión permanezca dentro del margen especificado.

En los sistemas de operación está justificado disponer de un conjunto de bloques que impidan que pueda producirse una mezcla explosiva en el recinto de un hogar o cámara de combustión; por tanto antes de proceder a la alimentación del combustible, la cámara de combustión se purga con aire durante un tiempo suficiente como para asegurar que la concentración de combustible se haya reducido a valores por debajo del límite inferior de explosividad, dicho tiempo depende del tamaño de la cámara de combustión.

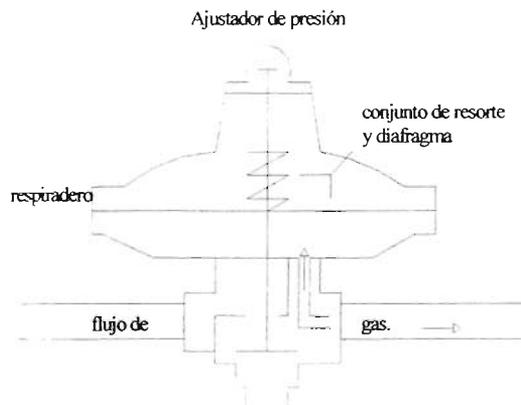
El flujo de calor del proceso de combustión vendrá solicitado a partir de una señal determinada, adecuada al proceso de que se trate (una temperatura o una presión) la cual actuará sobre el controlador del caudal de combustible alimentado.

El control del aire aportado para la combustión tiene gran importancia ya que se debe asegurar que un exceso, siempre necesario en los procesos normales, para que la combustión sea completa y no se produzcan inquemados, no sea demasiado alto, en detrimento (disminución leve) del rendimiento (factor de utilización bajo). Por otro lado el caudal de combustible ha de venir regulado por la demanda de calor el caudal de aire deberá ajustarse a aquel. de donde se sigue que el control de éste se realiza sobre la relación combustible-aire.

## 2. OPERACIÓN DE COMPONENTES.

### 2.1 Reguladores de presión más utilizados.

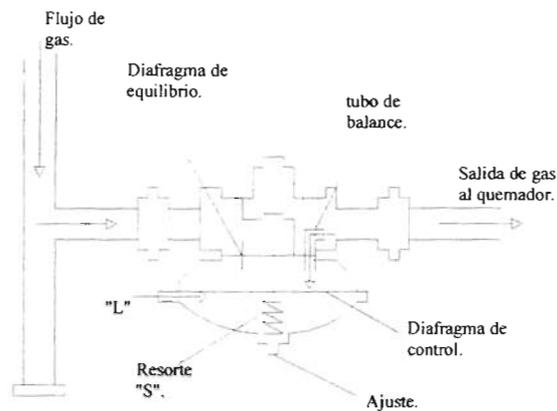
Regulador de presión simple.



Este tipo de regulador mantiene un abastecimiento de gas a presión constante. Se usa normalmente en sistemas con piloto.

Su funcionamiento reside en el conjunto de resorte y diafragma ya que con el ajustador de presión que se encuentra en la parte superior del regulador, se ajusta apretando o liberando la presión en el resorte dejando así salir el gas a la presión deseada.

Regulador atmosférico.



Este tipo de regulador es cargado por el mediador de control de aire, luego por el resorte de presión, da una salida de presión al quemador igual a la presión en "L", mas o menos como la del resorte ajustable "S".

Este tipo de regulador es manejado por el conjunto "neutral" soportado en el interior.

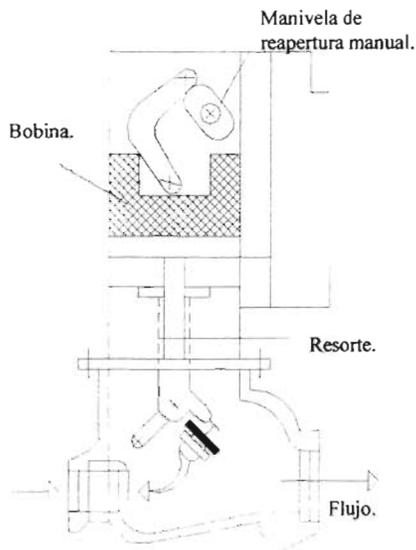
El balanceo del diafragma minimiza el efecto de presión de entrada para cambios de presión a la salida.

## 2.2 Válvulas más utilizadas.

### Válvula de cierre automático.

Como su nombre lo indica, estas válvulas operan normalmente en posición abierta, por lo que son de paso total para evitar pérdidas de carga.

Cierran automáticamente en caso de recibir la señal de fallo de llama o cuando falla la corriente; son de seguridad positiva (la seguridad se llama simple si solo actúa al detectarse el fallo), su reapertura suele ser manual, para evitar falsas maniobras.



Deben presentar las siguientes características:

- No deben ser bloqueables manualmente en posición abierta, ya que en esta posición se hallan en situación de actuar asegurando el sistema.
- Deben cerrar herméticamente, pues de otro modo podría acumularse gas en el hogar estando cerrada. Para asegurar que eso no ocurra en ningún caso, se instalan 2 válvulas en serie, con un dispositivo de muestra a la atmósfera intermedio; al cerrar ambas, el tramo de conexión intermedio se conecta a la atmósfera.
- Deben ser sensibles a cualquier fallo del sistema, es decir, que cierren en caso de corte de corriente, fallo de presión de aire, fallo de gas o combustible, etc.
- Deben ser de reapertura fácil, para facilitar la operación, ya sea manual o automática.
- Conviene que puedan cerrarse manualmente; y que dispongan de un interruptor auxiliar.
- Pueden ser de apertura manual, si el sistema se diseña de modo que el encendido lo realice un operario; también pueden ser de reapertura automática si el sistema se prevé con ciclos programados de encendido.

Estas válvulas realizan el cierre en los siguientes casos de fallo a que antes se ha hecho referencia de modo genérico:

- Soplante del aire de combustión o atomización en caso de paro de la misma, se interrumpe la señal a la válvula y ésta se cierra.
- Fallos de la característica controlada: temperatura, presión de un vapor, etc.
- Fallo de la presión del aire del quemador (presostatos de aire).
- Fallo de la presión del combustible en el quemador (presostatos de combustibles).
- Fallo de la corriente en el detector de llama (fotoceldas).
- Fallo de la corriente en otros controles (nivel de agua, sobrepresión etc.).
- Fallos de las características que se consideren críticas en cada sistema.

En algunos casos, y esto se debe considerar en el diseño específico de la instalación de que se trate, la señal del fallo pasa por un temporizador cuyo objeto es retrasar la maniobra del cierre de un tiempo breve que evite la misma en caso de que el fallo se elimine durante este

lapso de tiempo, ya que de lo contrario, debería procederse a la reapertura, manual o automática, siempre lenta.

Válvulas de supervisión.

En el caso de hogares con quemadores múltiples, éstas válvulas corresponden una a cada quemador, las cuales se bloquean automáticamente cuando se activa la válvula de cierre automático. Si al intentar remontar éstas alguna de las válvulas de supervisión está abierta la válvula de cierre automático vuelve a cerrar. Con ello se logra tener bloqueado el sistema, de modo que la maniobra de encendido consiste en abrir manual o automáticamente la válvula de cierre rápido con todas las válvulas de supervisión cerradas; y a continuación, abrir una a una estas últimas válvulas, para proceder al encendido de cada quemador.

### 2.3 Dispositivos de vigilancia de flama.

Se denominan también sensores o detectores de llama cuyo uso es imprescindible en sistemas por debajo de los 760°C; son dispositivos sensibles a la llama y permiten generar señales que directamente o amplificadas, actúen sobre la válvula de cierre rápido.

Los principales sistemas utilizados, su principio de funcionamiento y el campo de aplicación son los siguientes:

- BIMETALES. Se basan en la deformación producida por el calor sobre un componente metálico constituido por dos metales de distinta dilatación térmica (arqueo de una lamina bimetálica, movimiento de un anillo o resorte, etc.) su uso está limitado a algunos aparatos de uso doméstico.

- **TERMOPARES.** Su principio reside en la propiedad que presentan dos metales de distinta naturaleza de crear una fuerza electromotriz por efecto del calentamiento del punto de soldadura, puede aplicarse en hornos de trabajo no rudo.
- **FOTOCÉLULAS.** Un material como el sulfuro de cadmio, genera una fuerza electromotriz al incidir sobre ella radiación visible. En el caso de la detección de llamas su inconveniente reside en que pueden seguir actividades, en caso de exhibición de aquellas, si siguen recibiendo radiación de otras fuentes (paredes al rojo por ejemplo).
- **DETECTORES DE INFRARROJO.** El sulfuro de plomo, por ejemplo, es sensible a la radiación del mismo modo que el sulfuro de cadmio lo era a la radiación visible. Se utilizan sobre todo para detectar fluctuaciones de llama.
- **ELECTRODO DE LLAMA.** Aquí se utiliza la propiedad que tienen los gases ionizados de rectificar una corriente alterna; como las llamas contienen iones, presentan aquella propiedad. Los electrodos se deben situar en la intersección de la llama piloto y principal. Se emplean en quemadores de gas. No son aplicables en llamas reductoras o poco estables, si son de geometría variable, si la temperatura es baja o si los electrodos están sometidos a radiación.
- **DETECTORES ULTRAVIOLETA.** Todas las llamas emiten una pequeña cantidad de radiación ultravioleta. Como existen sensores de ultravioleta (UV) que son insensibles a la radiación visible e infrarroja, no existe la posibilidad de que sigan activados por otras causas al extinguirse la llama. El sensor de UV ha de situarse en la raíz de la llama, ya que de otro modo, su sensibilidad quedaría comprometida, al ser opacos a la radiación UV, el vapor de agua y los productos de la combustión en general. En el caso de que el sensor tenga que protegerse, se ha de utilizar vidrio de cuarzo, ya que este es transparente a la radiación UV.

El objeto del control consiste fundamentalmente en interrumpir el suministro de combustible en caso de detectarse la extinción de la llama, evitando así que pueda formarse una mezcla explosiva de combustible-aire, que podría dar lugar a una explosión incontrolada.

Nota: La existencia de un piloto no proporciona la suficiente seguridad, ya que también él puede apagarse, o incluso encendido no ser capaz de volver a encender con prontitud suficiente una llama apagada, o por no poder hacerlo debido a una inadecuada relación aire-combustible.

En cualquier caso, mejor que un piloto permanente se recomienda un piloto intermitente programado que comprueba sus efectos asegurando un purgado previo. El mejor sistema de seguridad consiste en un detector de llama, que en caso de fallo de detección de la misma provoca el corte instantáneo del suministro de combustible mediante una válvula de cierre rápido.

