

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



**FACULTAD DE INGENIERIA**

**TESIS PROFESIONAL**

**DISEÑO DE QUEMADORES A GAS EN ESTUFAS  
DOMÉSTICAS.**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA:**

**VICTOR GERARDO CALOCA GALINDO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. FRANCISCO SOLORIO ORDAZ**

**MEXICO, D.F. 2005**

m. 343896

## AGRADECIMIENTOS

### **A mi padre:**

Leonardo Caloca Aguilar.  
Quien con su ejemplo formo  
mi educación.

### **A la memoria de mi madre:**

Elmira Delia Galindo Téllez  
Cuyo cariño y comprensión  
dio un ejemplo en mi vida.

### **A mi esposa:**

Martha Hernández Santiago.

### **A mis hijos:**

Gerardo Arturo Caloca Hernández.  
Omar Yahir Caloca Hernández.

Quienes me han brindado su apoyo, comprensión y quienes son la razón de mi vida.

### **A mis hermanos:**

Maria. Guadalupe  
Carlos Adrián  
Elmira Delia

Leonardo Arturo  
Héctor Alejandro  
Graciela

Quienes me han ayudado y aconsejado a lo largo de mi vida.

**Con aprecio y cariño:**

**V. G. C. G.**

Quiero expresar mi agradecimiento a mi director de tesis: Dr. Francisco Solorio Ordaz que gentilmente y con su paciencia acepto revisar el trabajo realizado así como también apporto valiosas sugerencias para la optimización del mismo.

A la colaboración de mis sinodales:

Dr. Saúl Santillán Gutiérrez.

Dr. Jesús Manuel Dorador González.

M. en I. Vicente López Fernández.

Ing. José Alberto Sánchez Rivera.

Quienes hicieron sugerencias importantes para lograr mi objetivo en la obtención de mi Título Profesional.

Al profesorado de la facultad de Ingeniería por sus valiosas enseñanzas.

A mis compañeros y amigos por su amistad y apoyo.

A Mabe y a su personal quienes han dejado una importante enseñanza en mi formación humana y profesional , a la oportunidad de aplicar los conocimientos obtenidos en la Universidad y llevarlos a la práctica profesional desarrollando productos para el bienestar de la sociedad, así como también permitirme elaborar esta tesis a través de la investigación en su área.

**V. G. C. G.**

Santiago de Querétaro, Qro. , a 6 de Febrero del 2013

A quien corresponda:

Por medio de la presente, manifestamos que Mabe Tecnología y Desarrollo concede el permiso a Victor Gerardo Caloca Galindo para realizar su Tesis Profesional con el tema:

*"Diseño de Quemadores a Gas para Estufas Domésticas"*

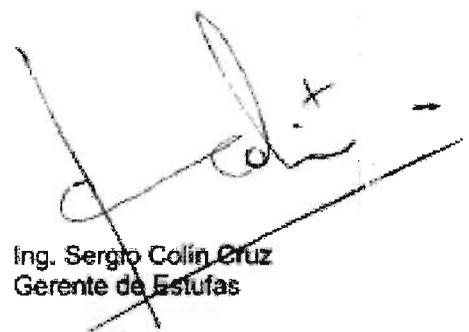
El cual será desarrollado a través de los conocimientos y experiencia adquiridos en el área de Quemadores del departamento de Estufas de esta empresa y a través del uso de las instalaciones de la misma.

Se extiende la presente a petición del interesado, para los fines legales que a él convengan.

Atentamente,



Lic. Alicia Hoyos Bravo  
Gerente de Recursos Humanos



Ing. Sergio Colín Cruz  
Gerente de Estufas

# INDICE

	Página
Introducción	8
Secuencia del trabajo de tesis	10
Objetivo de la tesis.	11
Definiciones de términos técnicos	12
<b>Capítulo 1 Gases utilizados y los principios de la combustión en estufas.</b>	
1.1 Historia	16
1.2 Tipos de gas utilizados en una estufa	16
1.3 Límites explosivos del gas	18
1.4 Combustión en una estufa	19
1.5 Tipos y características de la flama	21
1.6 Tipos de quemadores utilizados en una estufa	24
<b>Capítulo 2 Normas y componentes de un quemador.</b>	
2.1 Normas	27
2.2 Partes y componentes del sistema del quemador	29
2.3 Requerimientos de un quemador	30
<b>Capítulo 3 Descripción de la metodología utilizada</b>	
3.1 Metodología	32
3.2 Definición del problema	34
3.3 Identificación de necesidades o requerimientos	35
3.4 Medición	36
3.5 Diseños de experimentos	37
3.6 Análisis	40
3.7 Etapa de mejora	41
3.8 Etapa de control	41
<b>Capítulo 4 Diseño del quemador atmosférico.</b>	
4.1 Introducción	42
4.2 Objetivo del proyecto	42
4.3 Identificación de los requerimientos que debe cumplir el quemador	42
4.4 Matriz de requerimientos y especificaciones técnicas del quemador	43
4.5 Definición de los requerimientos técnicos y sus dependencias con los parámetros de diseño del quemador	44
4.6 Análisis del modo de falla y sus efectos en el quemador	64
4.7 Diseño de experimentos aplicados en la solución del quemador	65
4.8 Resumen de resultados al final del diseño del quemador	92
<b>Capítulo 5 Conclusiones.</b>	93
<b>Bibliografía</b>	96

## Índice de tablas.

		<b>Página</b>
Tabla 1.3	Propiedades de los gases combustibles utilizados en una estufa.	18
Tabla 1.4.1.	Presenta los efectos de las concentraciones de CO <sub>2</sub> al se inhalados por el ser humano.	20
Tabla 4.4.1	Función de despliegue de la calidad del quemador (QFD)	43
Tabla 4.7.1	Características de los quemadores para el diseño de experimentos	67

## Índice de figuras.

Fig. 1.4.1	Componentes fundamentales para la reacción química de la combustión.	19
Fig. 1.5.1	Mechero Bunsen con una flama azul.	22
Fig. 1.5.2	Mechero Bunsen con una flama amarilla.	23
Fig. 1.6.1	Muestra los dos tipos de cubiertas “sellados y no sellados” con sus quemadores.	24
Fig. 16.2	Quemador atmosférico con inyección de gas desde la válvula.	25
Fig. 1.6.3	Quemador atmosférico utilizado en México, con inyección vertical del gas en una cubierta sellada con ajuste de aire primario a través de un anillo.	25
Fig. 1.6.4	Sistema de quemadores utilizado en México y EE.UU.	26
Fig. 1.6.5	Sistema de quemadores Europeo.	26
Fig. 2.2	Esquema de un quemador atmosférico con inyección de gas vertical.	29
Fig. 4.7.1	Dimensiones del tubo venturi de referencia.	65
Fig. 4.7.2	Distribución geométrica de la cubierta superior.	68
Fig. 4.7.3	Muestra las variables involucradas en el diseño de experimentos (DDE) del mamelón.	73
Fig. 4.7.4	Comportamiento del aire primario respecto al diámetro del mamelón.	74
Fig. 4.7.5	Muestra los factores para el diseño del venturi.	76
Fig.4.7.6	Muestra la geometría de la porta del quemador.	78
Fig. 4.7.7	Muestra la zona crítica para la prueba de “Peligro de incendio de la tela”.	79
Fig. 4.7.8	Muestra la zona de portas bloqueadas para cumplir con la prueba de “Peligro de incendio de la tela”	80
Fig. 4.7.9	Muestra los factores del venturi en el DDE para resolver el regreso de flama.	84
Fig. 4.7.10	Muestra los factores del venturi en el DDE para resolver el regreso de flama.	85
Fig. 4.7.11	Muestra los factores vitales resultado del DDE para la solución el regreso de flama.	88
Fig. 4.7.12	Gráfica de cubo que presenta las ubicaciones de los diferentes factores, sus niveles y sus respuestas en la combustión.	89
Fig. 4.7.13	Muestra el venturi optimizado para la solución al regreso de flama con gas.	90
Fig. 4.7.14	Muestra el venturi optimizado para la solución al regreso de flama con gas.	91

## Introducción.

En los años 60's las estufas tenían un tamaño mas grande que las actuales, los espesores de la lámina eran mayores tenían varios compartimientos que se utilizaban como gabinetes para guardar utensilios y como pequeños hornos, algunos de estos hornos tenían acabados de plata para reflejar el calor, los quemadores superiores tenían baja capacidad calorífica lo cual hacia lenta la cocción de los alimentos y el encendido era a través de pilotos o con encendido manual por medio de cerillos.



Las fotografías muestran una estufa de los años 60's.

Actualmente las estufas tienen varios tamaños 20, 24, 30 pulgadas de ancho, pueden ser instaladas en el piso o descansar sobre el mueble de la cocina, los espesores de lámina ahora son delgados lo cual hace a la estufa ser más ligera, utilizan aislantes como retardadores del calor para reducir las temperaturas de las superficies y así evitar quemaduras al usuario, los quemadores tienen una capacidad calorífica mayor lo que acelera el tiempo de cocinado de los alimentos, el encendido puede ser automático (electrónico) evitando las fugas de gas debido al apagado de los pilotos, los hornos tienen mayor espacio, algunos con acabados catalíticos que absorben el coque y otros con auto-limpieza que elevan la temperatura del horno hasta convertir el coque en ceniza para removerla fácilmente.

Las estufas pueden tener de 4 a 6 quemadores superiores de tipo atmosférico y con diferentes tamaños cada uno, pueden tener diferente capacidad térmica y van desde 5000 hasta 11000 Btu/hr, su forma de calentar es a través de la convección, conducción y la radiación del calor, estos quemadores cuentan con encendido electrónico el cual se activa al momento de girar la perilla.

Los quemadores del horno son de tipo atmosféricos y de forma tubular, sus capacidades térmicas pueden tener desde 8000 hasta 18000 Btu/hr y su forma de cocinar es a través de la convección del calor, algunos hornos tienen un ventilador para mejorar el cocinado por medio de la convección.

El quemador del asador es de tipo atmosférico, tienen capacidades desde 8000 hasta 13000 Btu/hr y su forma de cocinar es a través de la radiación de la flama.

Las estufas cuentan con cubiertas selladas, ésta característica permite que los derrames no lleguen al interior de la estufa, facilitando así su limpieza.

La competitividad internacional en los aparatos electrodomésticos y en muchos otros productos del mercado ha sido una de las causas más importantes en el constante cambio de sus características mejorando la calidad a costos competitivos.



Las figuras muestran una estufa con hornos que utilizan carbón.

En el caso de las estufas los cambios han sido notables a través de los años, gracias a los avances tecnológicos y herramientas de análisis se ha logrado ofrecer a los usuarios un mejor funcionamiento.

La estructura de la estufa, las cubiertas no selladas, los quemadores atmosféricos tipo abiertos y las parrillas han cambiado notablemente en sus formas.

Actualmente las estufas siguen teniendo los mismos sistemas funcionales como antes, como el horno, los quemadores superiores y el asador, la diferencia está en la optimización de estos sistemas al cumplir con su función principal con un menor número de componentes reduciendo así los costos a niveles competitivos.

El diseño del sistema de gas de una estufa y el de los quemadores toman un gran interés e importancia ya que es la parte esencial y que está muy relacionada con su estructura y sus componentes, además de ser la parte con la cual el usuario interactúa directamente varias veces al día, todos los días y durante varios años, sin que ésta deje de funcionar adecuadamente.



Las fotografías muestran una estufa actual, se observa un control electrónico para gobernar al horno y asador.

La secuencia del trabajo de tesis se presenta a continuación.

Dar a conocer el objetivo de la tesis y la definición de algunos términos técnicos utilizados para la mejor comprensión del lector, los sistemas de unidades utilizados son: el sistema internacional y el sistema comúnmente utilizado en los Estados Unidos de América.

La tesis esta compuesta de 5 capítulos que contienen lo siguiente:

### Capítulo 1

Describe los gases más comúnmente utilizados en las estufas a gas, los principios de la combustión aplicados en los quemadores, las características fundamentales de la flama y la clasificación de los diferentes tipos de quemadores instalados en la estufa.

### Capítulo 2

Describe las normas aplicadas a las estufas, las partes que componen al quemador y su funcionamiento.

### Capítulo 3

Describe la metodología utilizada para el diseño del quemador.

### Capítulo 4

Se aplica la metodología para el diseño del quemador de tipo atmosférico hasta llegar a la optimización con la ayuda de diseños de experimentos, además de su validación a través de resultados de pruebas de laboratorio y las conclusiones en cada paso del proyecto.

### Capítulo 5

Comprende las conclusiones de la tesis.

Finalmente, se incluye la bibliografía de consulta para la elaboración de esta tesis.

## **Objetivo de la tesis.**

Mostrar el procedimiento de diseño de un quemador de tipo atmosférico de una estufa doméstica que utiliza gas y que debe cumplir con lo siguiente:

Cumplir con la norma “American National Standard Institute” ANSI Z21.1. 2003, debe tener una apariencia agradable y su funcionamiento debe lograr la satisfacción a los usuarios, debe ser seguro al funcionar, cubrir los aspectos de mercadotecnia que especifique el fabricante debido a que la apariencia del quemador es muy importante y lo que el consumidor percibe por primera vez.

El diseño y el desarrollo de los quemadores son complejos e interesantes debido a que su funcionamiento es afectado por diversos factores como son: la altitud, los diferentes tipos de gases utilizados y por tener diferentes rangos de regulación de la flama, es por esto que como objetivo debe encontrarse el equilibrio de estos factores y su optimización.

## Definiciones de términos técnicos.

- Aire primario.  
Es el aire que se introduce al quemador y que se mezcla con el gas antes de llegar a las portas.
- Aire secundario.  
Es el aire suministrado a la flama en la zona de combustión.
- Aparato.  
Es la estructura en la cual está contenido un sistema de gas para cocinar alimentos.
- Esprea Fija.  
Dispositivo con orificio calibrado para salida de gas.
- Esprea variable.  
Dispositivo con orificio ajustable que permite variar el flujo de gas al quemador
- Cámara de combustión.  
Espacio donde se liberan los gases de la combustión
- Capacidad térmica.  
Cantidad de energía calorífica que genera un quemador de gas en determinado tiempo usualmente expresado en kJ/h.
- Capacidad térmica nominal.  
La especificada por el fabricante e indicada en la etiqueta de identificación del aparato.
- Combustión.  
Es la oxidación o quemado de gases combustibles con la consecuente producción de calor
- Encendedor.  
Dispositivo utilizado para iniciar la combustión en los quemadores.
- Estufa.  
Aparato doméstico para cocinar alimentos, utilizando como fuente de energía el calor generado por la combustión de Gas L.P. o Gas Natural. Básicamente consta de una sección superior y un gabinete que descansa en el piso o se empotra, este gabinete puede incorporar uno o varios hornos. Además, puede contar con un comal y uno o varios asadores.

- Exceso de aire.  
Aire que Cumple a través de la cámara de combustión y chimenea del aparato doméstico en mayor cantidad que la necesaria para la combustión completa.
- Gas Licuado de Petróleo L.P.  
El combustible en cuya composición predominan los hidrocarburos propano, butano, o sus mezclas.
- Gas Natural.  
El combustible en cuya composición predominan los gases formados de hidrocarburos y otros gases que ocurren en forma natural y se encuentran en formaciones porosas debajo de la superficie de la tierra. Su principal constituyente es el metano y contiene cantidades variables de hidrocarburos más pesados y ciertos gases que no son hidrocarburos, tales como: Nitrógeno, Dióxido de carbono, Ácido sulfhídrico, Helio y otros gases nobles. Su poder calorífico es variable y su densidad relativa varía entre 0,58 y 0,79 (aire = 1,0).
- Mezclador.  
Combinación de cabeza, garganta y tubo mezclador del quemador.
- Cabeza Mezcladora.  
La parte de un quemador generalmente ensanchada a la cual fluye el aire primario para mezclarse con el gas.
- Entrada del mezclador (Venturi)  
El exterior de la cabeza del mezclador por el cual entra el aire
- Garganta mezcladora.  
La parte del mezclador que tiene la sección transversal más pequeña y que está situada entre la cabeza mezcladora y el tubo mezclador.
- Tubo mezclador.  
La parte del mezclador que está entre la garganta y la boquilla.
- Poder calorífico.  
Cantidad de calor medida en Joules, producido por la combustión de un metro cúbico de gas a presión constante, una vez que los productos de la combustión son enfriados a la temperatura inicial del gas y del aire, y cuando el vapor de agua formado durante la combustión se ha condensado, se aplican todas las correcciones necesarias.
- Porta del quemador.  
Cualquier abertura en la cabeza del quemador, a través de la cual el gas o una mezcla de gas-aire es descargada para su encendido.

- Presión de entrada.  
Es la presión del gas de alimentación a los aparatos bajo prueba, antes de cualquier elemento de control de flujo de gas y después del punto de conexión de gas del aparato.
- Quemador de inyección atmosférica.  
Dispositivo formado por una garganta, un tubo mezclador y una cabeza provista de portas, en el cual se efectúa el transporte final de la mezcla de gas y aire (este último inyectado a presión atmosférica) a la zona de combustión
- Quemador principal.  
Aquellos que se utilizan directamente para el cocinado de los alimentos.
- Quemador superior.  
Es aquel que está instalado en la sección superior de la estufa, en el cual la flama tiene contacto directo con el medio ambiente.
- Cabeza del quemador.  
La parte del quemador situada a continuación del tubo mezclador y que puede contener las portas.
- Regreso de flama.  
Es la condición en la cual la combustión se realiza antes de llegar a las portas del quemador.
- Regulador de aire.  
Dispositivo ajustable para variar la entrada o entradas de aire primario.
- Regulador de presión de gas.  
Un dispositivo integrado al aparato que permite mantener una presión en el tubo de las válvulas, de acuerdo al tipo de gas utilizado.
- Sección superior.  
Es aquella parte del aparato en la cual se encuentran localizados los quemadores cuyas flamas están en contacto directo con el medio ambiente. Pueden contar con un comal, asador o ambos.
- Sistema automático de encendido.  
Aquel que está diseñado para encender y/o reencender el gas en un quemador.
- Válvula.  
Dispositivo para controlar el paso de gas a un quemador.

- Tubo de válvulas.  
Conducto en una estufa doméstica que distribuye el gas a los quemadores individuales.
- Válvula de doble salida.  
Es aquella que opera dos quemadores (normalmente uno pequeño circunscrito en otro mayor) y que tiene tres posiciones.  
  
La posición 1 en apagado, la posición 2 abiertos los dos quemadores y la posición 3 que es abierto el quemador chico y cerrado el grande.
- Válvula de seguridad para quemador de gas.  
Válvula que para abrirse requiere de dos operaciones por lo menos u otros medios equivalentes y cuyo cierre debe lograrse en una sola operación.
- Válvula selectora para quemador de gas.  
Es aquella que opera dos quemadores, siempre y cuando la alimentación de gas a los mismos no sea simultánea.

# CAPITULO 1

## **Gases utilizados y los principios de la combustión en estufas domésticas.**

### **1.1 Historia.**

La producción y la comercialización de la energía son una de las actividades económicas más importantes del país y una de las principales fuentes del ingreso público. La energía es parte fundamental del desarrollo económico de México y por su puesto la base de la vida moderna.

La historia de los energéticos comenzó con la leña, que acompañó al ser humano durante siglos, la revolución industrial cambio las cosas y posiciono al carbón como la fuente de energía dominante que se empleaba para propulsar las maquinas de vapor. Después de la Segunda Guerra Mundial, el petróleo se convirtió en la principal fuente energética. De la mano de este apareció el gas que, hoy día, es absolutamente indispensable en todas las actividades del hogar como para cocinar, disponer de agua caliente y calentar la casa en días fríos, entre otras cosas.

En la actualidad, en muchas de las ciudades del mundo, estas necesidades se satisfacen a través de dos alternativas: el gas natural y el gas LP.

### **1.2 Tipos de gases utilizados en una estufa.**

#### **Gas Natural**

El gas natural, conocido también como gas metano, es un combustible incoloro e inodoro al que se le agregan odorantes químicos, como el mercaptano, para que pueda detectarse en caso de fuga. Se trata de uno de los combustibles mas utilizados en el mundo y al que se tiene acceso en nuestro país a través de una red de distribución que crece constantemente.

Sus usos son muy variados, por ejemplo, se utiliza para satisfacer las necesidades energéticas de los hogares, para la operación de sistemas de calefacción y de aire acondicionado, en diversas actividades industriales, principalmente, para la generación de electricidad.

El gas natural se distribuye a través de ductos de acero o de polietileno, materiales de alta durabilidad y resistencia, que son adecuados para cualquier tipo de suelo y que permite disponer del combustible las 24 horas del día, los 365 días del año.

Para poder disfrutar de este servicio en el hogar es necesario que en la zona de vivienda cuente con la infraestructura para hacer llegar el gas natural hasta su casa, es decir, que cuente con la red de distribución. Esta infraestructura es desarrollada por las empresas distribuidoras autorizadas por la Comisión Reguladora de Energía (CRE).

En los hogares e requiere la instalación de reguladores de presión, así como de un medidor a la entrada de la instalación. Desde el medidor, el gas se distribuye por medio de una tubería de cobre o acero para llevar el combustible a todos los aparatos donde se requiera.

El consumo se registra a través de un medidor y se paga una vez que el combustible ha sido utilizado.

Todas las instalaciones deben ser revisadas regularmente para garantizar su buen estado y funcionamiento. En caso de fuga, el buen mantenimiento permite que el gas se disperse rápidamente, pues este es más ligero que el aire. En las zonas sísmicas del país como en muchos otros lugares del mundo, la red de ductos se diseña para garantizar la seguridad ante cualquier contingencia.

Las ventajas del gas natural es que es relativamente barato; tiene una combustión completa y limpia, que emite cantidades muy bajas de monóxido de carbono, hidrocarburos reactivos, óxido de nitrógeno, dióxido de carbono y, prácticamente, ninguna de bióxido de azufre (que causa la lluvia ácida y genera partículas cancerígenas).

Su operación es segura, ya que en caso de fuga se disipa rápidamente en la atmósfera, solo requiere de buena ventilación; además, promueve una mayor eficiencia térmica en plantas para la generación de electricidad y puede emplearse como combustible para automotores (disminuye entre un 20 a 25 % las emisiones contaminantes de dióxido de carbono en comparación con vehículos que utilizan gasolina).

#### Gas LP.

La producción de gas LP en México se realiza desde principios de siglo, sin embargo, fue hasta 1946 cuando se inició su comercialización como estrategia para sustituir la utilización de combustibles vegetales (leña, carbón, petróleo) en las casas de las zonas urbanas.

El gas LP es la principal alternativa de combustible en nuestro país, ya que llega a más de 90 millones de mexicanos a través del uso doméstico (ocho de cada diez hogares mexicanos utilizan este energético), industrial y de carburación automotriz. Actualmente a nivel mundial México ocupa el cuarto lugar en consumo de gas LP (después de Estados Unidos, Japón y China) y el primero en consumo doméstico.

El gas LP es el nombre genérico para el gas butano y propano de uso comercial. También es incoloro e inodoro (se le agregan odorantes para detectarlo en caso de fugas); tiene la propiedad de volverse líquido a temperaturas atmosféricas cuando es sujeto a una compresión moderada, y regresa a su estado gaseoso cuando esta presión se reduce. Gracias a esta propiedad, el gas LP se puede almacenar y transportar en estado líquido, en cilindros o tanques.

En el ámbito doméstico y comercial, el gas LP se utiliza para cocinar, refrigerar, alumbrar y en la calefacción; a nivel industrial se emplea en cualquier equipo que requiera un combustible fácilmente controlable (hornos para tratamiento de metales, vidrio, etcétera); en la industria agrícola se usa para secar alfalfa, heno y semillas o en la destrucción de malas hierbas; de igual forma se utiliza como combustible de automotores y como materia prima para fabricar plásticos, hule sintético y productos químicos, entre otros.

