

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Modificación Del Sistema De Combustión Autorregulable para
eliminar problemas de flotación de llama y ruido en un quemador
rápido en una Cocina a Gas

**TRABAJO FINAL DE GRADUACION
EXAMEN COMPLEXIVO**

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Jorge Fernando León Guijarro

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la darne bendición de culminar con éxito este proyecto.

A mi Madre, a mi Padre y a mi Esposa y a todas las personas que de uno u otro modo hicieron posible la realización de este proyecto,, y con especial gratitud a mi madre y a mi esposa por su perseverancia

Agradecimiento a la ESPOL y sus profesores por su aporte y guía en el desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA

Especialmente a Dios

A mi madre Mariana de Jesus

A mi Padre Rosendo

A mi esposa Martha

A mis hijos,

Andrea Lisette,

Jorge Andrés y

Luis Fernando

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de graduación de la ESPOL).

Jorge Fernando León Guijarro

TRIBUNAL DE GRADUACION

Dr. Freddy Jervis C.

Ing Gonzalo Zabala O.

Resumen.

Este trabajo presenta la mejora al Sistema de combustión del Quemador rápido de una cocina doméstica, modelo INGENIOUS769 que funciona con GLP, al adaptar un mini tubo regulador de aire primario, que elimina los problemas de flotación de llama y ruido, que incumplen los requisitos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2259, presentados en cocinas que funcionan en domicilios y reportados por Servicio Técnico debido a incrementos en los costos de garantía ocasionados por cambiar el producto y con riesgo de sacarlo del mercado. Analizando la potencia calorífica y las dimensiones del quemador, relacionadas entre sí, siendo la causa principal un cambio al diámetro de la esprea del quemador, al no hallar proveeduría con la esprea original. Calculando los valores teóricos con la nueva esprea, se obtuvo la entrada de aire primario necesaria para eliminar los problemas, manteniendo la potencia del quemador y sin variar las dimensiones de los componentes, adaptar el mini tubo regulador. Los ensayos realizados en los laboratorios, muestran cumplimiento con los requisitos de Combustión y Seguridad de funcionamiento de la Norma Técnica NTE INEN 2259. La implementación del mini tubo regulador elimina los incrementos del costo de garantía, y es útil para eliminar los mismos problemas en productos importados con sistema de combustión similares.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
INDICE GENERAL	II
ABREVIATURAS	IV
SIMBOLOGIA	V
INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABLAS	VIII
}INTRODUCCIÓN	IX
CAPITULO 1	
FUNDAMENTOS DE LA COMBUSTION A GAS EN COCINAS Y	
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción del Sistema a gas (Componentes)	1
1.2. Propiedades y características generales de los gases	5
1.3. Operación y diseño del quemador a gas	7
1.4. Sintomas y causas para el planteamiento del problem	12

CAPITULO 2

2. ANALISIS DEL SISTEMA DE GAS	16
2.1. Diseño del Quemador original	16
2.2. Analisis de resultado	19
2.3. Alternativa de solución	20

CAPITULO 3

3. EVALUACIONES	21
3.1. Calculo para determinar propuesta de solución	21
3.2. Calcular el area de aire primario necesario	24
3.3. Pruebas realizadas	26
3.4. Resultados	28
3.5. Implementación y costos involucrados	33

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
Conclusiones	34
4.1. Recomenadcione	35
APENDICES	36

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

INEN	Instituto ecuatoriano de Normalización
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
RTE	Reglamento Técnico Ecuatoriano
EN	Norma Europea
Btu / h	B.T.U (Unidad Térmica Británica) por hora
Btu / kg	B.T.U (Unidad Térmica Británica) por kilogramo
Btu / litro	B.T.U (Unidad Térmica Británica) por litro
Btu / galon	B.T.U (Unidad Térmica Británica) por galon
ft ³	Pié cúbico
GLP	Gas Licuado de Petróleo
in	Pulgadas
In H ₂ O	Pulgadas de agua
K	Coefficiente de flujo de un fluido a través de un orificio
Kcal / h	Kilocaloría por hora
Kcal / h cm ²	Kilocaloría por hora y centímetro cuadrado
Kcal / m ³	Kilocaloría por metro cúbico
Kcal / litro	Kilocaloría por litro
Kcal / kg	Kilocaloría por kilogramo
Kcal / galon	Kilocaloría por galon
Kg	Kilogramo
m ²	Metro cuadrado
m ³ / h	Metros cúbicos por hora
min	Minutos
MJ / Kg °C	Mega Jules por Kilogramo y grados Centígrados
mm	Milímetros
mm H ₂ O	Milímetros de agua
h	hora
kW	Kilowatts