Existen sistemas de supervisión que pueden ser programados o no programados; los primeros consisten en uno o más dispositivos de supervisión que proporcionan la correspondiente protección. En el periodo de puesta en marcha, detectan la presencia de la llama piloto en el punto adecuado para el encendido, con lo que desbloquean la válvula de cierre rápido, y permiten su reapertura; una vez encendida la llama principal, se recomienda que el sistema apague el piloto y la vigilancia se ejerza sobre la llama principal. Si esta falla, se produce el cierre instantáneo de la válvula de cierre automático, y se reanuda el proceso en presencia del operario.

Los sistemas no programados son similares a los anteriores, pero prevén periodos de purga, post-purga y reencendido automático sin requerir la presencia de ningún operario.

Ejemplo de sistema programado de encendido por chispa:

- Comprobación del caudal del aire. Asegurar que los presostatos funcionan cuando la presión del aire supera el valor admisible y la del gas se haya entre el mínimo y máximo tolerados.
- Funcionamiento del temporizador. Con lo que se da tiempo suficiente para que se produzcan cuatro renovaciones de aire en la cámara de combustión.
- Activación de los solenoides del piloto y de la fuente de ignición eléctrica.

- Se prueba el encendido de la llama piloto mediante chispa; se comprueba que la llama piloto se mantiene durante 15 segundos, si no se mantiene, se desactivan los solenoides y se debe remontar a mano para reiniciar.
- Encendido el piloto, se activa el circuito que permite la apertura manual o automática de la válvula de cierre rápido, así como del cierre rápido de la llave de venteo.
- A los 15 segundos de encendida la llama principal se desactivan las llamas piloto y se cierran.
- Se comprueba la llama principal.
- Se pasa a control por regulación del sistema.

Nota: Es muy importante realizar programas periódicos de mantenimiento preventivo de los controles y sistemas de seguridad, ya que al ser poco frecuente su uso operativo se tiene propensión al abandono con lo que se hacen inseguros; contradictorio a su objetivo.

El sistema de encendido manual con llama (antorcha), es recomendado en equipos que requieren encendido frecuente.

En los demás casos, se recomienda un sistema automático, que pueda operarse también manualmente.

En equipos industriales se recomienda encendido por chispa o descarga eléctrica entre dos electrodos, o un electrodo y masa o quemador colocado adecuadamente para la ignición.

Los transformadores de encendido proporcionan una salida de entre los 6 y los 11 KV con una alimentación de los 120 a 220 volts.

## CAPITULO IV.

### DISEÑO DEL QUEMADOR

#### MEMORIAS DE CALCULO.

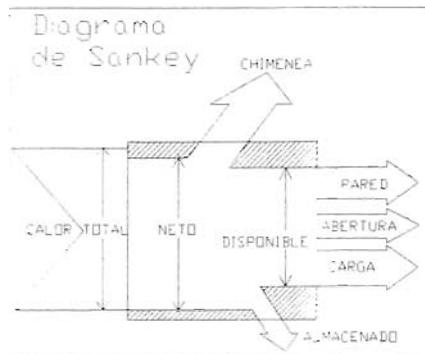
##### 1. CAPACIDAD DEL HORNO:

Pérdidas de calor:

El calor cedido por un combustible se utiliza en un horno para:

- Calentar la masa de material refractario del cual está construido el horno ( pérdidas de calor por paredes ).
- Calentar el aire y el combustible que alimentamos al horno para efectuar la combustión ( pérdidas de calor por chimenea ).
- Pérdidas de calor por radiación a través de mirillas, bocas de carga o de trabajo, rendijas, fisuras, etc. ( pérdidas de calor por aberturas )
- Calentar el producto ( calor a la carga ).

Lo cual, se puede representar gráficamente de la forma:



Gráfica 4.1 Diagrama de Sankey

Este diagrama nos muestra las salidas de calor para el horno en cuestión, el ancho de las flechas representa la cantidad de calor aproximado perdido por las correspondientes salidas.

Chimenea - Paredes – Abertura - Carga – Almacenado.

\*La gráfica anterior denota valores porcentuales aproximados según el catálogo de Ingeniería, Servicio y Equipo para Hornos Industriales de la empresa NUTEC. Jardín de San Jerónimo #225 SUR apartado postal 5332 C.P. 64000 Monterrey, N.L. México.

Tel. ( 83 ) 48 88 88 - 48 74 60 Fax. ( 83 ) 48 32 33.

Las operaciones siguientes se han realizado por un método simplificado llamado método de pulgadas equivalentes, el cual consiste en comparar la conductividad térmica de diferentes materiales, en nuestro caso se compararon, la fibra cerámica con el tabique refractario; dado que este último es el más utilizado en la industria; basándonos en las tablas respectivas del North American Combustion Hand Book según se cita después de cada calculo obtenido.

1.1 Cálculos correspondientes:

$$Q_{\text{pared}} = q_{FC} \times \text{Area o de o pared.}$$

$$Q_{\text{pared}} = (490 \frac{BTU}{FT^2}) (1.90 \text{ ft} \times 1.23 \text{ ft}) (4) + (1.23 \text{ ft} \times 1.37 \text{ ft}) (2)$$

$$Q_{\text{pared}} = (490 \frac{BTU}{FT^2}) (12.72 \text{ ft}^2) = \mathbf{6232.80 \frac{BTU}{FT^2}}$$

El primer valor es la pérdida de calor para 2" de espesor de fibra cerámica en cara caliente, el cual es valor de tablas establecido por el North American Combustion Hand Book de la tabla 4.15a en la Pág. Núm. 107, valor aproximado a 2000°F estimado para el horno en cuestión; en el cual se considera una equivalencia a 28.7 pulgadas de espesor de tabique refractario.

El segundo valor es el área de pared del horno, las cuales son: 4 referente al piso, techo y paredes laterales; y 2 referente a la tapa frontal y posterior por las cuales existen pérdidas de calor denominada – pérdida de calor por paredes-.

$$Q_{\text{carga}} = \text{peso del material} \times \text{calor absorbido por la carga.}$$

$$Q_{\text{carga}} = (2.20462 \text{ lb.}) (330 \frac{BTU}{lb}) = \mathbf{727.52 \frac{BTU}{lbr.}}$$

El primer valor es el peso equivalente de la carga (1Kg.).

El segundo valor es el calor absorbido por la carga en BTU por libra, establecido por el North American Combustion Hand Book de la gráfica A.7 en la pagina núm. 240.

$$Q_{\text{total generado}} = (\text{calor de la carga} + \text{pérdida de calor en paredes})$$

Factor aproximado de pérdidas de calor según  
el North American Combustion Hand Book.

$$Q_{\text{total generado}} = (727.52 + 6232.80) \text{ BTU} = \mathbf{13920.64 \frac{BTU}{lbr.}}$$

0.5

Caudal de gas.

$$\text{Caudal} = \frac{\text{calor o total}}{\text{poder o calorífico o del o gas}}$$

$$Q = \frac{Qt}{P.C.G.}$$

$$Q_{\text{gas}} = \frac{13920.64 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{2524 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^3}} = 5.51 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr.}} \quad \text{de gas L.P.}$$

Caudal de aire = proporción de la mezcla (relación estequiométrica) × caudal de combustible.

Proporción de mezcla o relación estequiométrica para una optima combustión según tablas del North American Combustion Hand Book, es de **23.8** volúmenes de aire por volumen de gas.

$$Q_{\text{aire}} = (23.8)(5.51) = 131.14 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr.}} \quad \text{flujo de aire.}$$

Por lo que el flujo total de gases a través del quemador está dado por:

$$Q_{\text{mezcla}} = \text{flujo de gas} + \text{flujo de aire} = 131.14 + 5.51 = 136.91 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr.}} \quad \text{flujo total.}$$

En los cálculos siguientes para el quemador en cuestión se utilizó el número de Reynolds; dado que este número adimensional es dato utilizado en catálogos de tipo comercial, podemos utilizarlo para lograr similitud de las mismas condiciones de flujo estable tanto a fuego alto como fuego bajo, y así poder conservar los mismos límites de flamabilidad para no tener problemas de ahogamiento de la flama al conservar el número de Reynolds de un quemador más grande. Según el combustible a utilizar, en nuestro caso gas L.P., debe operar entre 2.4 para fuego bajo y 9.5 para fuego alto, valores son adimensionales y denotan el porcentaje de volumen en mezcla según el North American Combustion Hand Book para que opere en condiciones seguras.

Cálculos para el diámetro del quemador basándose en un quemador de catálogo comercial.

Conversión de unidades de la mezcla total para facilitar el manejo de unidades con la del quemador del catálogo.

$$Q_{\text{mezcla}} = \left( 136.91 \frac{ft^3}{hr.} \right) \left( \frac{0.3043}{1ft} \right)^3 \left( \frac{1hr}{3600s} \right) = 1.07 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}.$$

Datos y cálculos para el quemador de catálogo:

Para Fuego Bajo  $\rightarrow \phi = 0.127m$ .

$$Q = \left( 160 \frac{ft^3}{hr.} \right) \left( \frac{0.3043}{1ft} \right)^3 \left( \frac{1hr}{3600s} \right) = 1.25 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}.$$

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{caudal}}{\text{Area}}$$

$$V = \frac{1.25 \times 10^{-3}}{\frac{\pi(0.127m)^2}{4}} = 0.099 \frac{m}{s}$$

$$\text{Número de Reynolds} = \frac{(\text{velocidad})(\text{diámetro})(\text{densidad})}{\text{viscosidad dinámca}}$$

$$NR = \frac{VD\rho}{\mu}$$

Datos de tabla de propiedades del aire para condiciones estándar a nivel del mar;  
Mecánica de fluidos, Mott

$$\rho = 1.225 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\mu = 1.789 \times 10^{-5} Pa \cdot s$$

$$NR = \frac{\left(0.099 \frac{m}{s}\right)(0.127m)\left(1.225 \frac{Kg}{m^3}\right)}{1.789 \times 10^{-5} Pa \cdot s} = 860.92$$

Para Fuego Alto, mismo diámetro y siguiendo el mismo procedimiento:

$$Q = \left( 2100 \frac{ft^3}{hr.} \right) \left( \frac{0.3043}{1ft} \right)^3 \left( \frac{1hr}{3600s} \right) = 0.0165 \frac{m^3}{s}.$$

$$V = \frac{0.0165 \frac{m^3}{s}}{0.0126m^2} = 1.302 \frac{m}{s}.$$

$$NR = \frac{\left( 1.302 \frac{m}{s} \right) \left( 0.127m \right) \left( 1.225 \frac{Kg}{m^3} \right)}{1.789 \times 10^{-5} Pa \cdot s} = 11383.32$$

Cálculos para quemador a diseñar.

$$Re = \frac{(4)(caudal)}{(Viscosidad.cinemática)(\pi)(diámetro)}$$

$$Re = \frac{4Q}{\nu \pi D} \quad \text{Ecuación de Reynolds} \quad \rightarrow \quad D = \frac{4Q}{Re \pi \nu}$$

$$v = 1.46 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} \text{ viscosidad cinemática estándar del aire.}$$

Para fuego Bajo:

$$D = \frac{4(1.07 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{(1.46 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s})(860.92)(\pi)} = \mathbf{0.108m.}$$

\*  $1.07 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$ : Caudal calculado para horno en construcción.