El gas LP se distribuye generalmente a través de los cilindros o de pipas que surten a los tanques estacionarios de los hogares, por lo que es muy importante verificar que estos siempre se encuentren en buenas condiciones para evitar fugas.

Las instalaciones del gas LP son similares a las del gas natural para llevar este a los aparatos como la estufa, el calentador de agua, la secadora a través de tubería de de cobre o de acero galvanizado. Los tanques estacionarios o los cilindros deben estar correctamente ubicados y bien ventilados, de manera que las operaciones de carga y descarga puedan ejecutarse con seguridad.

A pesar de que el gas LP es más denso que el aire, el buen estado de la instalación permite que el gas se disperse en caso de que exista fuga.

La ventaja principal del gas LP es que puede ser manejado con la conveniencia de un líquido y utilizado con el beneficio partícula de los combustibles gaseosos. Además es relativamente barato; se puede transportar a cualquier lugar, ya sea en la ciudad o en el campo, pues es posible almacenarlos en recipientes y tienen una combustión completa y limpia, por lo que en grandes ciudades con problemas de contaminación vehicular, se utiliza como combustible de automotores.

### 1.3 Límites explosivos del gas.

Cuando se utiliza gas en un producto, una de las preocupaciones son las explosiones debido a las fugas posibles, muchas compañías de gas instalan detectores de gas, estos detectan el porcentaje de gas sobre un límite inferior de explosividad. Abajo del límite inferior; el gas no se quemara, ya que la mezcla es muy pobre. Arriba del límite superior la mezcla es muy rica para que se alcance a quemar, si la mezcla es de aire y combustible en las adecuadas cantidades solo se requeriría de un poco de calor 482 C (900 grados Fahrenheit) para el encendido repentino (explosión).

El porcentaje de gas en el aire que llegaría a encenderse varía de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 1.3 Propiedades de los gases combustibles utilizados en una estufa.

Propiedad	Metano CH <sub>4</sub>	Propano C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Butano C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	0.665	1.834	2.417
Poder calorífico (Btu/ft <sup>3</sup> )	922	2480	3215
Límites de flamabilidad (% gas en aire)	5.3 – 14.9 %	2.2 – 9.5 %	1.9 - 8.5 %
Temperatura de la flama (C)	1949	1977	1983
Temperatura de encendido (C)	650 - 750	547	527
Relación Aire /Gas en volumen	9.52	23.8	30.94
Relación Aire/gas en masa	17.25	15.68	15.47

## 1.4 Combustión en estufas domésticas.

La combustión puede ser definida como la combinación rápida de un combustible con el oxígeno, produciendo calor y luz, la mayoría de los procesos de combustión liberan energía (casi siempre en forma de calor) que pueden ser aprovechados en los procesos industriales para obtener fuerza motriz, iluminación y calefacción doméstica.

La siguiente figura muestra los tres componentes fundamentales para llevarse a cabo la reacción de la combustión:

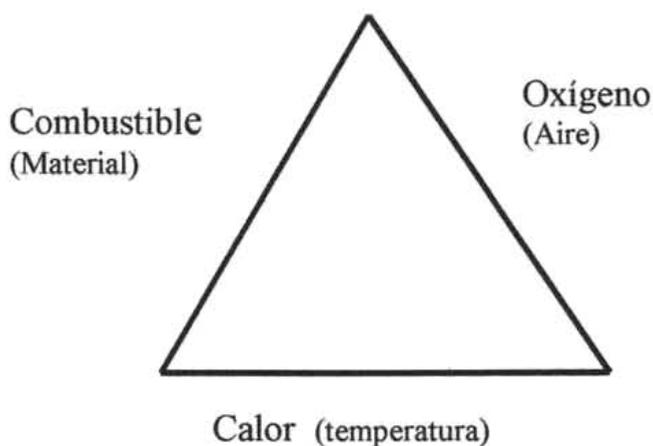


Fig. 1.4 .1 Componentes fundamentales para la reacción química de la combustión.

La combustión completa es cuando se tiene la mezcla adecuada de aire y combustible, por ejemplo; la relación perfecta (estequiométrica) entre el aire y el gas natural es de 1 a 9.52, esto quiere decir que, por cada pie cúbico de gas, 9.52 pies cúbicos de aire deben ser suministrados para llevarse a cabo la combustión, el aire está compuesto de una parte de oxígeno y cuatro partes de nitrógeno; solo 2 pies cúbicos de oxígeno son utilizados en el proceso de la combustión. La combustión perfecta producirá 2 tipos de productos; dióxido de carbono y vapor de agua, así como también calor y luz.

Cuando existe oxígeno en exceso, la temperatura de la flama se reducirá, obteniéndose una ligera pérdida de combustible. Sin embargo, es difícil obtener una combustión perfecta. En quemadores industriales en los que se tiene el control sobre el aire suministrado, los quemadores son usualmente ajustados con un 20% de exceso de aire.

Un gas quemado incompletamente producirá monóxido de carbono (CO), el cual es extremadamente venenoso para el cuerpo humano. Los glóbulos rojos de la sangre prefieren CO 300 veces mas que el oxígeno, así, bajas concentraciones de CO pueden rápidamente saturar la sangre desplazando el oxígeno a las partes del cuerpo. En una atmósfera conteniendo una parte de CO a 2000 partes de aire (0.05%) puede matar a una persona en 3 horas de exposición.

Debido a que el monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y no da señal de su presencia, este puede estar presente en cantidades peligrosas sin ser detectado (tabla 1.2). Frecuentemente la producción de monóxido de carbono es acompañado por otros gases conocidos como aldehidos, los cuales tiene un olor muy desagradable, penetrante e irritante a los ojos y a la nariz. Si los productos de la combustión poseen este olor agudo, el monóxido de carbono esta presente. Los diseños apropiados y el correcto ajuste de los aparatos no producirán monóxido de carbono (excepto en los primeros momentos después de encender un quemador) y son perfectamente seguros respecto a razonables cuidados de su uso.

Tabla 1.4.1. Muestra los efectos de las concentraciones de CO<sub>2</sub> al se inhalados por el ser humano.

Partes de Monóxido de carbono por millón de partes de aire	Porcentaje de monóxido de carbono en el aire	Efecto en el ser humano
50	0.005	Concentración permisible para una exposición de 8 horas.
400 a 500 <sup>2</sup>	0.04 – 0.05	Concentración que puede ser inhalada por 1 hora sin efecto apreciable
600 a 700 <sup>2</sup>	0.06 – 0.07	Concentración causando un efecto apreciable después de una hora de exposición.
1000 a 1200 <sup>2</sup>	0.10 – 0.12	Concentración causando incomodidad pero no síntomas peligrosos después de 1 hora de exposición.
1500 a 2000 <sup>2</sup>	0.15 – 0.20	Concentración peligrosa por 1 hora de exposición.
4000 y superior	0.40 y superior	Concentraciones que son fatales en exposición de menos de 1 hora.

Algunas de las causas comunes de la combustión incompleta y el resultado de formación de monóxido de carbono con aparatos domésticos incluyen los siguientes aspectos:

- 1.- La falta de aire primario es la primera condición y se nota como una flama larga con un cono no distinguible y posiblemente una flama con punta amarilla.
- 2.- La falta de aire secundario es la segunda condición usualmente reconocida, una o todas las flamas tienden a flotar lejos del quemador, la localización de los aparatos domésticos en lugares cerrados pueden producir estas condiciones.
- 3.- Los quemadores con sobrecapacidad de gas causan que las flamas sean demasiado largas y que choquen entre ellas o con otras superficies cercanas y frías.

4.- Las corrientes externas de aire chocando con el área de combustión del aparato.

5.- La falta de corrientes a través del aparato para llevar todos los productos de combustión y proveer una adecuada cantidad de aire secundario. Esta condición puede ser causada por restricciones de aberturas de ventilación, pasajes de ventilación, o de aberturas de aire secundario. Estas aberturas pueden ser muy pequeñas o puede estar parcialmente cerradas por acumulación de suciedad, polvo u otros materiales extraños. Las corrientes naturales a través del aparato pueden ser adversamente afectadas en conexión con chimeneas sin el uso apropiado del diseño, en caso de que un tiro se bloquee las flamas pueden extinguirse.

## **1.5 Características de la flama.**

La flama es una masa incandescente de los gases al ser quemados en el proceso de la combustión, una flama típica es la de una vela ardiendo. Cuando se enciende la vela, el calor del fósforo funde la cera, que sube por la mecha y se volatiliza por medio del calor. A continuación, la cera volatilizada es descompuesta por el calor, y finalmente reacciona con el oxígeno del aire que la rodea, generando calor y luz. Esta flama tiene tres zonas que se distinguen fácilmente:

La zona interior, es un cono no luminoso, está compuesta por una mezcla de gas y aire a una temperatura comparativamente baja. El segundo cono, que es luminoso, se producen hidrógeno y monóxido de carbono por descomposición, que empiezan a reaccionar con el oxígeno para formar agua y dióxido de carbono respectivamente, en este cono la temperatura de la flama (de 590 a 680 °C) es suficientemente alta como para disociar los gases de la flama y producir partículas libres de carbono, que se calientan hasta la incandescencia y luego se consumen. El carbono incandescente produce la luz amarilla característica de esta parte de la flama. En el exterior, la zona luminosa es un tercer cono invisible en el que se consumen el monóxido de carbono e hidrógeno restantes.

Si se introduce un objeto frío en la parte exterior de una flama, la temperatura de esa parte descenderá por debajo del punto de combustión, y se desprenderán carbono y monóxido de carbono sin quemar. Por ejemplo, si se pasa un plato de porcelana a través de la flama de una vela, el carbono se depositará en el plato en forma de hollín. Todas las sustancias combustibles requieren una proporción definida de oxígeno para arder completamente. En la combustión de una vela, o de sólidos como la madera y el carbón, este oxígeno es suministrado por la atmósfera que los rodea.

En los sopletes y otros tipos de mecheros de gas, se mezcla aire u oxígeno puro con el gas en la base del mechero, de forma que el carbono se consume casi instantáneamente en la boca del mechero. Por este motivo, las flamas no son luminosas. Estas flamas ocupan un volumen menor y son proporcionalmente más calientes que la flama de una vela. La parte más caliente de la flama de un mechero Bunsen tiene una temperatura de unos 1600 °C. La parte más caliente de las flamas de oxígeno-acetileno utilizadas para soldar metales alcanza los 3500 °C; dichas flamas tienen un cono verde azulado en lugar del cono luminoso. Si se reduce el suministro de oxígeno, estas flamas tienen cuatro conos: no luminoso, verde-azulado, luminoso e invisible.

Al cono verde-azulado de cualquier flama se le suele llamar cono reductor, porque al no tener suficiente oxígeno lo adquiere de las sustancias situadas en su interior. De la misma forma, al cono exterior, que tiene un exceso de oxígeno, se le llama cono oxidante.

Actualmente es posible estudiar intensivamente los procesos moleculares que tienen lugar en las distintas regiones de las flamas utilizando las técnicas de espectroscopia láser.

El Color de la flama.

Flama Azul.

Cuando la flama en un quemador Bunsen contiene una razonable cantidad de aire primario la flama tendrá una coloración azul y tendrá varias zonas de calor, cada una de estas zonas marca una etapa del quemado del gas.

En la figura 1.5.1 se muestran las características de una flama azul en un mechero Bunsen.

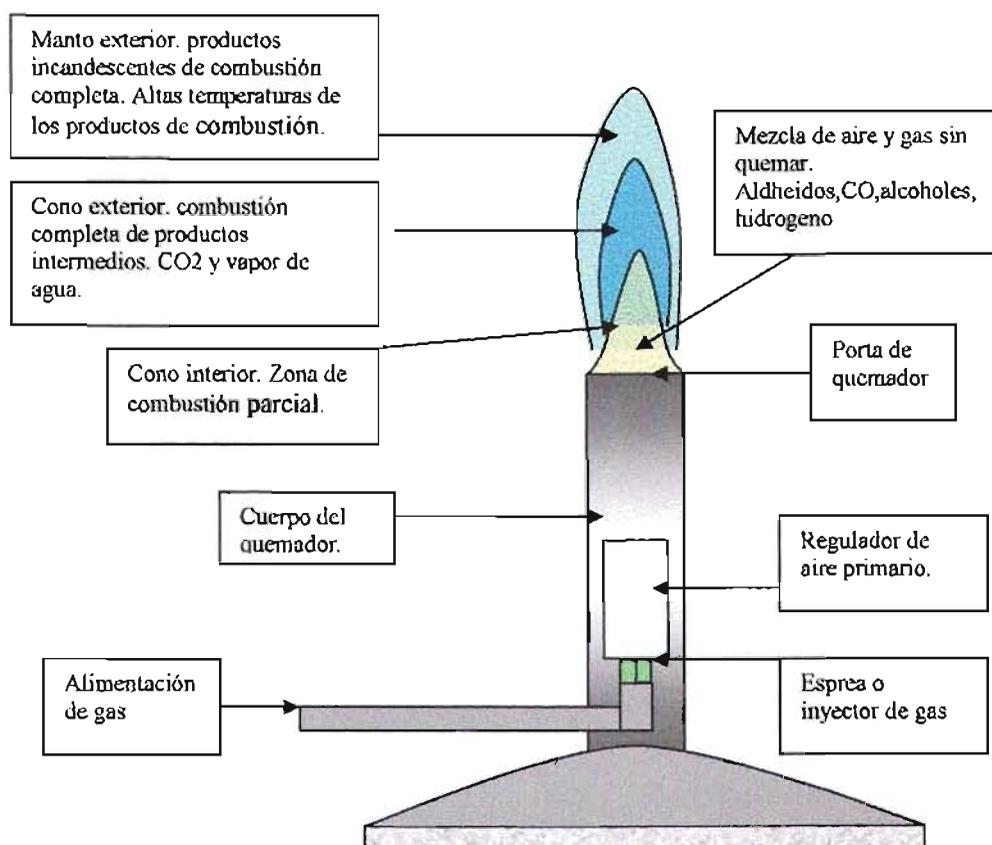


Fig. 1.5.1 Mechero Bunsen con una flama azul.

## Flama Amarilla.

Esta flama fue la base de calor y de la luz en etapas muy tempranas de los usos del gas, los primeros quemadores tuvieron pequeños hoyos o ranuras en un tubo en el que podía pasar el gas y mezclarse con el aire de los alrededores, sin embargo cuando el gas era demasiado, este se quemaba con la presencia de una flama amarilla, la cual producía luz y calor, esta flama puede provocar tizne cuando toca una superficie de un material.

La siguiente figura muestra un quemador Bunsen con el regulador de aire cerrado, la combustión es llevada a cabo solo con el aire secundario (aire de los alrededores).

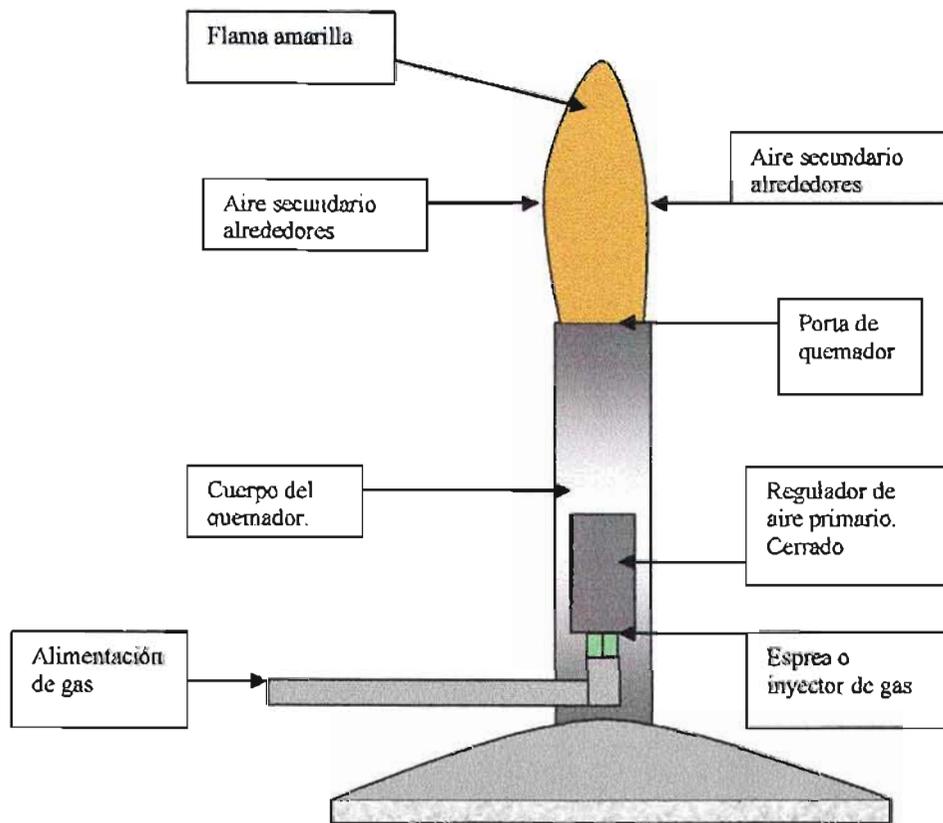


Fig. 1.5.2 Mechero Bunsen con una flama amarilla.

## 1.6 Tipos de quemadores utilizados en una estufa.

Los quemadores en una estufa son clasificados de acuerdo a la forma en la que el aire primario es suministrado:

- Quemadores parcialmente aireados (atmosféricos).
- Quemadores totalmente aireados (forzados).

Los quemadores atmosféricos o parcialmente aireados son aquellos en los que el aire necesario para la combustión está dividido en dos partes, la primera parte del aire (aire primario) se introduce a través del venturi del quemador aproximadamente entre un 30 a un 50% y la segunda parte (aire secundario) lo toma la flama de sus alrededores.

Los quemadores forzados; como su nombre lo dice, obtienen el 100% del aire primario para la combustión a través de medios mecánicos como ventiladores o aire comprimido.

La clasificación de los quemadores según su ensamble en la cubierta es:

- “Sellados”
- “No sellados o abiertos”

Los quemadores sellados son llamados así, debido a que el ensamble de la cubierta y de los quemadores, impiden que algún objeto o los líquidos derramados, la sobrepasen, dificultando su limpieza.

La cubierta “no sellada”, permite que los derrames u algunos objetos caigan hacia abajo, esto provoca que la cubierta tenga que ser abatible. Una de las ventajas de este tipo de cubierta, es que permite un el paso de aire secundario por la parte inferior de la cubierta y que se complementa con el aire ambiente alrededor de la flama.

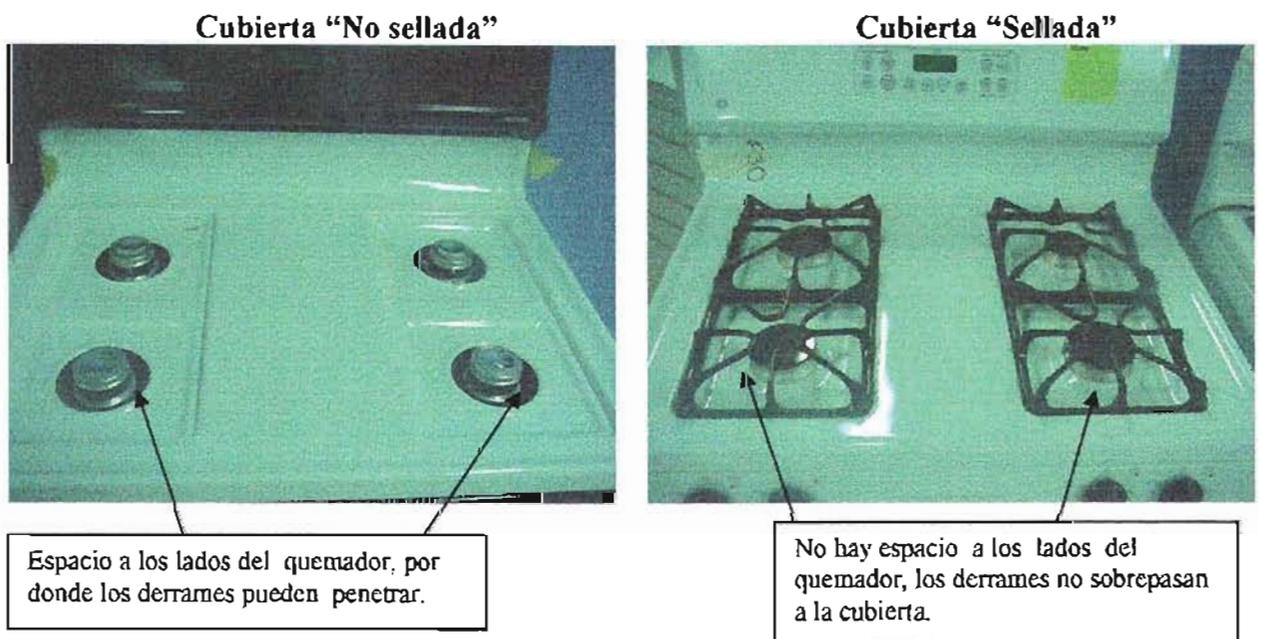


Fig. 1.6.1 Muestra los dos tipos de cubiertas “sellados y no sellados” con sus quemadores.

En la siguiente foto se muestra un quemador de una cubierta “no sellada”, en este caso la cubierta es abatible y fácilmente podemos observar su sistema de gas, la esprea esta ensamblada junto con la válvula de gas, el aire primario es suministrado con anticipación a través de el regulador de aire (ranuras en el tubo), el aire primario y el gas son premezclados en la trayectoria hacia la cabeza del quemador.

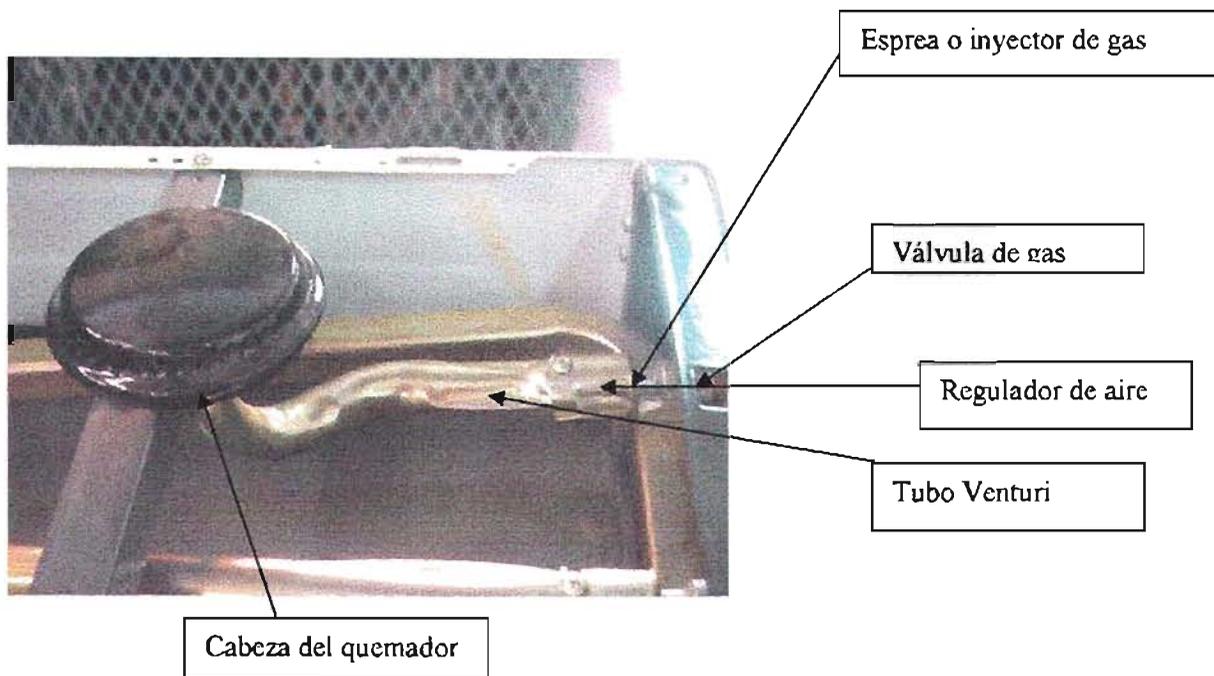


Fig. 1.6.2. Quemador atmosférico con inyección de gas desde la válvula.