SIMBOLOGIA

GLP	Gas licuado de
C_4H_{10}	Partes por millón
C_4H_8	Partes por millón
A_p	Área total de portas
A_v	Área total de ventanas
A_a	Área aire primario
m^∞	Flujo circundante
ρ_f	Densidad flujo circundante
x	Distancia salida de la garganta del quemador
A_p	Área total de portas
\dot{V}	Flujo Volumétrico
π	Constante de la circunferencia
g	Aceleración debido a la gravedad
$(ppm\ CO)_m$	Partes por millón de monóxido de carbono medidos por el analizador de gases
d_i	Diámetro del Inyector
d_{rel}	Densidad relativa del gas
h	Presión estática del gas
k	Coefficiente del inyector
P_{atm}	Presión atmosférica
PC	Poder calorífico del gas
P_{cor}	Presión corregida por temperatura y gravedad
$P_{v,tq}$	Presión de vapor de agua
Q_t	Flujo térmico del quemador
Q_u	Flujo unitario de la sección de salida del quemador

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Componentes Cocinas INGENIOUS769.....	2
Figura 2	Inyectores y su coeficiente de descarga K	3
Figura 3	Cámara de Regulación de aire	4
Figura 4	Cubierta parrillas y caja quemador.....	4
Figura 5	Quemador atmosférico - Proceso de aireación.....	8
Figura 6	Efecto de arrastre	6
Figura 7	Portas del quemador y llama.....	9
Figura 8	Modos de falla cocina INGENIOUS769.....	14
Figura 9	Mapeo del sistema de combustión.....	13
Figura 10	Ensayos confirmación de diseño - INGENIOUS769.....	16
Figura 11	Ensayos pre-piloto - INGENIOUS769.....	11
Figura 12	Detalle de las portas del quemador rápido	16
Figura 13	Cuadro AMEF	19
Figura 14	Hoja de registro de pruebas.....	22
Figura 15	Anexo registro de pruebas	23
Figura 16	Plan de Evaluación.....	26
Figura 17	Equipo AYQ para medir hermeticidad.....	27

Figura 18	Analizador de gases TESTO.....	27
Figura 19	Gases de ensayo	28
Figura 20	Prueba 1.....	28
Figura 21	Resultado prueba 1.....	29
Figura 22	Mini tubo regulador	30
Figura 23	Prueba 2.....	31
Figura 24	Resultados Prueba 2.....	32

INDICE DE TABLAS

		Pag.
Tabla 1	Poder calorífico del Gas LP.....	6
Tabla 2	Peso relativo del Gas LP.....	6
Tabla 3	Peso específico relativo del Gas LP.....	6
Tabla 4	Análisis de costos.....	33

Introducción.

El presente trabajo documenta la mejora implementada a un Sistema de combustión autoregurable realizado en el año 2012, a un quemador rápido de una cocina que funciona con combustible gaseoso, modelo INGENIOUS769, con el propósito de mejorar la calidad de estabilidad de llama, la combustión y comercialización del producto, adaptando un mini tubo regulador para la entrada de aire primario.

El proceso de adaptación que se describe en este trabajo consta de dos partes: Análisis del diseño y Evaluaciones. El Análisis del diseño, verifica las características del diseño del quemador y la potencia del quemador, con el objetivo principal de mantener la comercialización del producto encontrando una solución factible para eliminar los problemas de estabilidad de llama, que se presentan en el quemador como flotación y ruido, sin modificar dimensiones a los componentes y sin cambiar los componentes del sistema de combustión, solo adaptando la mini cámara de regulación para mejorar la entrada de aire primario lograr la estabilizar las llamas. Las Evaluaciones realizadas en los laboratorio evidencian que la mejora implementada cumple con los requisitos definidos en las normas nacionales e internacionales aplicadas a las cocina que

funcionan con combustibles gaseosos y que su implementación en ensamble para la producción en serie es factible.

Con la implementación de esta mejora se obtuvo un beneficio adicional, que consiste en implementar la mini cámara en otros sistemas de combustión de productos que se importan para mejorar problemas de estabilidad de llama o combustión en los quemadores superiores.

Adicionalmente se implementó que las valuaciones finales para el cierre de proyectos a productos que se comercializaran en Ecuador sea realizada en nuestros laboratorios y con una prueba de confiabilidad.