Conversión de unidades a pulgadas:

$$0.108m = (108mm) \left( \frac{0.03937 \text{ pulg.}}{1mm.} \right) = \approx \mathbf{4.25 \text{ pulgadas.}}$$

Para Fuego Alto:

$$D = \frac{4(1.07 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{(1.46 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s})(11383.32)(\pi)} = 8.20 \times 10^{-3}m \rightarrow \mathbf{82mm.}$$

$$(82\text{mm}) \left( \frac{0.03937 \text{ pulg.}}{1\text{mm.}} \right) = 3.23 \text{ pulgadas.}$$

$$\text{Promedio } \frac{(4.25 + 3.23)}{2} = \mathbf{2.28 \text{ pulgadas.}}$$

Por convención el diámetro interior del quemador será de 2 pulgadas.

Relación del diámetro del quemador con el diámetro de los hoyos de distribución.

Diámetro de placa del quemador de catálogo: 5 pulgadas.

Diámetro de los hoyos de distribución de la placa:  $\frac{1}{2}$  pulgada.

$$\text{Relación} = \frac{5}{1/2} = 10. \quad 10:1$$

Diámetro de placa del quemador a construir: 2 pulgadas.

$$\text{Relación } \frac{2}{x} = \frac{1}{10} = 0.2.$$

$$0.2 = 1/5 \quad \rightarrow \quad 5/32 = 0.15625$$

Por convención la broca comercial más cercana a la medida es  $5/32$  de pulgada.

Diseño del cañón: existe un aumento de diámetro, el cual implica el aumento de área y por lo tanto disminuye la presión, con lo cual se previene un retroceso de flama, dado que el flujo viaja de mayor a menor presión.

El cuerpo del quemador es maquinado en una sola pieza, la entrada de fluido es a una pulgada de diámetro y con una salida a dos pulgadas de diámetro y una conicidad de 27° dada por:

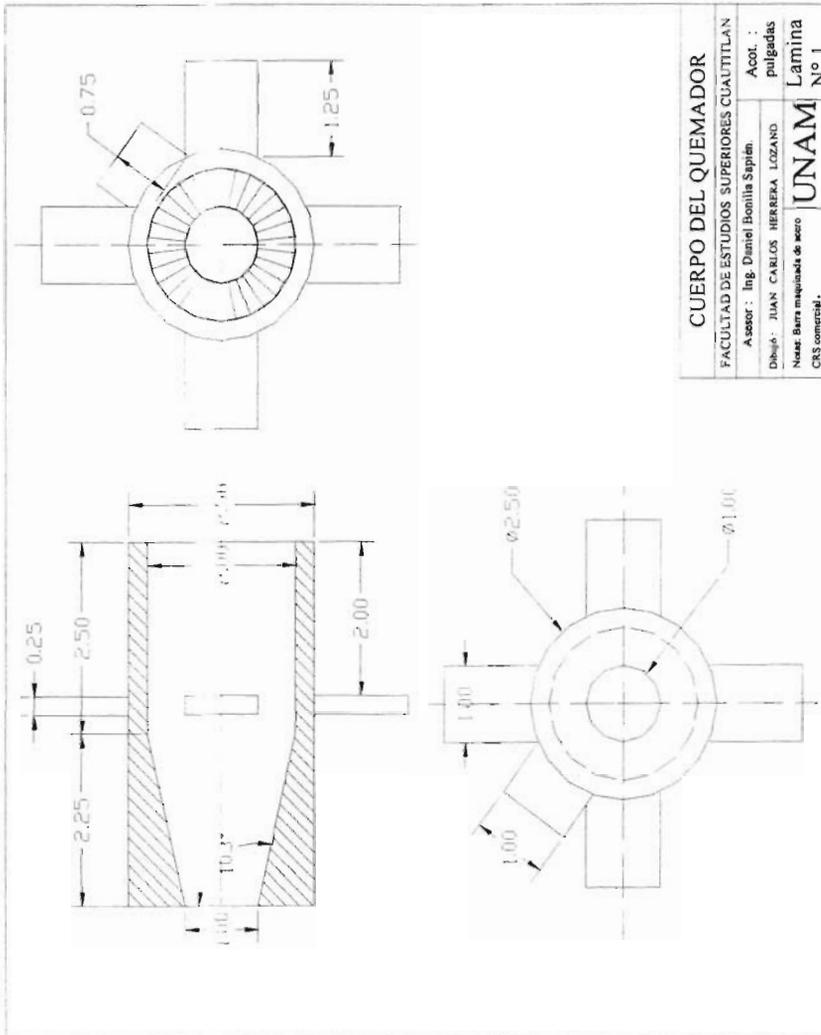
$$\text{Conicidad: } \frac{2-1}{1.96} = 0.51 \rightarrow \text{Arc tan } 0.51 = 27.03 \approx 27^{\circ}1'51.1''$$

Dado por la relación de la diferencia de diámetros entre la longitud del cono y la tangente inversa del resultado.

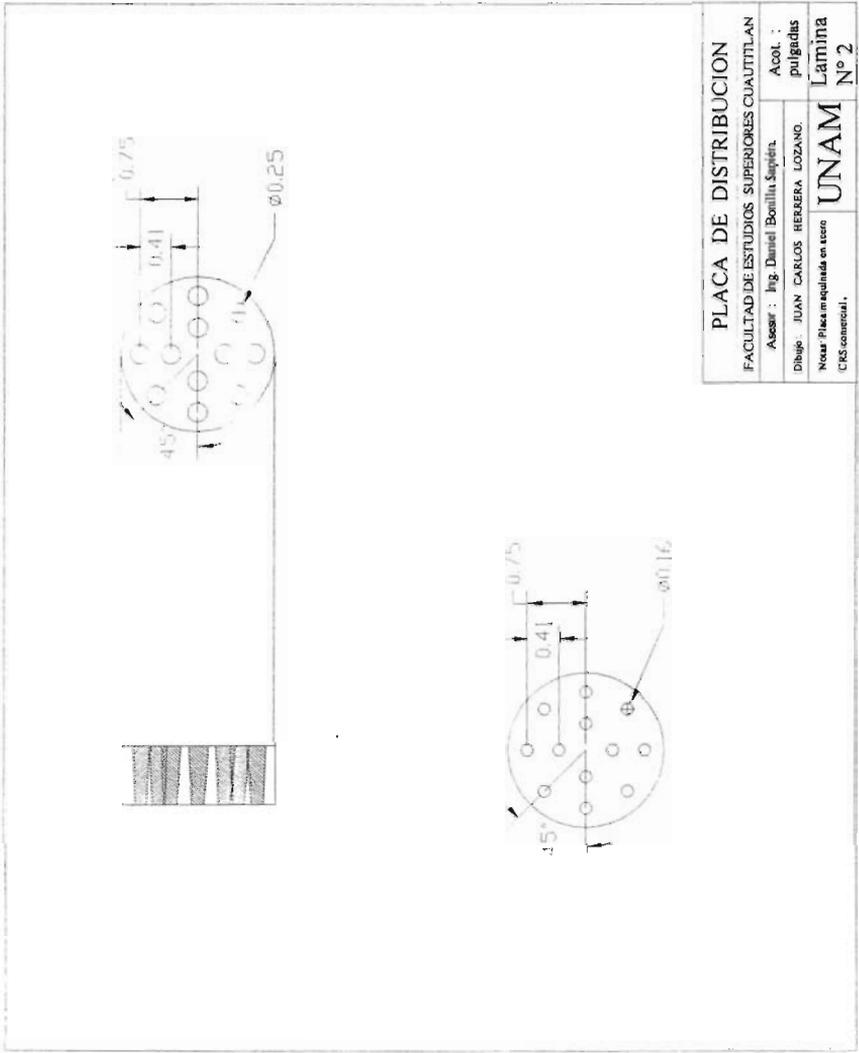
Diseño de la placa de distribución: consta de 10 barrenos distribuidos en el área de la placa, los orificios están barrenados con el mismo diseño que el quemador con sus respectivos diámetros mayor y menor para evitar así el estrangulamiento del fluido, ya que al entrar a la longitud entre diámetros permite una cierta estabilización del fluido y así mismo reduce el cambio brusco de presión para conseguir una flama más estable.

PLANOS.

2. Planos.



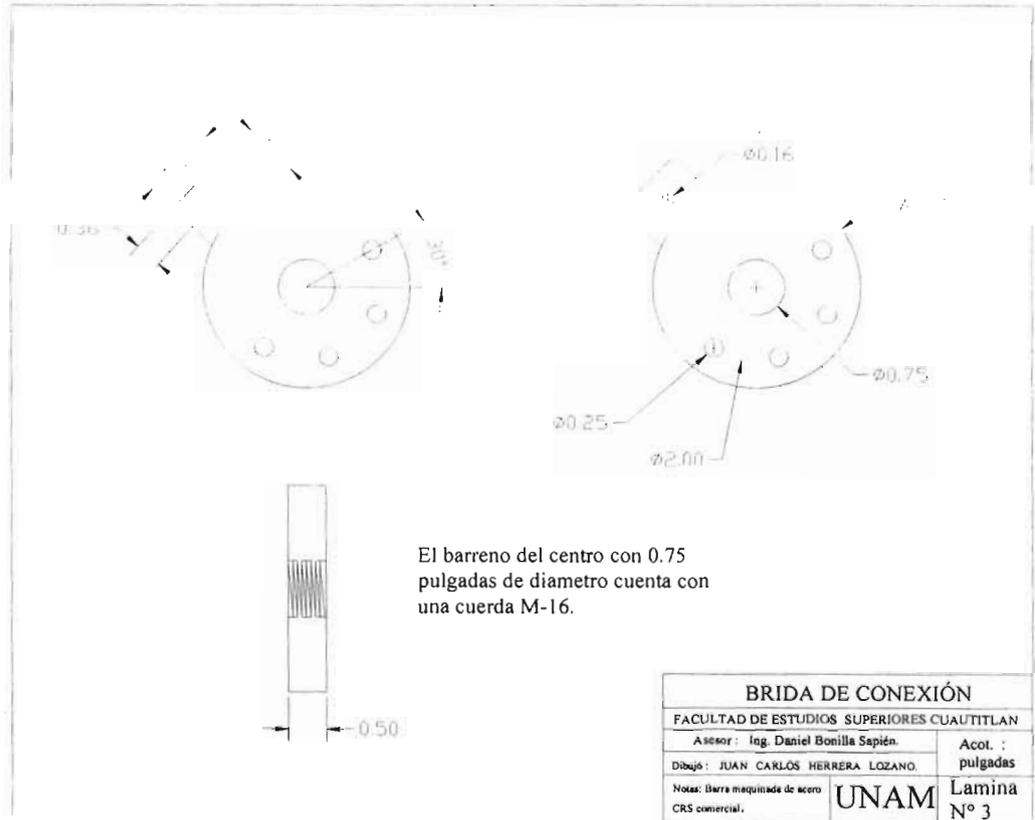
Quemador

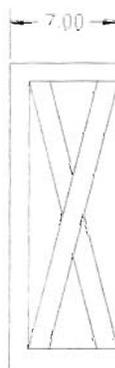
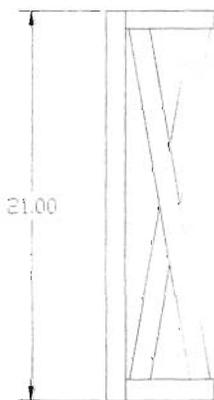
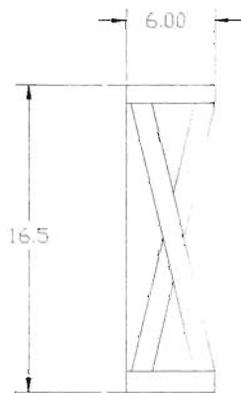