En la siguiente foto, se muestra un quemador en una cubierta “sellada”, el perfil del quemador se adapta a la geometría de la cubierta para impedir que los derrames de líquidos entren por abajo, la desventaja de esto, es que el aire secundario se restringe a ser obtenido de los alrededores de la flama.



Fig. 1.6.3 Quemador atmosférico utilizado en México, con inyección vertical del gas en una cubierta sellada con ajuste de aire primario a través del anillo.

**Nota.** Este tipo de quemador debe contar con un sistema de conversión de gas de tal forma que permita el cambio de la esprea desde arriba de la cubierta sin necesidad de desmontarla.

En las siguientes fotos se muestra el quemador tipo atmosférico “sellado” y su sistema de gas, como se observa; la esprea puede retirarse y colocarse desde arriba cuando el quemador esta fuera de su posición.

Estos quemadores cuentan con su inyección de gas en forma vertical lo que permite tener una cubierta fija y sellada, la conversión de gas se hace a través del cambio de la espreas desde arriba de la cubierta, no se requiere de ajuste de aire primario debido a que el diseño del quemador no lo requiere.

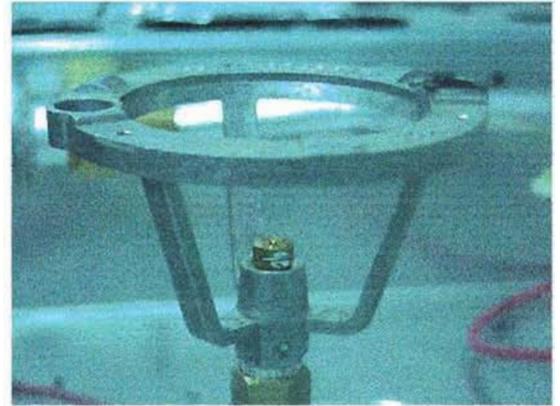
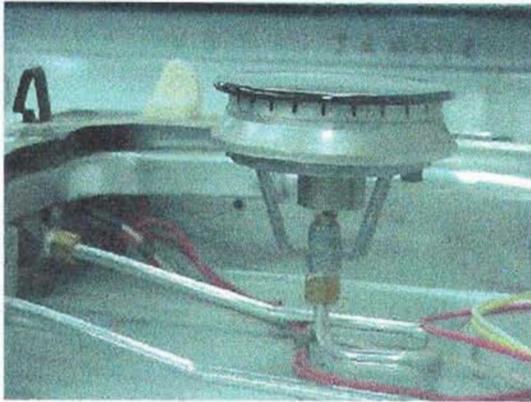


Fig. 1.6.4 Sistema de quemadores utilizado en México y EE.UU.

Las siguientes fotos muestran otro sistema de inyección del gas, estilo europeo, el ajuste del aire es fijo y la alimentación de aire primario es por el pequeño espacio (anillo) que existe entre la cubierta y la base del quemador.

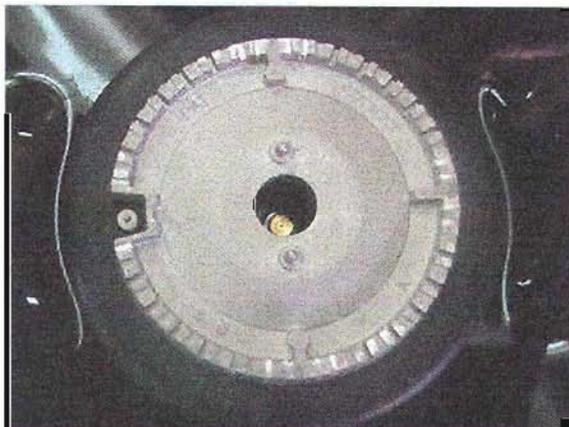


Fig. 1.6.5 Sistema Europeo.

# CAPITULO 2

## NORMAS Y COMPONENTES DE UN QUEMADOR

### 2.1 Normas.

Las normas son documentos técnicos establecidos por el consenso de los fabricantes y aprobado por un organismo reconocido a nivel local, industrial, regional, nacional o internacional, basadas en los resultados conjuntos de la ciencia, la tecnología y la experiencia. Mediante las normas, todos los fabricantes de un mismo producto garantizan una mínima calidad en estos, bajo un mismo criterio.

Las normas nacionales son elaboradas, sometidas a un periodo de información pública y sancionadas por un organismo reconocido legalmente para desarrollar actividades de normalización en un ámbito nacional.

Las normas regionales son elaboradas en el marco de un organismo de normalización regional, normalmente de ámbito continental, que agrupa a un determinado número de organismos nacionales de normalización.

Las normas internacionales tienen características similares a las normas regionales en cuanto a su elaboración, pero se distinguen de ellas en que su ámbito es de carácter mundial.

Las normas son clasificadas de acuerdo a su grado de obligatoriedad oficial, por su campo de aplicación y por su tipo.

Por el grado de obligatoriedad existen dos tipos:

- Las normas oficiales mexicanas (NOM) de carácter oficial obligatorio.
- Las Normas Mexicanas (NMX) de carácter oficial no obligatorio o voluntaria.

Por su campo de aplicación pueden considerarse entre otras, los diferentes tipos de actividades o ramas productivas:

- Eléctrica y Electrónica.
- Comunicaciones.
- Aluminio.
- Plásticos.
- Química.
- Textil.
- Acero.
- Metrología.

- Sistemas de calidad.

Normas aplicadas en las estufas domésticas que utilizan gas.

La norma en E.U.A aplicable a los aparatos domésticos de cocinado con gas es la “American National Standar Institute” (ANSI Z21.1. 2003), esta norma representa el estándar básico para una operación segura, una construcción durable y de un funcionamiento aceptable de los aparatos de cocinado a gas. Fue el resultado de años de experiencia de manufactura, evaluación, instalación, mantenimiento, inspección, diseño y desarrollo de aparatos domésticos de cocinado a gas.

La seguridad y la operación satisfactoria de estos aparatos dependen fundamentalmente de la instalación apropiada del uso y del mantenimiento. La norma ANSI Z21.1 comprende 2 secciones, la primera se refiere a la construcción y la segunda al funcionamiento.

La sección de construcción comprende a la estructura de los aparatos y de todos sus componentes (válvulas, termostatos, materiales cerámicos, vidrios, tubería, quemadores, aislantes, materiales eléctricos, chimeneas, accesorios, instructivo y etiquetas).

La parte de funcionamiento comprende a los diferentes sistemas eléctricos, mecánicos y de gas, métodos de pruebas que cubren aspectos de seguridad, funcionamiento térmico y resistencia mecánica con sus respectivos criterios de aceptación y de rechazo.

Los quemadores a gas son sometidos a pruebas de resistencia mecánica para asegurar que el quemador soporte las altas temperaturas; no son aceptables las deformaciones y deben conservar su funcionamiento a través del tiempo.

## 2.2 Partes y componentes del sistema del quemador.

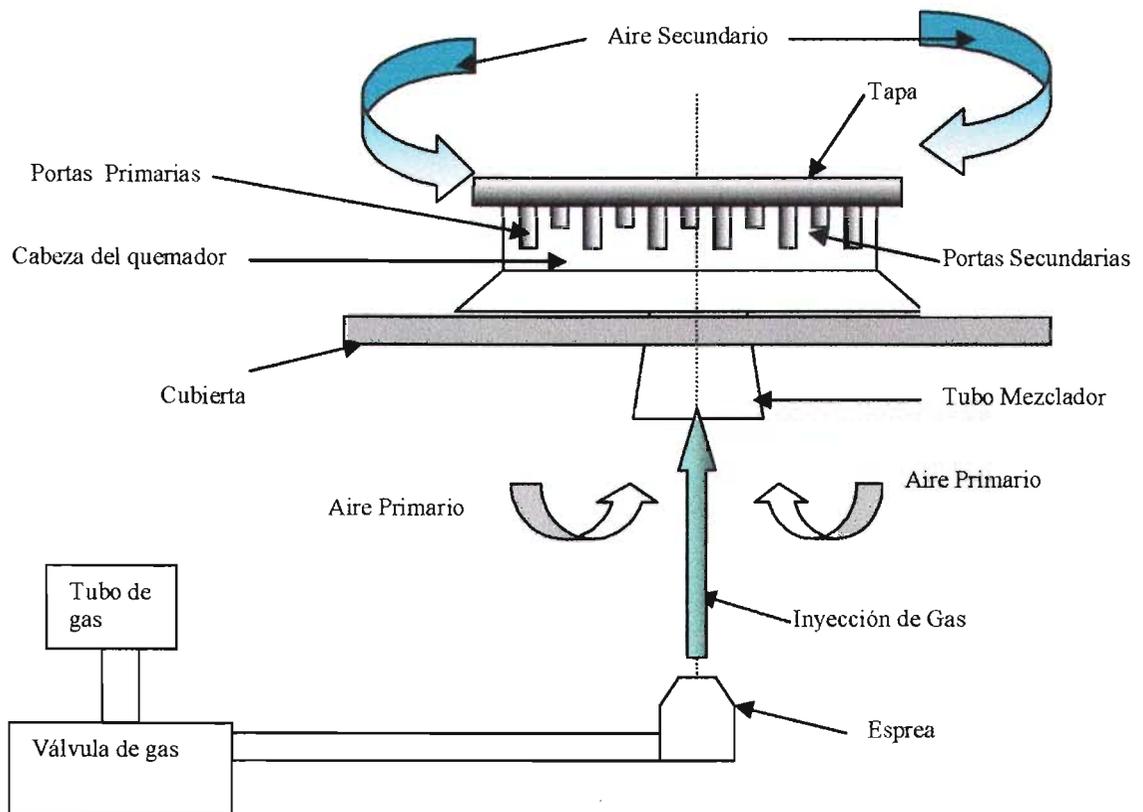


Fig. 2.2 Esquema de un quemador atmosférico con inyección de gas vertical.

## 2.3 Requerimientos de un quemador.

Las especificaciones en el diseño de un quemador surgen de las necesidades de los usuarios y de las normas de seguridad que debe cumplir, estos deben identificarse claramente y estar bien definidos a través de especificaciones técnicas que permitan establecerlos como dimensiones o características o como parámetros necesarios en el quemador.

### Requerimientos de la Norma.

Construcción	Descripción												
Materiales	Los materiales y componentes utilizados en la construcción de un aparato deben resistir las temperaturas a las que son expuestos durante su uso. Deben estar contruidos de un material o tener un acabado que resista 72 h en la cámara de niebla salina.												
Punto de fusión de quemadores y boquillas	Todas las partes de los quemadores de la sección superior deben fabricarse con un material cuyo punto inicial de fusión sea mayor de 510°C. Las espreas deben ser contruidas de metal, con un punto de fusión no menor a 425°C. La muestra no debe presentar indicios de deformación o fusión al grado de que afecte su funcionamiento												
Construcción y ensamble	Las espreas variables y los medios de ajuste de aire primario deben poderse ajustar desde el frente del aparato. Los quemadores de la sección superior deben desmontarse sin usar herramienta especial. Estos quemadores y sus soportes no deben permitir un armado o colocación incorrecta.												
Espreas	Las espreas de gas deben asegurarse para prevenir el no alineamiento con los mezcladores de aire.												
Especificaciones eléctricas	El aparato debe contruirse de tal forma que la cubierta, la estructura y todas las partes metálicas que no conduzcan corriente sean eléctricamente continuas hasta el punto de la conexión a tierra del aparato. La resistencia eléctrica de un aparato debe ser menor a 0,1. La corriente de fuga medida en un aparato tal como se especifica a continuación no debe exceder 0,5 mA												
Presiones de prueba y ajuste de quemadores	Los quemadores deberán operar bajo las siguientes condiciones de prueba. <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th>Presión (in w.c.)</th> <th>Gas Natural</th> <th>Gas L.P.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Normal</td> <td>4</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>2 Baja</td> <td>3.5</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>3 Alta</td> <td>6</td> <td>12.2</td> </tr> </tbody> </table>	Presión (in w.c.)	Gas Natural	Gas L.P.	1 Normal	4	8	2 Baja	3.5	10	3 Alta	6	12.2
Presión (in w.c.)	Gas Natural	Gas L.P.											
1 Normal	4	8											
2 Baja	3.5	10											
3 Alta	6	12.2											
Capacidad térmica de quemadores y pilotos	La capacidad térmica de los quemadores principales debe ser la especificada por el fabricante, con una tolerancia de $\pm 5\%$ .												
Peligro de incendio	Las flamas de los quemadores superiores estando los quemadores prendidos durante 10 minutos y con recipientes sobre las parrillas, no deberán encender una tela que se coloque tangencialmente al diámetro superior del recipiente y que llegue a la superficie de la parrilla en un tiempo no menor a 30 segundos.												
Combustión	Los quemadores no deben producir monóxido de carbono en concentración mayor de 0,08% libre de aire. (800 ppm.)												
Los pilotos y los quemadores superiores.	deben operar sin depositar carbón												
Quemadores	no deben expulsar gas a través de la entrada de aire al mezclador ni tener regreso de flama.												
Las flamas de los quemadores y pilotos de cualquier sección.	No deben extinguirse al operar todos los quemadores simultáneamente. No deben presentar separación o flotamiento de las flamas como resultado de operar los quemadores de hornos o asadores simultáneamente. Los quemadores de la sección superior aceptable una separación de flama durante los primeros 5 min. de operación del quemador, después de este periodo la flama debe estabilizarse sin separación de flama.												
Encendido de quemadores de la sección superior	El encendido de los quemadores de la sección superior debe ocurrir dentro de un periodo de 4 s después que el gas ha llegado a las portas del quemador.												
Componentes y accesorios	Los quemadores no deben presentar fugas, fusión o deformaciones permanentes que afecten su funcionamiento normal cuando sean expuestos a 40 h de funcionamiento continuo												

<b>Requerimientos del usuario</b>	<b>Especificación técnica requerida</b>
Rapidez de cocinado	Tiempo de ebullición del agua
No activar alarmas de monóxido de carbono	CO < 800 ppm
No tener peligro de incendios	Cumplir con prueba de peligro de incendio
No tizne los recipientes	Cumplir con la prueba de depósitos de carbón.
No se deforme con el calor	No regreso de la flama
Flama no se apague	Cumplir con separación de flama
No queme los alimentos en flama baja	Cocinado de salsa de espagueti
No se apaguen los quemadores en flama mínima.	Cumplir con la prueba de cierre de puertas
Enciende fácil y rápido	Tiempo de encendido
Fácil de limpiar y que los derrames no sobrepasen más allá de la cubierta superior	Cubierta sellada

## CAPITULO 3

### DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA.

#### 3.1 Metodología.

La metodología utilizada es conocida como “Seis Sigma”, esta es una secuencia rigurosa de pasos para la solución de los problemas que van surgiendo conforme el proyecto va desarrollándose, utilizando herramientas estructuradas de medición y de análisis estadísticos.

Algunas herramientas son las siguientes:

1. Mapeo de procesos
2. Estructura de árbol.
3. Análisis de Pareto.
4. Gage R y R.
5. Subgrupos racionales
6. Proceso de línea base.
7. Análisis de tolerancia.
8. Búsqueda de componentes.
9. Pruebas de hipótesis
10. Regresión.
11. Diseño de Experimentos (DDE )
12. Control estadístico de procesos (CEP)

La palabra “Sigma” indica una unidad estadística de medida que refleja la capacidad que tiene un proceso. La escala sigma de medida esta perfectamente correlacionada con tales características como los defectos por unidad, partes por millón y la probabilidad de falla / error, los niveles de defectos se reducen de manera exponencial conforme aumentan los niveles sigma de un valor al siguiente.

La siguiente tabla muestra la disminución de los defectos conforme el nivel de sigma aumenta.

Nivel sigma	Numero de defectos (PPM)
2	308537
3	668074
4	6210
5	233
6	3.4

Antes de iniciar un proyecto “6 sigma” la “voz del consumidor” (requerimiento del cliente) debe ser traducida a la “voz del ingeniero” (requerimientos técnicos).

Un “requerimiento”; es un área, sensación o función que será un factor para tomarse en cuenta al decidir una compra o al volver a comprar.

Se le llama cliente a las personas que están enseguida de un proceso, este puede ser interno o externo.

El consumidor es el usuario final del producto, generalmente se le considera como externo; es decir el propietario o comprador del producto.

Cuando se convierte un requerimiento del cliente o del consumidor a un requerimiento técnico este a su vez es convertido a un parámetro de diseño importante que se le denominara como un factor crítico para la calidad del producto (CTQ), este puede ser un componente, una parte, una dimensión o una característica en particular.

Para analizar estos requerimientos se utiliza el método de despliegue de la función de calidad (QFD) que se utiliza para encadenar el requerimiento clave de los consumidores con las especificaciones de desempeño y los parámetros críticos para la calidad (CTQ).

El proceso (QFD) establece los siguientes pasos:”

- Identificar los requerimientos clave del consumidor mediante una investigación del mercado, requisitos de confiabilidad, requerimientos de normas/reglamentos y factores actuales de calidad.
- Jerarquizar los requerimientos por orden de importancia y los traduce en especificaciones técnicas necesarias para satisfacer los “requerimientos de los clientes”.
- Colocar las especificaciones técnicas por orden de importancia del impacto que hacen en los requerimientos de los cliente y traducirlas en las características potenciales de las partes (CTQ’s).
- Ordenar las características de las partes por su impacto en el cumplimiento de las especificaciones técnicas (CTQ’s)

Otra forma de obtener requerimientos adicionales antes de empezar el diseño es el anticiparse a los posibles problemas que por experiencia se conocen, para esto se utiliza la herramienta de “Análisis de modo y efecto de la falla” (AMEF), de este análisis se obtiene las causas posibles en que un sistema, una parte o componente puede fallar, este proceso AMEF se utiliza para identificar y ordenar de manera pro-activa los riesgos en un diseño del producto y asigna las acciones correctivas apropiadas para prevenirlo.

El proceso del AMEF menciona los siguientes pasos:

- Crear lluvia de ideas para detectar fallas potenciales del diseño del producto.
- Asignar valores estimados de la severidad y probabilidad de ocurrencia a cada modo potencial de falla.
- Determinar que medidas de control existentes se están llevando a cabo para eliminar modos de falla significativos.
- Desarrollar acciones que se puedan tomar para eliminar o reducir el riesgo en todos los modos de falla significativos restantes.

## 3.2 Definición del problema.

Es muy importante definir bien el problema, una definición del problema debe incluir las dos situaciones: “Tal como está” y el “Estado Deseado” del asunto en cuestión y debe ser específico y medible, establecer el beneficio de arreglar el problema ya sea financiero o técnico.

Se sugiere de desarrollar un cronograma del proyecto para organizar las actividades críticas y mantenerlas bajo control hasta completarlo.

Para el análisis del problema es recomendable realizar una comparación contra otros productos de la competencia para identificar las mejores prácticas ofrecidas por las compañías de clase mundial y las practicas de negocio de la propia compañía para compararlas y mejorarlas también se le conoce como “línea base”.

Etapas de definición:

- Definición del problema: Estado real y estado deseado.
- Definición de la “Y”.
- Definir el equipo de apoyo técnico.
- Efectuar análisis financiero.
- Definición de las metas preliminares.
- Lluvia de ideas para obtener las “X’s” potenciales.

Herramientas que pueden utilizarse:

- Mapeo de procesos.
- Diagrama de pescado.
- Estructura de árbol.
- Paretos.
- Estudio de mercado.
- Especificaciones.
- Función de despliegue de la calidad.
- Análisis de modo de falla

### 3.3 Identificación de necesidades o requerimientos.

Existen varias formas de buscar las necesidades o requerimientos de un producto, estas pueden ser:

- A través de estudios de mercado
- Normas nacionales y/o internacionales.
- Fabricación de los quemadores.
- Las condiciones y fronteras en las cuales será diseñado el quemador, como son tipo de gas, presión de gas, distribución de quemadores en la estufa, condiciones ambientales.

Establecer una relación entre los requerimientos y especificaciones en el quemador.

Cuando se han asociado los requerimientos técnicos con las características del quemador, se procede a realizar los diseños de experimentos con la finalidad de encontrar las variables que son importantes (significativas) para cumplir con el objetivo, estas variables pueden ser significativas en forma individual o en forma combinada. Una vez que se conocen las variables significativas para un requerimiento, se pueden definir las tolerancias para cada una de ellas y así lograr la optimización de la respuesta.

Por ejemplo; para el requerimiento de “rapidez de cocinado” podemos establecer los límites superior e inferior de la distancia entre la parrilla y el quemador y los límites en que la capacidad térmica del quemador cumple con el tiempo de calentamiento menor a 15 minutos, de esta forma todos los requerimientos planteados en el quemador son analizados a través de los diseños de experimentos. Cabe mencionar que las características o parámetros del diseño del quemador pueden ser benéficas para un requerimiento como también puede ser perjudiciales para otro.

En el caso de “rapidez de cocinado”, la solución de acercar el recipiente a la flama disminuyendo la distancia entre el quemador y la parrilla o la de aumentar la capacidad térmica del quemador puede ser perjudicial al requerimiento de combustión el cual no debe exceder de 800 ppm. de monóxido de carbono, ya que por experiencia al reducir esta distancia o al aumentar la capacidad térmica puede provocar que las emisiones de monóxido de carbono sean mayores, no cumpliendo con el requerimiento de la combustión, debido a esto; se deberá tener cuidado con los demás requerimientos para llegar a una optimización del diseño y satisfacer a ambos o a todos los requerimientos a la vez.

Una vez que todos los requerimientos sean cumplidos se confirma el diseño del quemador con prototipos evaluados en laboratorio a diferentes altitudes; la altitud es una variable importante que afecta al comportamiento de la flama, a la combustión y otras características del quemador.

Una vez que se conocen los requerimientos se procede a convertir estos a especificaciones técnicas, en base a estas especificaciones se procede a diseñar el prototipo el cual tendrá como objetivo cumplir con todas las especificaciones técnicas obtenidas.

Este prototipo será evaluado en su totalidad para verificar el cumplimiento de los requerimientos previamente obtenidos.

### 3.4 Medición.

La metodología 6 sigma está fundada en la idea de tomar decisiones basadas en datos; por esto, es fundamental que estos datos sean confiables.

El estudio Gage R&R es un método usado para analizar un sistema de medición para determinar la cantidad y el tipo de variación (error) cuando se mide algo.

El estudio Gage R&R nos permite:

- Determinar si el error de medición es pequeño y aceptable relativo a la variación del proceso o especificación del producto.
- Determinar la confianza de la “certeza” de los datos.
- Obtener una adecuada resolución del Gage.
- Enfocar los esfuerzos de mejorar si la variación de la medición es inaceptable.

Algunas definiciones importantes en el análisis G R&R:

- La variación observada de cualquier grupo de datos es la suma de la variación real de las partes más la variación del sistema de medición.
- La repetibilidad es la variación de la medición cuando una persona usa el mismo instrumento para medir la misma parte.
- La reproducibilidad es la variación promedio de las mediciones obtenidas cuando dos o más personas usan el mismo instrumento para medir las mismas partes.
- La exactitud es la diferencia entre el promedio observado de las mediciones y el promedio real.
- La resolución es definida como la cantidad más pequeña que el instrumento de medición es capaz de leer.

La variación del sistema de medición es determinada usando el estudio del Gage R&R (repetibilidad y reproducibilidad), el instrumento de medición deberá tener una resolución menor o igual al 10% de la especificación o variación del proceso.

Este análisis también puede ser usado para:

- Evaluar un sistema de medición nuevo.
- Comparar un método de medición con otro.
- Evaluar un método que se sospecha deficiente
- Identificar y solucionar la variación del sistema de medición.