CAPITULO 1

1. FUNDAMENTOS DE LA COMBUSTIÓN A GAS EN COCINAS Y ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Sistema de gas (Componentes)

La fig. 1. muestra los componentes del sistema de combustión de la cocina modelo INGENIOS769.

Los componentes ensamblados en fábrica: el tubo de distribución, (NTE INEN 2668). Las válvulas, (norma EN 1106). Las Cañerías, Transportan el gas a cada quemador,

Las espreas o inyectores. Introducen el gas en el cuerpo del quemador con caudal y presión de acuerdo a condiciones determinadas para su correcto funcionamiento y determinan la capacidad térmica del quemador. Las características más importantes son el diámetro del orificio y su geometría. Ver fig. 2

La cámara de regulación de aire. Permite la entrada de aire primario para la mezcla aire-gas. Está formada por dos conos, convergente y divergente, donde se mezcla el gas con el aire. Para el diseño en cocinas

puede eliminarse la parte convergente. Al trabajar con diferentes tipos de gases un anillo regulador se usa para regular la entrada de aire. Ver fig.3

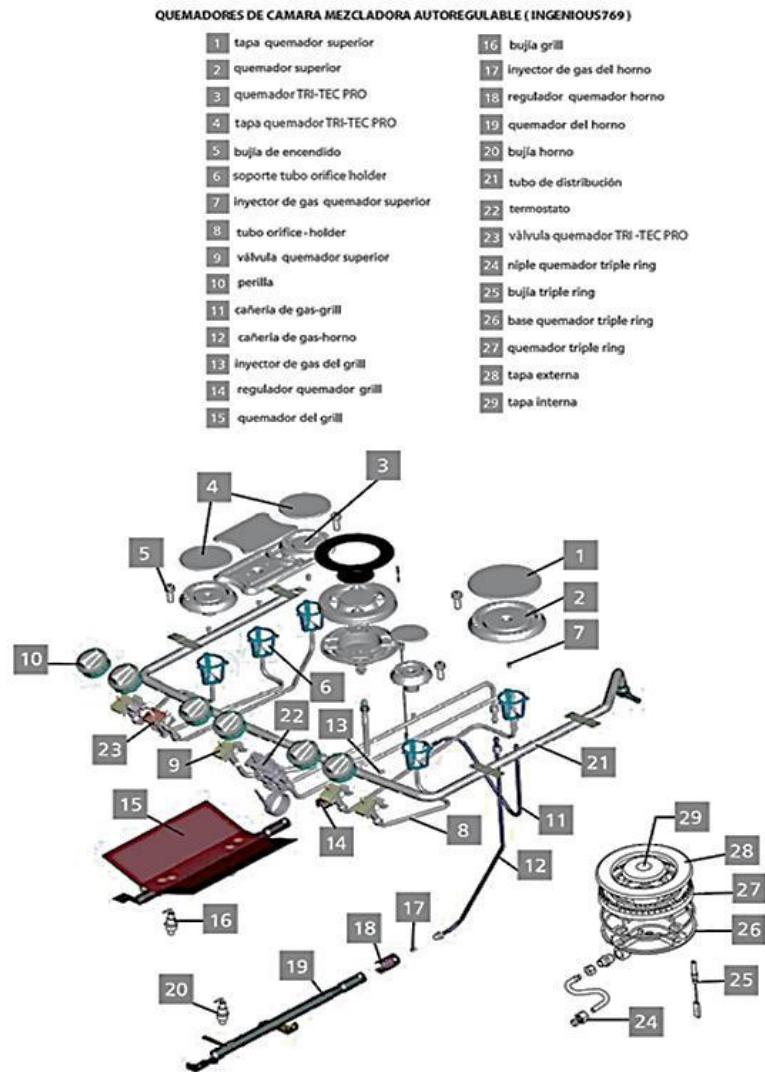


Fig. 1 Componentes Cocinas INGENIOUS769

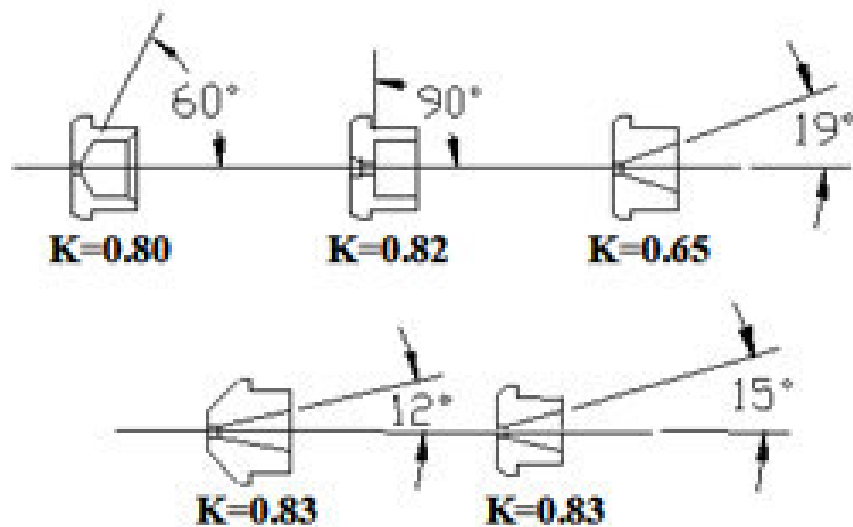


Fig. 2 Inyectores y su coeficiente de descarga K

El quemador. Reciben la mezcla aire-gas y completa la operación de mezclado de aire primario y gas, que distribuida en las portas forma la llama tomando el aire secundario de la zona de combustión, completando el proceso de quemado del gas. Su punto de fusión debe ser 510°C (Norma COVENIN 1867). De la geometría del quemador depende que la llama sea estable en un determinado rango de potencias.

El soporte de la cañería, la caja quemadores, La cubierta, y las parrillas superiores forman parte del sistema. Ver fig.4.