<b>PLACA DE DISTRIBUCION</b>	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN	
Autor :	Ing. Daniel Bonilla Sapién.
Acol. :	pulgadas
Diseño :	JUAN CARLOS HERRERA LOZANO.
Nota :	Placa en el estado en acero
	CES conectorial.
	<b>UNAM</b>
	Lamina
	Nº 2

Placa de distribución de combustible

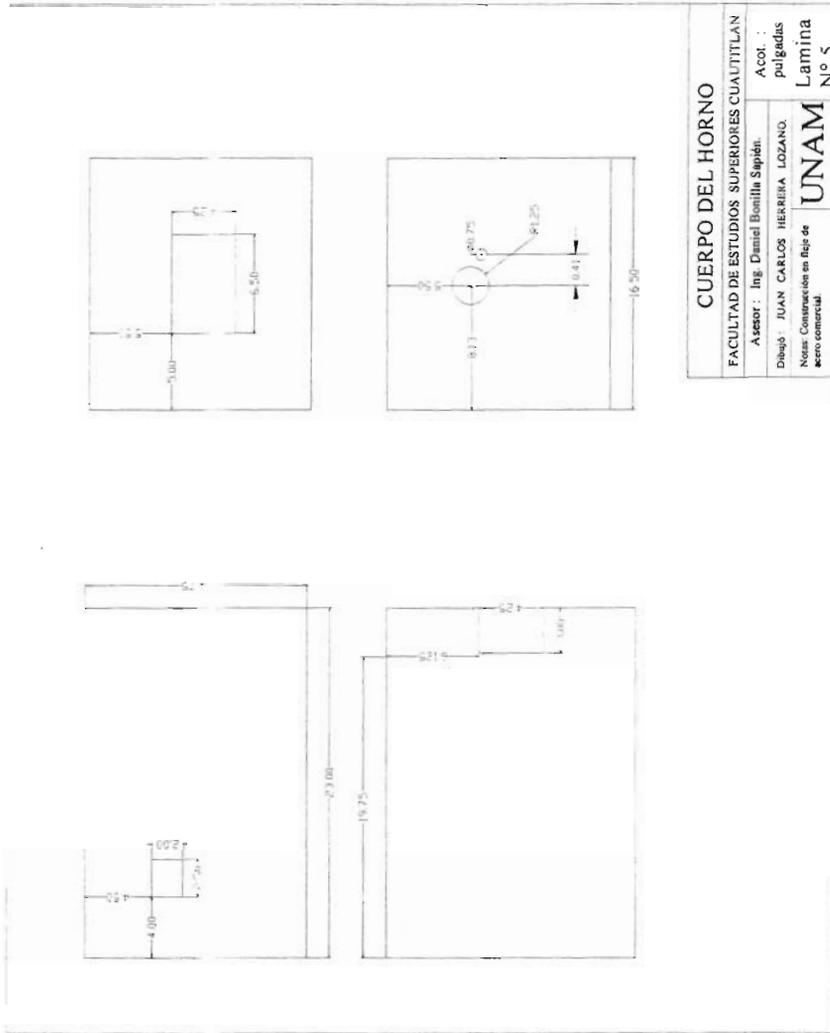
Brida de conexión entre el quemador y la alimentación de combustible



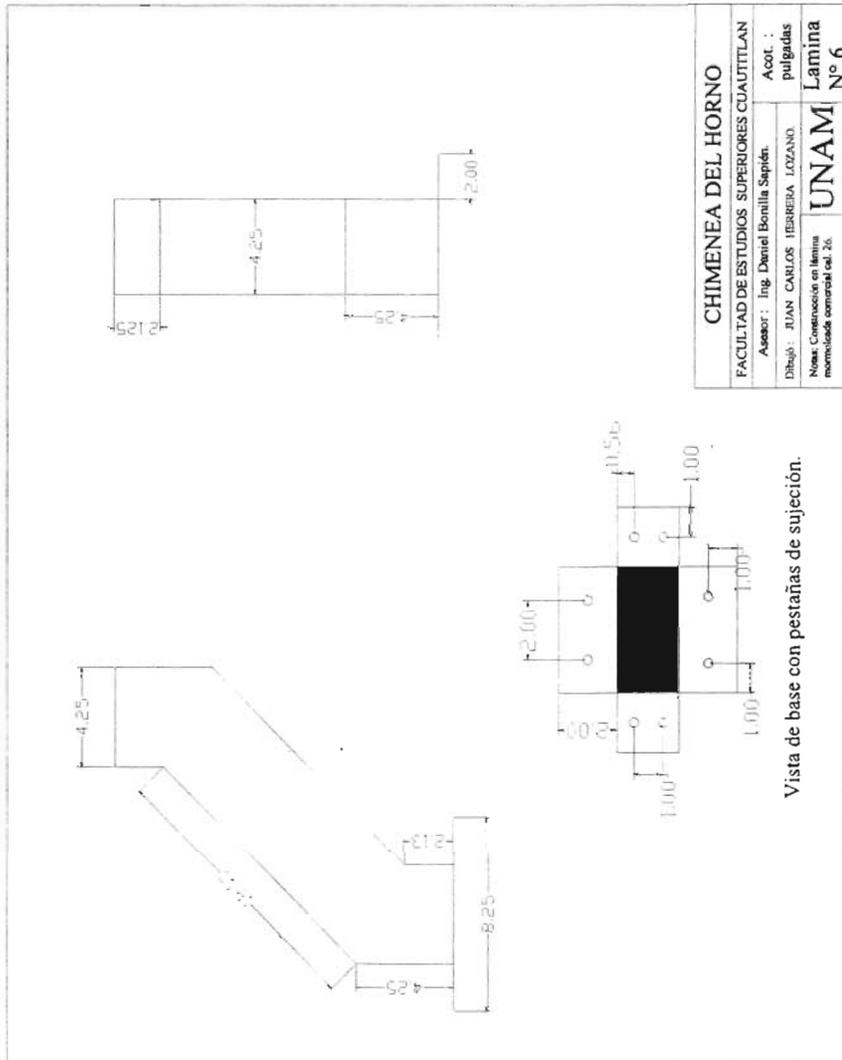


<b>BASE DEL HORNO</b>	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN	
Asesor :	Ing. Daniel Bonilla Sapién.
Acot. :	plgadas
Diseño :	JUAN CARLOS HERRERA LOZANO.
Notas:	Base de figura de acero comercial de 1" por 1/2".
<b>UNAM</b>	
Lamina N° 4	

Base del horno



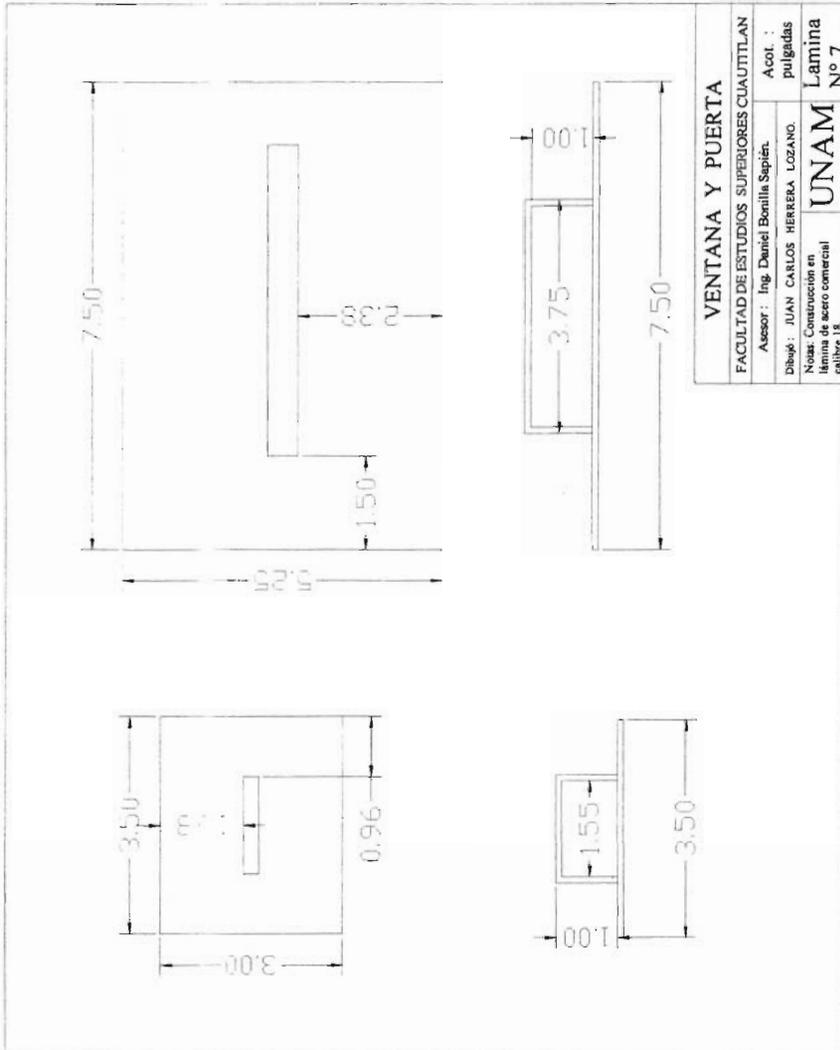
Cuerpo del horno



<b>CHIMENEA DEL HORNO</b>	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN	
Asesor : Ing. Daniel Bonilla Sapién.	Acoot. : pulgadas
Diseño: JUAN CARLOS FERRERÍA LOZANO.	Lamina
UNAM	
Nº 6	
Nota: Construcción en lámina normalizada comercial cal. 26.	

Vista de base con pestañas de sujeción.