La repetibilidad, es el esperar que los datos de la medición repitan, es la variación observada con un instrumento de medición cuando es usado varias veces por un solo operador mientras esta midiendo características idénticas de las mismas partes.

La reproducibilidad, es cuando esperamos a que otra persona pueda duplicar los resultados, es la variación obtenida de diferentes personas utilizando el mismo aparato al medir características idénticas en las mismas partes.

Existen variaciones en las mediciones con respecto al tiempo y la estabilidad de la medición es la variación total en las medidas obtenidas con un sistema de medición sobre el mismo patrón o valor de referencia al medir las mismas características durante un extenso periodo de tiempo.

El estudio Gage R Y R es importante ya que nos indicara si la resolución del sistema de medición es la adecuada, nos proporcionara información de la estabilidad del sistema de medición a lo largo del tiempo e indica si el error de medida es suficientemente pequeño y aceptable con relación a la variación del proceso o la especificación.

El estudio Gage R y R es aceptable cuando el porcentaje de variación total es menor al 20 %, se puede utilizar entre un 20% y un 29 % pero con ciertas condiciones, como implementar un plan de mejora para disminuir la variación R Y R, el estudio es inaceptable cuando el porcentaje es mayor al 29%.

### **3.5 Diseños de experimentos con las variables vitales extraídas del despliegue de la función de la calida (QFD.)**

Diseño de experimentos (DDE).

El objetivo de un experimento es estimar los efectos de las variables independientes sobre las respuestas, en el diseño experimental se realiza la manipulación activa de las variables independientes (x's) y la observación de los efectos sobre las variables dependientes (respuestas Y's).

Los DDE recopilan y analizan los datos y también son utilizados para:

- Desplazar el promedio de un proceso.
- Reducir la variación.

Existen dos tipos de variaciones:

- Variación sistemática.

Son aquellas diferencias en las mediciones que son esperadas y las predecibles.

- Variación aleatoria.

Aquellas diferencias en las mediciones que no son predecibles.

En un DDE se espera que las observaciones realizadas varíen, sería preocupante que no hubiese variación ya que la variación es algo natural y el objetivo del análisis.

Los diseños de experimentos se utilizan para:

- Determinar cuales variables (X's) tienen el mayor impacto en la respuesta (Y's).
- Cuantificar los efectos de las variables independientes (las X's) sobre la respuesta (Y's).
- Probar que las variables independientes (X's) que se piensan que son importantes realmente afectan al diseño.

Algunos tipos de de diseños de experimentos.

- $2^2$
- $2^3$  y  $2^4$
- Factoriales fraccionados.
- De superficie de respuesta.

Los diseños ( $2^2$ ), utilizan dos factores con dos niveles cada uno, lo cual da 4 combinaciones posibles.

El estudio de varias variables a la vez tiene la ventaja de:

- Iterar para lograr las respuestas más rápidamente (diseños más eficientes).
- Habilitar para buscar relaciones entre las variables independientes (interacciones)
- Disminuir la variación en las estimaciones de los efectos.
- Reducir los costos de experimentación.

Cuando en el experimento se desean probar mas variables que pueden afectar a la respuesta entonces los diseños  $2^3$  y  $2^4$  son utilizados teniendo 2 niveles cada uno, existen diseños factoriales completos donde todas las combinaciones de todos los factores de todos los niveles son probados.

Un experimento  $2^3$  involucra 3 variables separadas, cada una con 2 niveles diferentes, el experimento  $2^4$  involucra 4 factores cada una con 2 niveles diferentes, para estos existirán 8 y 16 combinaciones posibles respectivamente.

El experimento consiste en un número de “Corridas”, donde cada corrida involucra fijar las variables en combinaciones diferentes de niveles.

Los experimentos deberán correrse en orden aleatorio porque:

- Protege contra las variables ocultas que pueden cambiar a través del tiempo.
- Se requiere para que tengan validez las declaraciones estadísticas.
- Siempre debería usarse para evaluaciones subjetivas tales como defectos de apariencia.
- Generalmente dificulta correr más el experimento.
- Se usa en experimentos “ciegos” tales como probar sabores.
- Es minimizado por algunos expertos (Por ejemplo, el Sr. Taguchi).

El término “Repetición” en un DDE es el completar una corrida mas de una vez sin reajustar las variables independientes, las repeticiones pueden usarse para compensar la variación en la medición y la variación del proceso a corto plazo sin ocasionar el gasto adicional de re-ajustar el proceso a las condiciones deseadas.

El término “Réplica” en los DDE es el completar una corrida más de una vez, reajustando los factores cada vez.

La réplica es mejor (y generalmente es mas costosa) que la repetición, debido a que esta demostrando una mayor capacidad para generalizar los resultados. Esto también permite variación de los arreglos del sistema para que sea incluido en el experimento.

Cuando se utilizan mas de 4 factores los experimentos pueden llevar demasiado tiempo y suelen ser muy costosos, existen los diseños factoriales fraccionados que permiten que sean incluidos mas factores (X's) en el diseño experimental para el mismo numero de corridas.

La resolución es un índice de “claridad” a mayor resolución mejor el diseño.

Estimación	corridas	Resolución
Promedio general	1	I
Efectos principales	5	II
Interacciones 2 – Factores	10	III
Interacciones 3 – Factores	10	IV
Interacciones 4 – Factores	5	V
Interacciones 5– Factores	1	VI

Cuando se corre un DDE de tipo  $2^5$  completo se forman un total de 32 corridas, sin embargo las interacciones con 3 o mas factores raramente son vitales, este hecho permite reducir el numero de corridas a 16 debido a  $2^{(5-1)}$  de esta forma al planear el experimento se hace un trueque entre numero de corridas y la capacidad para estimar efectos siempre y cuando el DDE sea ortogonal o sea que este balanceado.

El factorial fraccionado es un buen inicio para una secuencia de experimentos porque determina que variables valen mas estudio.

La planeación de un experimento debe contar con los siguientes pasos:

- Definir el objetivo.
- Seleccionar las variables de respuesta “Y” (dependientes).
- Seleccionar las variables “X” (independientes).
- Seleccionar los niveles de las variables “X”.
- Seleccionar el diseño experimental.
- Correr el diseño de experimentos.
- Analizar los datos.
- Obtener conclusiones
- Realizar corrida de confirmación.

La limitaciones de los experimentos de dos niveles es que no pueden usarse para estimar la curvatura para mejorar este punto se puede adicionar un punto central para verificar la linealidad o darnos cuenta si no es lineal (cuadrático) o utilizar diseños de experimentos con mas niveles denominados de superficie de respuesta.

### 3.6 Análisis:

Para analizar los resultados existe un software estadístico llamado “Minitab” que nos permite hacer un análisis de los resultados obtenidos, esta herramienta permite identificar con los diseños de experimentos las variables que fueron más significativas para nuestras respuestas ó requerimientos en forma gráfica y numérica, también nos ayuda al planteamiento de hipótesis y finalmente podemos obtener regresiones, tener funciones de transferencia entre la respuesta y las variables asociadas y utilizarla para predecir resultados y encontrar la combinación óptima entre las variables para lograr la mejor respuesta.

El objetivo de esta etapa es determinar las X's Vitales

Herramientas.

- Gráficas de Y's y X's vitales.
- Pruebas de hipótesis
- Herramientas a usar para determinar las X's vitales
- Diseño de experimentos fraccional (factores confundidos)
- Fraccional completo
- ANOVA “Y” continua, “Y” discreta.
- Análisis de la regresión.(“Y” continua, “Y” discreta)

### **3.7 Etapa de Mejora.**

El objetivo de la etapa mejora también conocida como de optimización, es la confirmación de las variables vitales encontradas y encontrar las tolerancias donde el diseño pueda moverse para que se mantengan los valores deseados con ayuda de las siguientes herramientas:

- Diseño de experimentos completo
- Diseño fraccional, donde el equipo de apoyo priorizara las interacciones y decidirá sobre los niveles de las X's.
- Aleatorio
- Llevarlo a través del tiempo.
- Hacer el plan y seguirlo.
- Gráficar efectos principales
- Interacciones cubo
- Análisis de diseño factorial
- Análisis de superficie de respuestas
- Análisis de las gráficas

### **3.8 Etapa de control.**

El objetivo es el encontrar las X's que realmente controlan el proceso o el diseño optimo, las variables que son críticas para la calidad.

Se utilizan las siguientes herramientas:

- Análisis de modo de falla del proceso.
- Variables criticas a la calidad.
- Desarrollo del plan de calidad.
- ¿Que se va a medir?
- ¿Cada cuando?
- ¿Con que?
- ¿Quien?
- Definir criterios de aceptación y rechazo
- Definir el plan de control de la X's.
- Validar el plan de control de las X's (observar el comportamiento de la Y)
- Oficializar el plan de control.
- Plan de auditorias y monitorear las mediciones.
- Correr línea base con los cambios.
- Medir la Z
- Evaluar el rendimiento de la meta alcanzada con respecto a la comprometida.

## CAPITULO 4

# DISEÑO DEL QUEMADOR ATMOSFERICO

### 4.1 Introducción.

Las normas, los requisitos del fabricante y los requerimientos de los usuarios conforman los objetivos a los que el diseño del quemador debe dirigirse. Cuando una persona decide comprar un producto es en base a una necesidad que desea satisfacer, la persona puede guiarse a través de otros usuarios por comentarios o sugerencias que le hacen, puede informarse acudiendo directamente a la tienda y puede consultar revistas dedicadas a comparar los productos de diferentes fabricantes en las cuales se describen las características de los productos, explican la forma de operar, comparan precios y realizan comparaciones del desempeño de estos calificándolos como excelentes, buenos regulares o malos.

En el caso de la estufa, uno de los parámetros que mas se compara es la capacidad de calentamiento de los quemadores superiores, actualmente en Estados Unidos ha existido una competencia muy fuerte en “Quien ofrece más características en el producto”, debido a esto se estableció el siguiente objetivo:

### 4.2 Objetivo del diseño.

Diseñar un quemador a gas que cumpla con la norma ANSI Z21.1. 2003, que tenga una capacidad térmica de 15000 Btu/hr y que en flama mínima cumpla con la prueba de cocinado “Salsa de spaghetti”, además su apariencia debe hacer juego con la misma familia de los quemadores actuales para estufas de exportación.

### 4.3 Identificación de los requerimientos que debe cumplir el quemador.

La herramienta QFD (Despliegue de la función de calidad) es una herramienta que sirve para priorizar y que es utilizada para mostrar la importancia relativa de los factores en el quemador, además de establecer los pasos para encontrar las relaciones que existen entre los requerimientos de los usuarios, los requisitos obligatorios de la norma y de las características que necesitara el quemador para cumplir con todas ellas.

El proceso de flujo descendente comienza con la voz del cliente como entrada, posteriormente estas son traducidas a especificaciones técnicas y finalmente se convierte esta información a parámetros con los que deberá contar el diseño para cumplir con los objetivos planteados.



## 4.5 Definición de los requerimientos técnicos y sus dependencias con los parámetros de diseño del quemador.

### 4.5.1 Requerimiento Técnico:

#### Capacidad térmica.

Este requerimiento proviene de la “voz del cliente” que manifiesta que desea un quemador que tenga un cocinado rápido.

La rapidez del cocinado se asocia a la capacidad térmica del quemador, entre mayor capacidad térmica tenga el quemador mayor será su rapidez al cocinar.

Definición: La capacidad térmica de un quemador esta definida por la cantidad de calor generada por unidad de hora, la capacidad térmica esta en función de las propiedades del gas utilizado, del orificio de la esprea y de las condiciones ambientales como la presión barométrica, y la temperatura del gas.

Factores vitales:

El calculo de la capacidad térmica (CT) esta dado por la siguiente ecuación:

$CT = \text{Flujo de gas} * \text{Poder calorífico del gas} * \text{Factor de corrección por altitud.}$

Donde:

CT (capacidad térmica)	(Btu/hr)
Flujo de gas	(ft <sup>3</sup> /hr).
Poder Calorífico	(Btu/ft <sup>3</sup> ).
FC	(adimensional).

Existen tablas que muestran la capacidad térmica como función de la presión, el tipo de gas empleado y su poder calorífico.

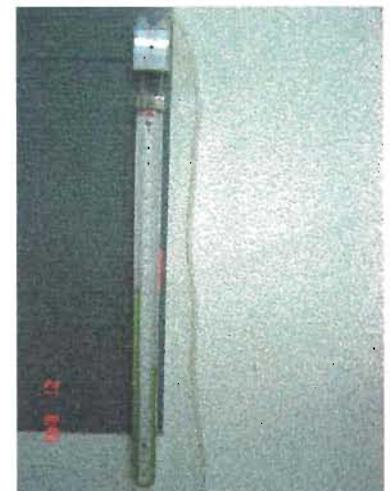
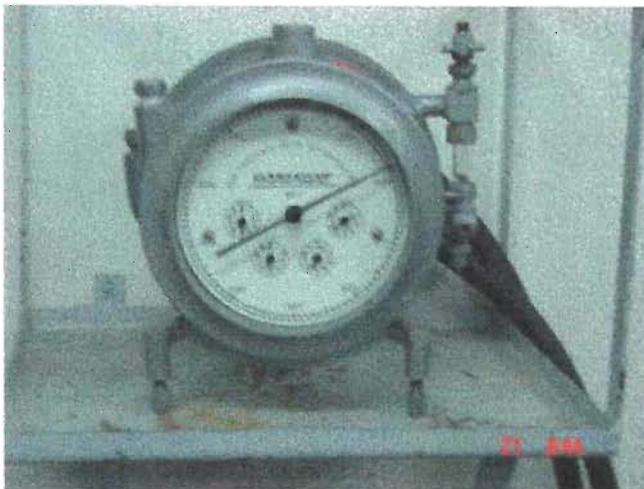
De estas tablas determinamos que para 15000 Btu/hr con gas natural, a una presión de 4 pulgadas columna de agua y un poder calorífico del gas de 1020 Btu/ft<sup>3</sup>, se requiere de una esprea con diámetro del orificio de 0.076 in.



Fotografía 4.5.1 Muestra diferentes tipos de orificios (espreas) utilizadas en una estufa a gas

Por experiencia la mayoría de los quemadores trabajan en un rango de mínima a máxima flama con una relación de 1 a 10, esto quiere decir que si un quemador tiene una capacidad máxima de 15000 Btu/hr aproximadamente el quemador soportara unos 1,500 Btu/hr en su flama mínima, abajo de esta capacidad el quemador no mantendrá la flama encendida y estable.

La capacidad mínima se controla a través de la válvula de gas y estará en función del diseño del quemador.



Fotografía 4.5.1.1

La fotografía de la izquierda muestra un tipo de medidor de gas volumétrico húmedo utilizado en la determinación de capacidades térmicas y en la fotografía de la derecha un manómetro de columna de agua para la medición de la presión del gas a la entrada de la estufa

## 4.5.2 Requerimiento Técnico:

### Tiempo de ebullición del agua.

Este requerimiento técnico proviene de la “voz del cliente”, en la que manifiesta el deseo de que su quemador tenga la característica de “Ser rápido al calentar sus alimentos”.

Las estufas tienen una variedad muy amplia en cuanto a la configuración de los quemadores superiores, en algunas estufas los quemadores son de un solo tamaño, en otras, los quemadores tienen diferentes tamaños con diferentes capacidades térmicas para dar al usuario mayor oportunidad de selección, por ejemplo, un quemador de diámetro de 2 pulgadas con una capacidad de 5000 Btu/hr utilizado para cocinar a fuego lento ya que en mínima llega a soportar 600 Btu/hr, que sirve para “derretir chocolate” sin quemarlo, otros quemadores de tamaño regular de 3 pulgadas de diámetro, los cuales tienen una capacidad de 7000 a 8000 Btu/hr y en mínima flama 1000 Btu/hr, utilizados para el cocinado que normalmente es utilizado en el hogar, los quemadores grandes con diámetro de 4 pulgadas y que poseen capacidades térmicas máximas de 10,000 a 15,000 Btu/hr utilizados para recipientes grandes y con una rápida ebullición del agua.

### Definición del tiempo de ebullición:

Es el intervalo de tiempo en el que una masa de agua destilada de 6 Kg. contenida en un recipiente estandarizado, eleva su temperatura inicial de 22 ° C a una temperatura final de 100° C, para fines de prueba esta temperatura final es tomada a 88° C, en la cual se mantiene una tendencia lineal y fácil de comparar con otros quemadores.

### Factores Vitales.

Los factores vitales que intervienen en el sistema de gas para el cumplimiento de este requerimiento son los siguientes:

#### En el sistema de gas:

1. La altura de la parrilla directamente tiene un efecto en el tiempo de calentamiento, a menor altura con respecto al quemador las flamas tocan directamente al recipiente transfiriendo una cantidad importante de calor al agua.
2. La capacidad térmica del quemador contribuye bastante a la rapidez de calentamiento, reduciendo el tiempo significativamente.
- 3.- El material y la masa de la parrilla aumentara o reducirá el tiempo de calentamiento debido a que esta absorbe calor y lo transfiere a los alrededores y a la cubierta.

#### En el quemador:

1. El diámetro del quemador es muy importante, el área expuesta del recipiente en contacto con la flama es mayor si el quemador es pequeño el cual se concentra en el centro.
2. El tamaño y la cantidad de portas,
3. El tubo venturi, la combustión será más eficiente conforme el venturi es optimizado para alcanzar una mejor aireación primaria.

### 4.5.3 Requerimiento Técnico:

#### Combustión.

Este requerimiento técnico proviene de la norma en el aspecto de seguridad, las normas exigen un funcionamiento seguro para los usuarios, las emisiones de monóxido de carbono son inodoras y no se pueden detectar, si la estufa estuviera funcionando a su máxima capacidad con una inadecuada combustión, se produciría un volumen extremadamente peligroso de monóxido de carbono. Comúnmente en Estados Unidos las casas tienen instalados sensores de monóxido de carbono como sistemas de alerta ubicadas en la cocina u otras áreas donde existen procesos de combustión.



Fotografía 4.5.3. 1 La foto muestra la forma de coleccionar los gases de combustión generados por los quemadores a través de una campana.

#### Definición:

La combustión es una reacción química de oxidación del combustible y del oxígeno, como resultado se obtiene calor, presencia de luz y gases productos de esta reacción.

La norma indica que la mayor concentración de monóxido de carbono permitida es de 800 ppm en un tiempo de 5 minutos de estar todo el sistema de gas de la estufa funcionando a su máxima capacidad.

La producción de monóxido de carbono permisible se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{CO máximo}_{\text{Nat}} = \text{CO}_{\text{medido}} * 12.2 / \text{CO}_2_{\text{medido}} < 800 \text{ ppm.}$$

$$\text{CO máximo}_{\text{LP}} = \text{CO}_{\text{medido}} * 14 / \text{CO}_2_{\text{medido}} < 800 \text{ ppm.}$$

Esta prueba debe ser aprobada con las siguientes combinaciones:

Condición de prueba	Presión (In w.c.) Gas LP	Presión (in w.c.) Gas Natural	Quemadores
Presión reducida	8	3.5	Horno y superiores
Presión normal	10	4	Horno y superiores
Presión Incrementada	109 % de la capacidad total de la estufa.	112 % de la capacidad total de la estufa	Horno y superiores
Presión incrementada con cómales adyacentes.			Superiores

Factores vitales:

En el sistema de gas:

1. La geometría de las parrillas y su altura afectan considerablemente a la producción de monóxido de carbono debido a que el choque de las flamas con la parrilla y el contacto directo de las flamas con el recipiente suben la concentración de partes por millón en la combustión.
2. La geometría de la cubierta y la parrilla debido a que son obstáculos para el aire secundario reduciendo el volumen de aire alrededor del quemador.
3. El tipo de gas.

En el quemador:

La falta de aire primario en el quemador por el diseño del venturi y las portas del quemador

1. El diseño del venturi ya que la entrada de aire depende de su diseño.
2. El tamaño del quemador y la cantidad de portas.
3. La distancia entre el quemador y la parrilla.

El quemador tiene un tubo venturi, el cual tiene como función conducir el gas a través de él y succionar aire del medio ambiente, este es mezclado con el gas, la proporción de esta mezcla no es muy rica en aire con respecto al aire ideal necesario para la combustión estequiométrica.

El gas natural o metano requiere de una relación de mezcla entre el gas y aire de 1: 9.52 respectivamente, esto quiere decir que por cada parte de gas se requieren 9.52 partes de aire.

Para gas Butano se requiere una relación de 1: 30.94 aproximadamente.

Cuando esta relación no se cumple la flama tomara aire del medio ambiente para completar su combustión, si este aire es obstruido por alguna causa, la combustión se vera alterada produciendo monóxido de carbono.

Las formas más comunes de disminuir el monóxido de carbono en los quemadores son:

1. Elevar la parrilla con respecto al quemador.
2. Mejorar la entrada de aire primario a través de un venturi.
3. Incrementar la presión de gas cuando el sistema lo permite.
4. Reducir el contacto de la flama con la superficie del recipiente o de la parrilla.
5. Espaciar las flamas del quemador para mejorar la entrada de aire hacia las flamas.

A continuación se presentan algunas secuencias de fotografías que muestran la forma en que se recolectan los gases de combustión de los quemadores superiores en la prueba de combustión.



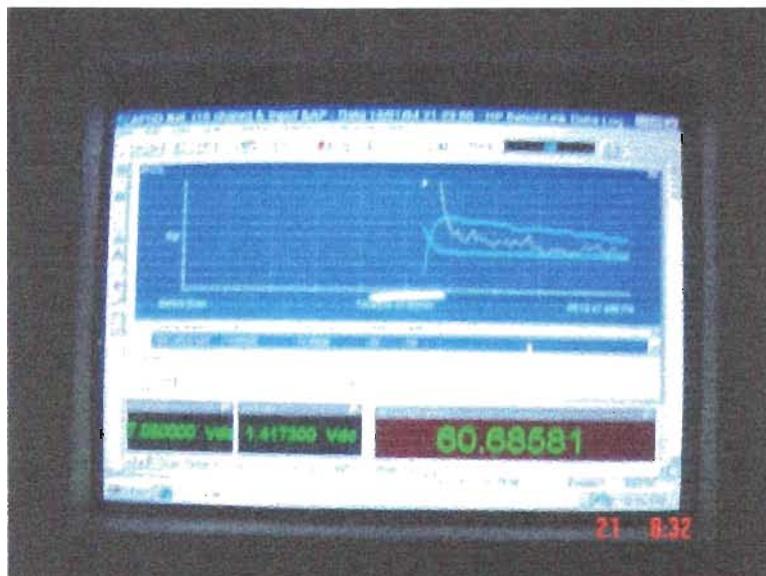
Fotografía 4.5.3.2

Los recipientes colocados sobre los quemadores son cargas térmicas que simulan a los recipientes colocados para cocinar.



Fotografía 4.5.3.3

Se coloca la campana que recolecta los gases de combustión donde son llevados a través de la succión de los analizadores de gases de monóxido y dióxido de carbono.



Fotografía 4.5.3.4

Muestra la pantalla de la computadora en donde puede observarse en tiempo real el comportamiento de la combustión.