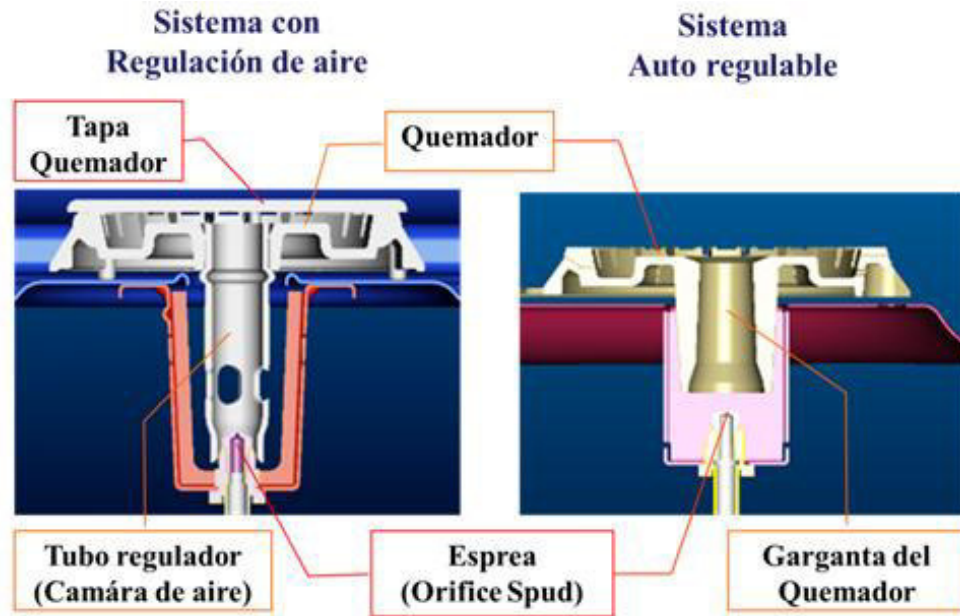


Fig. 3 Cámara de Regulación de aire

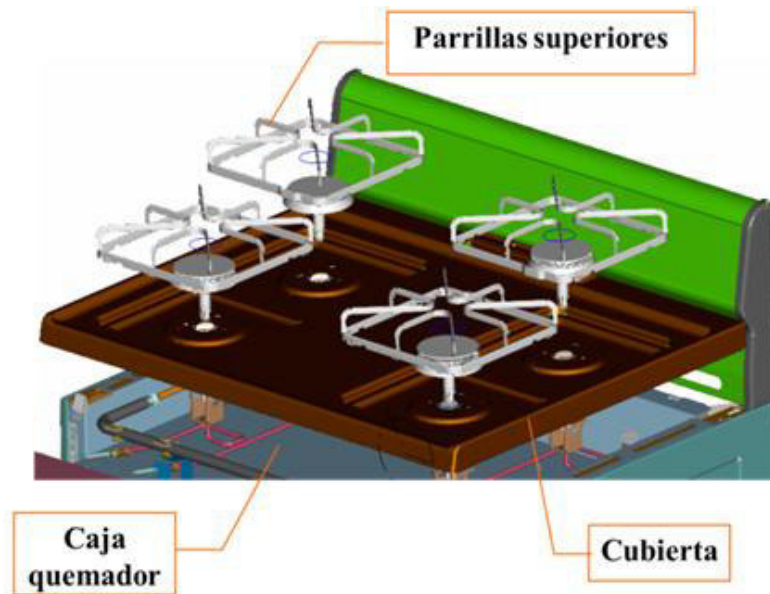


Fig. 4 Cubierta parrillas y caja quemador

1.2. Propiedades y características generales de los gases

El combustible gaseoso usado en Ecuador es el GLP V, de la 3ra familia: (fundamentalmente parafinas y olefinas de 3 y 4 carbonos). Por su bajo contenido de vapor a la temperatura ambiente, puede operarse a presiones reducidas, almacenado, transportado y distribuido en estado líquido en recipientes de tamaño variados y utilizado luego como combustibles gaseosos. Pueden distribuirse como propano o butano puros, o como mezclas. Ver tabla 1, 2 y 3. El poder calorífico superior varía de 24.000 a 32.000 kcal/hm³. En Ecuador, para uso doméstico tiene una mezcla de 30 % C₄H₁₀ (Iso Butano) con un poder calorífico de 11.780 kcal./kg. y 70 % C₃H₈ (Propano) con 12.005 kcal./kg. El poder calorífico de la mezcla:

$$11.780 \text{ kcal./kg}(30\%) + 12.005 \text{ kcal./ kg}(70\%) = 11.938,7 \text{ kcal./kg.}$$

Los gases de **1ra familia**: Son gases manufacturados, su poder calorífico varía entre 3.800 y 4.500 kcal/m³. En Ecuador no se comercializa.

Los gases naturales o de 2da familia, cuyo componente es el metano, con una variación del 95 al 99% en volumen. Su poder calorífico esta entre 8.000 kcal/m³ 10.000 kcal/m³.

Tabla 1. Poder Calorífico del GLP

PODER CALORIFICO			
UNIDAD	PROPANO	BUTANO	MEZCLA P=70 - B= 30
Kcal/kg (Liquido)	12.005	11.780	11.938
BTU/kg (Liquido)	47.659	46.768	47.392
Kcal./litro (Liquido)	6.105	6.910	6.347
BTU/litro (Liquido)	24.238	27.432	25.196
Kcal./litro (Vapor)	23	30	25
BTU/litro (Vapor)	91	119	99
Kcal./galón (Liquido)	23.108	26.153	24.002