Chimenea del horno (salida de gases de combustión)



Ventana y puerta de entrada de carga y descarga de material

## CAPITULO V.

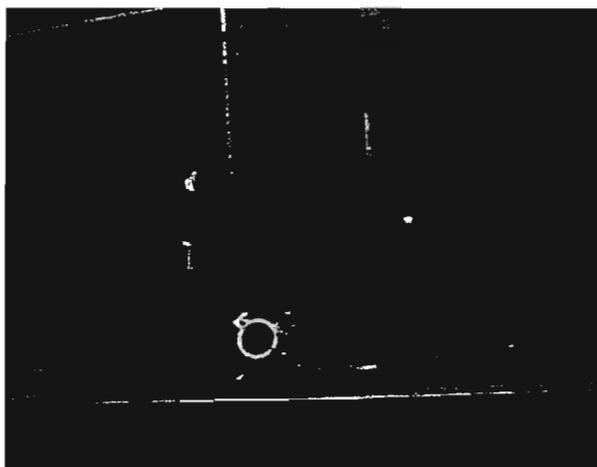
### CONSTRUCCIÓN DEL HORNO

#### 1.Construcción.

Después de determinar las dimensiones del proyecto basándose en un horno de combustión de catalogo a nivel laboratorio, se construyo con fleje de acero comercial de 1/8 x 8 pulgadas y las uniones fueron soldadas.

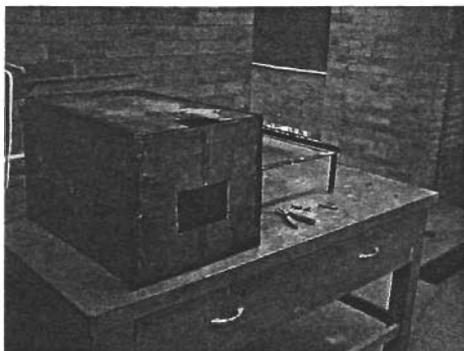
Después de tener armado el cuerpo del horno, el fleje fue cortado; por un costado para la ventana o mirilla de supervisión, en la pared posterior para montar el quemador, en el techo para colocar la salida a la chimenea y en la pared frontal para la puerta de carga y descarga de material, utilizando para el corte una caladora con sierra fina para metal.

La caja del horno se ilustra en la fotografia.



El quemador fue maquinado de una barra de acero 1020 comercial de 2 ½ pulgadas de diámetro, se le soldaron 2 pares de orejas para la sujeción a la pared posterior del horno, especificadas en el capitulo IV pagina 45.

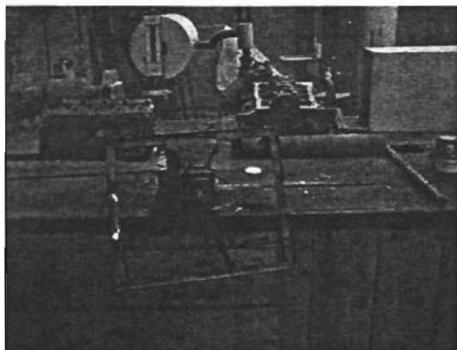
Vista de caja de horno terminado, junto su base.



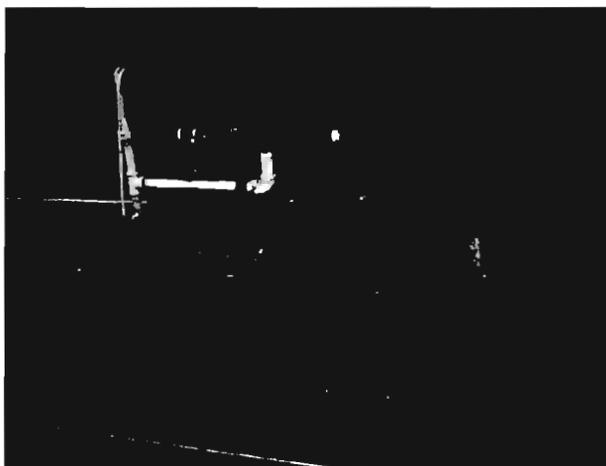
Vista frontal del horno mostrando el quemador montado, utilizando 4 tornillos de alta resistencia de 5/32 x 1 ¼ de pulgada.



Vista de la construcción de la base del horno fabricada en ángulo de acero comercial de  $\frac{1}{2}$  x  $\frac{1}{8}$  de pulgada, solera de acero comercial de  $\frac{1}{2}$  pulgada y unida con soldadura eléctrica.

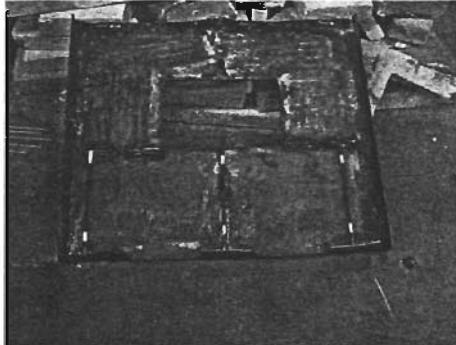


Base terminada.

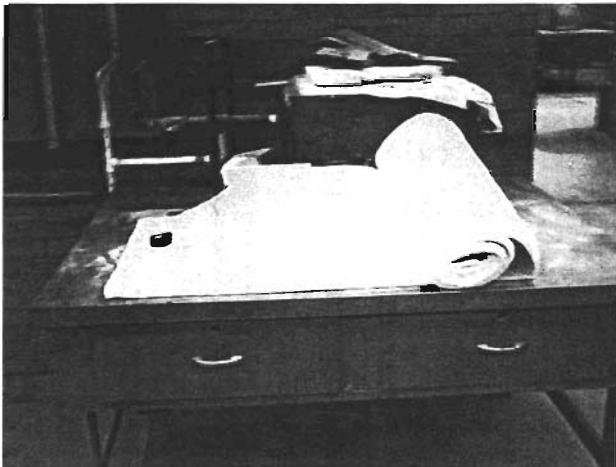


## AISLAMIENTO TERMICO

Vista frontal de la puerta de carga y descarga del horno antes de ser montado el aislante térmico correspondiente.

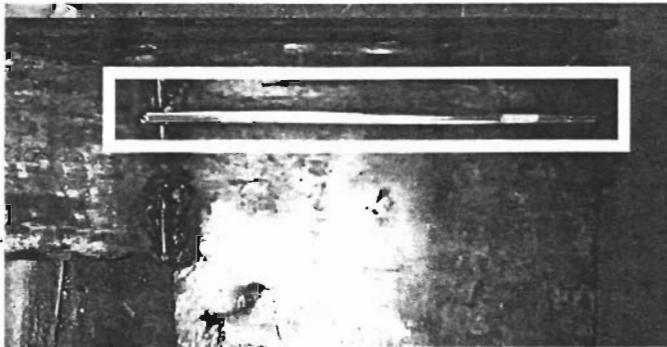


Para el aislamiento de la puerta se utilizó colchoneta de fibra cerámica, excelente aislante térmico dado a su alta densidad de  $8 \text{ lb/ft}^3$  y gran plasticidad a pesar de su baja resistencia mecánica.

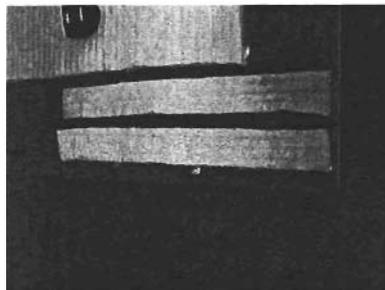


El procedimiento utilizado se denomina como ESTACAMIENTO, el cual consiste en:

- Fijar pequeñas varillas de acero inoxidable a la tapa frontal como se muestra en la foto.

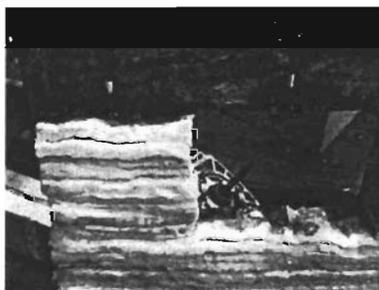
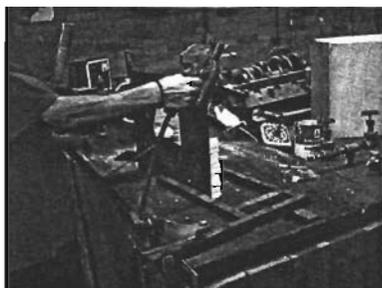


- Cortar la colchoneta de fibra cerámica en tiras de aproximadamente 2 pulgadas de ancho, según el espesor requerido para el aislamiento térmico de la puerta:



- Las tiras de fibra cerámica deberán ser colocadas firmemente una sobre otra de manera que puedan comprimirse para no dejar huecos entre ellas y así aumentar su resistencia térmica.

Quedando como se muestra en las fotografías.



- Ahora se procede a construir una cimbra para revestir de concreto refractario la colchoneta colocada en la tapa frontal, quedando de la siguiente forma:

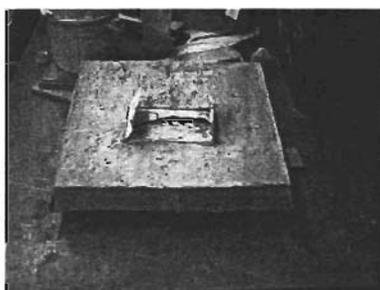
Al aplicar el concreto se le dará mayor resistencia térmica y principalmente mecánica, con el fin de incrementar la durabilidad del aislante de la puerta.



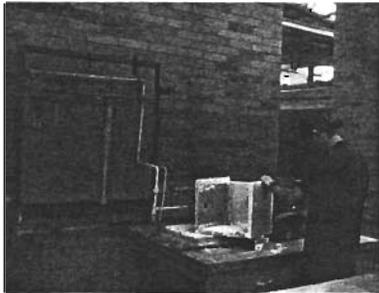
- Se deberá aplicar el concreto refractario presionando sólidamente la mezcla sobre la colchoneta de fibra cerámica para un terminado firme y por último se apisona.



- Finalmente se deja secar y se retira la cimbra quedando como en las fotografias:

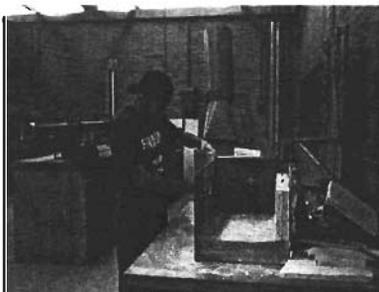


Se continua con el revestimiento del cuerpo del horno en el cual se utilizó panel de fibra cerámica, que también es un gran aislante térmico con una densidad de  $12 \text{ lb/ft}^3$  se corta a la medida del interior del cuerpo del horno y se fija con mortero refractario, que es una especie de barro que resiste el calor, y dado a su viscosidad mantiene fijo el panel de fibra cerámica.



Ya fijados los paneles, se procede a vaciar un revestimiento de concreto refractario para incrementar, como con el aislamiento de la puerta, las propiedades mecánicas y de aislamiento. El revestimiento se aplicó en paredes, techo y piso del horno por separado.

Quedando de la siguiente forma:



En el dibujo a la derecha se muestra el aislante fijado y revestido con una capa de  $\frac{1}{2}$  pulgada de concreto refractario.