#### 4.5.4 Requerimiento Técnico:

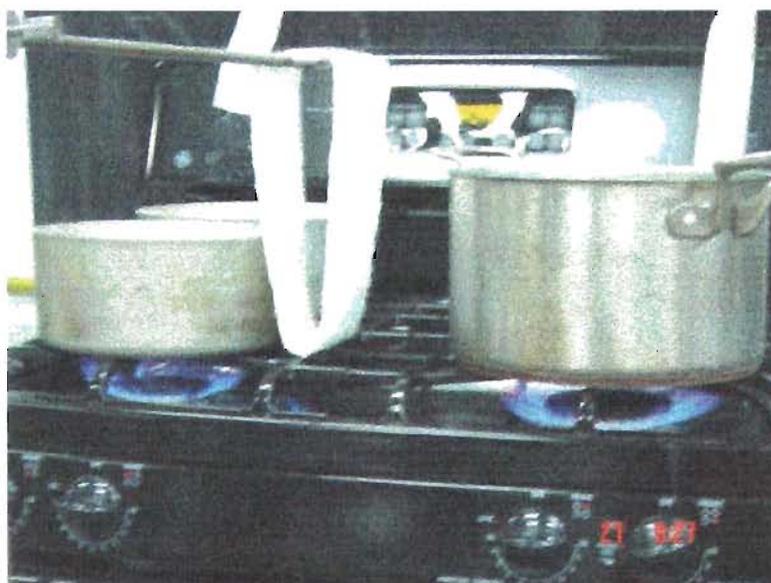
##### Peligro de incendio de la tela

###### Definición:

Este requerimiento técnico proviene de las normas en los aspectos de seguridad, estas normas exigen un funcionamiento seguro para los usuarios. El método de prueba “Peligro de incendio de la tela” trata de simular a un usuario utilizando los quemadores superiores de la estufa a su máxima capacidad, el diámetro de los recipientes varía de acuerdo a su capacidad térmica máxima, para quemadores con capacidades térmicas menores a 9000 Btu/hr un utensilio de cocinado con un diámetro de 7 pulgadas debe ser utilizado, para capacidades mayores a 9000 Btu/hr debe ser colocado un recipiente con un diámetro de 9 pulgadas y para quemadores mayores a 15000 Btu/hr un recipiente de 10 in de diámetro debe ser utilizado.

Los quemadores deben operar a su máxima capacidad por un tiempo de 10 minutos, después de este tiempo debe colocarse una tela de 100 % algodón estandarizada del mismo acabado de una toalla y acondicionada a una humedad relativa inferior al 30 % en forma de “U” para simular la manga de una bata o de una camisa que una persona pudiera estar utilizando cuando está cocinando y trata de alcanzar los controles del copete, esta tela debe soportar 30 segundos como mínimo sin llegar a la ignición.

Esta prueba es utilizada para determinar que las flamas de un quemador no sean tan largas y que estén quedadas dentro del diámetro del recipiente, esto es para que de alguna forma el calor por radiación o por convección no alcance a quemar la ropa de algún usuario.



Fotografía 4.5.4.1 Muestra la forma en que se coloca la tela para la prueba de peligro de incendio



Fotografía 4.5.4.2 Muestra como la tela empieza a llegar al punto de ignición



Fotografía 4.5.4.3. Muestra el momento en el que la prueba falla al presentarse flama en la tela.

## Factores vitales:

### En el sistema de gas:

1. La altura de las parrillas, si la parrilla es muy baja no existirá el aire secundario para complementar la combustión, las flamas tenderán a alargarse saliendo del fondo del recipiente, esto pudiera provocar el que la prueba fallara.
2. La geometría de la cubierta ya que esta tiene un volumen de cambios de aire, entere mas plana sea esta el volumen de aire secundario se reduciría.

### En el quemador:

1. El diámetro es un factor vital ya que a mayor diámetro la longitud de la flama se sumaría al radio del quemador y estarían más cerca de sobresalir del recipiente o que las flamas estén más cerca de la tela.
2. La cantidad de portas influye ya que a mayor cantidad las flamas tendrían una menor longitud que favorecería a esta prueba.
3. El diseño del venturi porque a mayor cantidad de aire aspirado la flama es de menor longitud.

#### 4.5.5 Requerimiento Técnico:

##### Depósitos de carbono.

Este requerimiento técnico proviene de la “voz del cliente”, en la cual manifiesta que el quemador:

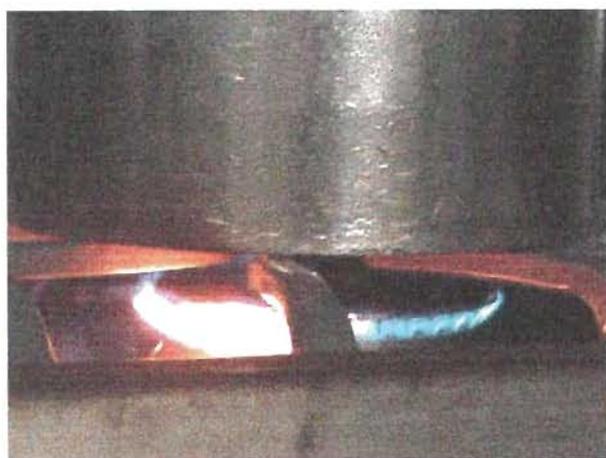
- “No tizne los utensilios de cocina o las parrillas”
- “Que las flamas sean azules y que no sean amarillas”
- “Que los productos de la combustión no huelan mal”

La traducción de este requerimiento al requerimiento técnico, es que el quemador no produzca depósitos de carbón originados por una combustión incompleta.

Definición:

La norma especifica que los quemadores de la estufa deben operar sin depositar carbón en cualquier condición de prueba cubierta por la norma, las pruebas deben ser conducidas con gas LP, gas natural y gas butano a presión incrementada.

El procedimiento establece que se deben operar todos los quemadores de la estufa por un tiempo de 1 hora, al final de ésta se deben observar en la base de los recipientes y en las parrillas o cómales si hay evidencia o no de los depósitos de carbón.



Fotografía 4.5.5.1. Muestran la flama amarilla con gas LP.



Fotografía 4.5.5.2. Muestra el depósito de carbón resultado de las flamas amarillas resultado de la inadecuada combustión.

Factores vitales:

En el sistema de gas:

1. El tipo de gas normalmente la situación es mas critica con gas L. P.
2. Cuando el quemador esta excedido en su capacidad térmica
3. A mayor altitud es más probable la existencia de flamas amarillas.
4. La distancia del quemador a la parrilla.

En el quemador:

- 1) El diseño del venturi.  
La deficiencia de aire primario causa flamas amarillas y estas pueden causar depósitos de carbón.
- 2) Un área de portas muy grandes es causa de una baja velocidad del gas y esto puede provocar flamas amarillas con depósitos de carbón.

Las formas más comunes de disminuir los depósitos de carbón el en los quemadores son:

- a) Incrementar el aire primario.
- b) Reducir la capacidad térmica.
- c) Incrementar el número de portas.
- d) Reducir el contacto de flama con los recipientes o las parrillas.

#### 4.5.6 Requerimiento Técnico:

##### Regreso de flama.

Este requerimiento técnico proviene de las normas en los aspectos de seguridad, estas normas exigen un funcionamiento seguro para los usuarios.

El regreso de flama se presenta cuando la flama se introduce a la cámara de mezcla del quemador. El regreso de flama es una característica no deseada en el quemador y que puede provocar deformación del quemador.

##### Definición:

La norma indica que nunca deberá ocurrir regreso de flama en cualquier condición de evaluación de la norma.

El regreso de flama esta relacionado con la velocidad del gas al salir de la portas, la velocidad con la que se quema el gas es en sentido contrario a la velocidad con la que sale el gas, cuando la velocidad de la flama es mayor que la velocidad del gas existe la probabilidad que algún momento la flama pueda introducirse a la cabeza del quemador, a esto se le llama “regreso de flama”.



Fotografía 4.5.6.1.

Muestra la simulación del regreso de flama levantando a propósito la tapa del quemador, se observa que la flama choca con la tapa y se expande, la flama incide en el quemador sobrecalentándolo.

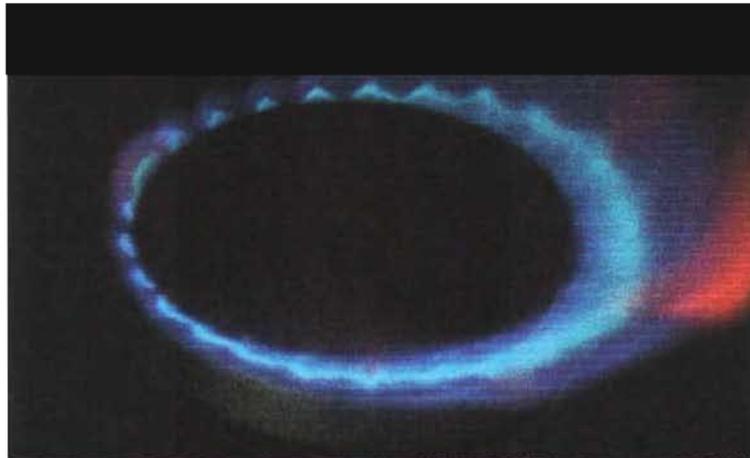
Factores vitales:

En el sistema de gas:

1. Tipo de gas empleado. El regreso de flama es más propenso en gas L.P.
2. La altitud a nivel del mar es más propenso.

En el quemador:

1. El área de porta total e individual.
2. La distancia entre la tapa y el mamelón (descarga de la mezcla gas-aire)
3. El volumen de cámara de mezcla.



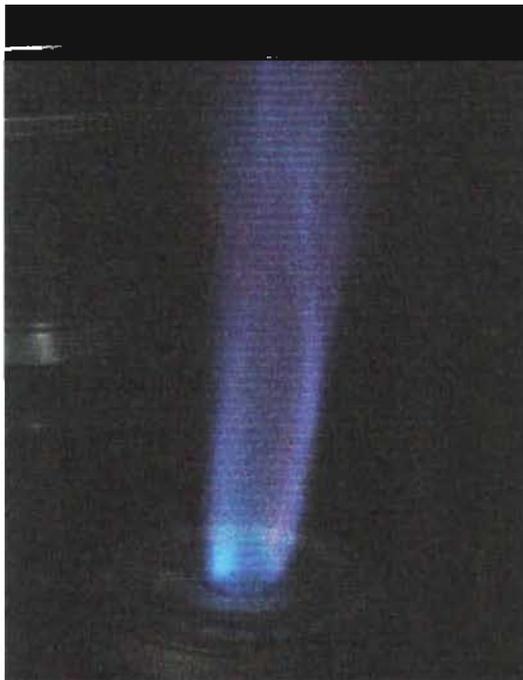
Fotografía 4.5.6.2

Se observa la deformación de la flama cuando esta se introduce al interior del quemador.



Fotografía 4.5.6.3

Se observa la flama saliendo del quemador sin colocar su tapa para tener una idea de la capacidad térmica de 1000 Btu/hr en mínima flama.



Fotografía 4.5.6.4

Se observa la flama saliendo del quemador sin colocar su tapa cuando esta a flama máxima 12000 Btu/hr.

#### 4.5.7 Requerimiento Técnico:

##### Separación de flama.

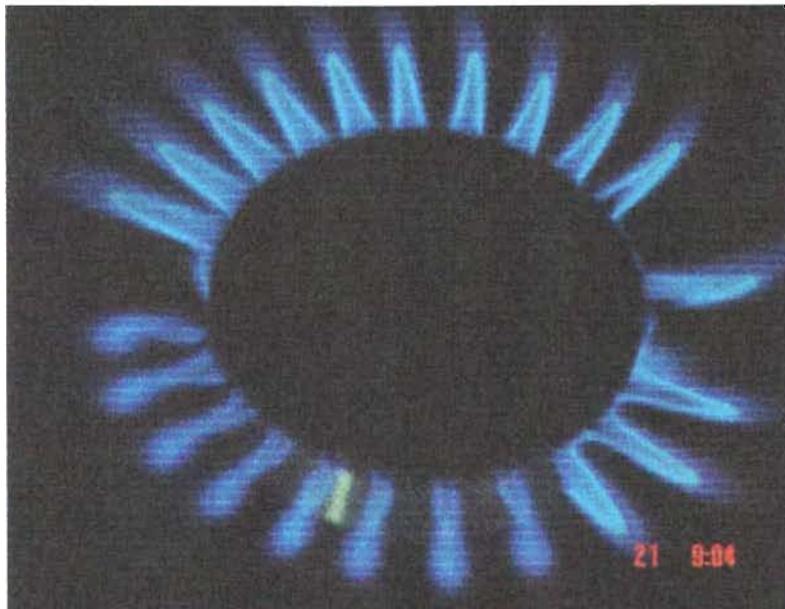
Este requerimiento técnico proviene de las normas en los aspectos de seguridad, estas normas exigen un funcionamiento seguro para los usuarios. La separación de flama es una característica no deseada en el quemador, este puede provocar la extinción de la flama, la separación se manifiesta cuando la flama se despega de la portas del quemador.

##### Definición:

La norma indica que nunca deberá ocurrir separación de flama en cualquier condición de evaluación de la norma. La separación de flama esta relacionada con la velocidad del gas al salir de la portas.

##### Explicación de la separación:

La velocidad con la que se quema el gas tiene sentido contrario que la velocidad con la que sale el gas de las portas, cuando la velocidad de la flama es menor a la velocidad del gas existe la probabilidad de que en algún momento la flama se despegue del cuerpo del quemador.



Fotografía 4.5.7

Muestra el efecto de la separación de la flama, se observan como algunas flamas están incompletas con la tendencia de extinguirse.

Factores vitales:

En el sistema de gas:

1. Tipo de gas empleado.
2. La altitud a nivel del mar es más propenso.

En el quemador:

1. El área de porta total e individual.
2. La distancia entre la tapa y el mamelón (descarga de la mezcla gas-aire)
3. El volumen de cámara de mezcla.

Las formas más comunes de disminuir el regreso de flama en los quemadores son:

1. Reducir área de porta individual
2. Reducir número de portas.
3. Reducir volumen en la cámara interna.
4. Incrementar la profundidad de porta.
5. Reducir la cantidad de aire primario

#### 4.5.8 Requerimiento Técnico:

##### “Salsa de Espaguetti.”

Este requerimiento técnico proviene de la “voz del cliente” en la que manifiesta que quiere un quemador que cocine bien en baja flama y en alta flama, la flama baja sirve para mantener los alimentos calientes sin que estos se quemen.

##### Definición:

La prueba de salsa de espaguetti consiste en colocar en una olla con diámetro de 10 pulgadas una cantidad de salsa de 1276 grs. durante 2 horas en flama baja, cada 30 minutos se remueve la salsa y se observa si esta se ha pegado en el fondo o si llego a quemarse, la calificación puedes ser:

- No aceptable, cuando la salsa se pega y se quema en el fondo.
- Mínimo aceptable, cuando la salsa se adhiere en el fondo sin quemarse.
- Optimo, cuando no se adhiere ni se quema.

##### Factores vitales:

##### En el sistema de gas:

1. La distancia del quemador a la parrilla.
2. La capacidad térmica en flama mínima.
3. El tipo de gas.

##### En el quemador:

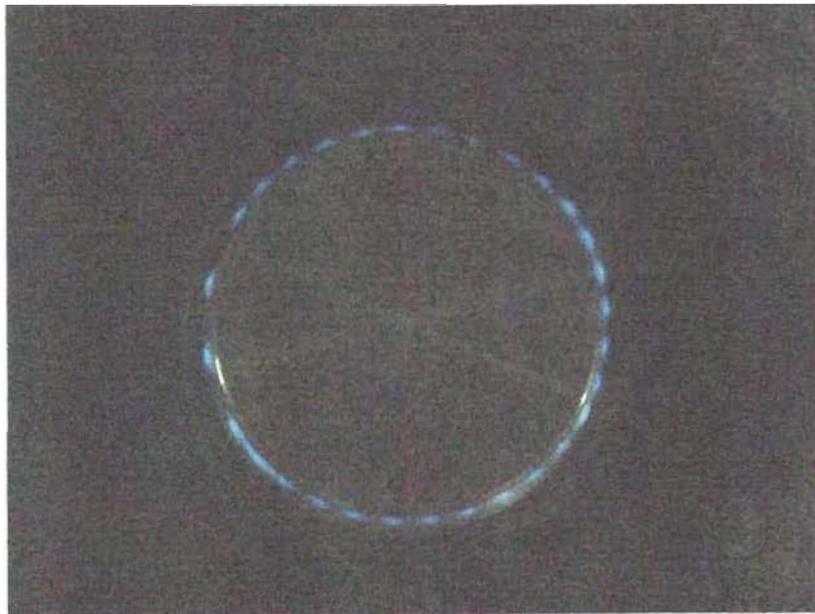
1. El área de porta total del quemador.
2. La estabilidad de la flama en el quemador.

#### 4.5.9 Requerimiento Técnico:

##### Cierre de puertas.

##### Definición:

Este requerimiento técnico proviene de las normas en los aspectos de seguridad, estas normas exigen un funcionamiento seguro para los usuarios. El método de prueba “cierre de puertas intenta simular que con los quemadores encendidos en flama mínima estos no se apaguen cuando el usuario cierra una puerta o un cajón instalado en la estufa, esto significa que la flama mínima debe ser muy estable y resistente a corrientes de aire y a la vibración del golpe de la puerta.



Fotografía 4.5.9

Muestra el quemador con su flama en mínima posición

##### Factores vitales:

##### En el sistema de gas:

1. Válvula de gas utilizada.
2. Tipo de inyección de gas.
3. Tipo de suministro de aire primario.

##### En el quemador:

1. Cantidad de portas.
2. Área de porta.
3. Cámara de estabilidad de flama.

#### 4.5.10 Requerimiento Técnico:

##### Encendido del quemador.

Este requerimiento proviene de la “voz del cliente” en la cual manifiesta que desea un encendido seguro y rápido.

Además de que la norma indica que el encendido total de los quemadores debe ocurrir en los primeros 4 segundos,

##### Definición:

Los quemadores deben encender completamente en un tiempo no mayor a 4 segundos después de que la válvula ha sido abierta.

##### Factores vitales:

En el sistema de gas.

1. El diseño de cámara de ignición
2. El diseño del sistema de encendido.

En el quemador:

1. El diseño de las portas de traslado de flama.
2. El espacio entre portas principales.
3. Posición y diámetro de la porta de ignición.

## 4.6 Análisis del modo de la falla y su efecto en el quemador.

La siguiente tabla presenta algunas posibilidades de fallas que se pueden detectar en un quemador, se presentan los efectos que causaría la falla y sus causas posibles.

Al conocer las posibles causas se pueden dar recomendaciones o acciones para prevenirla, así como la forma de establecer un criterio a través de pruebas para medir la y cuantificarla. Cuando ocurre esto es posible saber si las acciones tomadas son las adecuadas para su control.

Parte	Modo de falla	Efecto de la falla	Posible causa	Acciones recomendadas	Prueba de medición	Variable a medir
Sistema del quemador	Flamas sobresalen del recipiente	Peligro de incendio o quemaduras	Falta de aire secundario	Evaluación con ambos gases	Prueba de encendido de tela	Ignición de tela
			Parrillas bajas			
	Alto nivel de monóxido de carbono	Activar alarma de monóxido de carbono	Falta de aire primario	Evaluación de CO	Prueba de combustión	CO (ppm)
			Falta de aire secundario			
			Flamas chocando con parrillas			
	Combustión dentro de la cámara de mezcla del quemador	Deformación del quemador por regreso de flama	Mezcla rica de aire y gas	Evaluación	Regreso de flama	Velocidad (Área de porta)
			Baja velocidad por tener un área de portas muy grande			
	Separación de flama	Fuga de gas por extinción de la flama	Alta velocidad de la mezcla del gas y aire por tener un área de portas muy pequeña	Evaluación	Separación de flama	Velocidad (Área de porta)
	No cumplir con el tiempo de ebullición objetivo	Tardar tiempo en calentar	Esprea inadecuada	Confirmación de diámetro	Capacidad térmica	Btu/hr del quemador
			Parrilla muy alta	Medir la altura de la parrilla	Tiempo de hervido del agua	Tiempo
Tizne en las parrilla o recipientes	Insatisfacción del usuario	Bajo aire primario en la convertibilidad de gas	Evaluación	Depósitos de carbón	Mezcla de aire y gas	
		Parrillas muy bajas			Altura de parrilla	

#### 4.7 Diseño de experimentos aplicados en la solución de los problemas que presenta el quemador.

Una de las variables importantes del quemador es el tubo "Venturi" que es el que alimentará al quemador con la ayuda del flujo de gas de aire primario, como base partimos de un venturi previamente diseñado para obtener un 50% de aireación primaria, a continuación se presenta la geometría de este venturi..

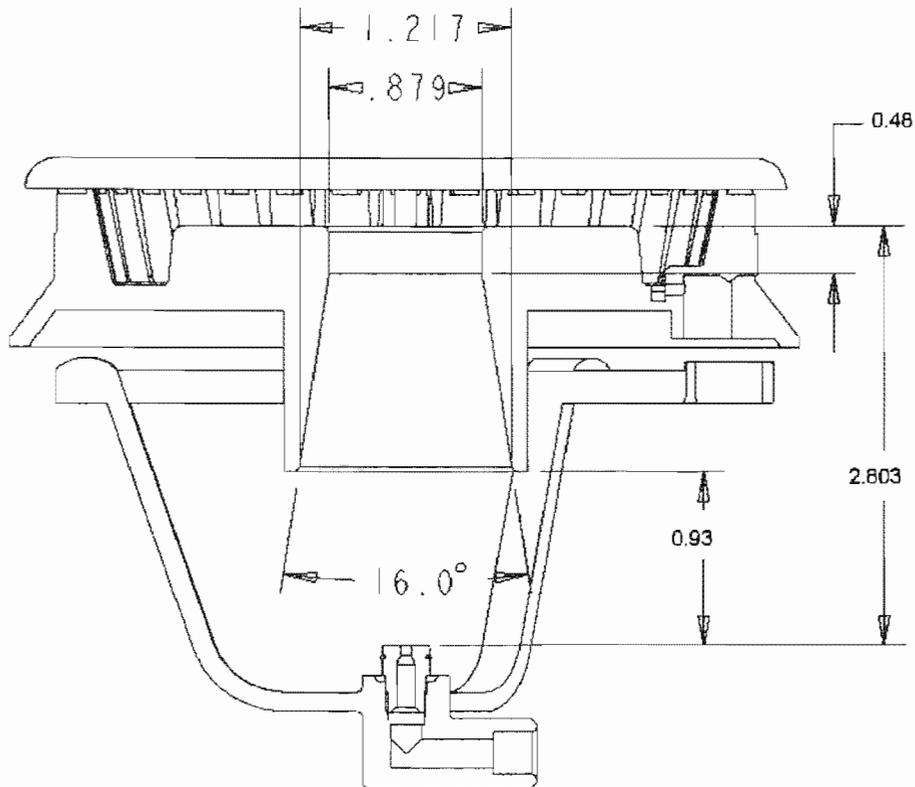


Fig. 4.7.1. Dimensiones del tubo venturi.

El siguiente diseño de experimentos tiene como finalidad encontrar la mejor geometría de la cubierta así como la distribución de los quemadores en ella, además se encontrara el mejor quemador en donde se estarán variando sus portas, su altura y su diámetro.

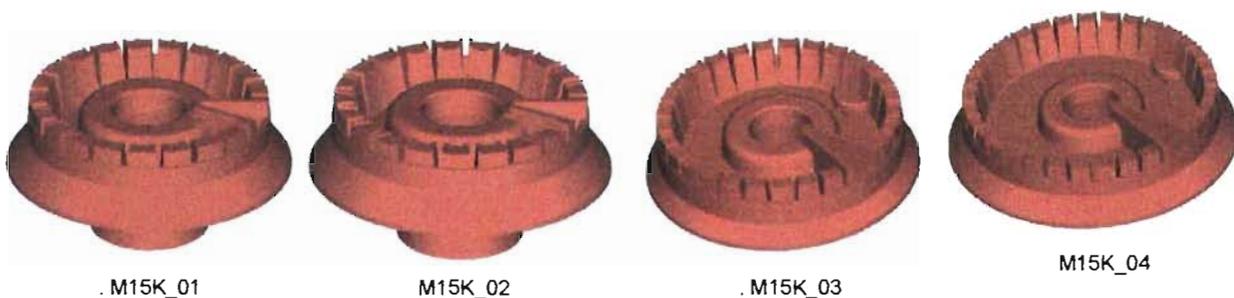
Las respuestas (Y's) importantes asociadas en la definición de la cubierta y del quemador son el cumplimiento de la prueba de combustión, la prueba de “peligro de incendio” y la prueba de “tiempo de ebullición del agua”.