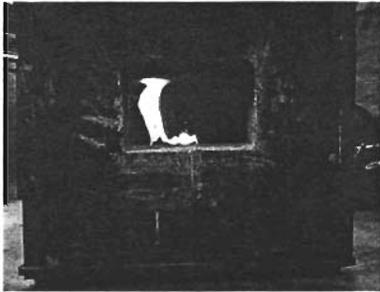
La elaboración de la puerta de carga-descarga y la tapa de la ventana están hechas de concreto refractario montado en placas de acero, apoyados de una cimbra como en el caso de la tapa frontal se le dio forma para que ajustara lo más preciso posible y evitar huecos, y así mismo, posibles salidas por las cuales aumentarían las pérdidas de calor por huecos o fisuras.



Por último se revistió el techo del horno siguiendo el mismo procedimiento que para la puerta de carga y descarga y la tapa de la ventana.

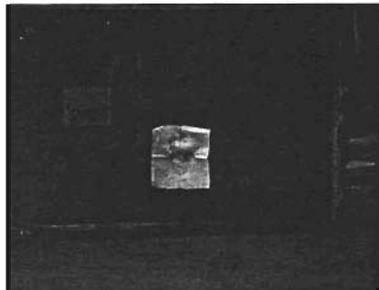
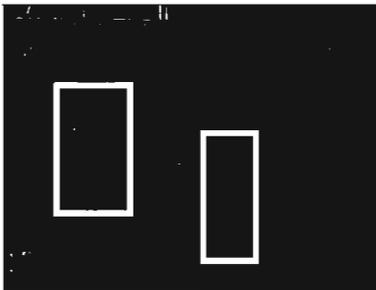
## FRAGUADO

Ya revestido todo el interior del horno se realiza un fraguado, que consiste en realizar fogatas en el interior del horno para así elevar gradualmente la temperatura y eliminar el exceso de humedad en las paredes; ya que si la temperatura se elevara encendiendo el quemador aumentaría rápidamente y al buscar la humedad una salida rápida existe el riesgo de agrietamiento o incluso se podría desquebrajar el revestimiento de concreto refractario.

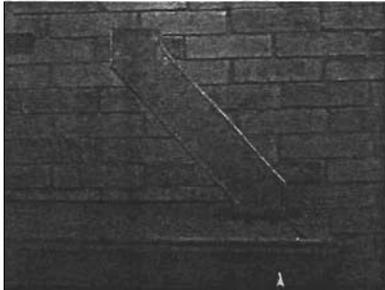


En las fotografías se ilustra el aspecto del fraguado a través de la puerta y la ventana, las fogatas en el interior se realizaron con madera, seis veces en este caso hasta que cesó la humedad.

En las siguientes fotos la salida de humedad se revela denotando la última salida de humedad con un pañuelo desechable adherido a causa de la misma.



Desapareciendo el rastro de humedad después del proceso de fraguado se limpia y se le aplica una capa de pintura para alta temperatura, la cual según especificaciones del fabricante soporta hasta 600 °C; dicha capa de pintura además de proporcionar una protección contra la posible corrosión se le da un acabado más estilizado.



Se le monta una chimenea construida en lámina marmoleada calibre 26 y sujeta con 8 tornillos de ¼ x ½ pulgadas, cuerda fina cabeza hexagonal y tuercas respectivamente.

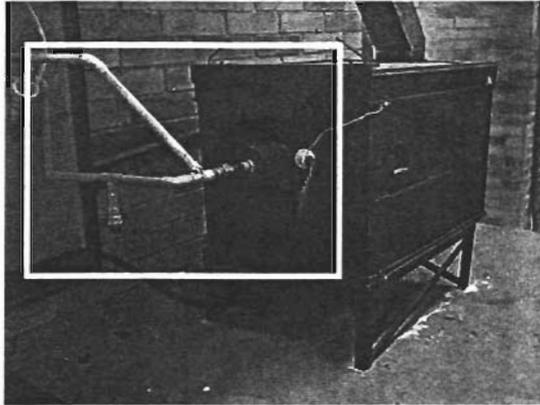
Por dicha chimenea ocurre la salida de gases de combustión, los cuales alcanzan una temperatura de  $\pm 300^{\circ}\text{C}$ .

La chimenea ha sido revestida en el interior con ½ pulgada de panel de fibra cerámica para evitar el calentamiento excesivo y por consecuencia la deformación o incluso el desprendimiento de las uniones, ya que ha sido ensambladas por medio de dobleces para que a lo largo de las uniones no quedaran huecos.

Vista del horno de combustión terminado y colocado en el laboratorio de Termofluidos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán campus 4.



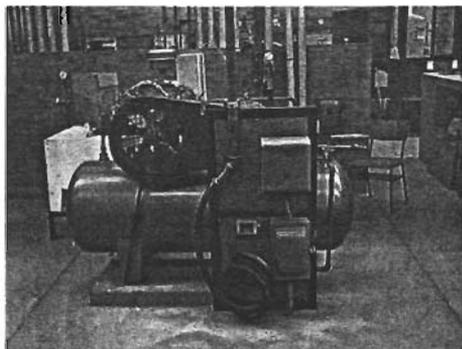
Una vez terminado el horno de combustión se conecta a la línea de alimentación de combustible como se ilustra en la siguiente fotografía.



La tubería en diagonal alimenta gas L.P. que viene desde un tanque estacionario de acero de 500 litros y con presión de diseño de  $14.0 \text{ Kg./cm}^2$ , ubicado en la parte trasera del laboratorio de termofluidos.



La tubería recta es el suministro de aire, el cual es proporcionado por un compresor Thasat con capacidad de 500 lb. Ubicado en el interior del mismo laboratorio.

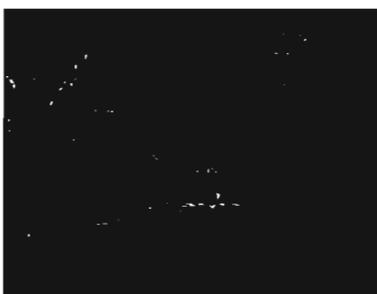
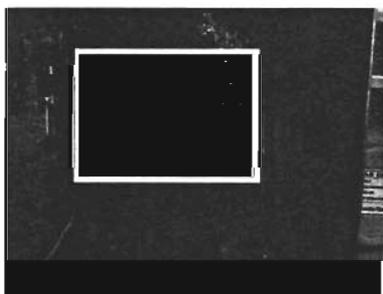
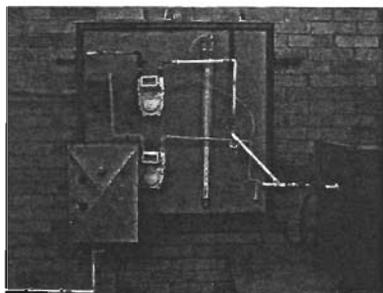


## 2. PANEL DE CONTROL.

Como componentes adicionales al proyecto para el funcionamiento óptimo y seguro del horno se diseñó un sencillo panel de control que consta de:

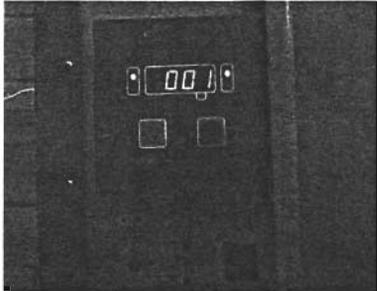
Dos gasómetros independientes horizontales Kumho KG-2 de 0.4 L/rev con un flujo máximo de 2.4 m<sup>3</sup>/h para el control del flujo tanto de gas como de aire, para monitorear los cambios de temperatura se instaló un termopar en un costado del horno y conectado a un pirómetro electrónico FEESA de lectura en grados Celsius, dicho pirómetro cuenta con un termostato interior el cual abre el circuito de alimentación de energía y cierra otro circuito, el cual está conectado directamente a una chicharra y un foco los cuales indican el momento al que llega a la capacidad de temperatura máxima del pirómetro y por último de un módulo de ignición comercial ALTEC para encendido de quemadores para estufa, el cual tiene una alimentación de entrada de 110-120 volts con una salida de 6000 a 8000 volts; dicho módulo se utilizó debido al bajo costo respecto a un transformador industrial y dado que cubre las expectativas de uso para la bujía de ignición de seis pulgadas de cerámica para alta temperatura y electrodo de acero inoxidable marca Tempest, utilizada para encendido de quemadores comerciales utilizados en la industria del acero.

En las fotografías se ilustra (derecha), Tablero de control y bujía fijada junto al quemador como se indica en el capítulo IV página 49 (izquierda).

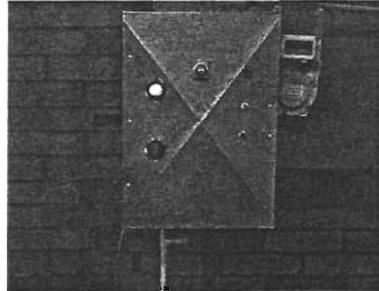


Gabinete donde se realizaron las conexiones respectivas de focos indicadores, clemas, alarma sonora, etc. Del lado izquierdo se denota el modulo de ignición.

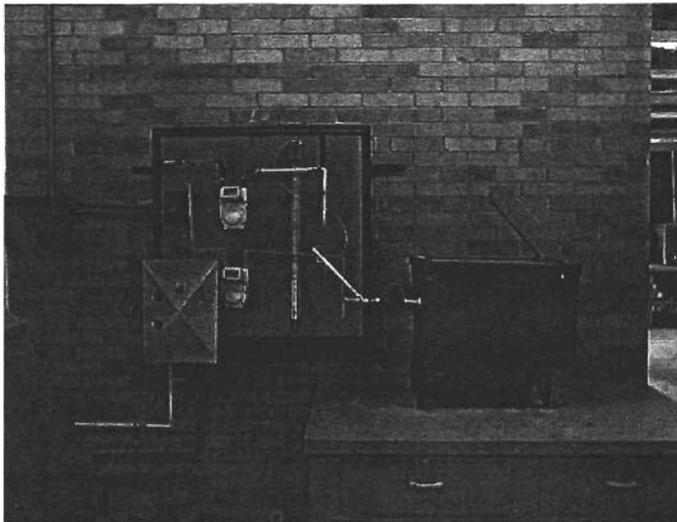
Pirómetro electrónico.