Estructura del diseño de experimentos.

Parte	Factores (X's )	Requerimientos afectados (Y's)		
		Peligro de incendio de la tela.	Combustión.	Tiempo de hervido del agua
Quemador	Altura de quemador (in).	Si	Si	Si
	Diámetro del quemador (in).	Si	Si	Si
	Cantidad de Portas	Si	Si	Si
Sistema	La altura del volcán de la cubierta (in).	Si	Si	Si
	La profundidad entre los volcanes	Si	Si	Si

Nota: El “volcán” en la cubierta son los embutidos que sirven de base para los quemadores superiores.

Diferentes quemadores a evaluar para el diseño de experimentos:

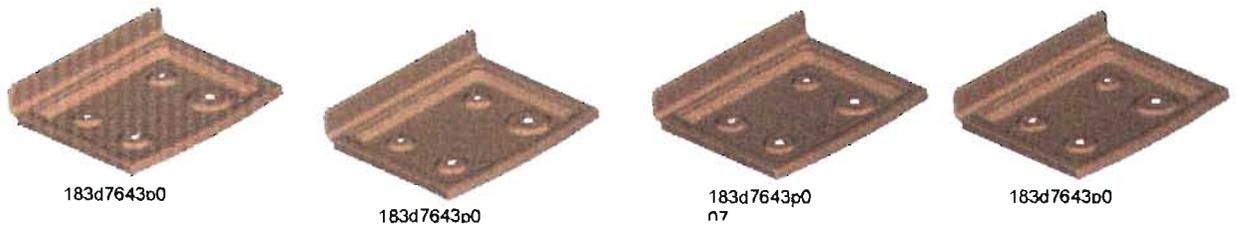


La siguiente tabla muestra las características de los 5 quemadores que se utilizarán en el diseño de experimentos:

Parámetro	X's	unidad	Referencia	M15k_01	M15K_02	M15K_03	M15K_04
	Diámetro		in	3.563	2.857	2.827	3.5
Portas principales	Altura	in	0.134	.2	.2	.27	.27
	Ancho	In	.096	.096	.096	.096	.096
	Angulo	Grados	0	5	5	5	5
	Angulo de salida de gas	Grados	15	45	45	45	45
	área	in <sup>2</sup>	.0128	0.0161	0.0161	.02102	.02102
	Cantidad	#	30	20	20	28	32
	Área total	in <sup>2</sup>	.4036	0.3233	0.3223	0.5888	0.6729
Portas secundarias	Altura	in	0	0.016	0.032	0.030	0.029
	Ancho	in	0	0.120	0.165	0.165	0.165
	cantidad	#	0	19	19	27	31
	Área individual	in <sup>2</sup>	0	0.03648	0.10032	0.1336	0.1483
	Área total	in <sup>2</sup>	0.403	0.3598	0.4236	0.7224	0.8212
Cálculos de parámetros importantes	% de área porta principal	%	100	89.9	76.3	81.5	81.9
	% de área porta secundaria	%	0	10.1	23.7	18.5	18.1
	Capacidad térmica	Btu/hr	15000	15000	15000	15000	15000
	Carga de porta por unidad de área	Btu/hr x in <sup>2</sup>	37164	41688.9	25965	20761	18263
	Carga de gas por porta principal	Btu/hr x porta	500	674	419.8	436.6	384.1
Carga de gas por porta secundaria	Btu/hr x porta	0	49.06	84.03	89.51	87.39	

Tabla 4.7.1. Características de los quemadores para el DDE, se muestra en verde la mejor combinación en base a los resultados obtenidos y mostrados mas adelante.

Características de las cubiertas (X's) para el diseño de experimentos y sus dimensiones.



Dimensión	Descripción
A	Distancia del quemador a la superficie superior de la parrilla (in)
B	Distancia del quemador a la superficie inferior de la parrilla (in)
C	Altura del quemador (in)
D	Distancia de la parrilla al volcán (in)
E	Distancia entre centro de quemadores delanteros y traseros (in)
F	Distancia entre centro de quemadores frontales y traseros (in)

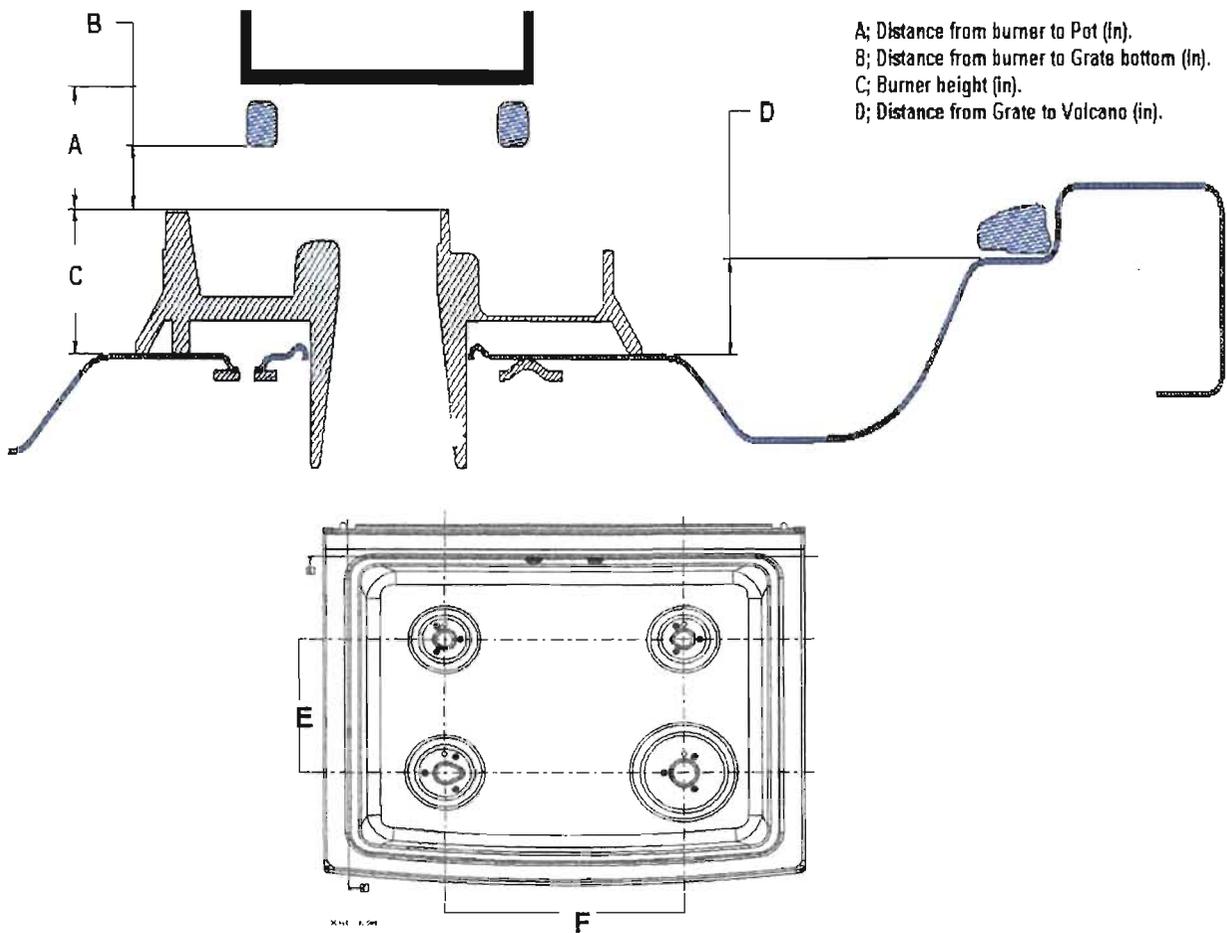


Fig. 4.7.2 Distribución geométrica de la cubierta superior

Cuando los prototipos estuvieron listos se procedió a la evaluación con gas natural, la primera prueba fue la de “peligro de incendio” que es la más crítica, en aquellas combinaciones en donde si cumplió o se encontraba marginal se procedió a hacer la prueba de combustión y el tiempo de ebullición.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

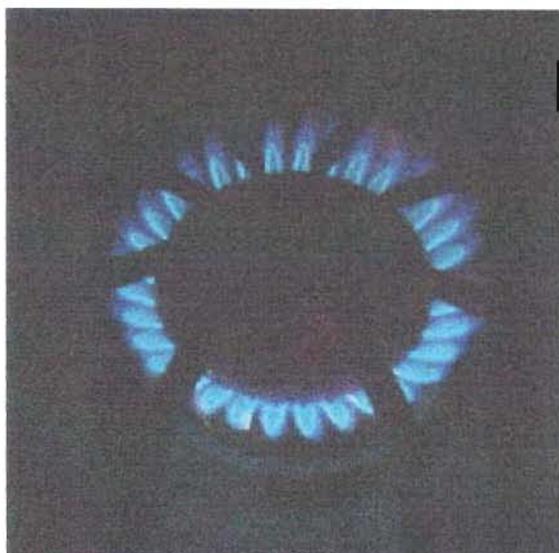
Combinación	Cubierta	Quemador	Distancia (in)						Resultados de Pruebas		
			A	B	C	D	E	F	Peligro de incendio	CO (ppm)	Tiempo de ebullición del agua
1	P001	M15K_01	.971	.571	.904	.675	9	14.94	Falla		
2	P004	M15K_02	.900	.500	.913	0.653	9	14.94	Falla		
3	P004	M15K_03	.823	.500	0.913	0.653	9	14.94	Falla		
4	P004	M15K_04	0.823	.423	0.990	0.653	9	14.94	marginal	1182	16.33
5	P005	M15K_01	.900	.500	0.913	.653	9.5	15.38	Falla		
6	P005	M15K_02	.900	.500	0.913	0.653	9.5	15.38	falla		
7	P005	M15K_03	.823	.423	0.990	0.653	9.5	15.38	Paso	1308	15.5
8	P005	M15K_04	.823	.423	0.990	.653	9.5	15.38	Falla		
9	P007	M15K_04	.923	.523	0.990	.753	9.5	15.38	Falla		
10	P007	M15K_03	0.923	.523	0.990	.753	9.5	15.38	Falla		
11	P008	M15K_03	1.045	.645	0.990	0.875	9.5	15.38	Falla		
12	P008	M15K_04	1.045	.645	0.990	0.875	9.5	15.38	Paso	400	16.3

El mejor resultado y que cumplió con las pruebas fue la combinación 12, en esta configuración los centros de los quemadores están mas distantes tanto en ancho como en la profundidad de la cubierta, al analizar el comportamiento es razonable esto, ya que permite mayor aireación entre los quemadores, debido a lo anterior se decidió seleccionar la cubierta P008 y tomarla como base del diseño del quemador.

Aunque el quemador ha cumplido con estas pruebas se requiere complementar la evaluación en su totalidad con gas LP y con gas natural.

Para tener mayor información, se decidió medir la capacidad térmica que soporta este quemador para que su flama sea estable y cumpla con la prueba de “Cierre de puertas” la capacidad encontrada fue 2100 Btu/hr, con esta capacidad se hizo la prueba de cocinado de “Salsa de espagueti.” Y esta fue no aceptable ya que la salsa se pego en el fondo del recipiente.

Las fotos muestran la flama del quemador tanto en máxima y mínima posición; se observaron flamas uniformes y azules las cuales dan una buena apariencia



Flama Maxima 15 Kbtu/Hr



Flama minima 2.1 Kbtu/hr

Posteriormente se completo la evaluación de la combustión con gas natural y con gas LP.

Criterio de aceptación: La combustión a 5 minutos debe ser menor a 800 ppm.

Condición de prueba Gas Natural	5 minutos			10 minutos		
	CO (ppm.)	CO <sub>2</sub> (%)	AFCO (ppm.)	CO (ppm.)	CO <sub>2</sub> (%)	AFCO (ppm.)
Presión reducida	79	2.36	<b>408</b>	70	2.27	<b>376</b>
Presión normal	88	2.69	<b>399</b>	60	2.52	<b>290</b>
Presión incrementada	76	2.83	<b>328</b>	55	2.77	<b>242</b>
Presión incrementada. con cómales (lado derecho)	79	2.13	<b>452</b>	65	2.10	<b>378</b>
Presión incrementada. con cómales (lado izquierdo)	32	2.28	<b>171</b>	34	2.19	<b>189</b>

Conclusión: Todas las opciones de la norma con gas natural cumplieron por estar abajo de 800 ppm.

<b>Condición de prueba Gas LP</b>	<b>5 minutos</b>			<b>10 minutos</b>		
	<b>CO (ppm.)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>AFCO (ppm.)</b>	<b>CO (ppm.)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>AFCO (ppm.)</b>
Presión reducida	81	2.74	<b>414</b>	63	2.52	<b>350</b>
Presión normal	75	2.98	<b>352</b>	51	2.79	<b>256</b>
Presión incrementada	89	3.21	<b>388</b>	58	3.01	<b>270</b>
Presión incrementada. con cómales (lado derecho)	90	2.33	<b>541</b>	65	2.25	<b>404</b>
Presión incrementada. con cómales (lado izquierdo)	60	2.39	351	47	2.29	<b>287</b>

**Conclusión:** Todas las opciones de la norma con gas LP si cumplieron.

## Resumen de resultados.

La sombra en rojo muestra los resultados que no cumplen, en amarillo los que están marginales y en verde los que son aceptables, esto se hace para enfatizar donde se encuentran las fallas.

<b>Prueba</b>	<b>Especificación</b>	<b>Resultado</b>
Capacidad Máxima	15000 Btu/hr	15000
Capacidad mínima	indefinido	2100
Tiempo de hervido del agua	17.2 min.	16.37
Combustión	Menor a 800 ppm. a 5 minutos	541
Peligro de encendido de la tela	Cumplir con recipiente de 12 pulgadas de diámetro	Cumple
	Cumplir con recipiente de 10 pulgadas de diámetro	Cumple
	Cumplir con recipiente de 9 pulgadas de diámetro	Fallo
Depósitos de carbón	No tizar parrilla ni recipientes con gas Natural y gas LP	Cumple
Regreso de flama	No presentar regreso de flama	Fallo
Extinción de flama por cierre de puertas en la estufa	Flama en mínima soportar el golpe al cerrar la puerta del horno o el cajón	Cumple
Encendido del quemador	Menor a 4 seg.	pendiente
Separación de flama	No presentar separación de flama	Cumple
Cocinado de salsa de espagueti	La salsa no debe pegarse en el recipiente ni quemarse	Cumple marginal

Se realizó un diseño de experimentos variando la distancia entre el mamelón y la esprea, el objetivo es incrementar el aire primario y la velocidad de la mezcla para tener flamas mas cortas para mejorar el resultado de la prueba de “peligro de incendio de la tela”.

Los factores X's involucrados en este caso serán:

A) Diámetro de Mamelón.

B) Distancia de la tapa al mamelón.

En este diseño de experimentos la respuesta a medir será el aire primario, disminuyendo el volumen interior de la cámara aumentaremos la velocidad de descarga por las portas

Diseño del Mamelón (DDE)

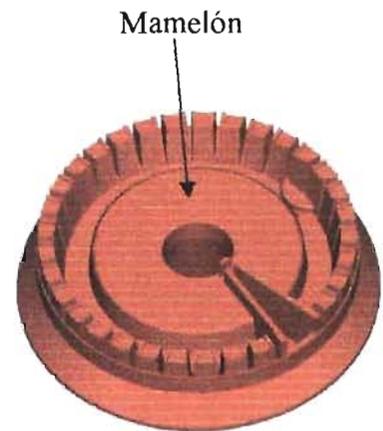
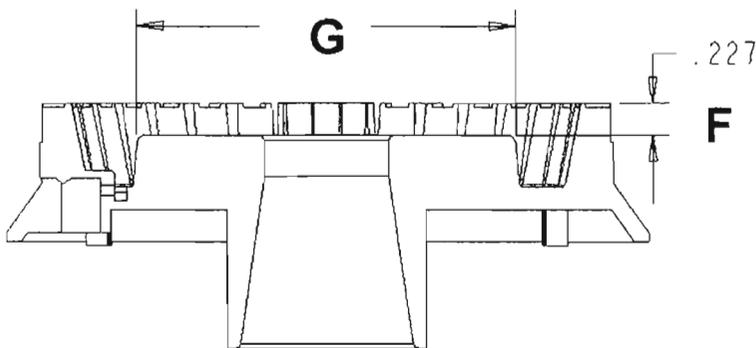


Fig. 4.7.3 Muestra las variables involucradas en el DDE del mamelón.

La siguiente tabla y gráfica muestra la estructura del diseño de experimentos y sus resultados.

Gas Natural			
Quemador	Diámetro del mamelón (in)	Distancia de tapa a mamelón (in)	% de aire primario
M15K-04	3.4	.227	56.34
M15K	2.677	.227	55.09
M15K	1.667	.227	50.87

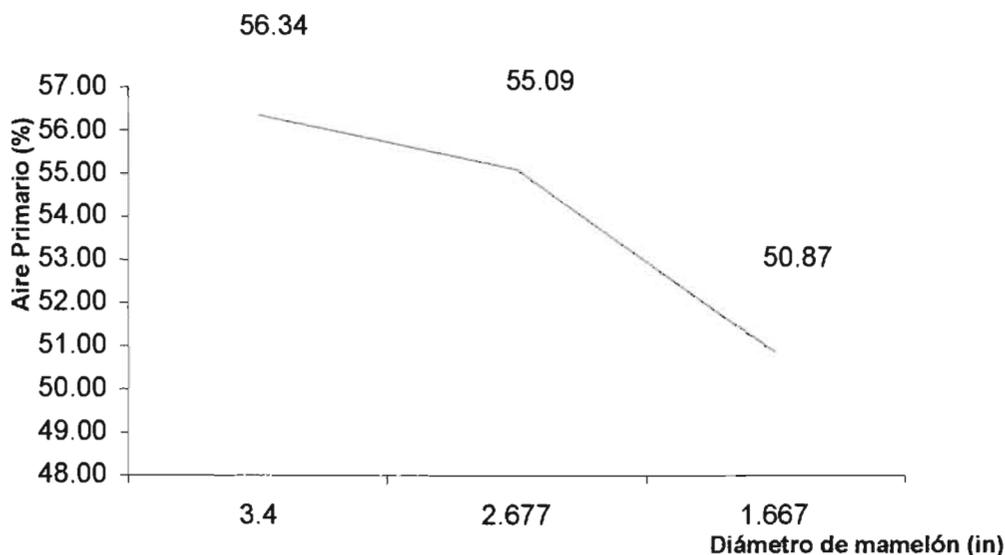


Fig. 4.7.4 Comportamiento del aire primario respecto al diámetro del mamelón.

### Conclusión.

De acuerdo a los resultados el incremento del diámetro mejoró el porcentaje de aire en el quemador, el diámetro de 3.4 in fue el óptimo, pero esta dimensión no deja espacio para la cámara de ignición y de la porta de encendido, debido a esto, se eligió el diámetro de 2.67 in y será utilizado para mejorar el funcionamiento con un aire primario de 55.09%.

Estudio de sensibilidad de la distancia de la tapa al mamelón.

A partir del mamelón seleccionado se procedió a hacer un estudio de sensibilidad de la distancia entre la tapa y el mamelón con el fin de incrementar nuevamente el aire primario y obtener una mejor combustión con flamas más cortas.

La siguiente tabla presenta los resultados de este estudio:

Diámetro del mamelón (in)	Distancia de mamelón a la tapa	Aire Primario (%)
2.667	<b>0.105</b>	51.23
2.667	<b>0.124</b>	54.68
2.667	<b>0.142</b>	55.92
<b>2.667</b>	<b>0.154</b>	<b>57.64</b>
2.667	<b>0.162</b>	56.77
2.667	<b>0.225</b>	55.09

Se observa que existe una combinación la cual da un máximo de aire primario de 57.64%, con estos estudios se procedió a realizar la prueba de “Peligro de incendio” la cual no había cumplido.

Con estos cambios se evaluó la prueba de peligro de incendio cumpliendo a la altitud de Querétaro, se requiere de confirmar este resultado a nivel del mar.

El problema de regreso de flama es el que esta pendiente de resolver, para eliminar este problema existen dos caminos posibles, disminuir el área de porta para aumentar la velocidad de la mezcla pero esto perjudicaría el funcionamiento con gas natural, el otro camino y que no afecta al funcionamiento con gas natural es disminuir el aire primario en gas LP.

Para disminuir el aire primario se realizó el siguiente estudio de sensibilidad a la variación del aire en función de la distancia de descarga de gas con la esprea.

Se consideraron las variables X's (M y N) a estudiar.

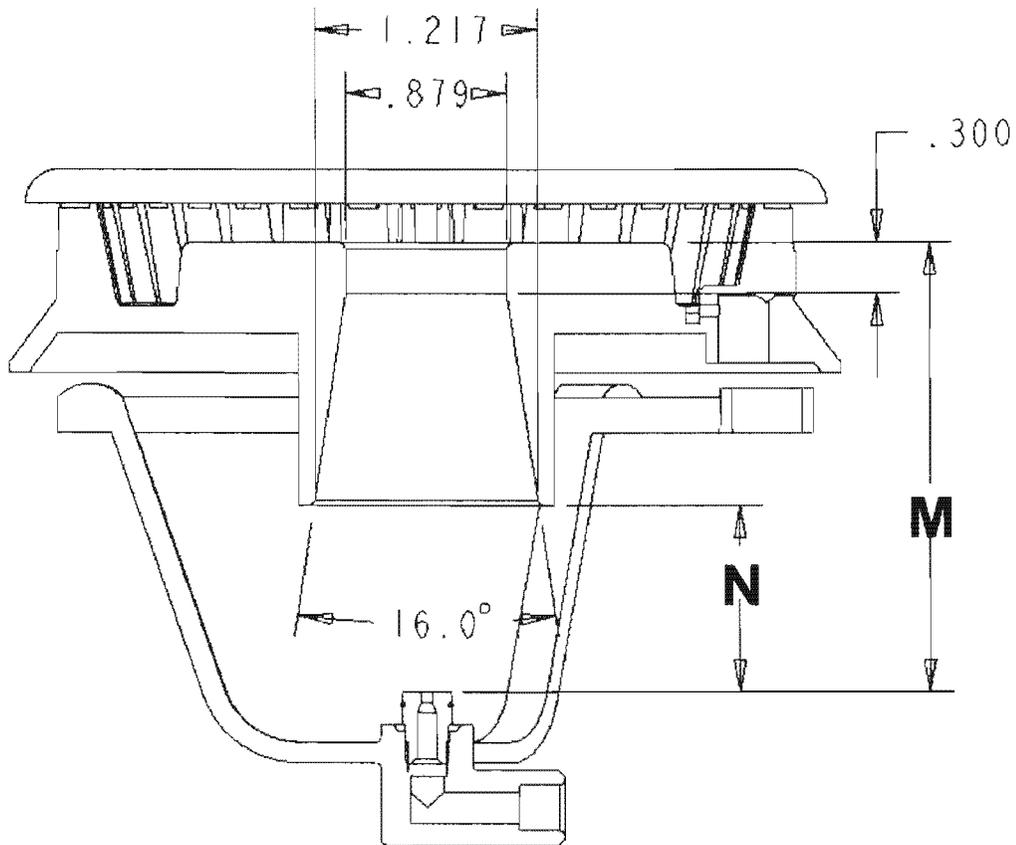


Fig. 4.7.5 Muestra los factores para el diseño del venturi.

Los resultados del estudio de sensibilidad se presentan a continuación.

		X's		Y's (respuestas)					
	Combinación	Variable (factor)		% CH4	% aire primario	Gas Natural		Gas LP	
		M (in)	N (in)			Flamas amarillas	Regreso de flama	Flamas amarillas	Regreso de flama
Quemador M15K-4	1	2.085	.212	18.5	46.23	No	No	No	Si
	2	2.433	0.560	19	44.73	No	No	Ligeras	Difícil
	3	2.801	0.928	19.8	42.5	No	No	No	No
	4	2.507	0.634	18.5	46.23	No	No	No	Si
	5	2.148	0.275	18	47.8	No	No	No	Si
	6	1.790	-0.003	18.2	47.16	No	No	No	Cumple Marginal

Conclusión.

- 1) Existen dos condiciones en las cuales las pruebas de regreso de flama y las flamas amarillas cumplieron.
- 2) La combinación (3) coincide en el cumplimiento de las pruebas con gas LP y con gas natural al cumplir con todas las pruebas.
- 3) Existe otra combinación (6) en la cual la esprea en gas L.P queda mas cerca al tubo que con gas natural

Se tomó la decisión de hacer una nueva esprea con una altura diferente y colocarla como parte de la conversión a gas LP.

Después de esto se evaluó a nivel del mar la opción 3 y 6 que fueron las mejores, sin embargo se encontró nuevamente problemas de regreso de flama a esta altitud.

Por lo que se decidió ir por el camino de reducir el área de porta sin importar la alteración del funcionamiento con gas natural.

Se efectuó el diseño de experimentos sobre la reducción del área de porta para incrementar la velocidad de la mezcla del gas y aire.

Los factores X's del diseño de experimentos son la altura y el ancho de la porta.

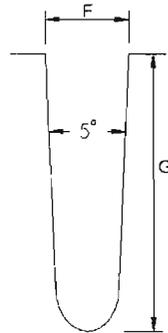


Fig. 4.7.6 Muestra la geometría de la porta del quemador

Los resultados del diseño de experimentos fueron los siguientes:

Combinación	Dimensión		Prueba		
	F (in)	G (in)	Regreso de flama	Separación de flama	Flamas amarillas (gas LP)
1	.09	0.270	No cumple	Cumple	Cumple
2	.075	0.270	No cumple	Cumple	Cumple
3	.07	0.270	No cumple	Cumple	Cumple
4	.068	0.270	No cumple	Cumple	Cumple
5	.09	0.260	No cumple	Cumple	Cumple
6	.075	0.260	No cumple	Cumple	Cumple
7	.07	0.260	No cumple	Cumple	Cumple
8	.068	0.260	No cumple	Cumple	Cumple
9	.09	0.250	Marginal	Marginal	Cumple
10	.075	0.250	Marginal	Marginal	Marginal
11	0.07	0.250	Marginal	Marginal	Marginal
12	0.0675	0.253	Cumple	No cumple	Marginal

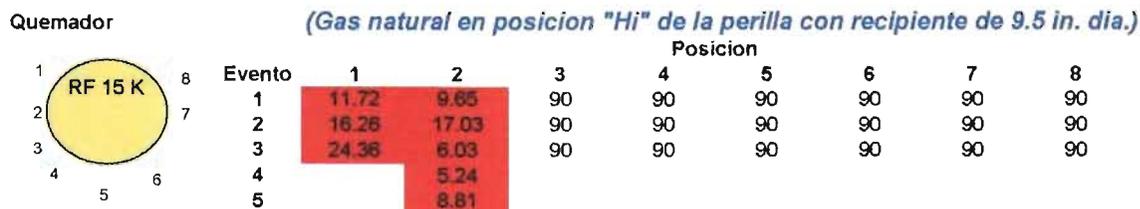
### Conclusión.

La configuración de la porta es de ancho (F) de 0.0675 in y altura (G) de 0.253 in, fue la solución del regreso de flama al reducirse el área de la porta, sin embargo apareció separación de flama.

En esta etapa del desarrollo se consideró atacar el problema de “Peligro de encendido” con gas natural nuevamente, que resultó del cambio de la portas del quemador.

El área marcada en rojo indica la zona en la que falló la prueba de peligro de incendio, el círculo representa el quemador y los números alrededor representan las zonas en la que la tela es colocada durante 90 segundos.

Los tiempos marcados en rojo indican los tiempos en segundos en la que se presentó la falla

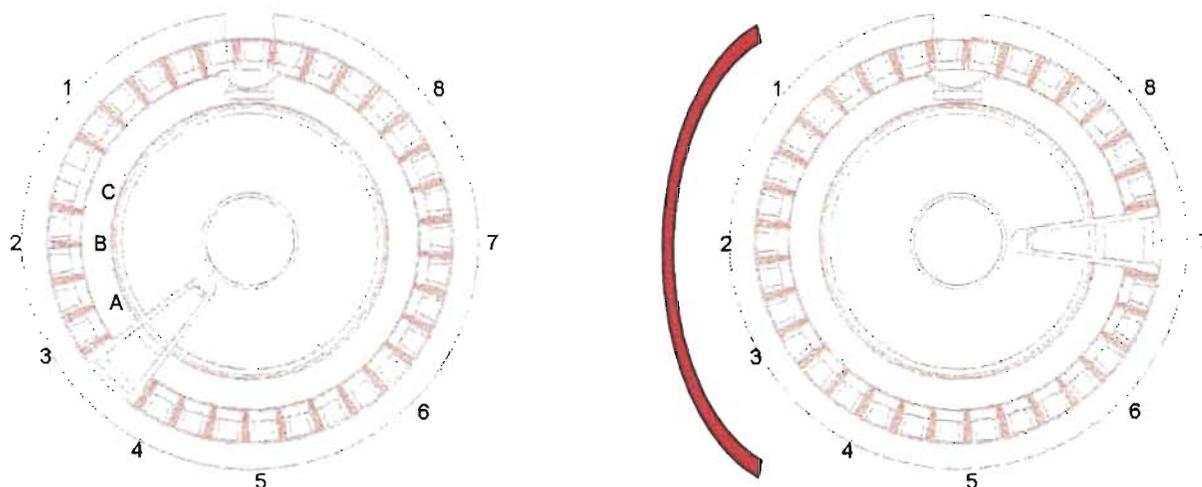


Después de muchos intentos de tratar de cumplir este requerimiento se tomó la decisión de empezar a cerrar alguna portas en el quemador en la zona de falla, para disminuir la cantidad de calor, finalmente las portas se redujeron sin que hubiera efectos negativos en la transmisión de la flama.

### Arreglo de portas.

Para cumplir con la prueba de "peligro de incendio" se bloquearon y semi-bloquearon algunas portas para reducir el nivel de calor; debido a esto, se rediseñaron las portas secundarias que son de traslado de flama para que no se vea afectado el encendido tanto en máxima como en flama mínima.

La figura muestra la zona crítica:



- A; Porta semi-bloqueada.
- B; Porta semi-bloqueada
- C; Porta bloqueada

Fig. 4.7.7 Muestra la zona crítica del quemador para la prueba de "Peligro de incendio de la tela" e indica las portas en las que se hicieron los cambios para cumplir con la prueba

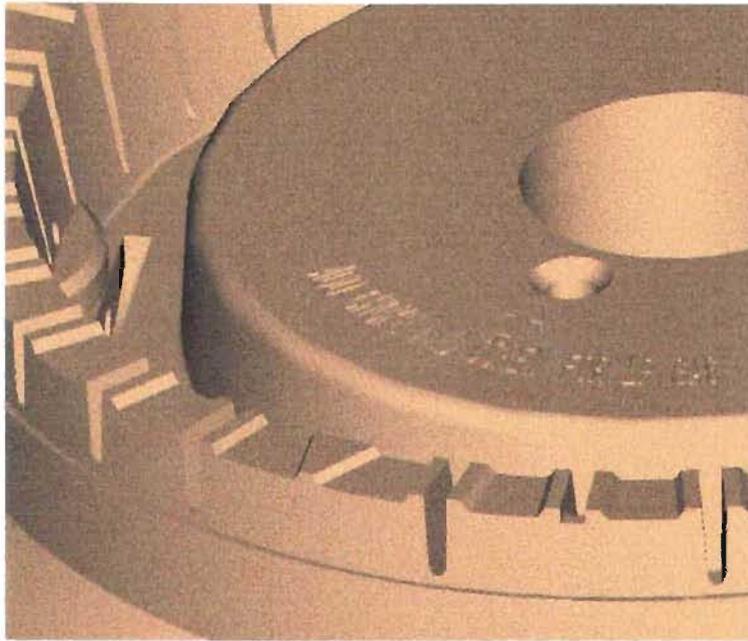
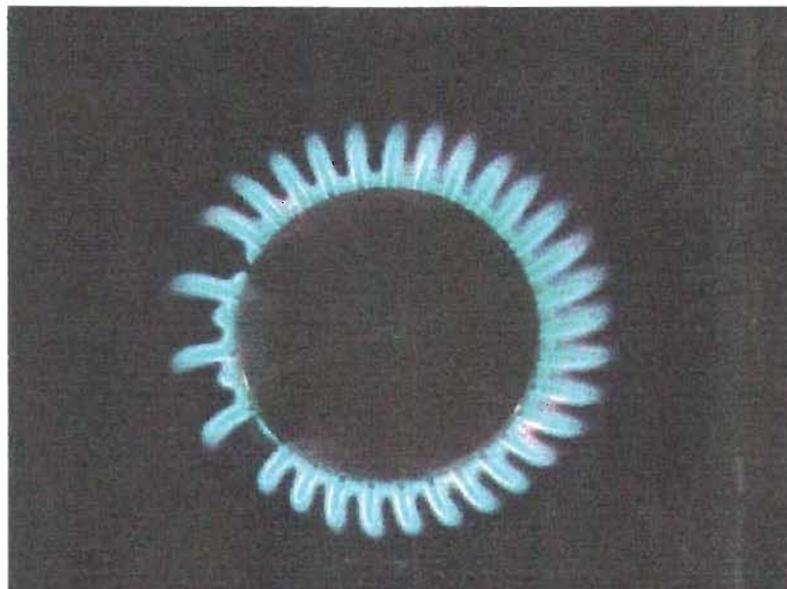


Figura 4.7.8. Se muestran las portas bloqueadas y semi-bloqueadas.



Fotografía 4.7.1

Se observa el efecto en la flama de las portas bloqueadas y las parcialmente bloqueadas

Como el quemador tuvo cambios para poder cumplir con gas LP a nivel del mar las pruebas en Querétaro deberán de repetirse para asegurarse que con las condiciones de la altitud los resultados no se hayan alterado.

Los resultados en Querétaro y a nivel del mar se comparan en esta tabla:

Prueba	Especificación	Nivel del mar		Querétaro	
		Gas Natural	Gas LP	Gas Natural	Gas LP
Capacidad Máxima	15000 Btu/hr	15028	11000	15165	11363
Capacidad mínima	Indefinido (< 2000)	1552	1552	1519	2210
Tiempo de hervido del agua	17.2 min.	15.2	No aplica	16.2	No aplica
<b>Combustión</b>	Menor a 800 ppm. a 5 minutos	510	533	719	812
Peligro de encendido de la tela	Cumplir con recipiente de 12 pulgadas de diámetro	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
	Cumplir con recipiente de 10 pulgadas de diámetro	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
	Cumplir con recipiente de 9 pulgadas de diámetro	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Depósitos de carbón</b>	No tizar parrilla ni recipientes con gas Natural y gas LP	Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple
<b>Regreso de flama</b>	No presentar regreso de flama	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Extinción de flama por cierre de puertas en la estufa</b>	Flama en mínima soportar el golpe al cerrar la puerta del horno o el cajón	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Encendido del quemador</b>	Menor a 4 seg.	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Separación de flama</b>	No presentar separación de flama	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Cocinado de salsa de espagueti</b>	La salsa no debe pegarse en el recipiente ni quemarse	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple



Fotografía 4.7.2 Muestra la flama amarilla que producen los depósitos de carbón.

### Conclusiones.

1. La nueva posición de la esprea en gas LP causó problemas de combustión a la altitud de Querétaro y aparecieron flamas amarillas con problemas de depósitos de carbón.
2. Se necesita encontrar un balance entre la mejora del aire primario sin llegar a tener regreso de flama, flamas amarillas, depósitos de carbón y la mejora en la combustión.

El siguiente paso fue desarrollar un DDE, cambiando los parámetros del venturi sin perjudicar el funcionamiento con gas natural.

La respuesta a medir “Y” será la combustión el objetivo será tratar de encontrar una función de transferencia de las “X’s” para controlar el aire primario.

2. Una vez que se logre el objetivo se probara el nivel óptimo en combustión y el regreso de flama a nivel del mar.

### Conclusión:

En esta fase, el diseño con gas natural ha sido definido ya que ha cumplido con ambos gases y a diferentes altitudes.

## Fase de optimización en gas LP.

Identificación del problema. : Regreso de flama, depósitos de carbón y combustión con gas LP

Causas posibles:

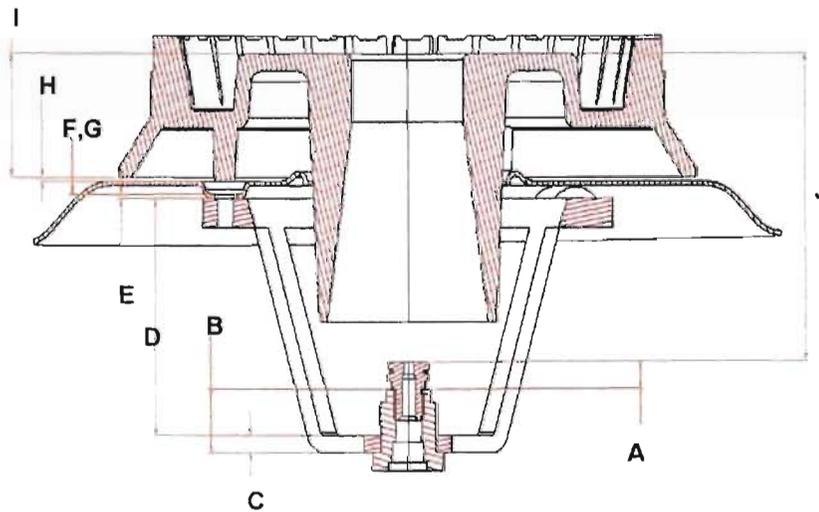
- Área de porta demasiado grande para la capacidad térmica empleada.
- Mezcla de gas y aire muy rica.
- Baja velocidad de la mezcla gas/aire.

Los factores X's asociados a este comportamiento son:

- Diseño de Venturi (diámetro de garganta, longitud de garganta, diámetro de entrada)
- Distancia de inyección del gas a el venturi
- Distancia de tapa a mamelón.

Los requerimientos afectados al intentar resolver el regreso de flama son:

- Combustión
- Peligro de incendio.
- Separación de flama
- Flamas amarillas
- Aire primario.
- Alterar el funcionamiento en gas natural.



- A; Altura de la espesa.
- B; Altura del sujetador de la espesa.
- C; Espesor de la base del sujetador.
- D; Altura del sujetador a la base del quemador.
- E; Espesor de la cubierta.
- F; Altura de la cabeza del tornillo.
- G; Altura de la cabeza del tornillo.
- H; Distancia de la base del quemador a perno de contacto de aterrizaje del quemador.
- I; Distancia de la base del quemador al mamelón.
- J; Distancia de mamelón a espesa

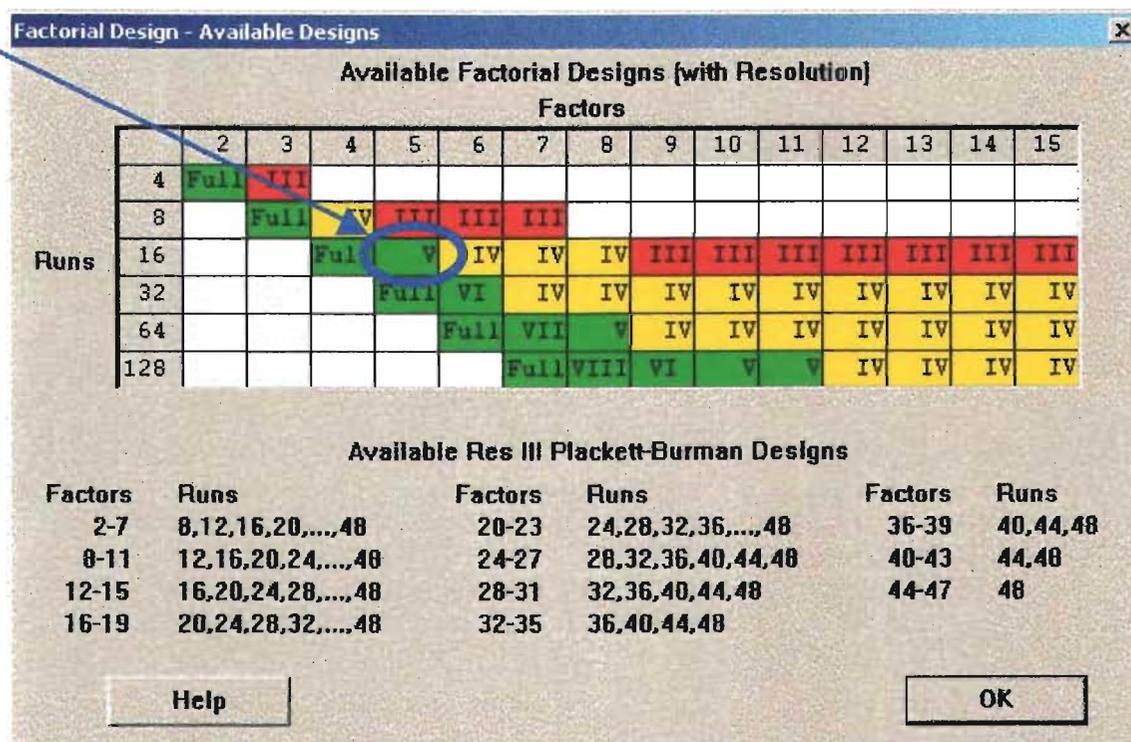
Fig. 4.7.9 Muestra los factores del venturi en el DDE para resolver el regreso de flama

Diseño de experimentos para la optimización del aire primario, la combustión y los depósitos de carbón.

Se efectúa un diseño de experimentos teniendo como base la geometría del venturi de gas natural, mediante insertos de venturi se estudiara el efecto de acuerdo a los parámetros mostrados en la tabla.

Este es un diseño de experimentos de 2 niveles y 5 factores que generaran 16 corridas con 2 corridas centrales.

La tabla presenta celdas con diferente color, la celda verde es la que presenta el número de corridas mínima para que la resolución sea aceptable.



La tabla muestra los factores y los niveles seleccionados para llevar a cabo el diseño de experimentos.

Dimensión en el venturi (factor)	Nivel bajo	Punto central	Nivel alto
A (In)	0.525	0.662	0.799
B (in)	0.880	0.995	1.191
C (in)	1.518	1.6955	1.873
D (in)	0.125	0.3125	0.500
E (in)	0.090	1.524	2.148

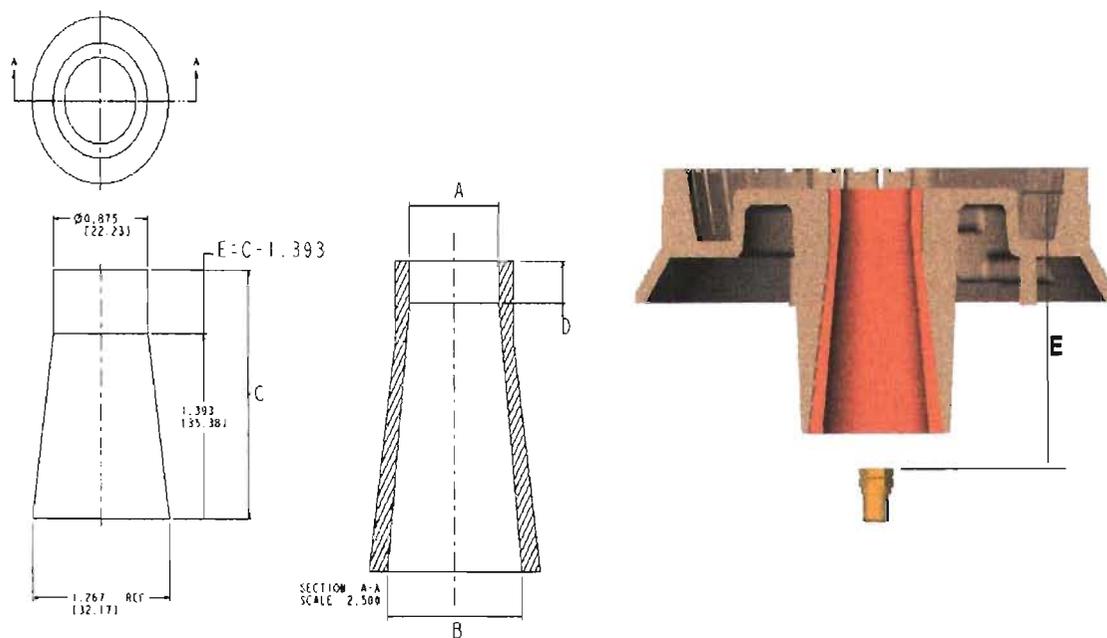


Fig. 4.7.10 Muestra los factores del venturi de para resolver el regreso de flama.

La tabla muestra la estructura del diseño de experimentos con sus resultados de combustión en total son 36 corridas.

De la tabla se observa que las variables diámetro de garganta, altura de la garganta y distancia del venturi a esprea.

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Diamgarganta	Diamentrada	Alturatal	Alturagarganta	Distanciaesprea	Prototipo	extensiones	afco 5 min	afco 10m
1	18	1	1	0.525	0.8800	1.5180	0.1250	2.148	12	1	1035	819
2	16	1	1	0.799	0.8800	1.5180	0.1250	0.900	13	3	1182	819
3	17	1	1	0.525	1.1910	1.5180	0.1250	0.900	14	3	1435	917
4	6	1	1	0.799	1.1910	1.5180	0.1250	2.148	15	1	605	524
5	4	1	1	0.525	0.8800	1.8730	0.1250	0.900	16	3	1534	999
6	12	1	1	0.799	0.8800	1.8730	0.1250	2.148	17	1	774	514
7	5	1	1	0.525	1.1910	1.8730	0.1250	2.148	18	1	605	524
8	14	1	1	0.799	1.1910	1.8730	0.1250	0.900	19	3	982	755
9	10	1	1	0.525	0.8800	1.5180	0.5000	0.900	20	3	1663	1010
10	2	1	1	0.799	0.8800	1.5180	0.5000	2.148	21	1	848	576
11	9	1	1	0.525	1.1910	1.5180	0.5000	2.148	22	1	1264	863
12	3	1	1	0.799	1.1910	1.5180	0.5000	0.900	23	3	1158	817
13	7	1	1	0.525	0.8800	1.8730	0.5000	2.148	24	1	1429	980
14	11	1	1	0.799	0.8800	1.8730	0.5000	0.900	25	3	1201	904
15	13	1	1	0.525	1.1910	1.8730	0.5000	0.900	26	3	1706	981
16	8	1	1	0.799	1.1910	1.8730	0.5000	2.148	27	1	646	490
17	1	0	1	0.662	0.9950	1.6955	0.3125	1.524	28	2	967	752
18	15	0	1	0.662	0.9950	1.6955	0.3125	1.524	28	2	922	700
19	21	1	2	0.525	0.8800	1.5180	0.1250	2.148	12	1	1090	752
20	27	1	2	0.799	0.8800	1.5180	0.1250	0.900	13	3	1307	876
21	24	1	2	0.525	1.1910	1.5180	0.1250	0.900	14	3	1571	1022
22	19	1	2	0.799	1.1910	1.5180	0.1250	2.148	15	1	633	473
23	35	1	2	0.525	0.8800	1.8730	0.1250	0.900	16	3	1556	1079
24	36	1	2	0.799	0.8800	1.8730	0.1250	2.148	17	1	793	554
25	33	1	2	0.525	1.1910	1.8730	0.1250	2.148	18	1	1182	730
26	28	1	2	0.799	1.1910	1.8730	0.1250	0.900	19	3	1008	774
27	20	1	2	0.525	0.8800	1.5180	0.5000	0.900	20	3	1219	974
28	34	1	2	0.799	0.8800	1.5180	0.5000	2.148	21	1	759	574
29	32	1	2	0.525	1.1910	1.5180	0.5000	2.148	22	1	1231	716
30	26	1	2	0.799	1.1910	1.5180	0.5000	0.900	23	3	1104	849
31	30	1	2	0.525	0.8800	1.8730	0.5000	2.148	24	1	1072	891
32	22	1	2	0.799	0.8800	1.8730	0.5000	0.900	25	3	1360	962
33	23	1	2	0.525	1.1910	1.8730	0.5000	0.900	26	3	1500	1040
34	26	1	2	0.799	1.1910	1.8730	0.5000	2.148	27	1	782	626
35	29	0	2	0.662	1.0355	1.6955	0.3125	1.524	26	2	1139	737
36	31	0	2	0.662	1.0355	1.6955	0.3125	1.524	26	2	1131	769

El siguiente análisis es obtenido con un software estadístico que es una herramienta utilizada para observar los factores que tienen mayor significado en la respuesta de la combustión. Una de los parámetros es el valor de P, el cual debe ser menor o igual a 0.05 para que el factor sea significativo.