Vista exterior del gabinete de conexiones



Vista del proyecto realizado y montado en la mesa de trabajo

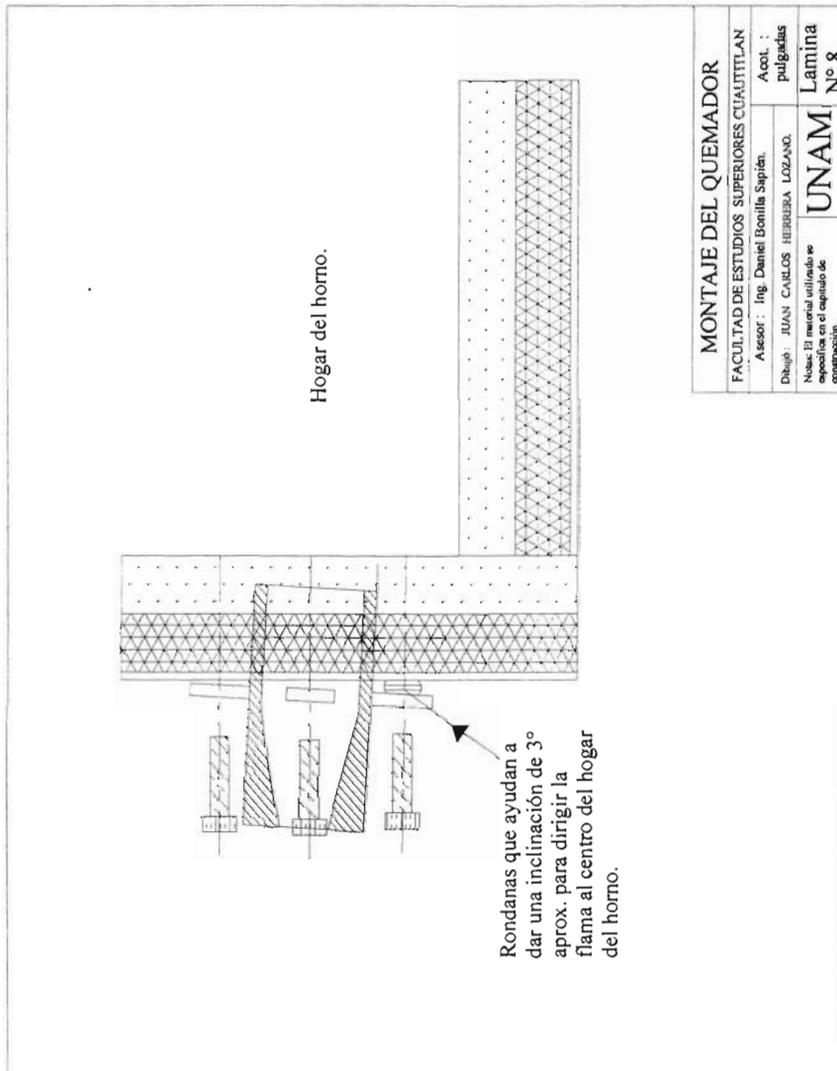


El área de trabajo fue seleccionada debido a que está alejada de cualquier fuente inflamable además de la tubería de alimentación de combustible; la mesa de trabajo tiene una cubierta de lámina marmoleada calibre 24 en la superficie para aumentar su resistencia mecánica y así mismo incrementar la durabilidad de dicha mesa.

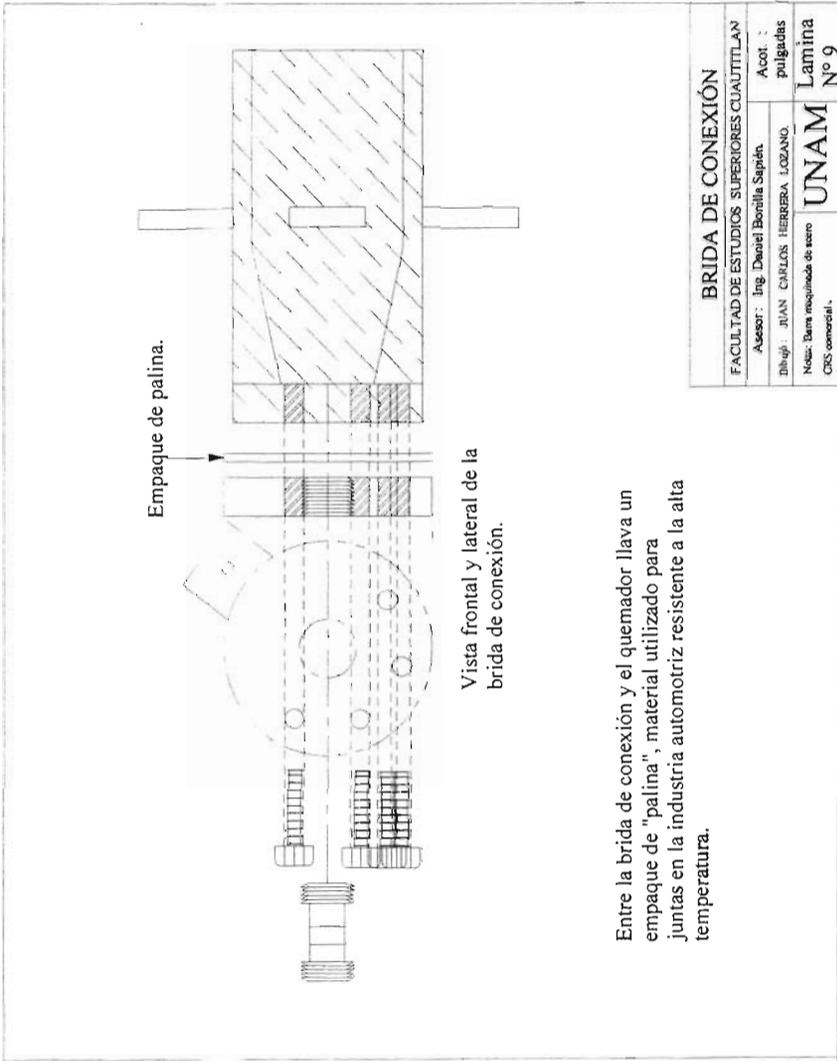
CAPITULO VI.

MONTAJE DEL QUEMADOR Y SUS COMPONENTES

1. Montaje general del proyecto.



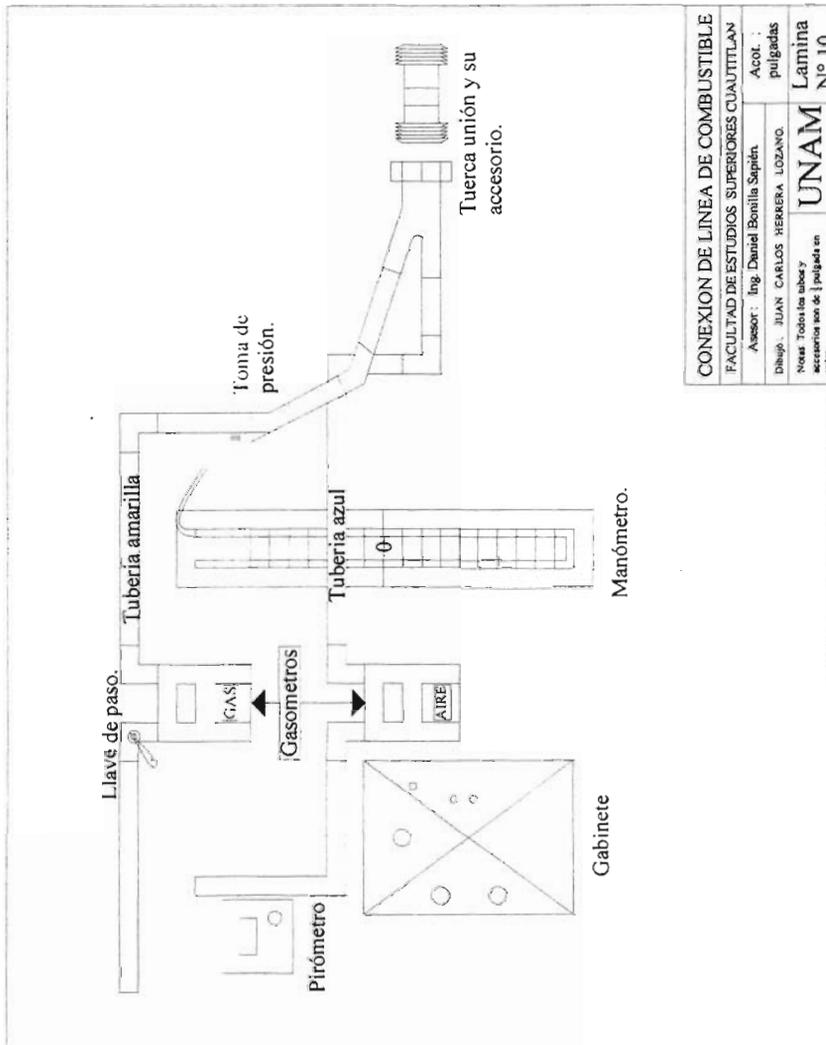
Sujeción del quemador a la pared del horno



Entre la brida de conexión y el quemador llava un empaque de "palina", material utilizado para juntas en la industria automotriz resistente a la alta temperatura.

<b>BRIDA DE CONEXIÓN</b>	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUHTLILAN	
Asesor : Ing. Daniel Bonilla Sapién	Acof. : pulgadas
Diseño: JUAN CARLOS HERBERA LOZANO	Lamina
<b>UNAM</b>	
Nº 9	
Nota: Barra maquinada de acero CIS comercial.	

Conexión específica de accesorio tuerca unión, brida y empaque al quemador en dicho orden.



CONEXION DE LINEA DE COMBUSTIBLE	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN	
Asesor:	Ing. Daniel Benavilla Sepián.
Acot.:	3/8 pulgadas
Dibujó:	JUAN CARLOS HERRERA LOZANO.
Notas:	Todas las tuberías accesorias son de 1/2 pulgada en cobre.
<b>UNAM</b>	
Lamina N° 10	

Vista de conexión de tablero a la línea de combustible indicando componentes utilizados.