Se puede observar que los 3 factores considerados fueron menores a 0.05 y que significa que son variables que al forzarlas a variar nos pueden dar alguna solución.

## Análisis del diseño de experimentos.

### Fractional Factorial Fit

Estimated Effects and Coefficients for afco (coded units)

Term	Effect	Coef	StDev Coef	T	P
Constant		1142.5	25.35	45.07	0.000
Block		-9.2	23.90	-0.38	0.703
Diám. garg	-372.4	-186.2	25.35	-7.34	0.000
Alturaga	103.5	51.8	25.35	2.04	0.050
Distanci	-422.9	-211.4	25.35	-8.34	0.000
Ct Pt		-102.8	76.05	-1.35	0.187

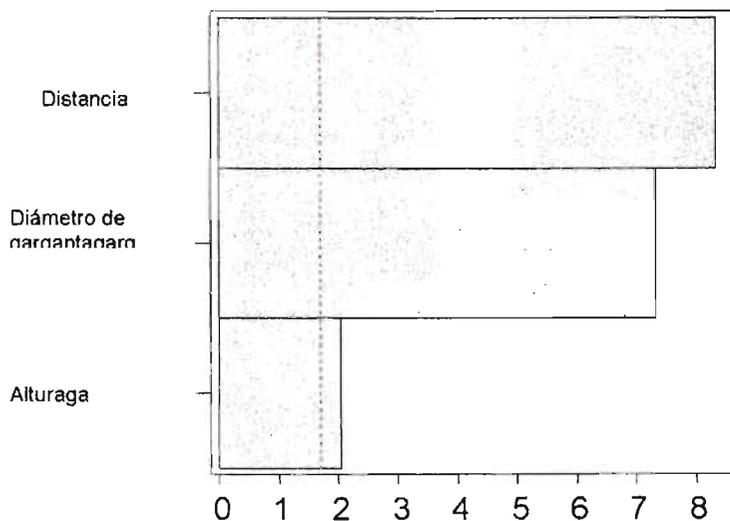
Analysis of Variance for afco (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	3043	3043	3043	0.15	0.703
Main Effects	3	2625589	2625589	875196	42.56	0.000
Curvature	1	37538	37538	37538	1.83	0.187
Residual Error	30	616910	616910	20564		
Lack of Fit	12	306623	306623	25552	1.48	0.219
Pure Error	18	310288	310288	17238		
Total	35	3283081				

La siguiente gráfica de Pareto nos muestra de forma gráfica lo anterior, presenta la misma información acerca de las variables significativas.

### Gráfica de Pareto estandarizada

(Respuesta de combustión a 5 min.  
Alpha = .10)



La gráfica de Pareto mostró las X's vitales que producen cambios significativos en la respuesta de combustión, de aquí se reanaliza el experimento estudiando en este caso solo la distancia a la esprea, el diámetro de garganta y la altura de la garganta, la altura del venturi queda fuera del estudio.

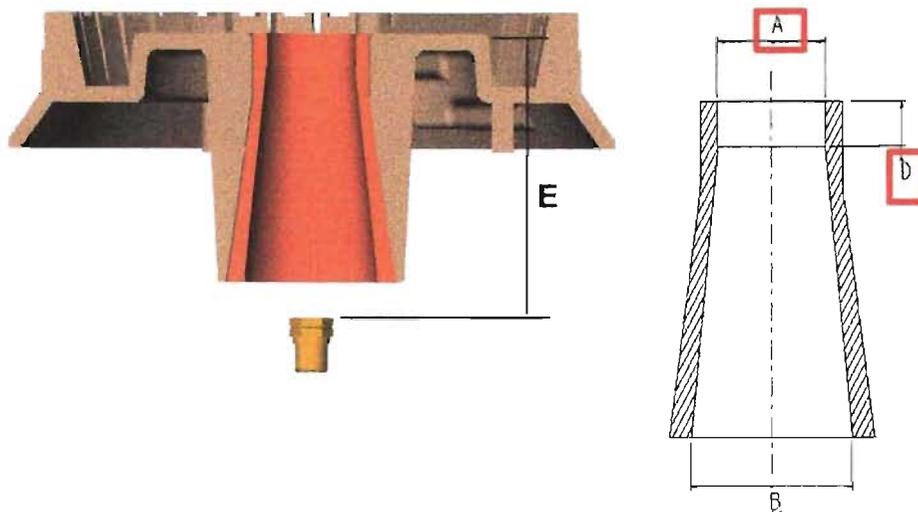


Fig. 4.7.11 Muestra los factores vitales resultado del diseño de experimentos.

La función de transferencia para la combustión obtenida con estos factores vitales es:

$$\text{Monóxido de carbono (ppm)} = 2472 - 1359(\text{diámetro de garganta}) - 339(\text{distancia de inyección}) + 276(\text{Altura de garganta})$$

La función de transferencia se utilizó para optimizar las X's para un valor de 800 ppm. de combustión que es el límite superior establecido por la norma.

Los resultados se muestran en el diagrama del cubo (ver figura 4.7.12).

Con estos parámetros, se construyo un prototipo para confirmar la combustión y regreso de flama.

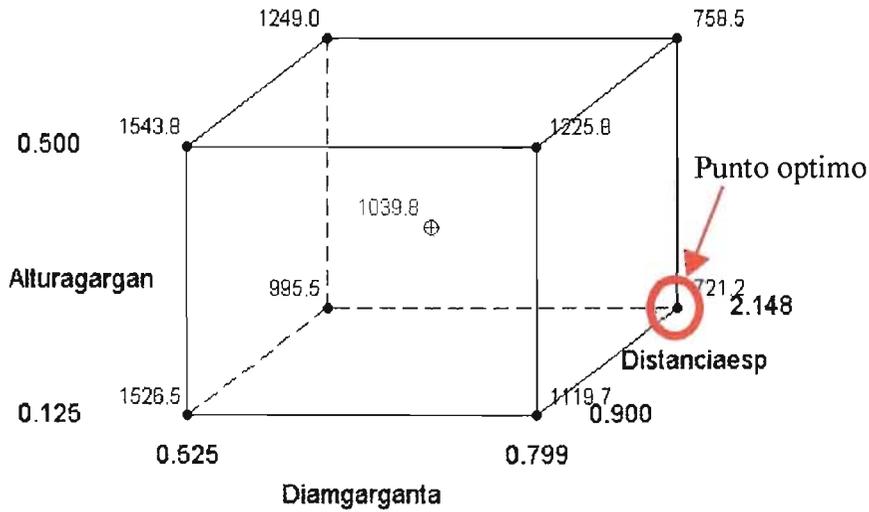


Fig. 4.7.12 Gráfica de cubo que presenta las ubicaciones de los diferentes factores sus niveles y sus respuestas en la combustión.

De la gráfica del cubo se observa que el vértice inferior trasero derecho es el que tiene un menor valor de CO, esto se traduce a que con un diámetro de garganta en su valor de 0.799 y con una altura de garganta de 0.125 in y la esprea colocada a una distancia del venturi de 2.148 in. se obtiene un valor de 721 ppm

Con estos parámetros, se construye un prototipo y se confirman los resultados de combustión y el comportamiento al regreso de flama.

Dimensiones del nuevo venturi obtenido con la función de transferencia para su optimización			
	Dimensión nivel alto (in)	Dimensión nivel bajo (in)	Punto Intermedio (in)
Diámetro de garganta	0.879	0.5	0.7657
Distancia de inyección	2.148	0.9	2.1197
Altura de garganta	0.480	0.293	0.316

Distancia esprea y diseño del venturi LP (DDE).

Dado que se presentó regreso de flama nuevamente con el prototipo optimizado, se hace un nuevo análisis de sensibilidad en la distancia de la esprea al mamelón.

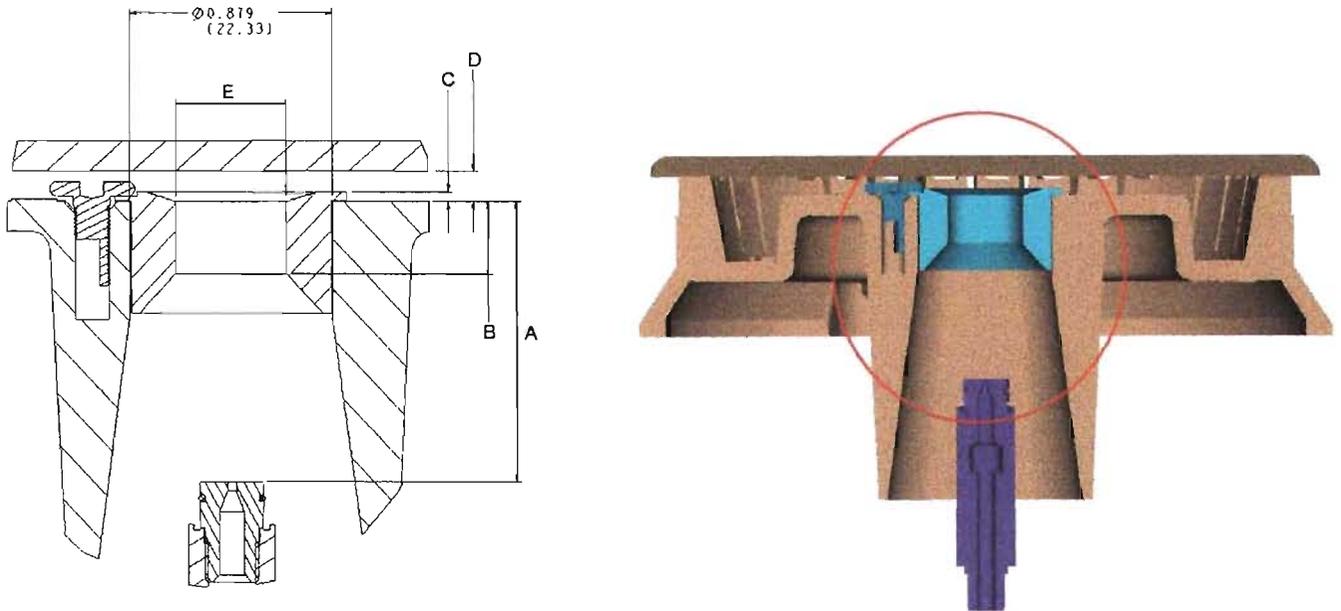


Fig. 4.7.13 Muestra el venturi optimizado para la solución al regreso de flama con gas

Sensibilidad de la distancia esprea al mamelón en el aire primario.

Optimización de la distancia de la inyección del gas	
Distancia de inyección (in)	Aire Primario (%)
1.75	45
1.385	46
1.137	48

De la tabla se observa que hay una región con 48 % de aire primario que nos ayudaría a reducir las flamas amarilla debido a esto se tomo como distancia de la esprea al Mamelón.

Se realizo la prueba de regreso de flama a nivel de Querétaro y a nivel del mar y se obtuvieron resultados satisfactorios.

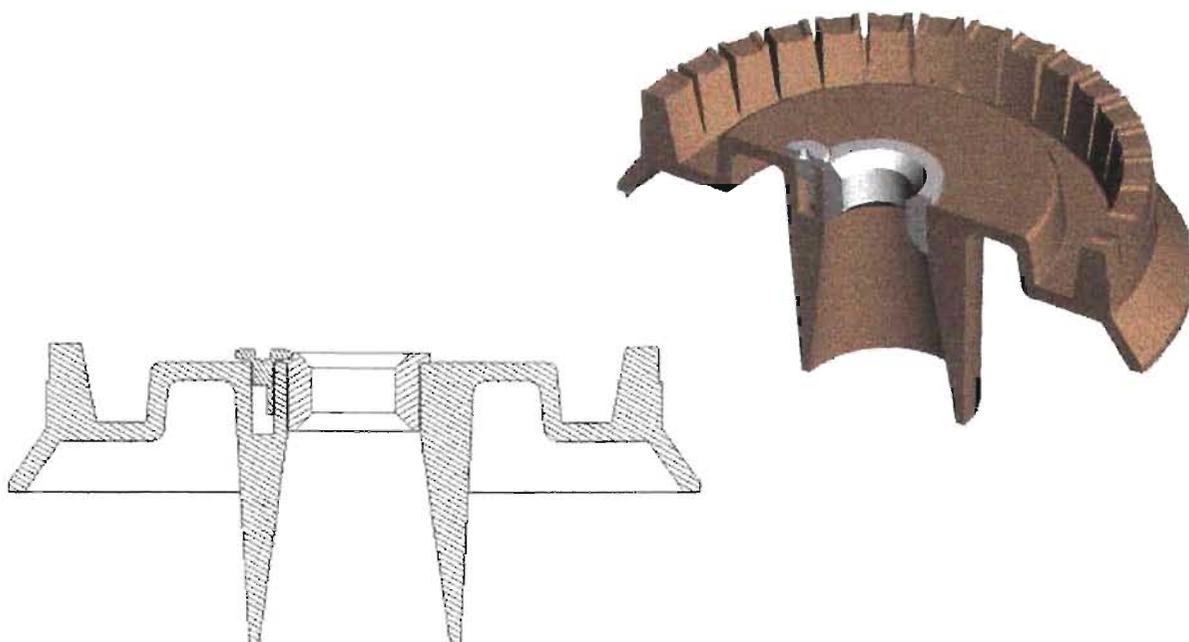


Fig. 4.7.14 Muestra el venturi optimizado para la solución al regreso de flama con gas.

Con esta solución se evaluó el quemador en la totalidad de las pruebas con gas natural y con gas LP en las dos altitudes en Querétaro y a nivel del mar y los resultados fueron aceptables por lo el quemador quedo definido en su totalidad.

#### 4.8 Resumen de resultados al finalizar el diseño.

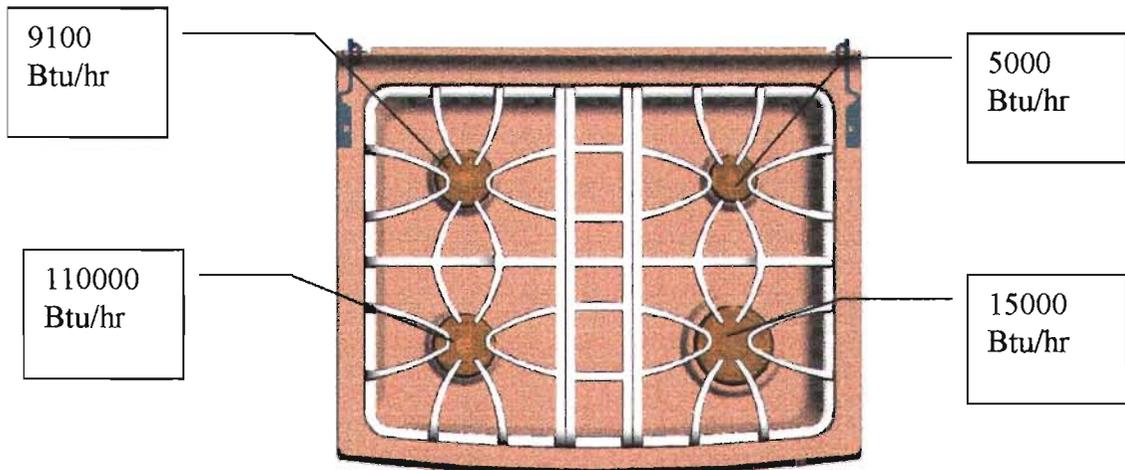
Prueba	Especificación	Nivel del mar		Querétaro	
		Gas Natural	Gas LP	Gas Natural	Gas LP
Capacidad Máxima	15000 Btu/hr	15028	11000	15165	11363
Capacidad mínima	Indefinido (< 2000)	1552	1552	1519	2210
Tiempo de hervido del agua	17.2 min.	15.2	No aplica	17.1	No aplica
Combustión	Menor a 800 ppm. a 5 minutos	425	345	567	478
Peligro de encendido de la tela	Cumplir con recipiente de 12 pulgadas de diámetro	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
	Cumplir con recipiente de 10 pulgadas de diámetro	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
	Cumplir con recipiente de 9 pulgadas de diámetro	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Depósitos de carbón	No tizar parrilla ni recipientes con gas Natural y gas LP	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Regreso de flama	No presentar regreso de flama	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Extinción de flama por cierre de puertas en la estufa	Flama en mínima soportar el golpe al cerrar la puerta del horno o el cajón	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Encendido del quemador	Menor a 4 seg.	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Separación de flama	No presentar separación de flama	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Cocinado de salsa de espaguetti	La salsa no debe pegarse en el recipiente ni quemarse	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

# CAPITULO 5

## CONCLUSIONES

### Conclusiones Técnicas.

La configuración de quemadores en la cubierta y el diseño de las parrillas quedó como se representa en la siguiente figura.



Se llevó a cabo la evaluación conforme la norma ANSI Z21.1 a una altitud de 1850 metros sobre el nivel del mar en la Ciudad de Querétaro y a nivel del mar en Veracruz, obteniéndose resultados satisfactorios. Se hicieron pruebas de confiabilidad del producto para garantizar el funcionamiento de la estufa hasta por 10 años a través de pruebas aceleradas y se comprobó que el quemador siguió conservando su funcionamiento al paso del tiempo, la capacidad máxima alcanzada fue de 15600 Btu/hr y su mínima capacidad alcanzada fue de 1600 Btu/hr cumpliendo con la prueba de espagueti.

El tiempo de hervido del agua fue de 17.1 minutos a nivel de Querétaro y 16 minutos a nivel del mar, el diseño del quemador quedó con un margen amplio en el cumplimiento de las pruebas críticas de seguridad, como combustión, regreso de flama y la prueba de peligro de incendio.

Se manufacturó un molde con 4 cavidades del quemador para su inyección simultánea, actualmente se está controlando el proceso para que los parámetros críticos del quemador estén conforme a diseño y se asegure su óptimo desempeño en el campo.

La estufa actualmente se está produciendo y exportando a Estados Unidos de Norte América.

## Conclusiones Generales.

El objetivo del diseño del quemador se cumplió satisfactoriamente ya que se alcanzaron a cubrir todos los aspectos de la norma, los requerimientos internos del fabricante así como los de los usuarios; el diseño del quemador quedó robusto al tener un amplio margen en el cumplimiento de las especificaciones de seguridad.

El diseño tomó un año de desarrollo desde su etapa inicial hasta la etapa final, fue un desarrollo bastante interesante ya que hubo varios retos a vencer, nos enfrentamos a situaciones críticas para lograr el balance y control de las variables y llegar al cumplimiento de todos los requisitos al mismo tiempo. Considero que fue bastante productivo y que este diseño nos dio mucho aprendizaje y satisfacción.

La estufa es un aparato doméstico utilizado para cocinar nuestros alimentos, ésta nos ha acompañado a lo largo de nuestra vida y seguirá acompañándonos. Como la estufa emplea electricidad y gas debe cumplir con todas las normas de seguridad aplicables, es por esto que el diseño de este producto implica mucha responsabilidad ya que llega a millones de usuarios. El diseño de los quemadores no es un diseño aislado como un componente, el quemador forma parte de un sistema y es muy dependiente de éste, por lo general un buen diseño de quemador no necesariamente funciona en otros sistemas ya que un mínimo cambio en éste puede llegar a alterar su desempeño. El sistema de gas de la estufa es fundamental para las bases del diseño del quemador ya que la presión de trabajo, las caídas provocadas por la tubería y los componentes tiene una fuerte influencia en su desempeño.

El hecho de que la estufa cumpla con las normas obligatorias no implica que las condiciones de seguridad sean cubiertas en su totalidad, ya que las normas solo contemplan el funcionamiento adecuado del producto al salir de la fábrica, también debe considerarse que el funcionamiento óptimo debe conservarse durante varios años, garantizando que nunca existirá un problema que atente contra la integridad del usuario, por esto, se debe cubrir el aspecto de la confiabilidad que es el área de búsqueda de fallas acelerando el funcionamiento del producto a través de pruebas estresadas en temperatura, fatiga de componentes para simular 10 años en 6 meses o en menos dependiendo del diseño de la prueba acelerada u obtenida a través del reporte de fallas de campo.

El diseño de los quemadores algunas veces se ve limitado por las normas ya que el cumplirlas, hace que no se puedan ofrecer a los usuarios algunas características especiales, además de que no consideran algunas posibles fallas, es por esto que las normas deben tener un periodo de actualización para permitir adecuarse conforme los conocimientos de estos productos se van adquiriendo día a día. La información que los fabricantes obtienen de sus diseños por los usuarios es básica para que las estufas sean más seguras y confiables.

El utilizar una metodología y el uso correcto de las herramientas para el diseño facilita la solución de los problemas que se van presentando en el desarrollo, la obtención de resultados y su análisis conforme a esta metodología conduce a una buena toma de decisiones y ayudan al razonamiento y el incremento de conocimientos en la especialidad.

El diseño de quemadores me ha permitido aplicar los conocimientos adquiridos en la escuela, ya que se usan las diferentes ramas de la ingeniería como termofluidos, diseño, combustión, transferencia de calor ya que también se requiere de cumplir con ciertas especificaciones de temperaturas alcanzadas en superficies que están en contacto con el usuario y debe evitarse cualquier accidente por quemaduras, la química, para entender las reacciones y el manejo del equipo, sistemas de control automático y la combinación de los diferentes programas de cálculo que son una herramienta indispensable de medición y de análisis.

La variedad de estas ramas hace que uno deba estar en continuo estudio y actualización, gracias a esto he participado en el diseño de muchos quemadores a gas de diferentes tipos y quemadores de aire forzado, que actualmente están en producción y vendiéndose en México y en Estados Unidos de Norteamérica.

## Bibliografía.

- Orifice capacity charts fro Harper metered orifices.  
Harper Wyman Company  
A subsidiary of Oak Technology Inc.  
930 North York Road, Hinsdale, Illinois 60521 U.S.A.
- Appliance Service Handbook  
George Meyerink  
Ed Prentice Hall Career & Technology.  
2a. Edición. 1988
- Gas Engineers Handbook  
Fuel Gas Engineering Practices
- American Gas Association  
1 st. Edition  
Industrial Press Inc.
- Fundamental of Gas Combustion  
American Gas Association  
Gas Appliance Manufactures Association, Inc.  
Catalogue No. XH0373, 1993.
- Six Sigma Metodology.  
General Electric Appliances.
- The application of combustión principles to  
Domestic gas burner design.

H.R.N. Jones, MA,PhD, CEng, MI GasE  
British Gas Teaching Fellow, University of Cambridge.

British Gas  
First published 1989

- **Revista del consumidor**  
Procuraduría Federal del consumidor  
México  
Numero 323
- **Norma Oficial Mexicana NOM-019-SEDG-2002**  
Aparatos domésticos para cocinar alimentos que utilizan gas L.P o gas natural  
Especificaciones y métodos de prueba.
- **ANSI Z21.1 – 2000**  
American National Standard Institute for household cooking gas appliances.