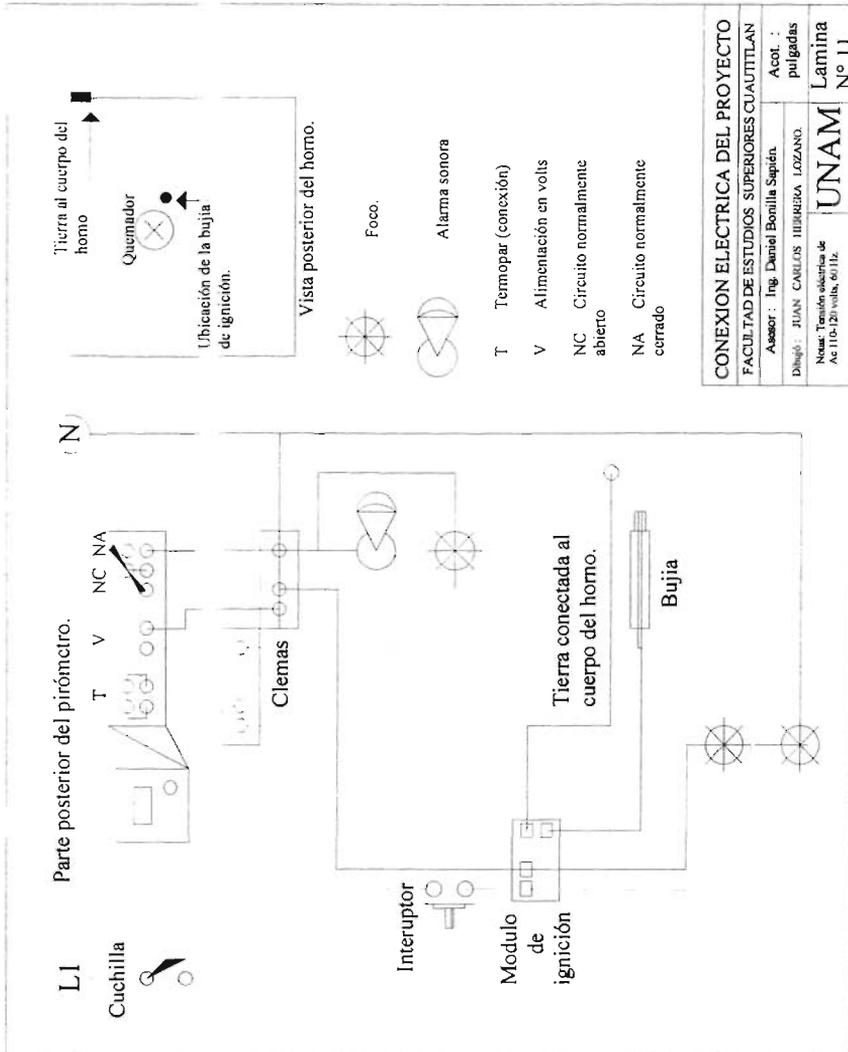
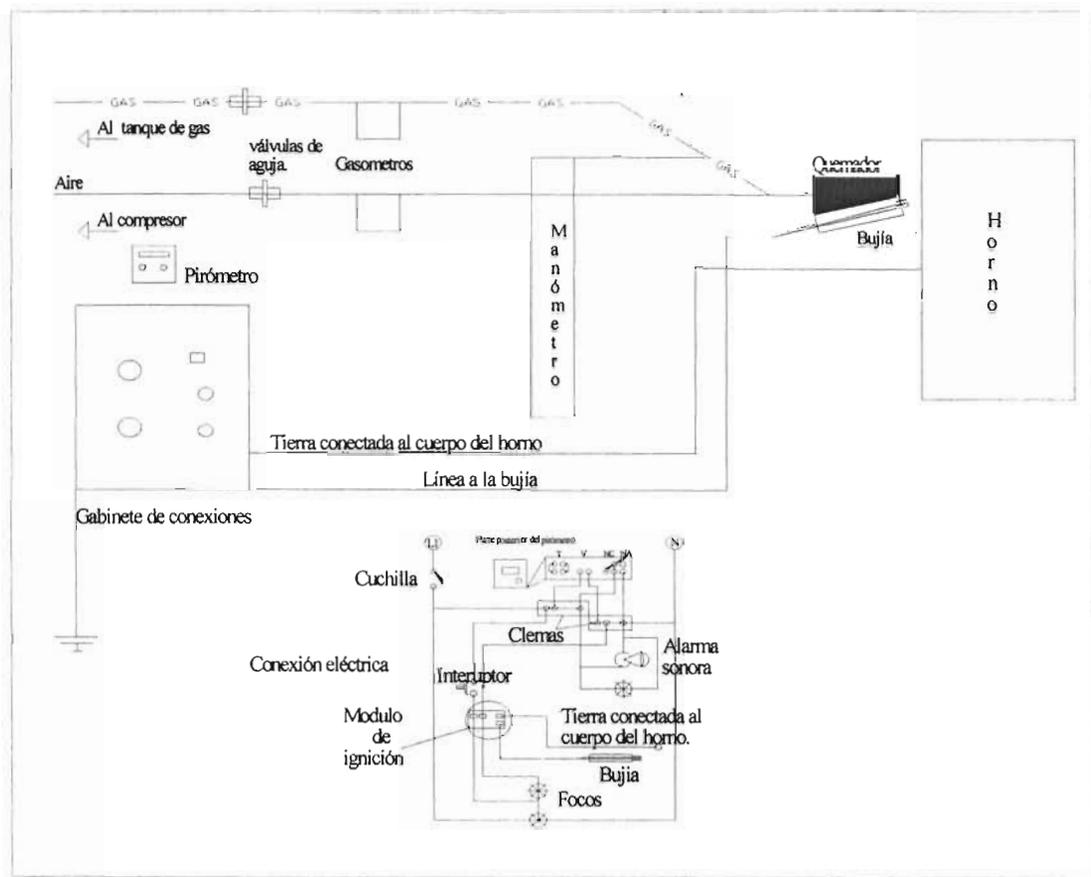


Diagrama eléctrico; ubicación de bujía y tierra de ignición de la instalación

Diagrama de conexiones generales



## VII.

### RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN SEGURA DEL PROYECTO

#### 1. PROGRAMA DE OPERACIÓN.

1. Antes de abrir las válvulas de alimentación del horno asegurarse que tanto el compresor y el tanque estacionario están en funcionamiento para asegurar la alimentación de combustible
2. Retirar la ventana y puerta del horno.
3. Verificar que está energizado el tablero de control, por medio del foco indicador en color verde, ubicado en el exterior del gabinete de conexiones.
4. Abrir en primera instancia, la válvula de alimentación de aire, para verificar la presencia del mismo.
5. Abrir la válvula de gas y presionar el interruptor de ignición ubicado en la parte frontal del gabinete de conexiones manteniendo encendida la bujía durante un periodo de 8 a 10 segundos.
6. Si enciende el quemador, montar la ventana y puerta del horno.
7. Si no enciende el quemador, cerrar la válvula de paso de gas sin cerrar la alimentación de aire para así realizar un barrido de gas antes de intentarlo nuevamente; a partir del paso número 5.
8. Aguardar de 3 a 6 minutos para que la temperatura en el interior del horno se homogenice.
9. Realizar la introducción de probetas metálicas a través de la puerta del horno por medio de tenazas de acero, utilizando previamente guantes y peto de carnaza además de careta de acrílico.

## 2. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

El horno fue diseñado de manera que el mantenimiento se realice en forma rápida y practica sin complicaciones, sin tiempo específico necesario de manutención, debido a que no será utilizado continuamente como en el caso de algunas industrias donde se programa el mantenimiento cada mes por lo regular.

Pasos a seguir para mantenimiento preventivo.

1. Deştornillar para retirar la tapa frontal y el techo, en el orden mencionado.
2. Limpiar el área interior del horno con escobeta para retirar los residuos posiblemente alojados y la arena debido al desgaste del recubrimiento de concreto refractario.
3. Verificar si existen grietas en las paredes, techo y piso del interior del horno. Si es así, resanarlas con concreto refractario únicamente.
4. Inclinando hacia el frente el horno y auxiliándose con un alambre con punta en forma de gancho, retirar la placa de distribución ubicada dentro del quemador para limpiar los barrenos y si es necesario destaparlos para mantener un flujo lo más estable posible.
5. Verificar el accesorio de la tuerca unión, brida y empaque de la brida para evitar posibles fugas.
6. Ensamblar puerta y techo del horno, en este orden y asegurar con sus respectivos tornillos.

## CONCLUSIÓN

La terminación del proyecto fue satisfactoria, se pretendió realizar una serie de pruebas para comprobar bajo condiciones normales el óptimo y seguro comportamiento del horno en cuestión, es decir, sin pérdidas de presión tanto en la toma de aire como de gas principalmente, pero hubo una baja presión de gas debido a la falta de combustible en el tanque de distribución. Ya que según la carátula del medidor del mismo, indicaba el escaso combustible conteniendo menos de  $\frac{1}{4}$  de la capacidad mínima de llenado, por tal situación quedaran pendientes las series de pruebas de eficiencia respecto a la temperatura que pudiese alcanzarse en la cámara del horno, sin embargo aún con la baja presión de gas se logró comprobar que no existe fuga alguna en la tubería de distribución de gas lo cual es punto primordial para asegurar la integridad del operador.

Todos los materiales de sujeción utilizados tales como tornillos, rondanas, tuercas, etc. son de acero de alta resistencia y los materiales aislantes eléctricos son para trabajo rudo, ya que de esta forma se asegura, además de una mayor durabilidad del proyecto una segura operación para el operador.

Cabe mencionar; que durante la construcción del horno ocurrió un desprendimiento de los paneles de fibra cerámica los cuales como se ha mencionado se fijaron a las paredes metálicas del horno, dicho desprendimiento fue ocasionado al realizarse el recubrimiento de concreto refractario; podría decirse que es un error de construcción, pero debido a la naturaleza del proyecto fue de gran beneficio ya que entre las paredes de panel de fibra cerámica hay un espacio de  $\frac{1}{4}$  de pulgada aproximadamente lo cual puede considerarse como un aislante térmico natural (aire) y adicional a los utilizados, lo que deriva en una disminución al calentamiento de las paredes del horno.

DATOS TÉCNICOS GENERALES.

Capacidad del horno	$13920.64 \frac{Btu}{lbhr.}$
Flujo total de combustible (mezcla)	$1.07 \times 10^{-3} \frac{m^3}{seg.}$
Tiempo de precalentamiento de la cámara	$\pm 10 \text{ min.}$
Diámetro de quemador	2 pulgadas
Peso del horno	$\pm 75 \text{ kg.}$
Densidad de aislantes térmicos	$\pm 23 \frac{lb}{ft^3}$
Tensión de salida de la bujía	$7000 \approx 8000 \text{ volts.}$
Tensión de alimentación al modulo de ignición	$120 \approx 125 \text{ volts.}$
Capacidad del suministro de gas	$500 \text{ Lts. A } 14 \frac{kg}{cm^2}$
Capacidad del suministro de aire	500 lbs.
Capacidad de medidores de flujo	$2.4 \frac{m^3}{hr.}$

## BIBLIOGRAFIA

- Munson Young Okiishi  
“Fundamentos de mecánica de fluidos”  
México, P. Hall. 1999.
- José A. Manrique  
“Transferencia de calor”  
2° edición México, Oxford University Press, 2002.
- B.v. Karlekar  
“Transferencia de calor”  
México. Nueva Editorial Latinoamericana, 1985.
- J. P. Hollman  
“Transferencia de calor”  
México. Compañía Editorial Continental, 1977.
- Mott  
“Fundamentos de mecánica de fluidos”  
México, Limusa. 1992.
- Gregory Ian  
“Construcción de hornos”  
México. Pavía, 1971.
- Trinks. Willibald  
“Hornos industriales”  
Bilbao. Editorial Urmo, 1991-92.

- Lawrence E. Doyle, Carl A. Keyser  
 “Materiales y procesos de manufactura para ingenieros”  
 México, Prentice Hall. 1988.
  
- Van Vlack Lawrence  
 “Materiales para ingeniería”  
 México, Continental, 1982.
  
- North american manufacturing company  
 “North american combustion hand book”  
 Cleveland, North American, 1981.
  
- North American manufacturing company  
 “Industrial burner control system”  
 Cleveland, North American, 1981.
  
- NUTEC  
 “Catálogo de Ingeniería, Servicio y Equipo para Hornos Industriales”