BTU/galón (Liquido)	91.740	103.830	95.367
BTU/pie ³ (Vapor)	2.563	3.369	2.805

Tabla 2. Peso relativo del GLP

PESO RELATIVO DEL GAS LICUADO DE PETROLEO	
MATERIAL	PESO POR LITRO
PROPANO (Liquido)	0,508 kg
BUTANO (Liquido)	0,584 kg
AGUA	1,000 kg
MEZCLA: Propano 70% - Butano 30%	0,531 kg

Tabla 3. Peso específico relativo del GLP

PESO ESPECIFICO RELATIVO DEL GLP EN VAPOR	
MATERIAL	PESO ESPECIFICO RELATIVO
PROPANO VAPOR	1,522
BUTANO VAPOR	2,006
AGUA	1,000
MEZCLA: Propano 70% - Butano 30%	1,667

1.3. Operación y diseño del quemador a gas.

En cocinas a gas se usan quemadores de premezcla tipo atmosféricos, Ver fig. 5

Cuando el gas emerge del inyector, interactúa con el aire circundante, esto es denominado arrastre (ver fig. 6). El arrastre es causado porque cuando sale el gas del inyector se crea una zona de baja presión alrededor del inyector, lo que causa que el aire sea arrastrado por el gas, formando la mezcla aire-gas. Como el gas captura el aire el diámetro de la mezcla se incrementa.

La tasa a la cual el gas arrastra y se mezcla con el aire es un parámetro crítico para el diseño de quemadores. La tasa de la mezcla aire-gas y los gases de escape se controla por medio del inyector, por ello la cantidad de aire primario que se introduce con el gas debe garantizar la combustión para evitar problemas de desprendimiento o retorno de llama. La pre-mezcla aire-gas, se expresa en porcentaje de aire, entre el 50 y 70% de aire primario y el resto como aire secundario.

Las llamas formadas tienen una coloración azulada y tamaño pequeño, con baja emisión de monóxido de carbono, y rendimientos superiores al 54% (NTE INEN 2259).

La cantidad de fluido circundante m^∞ de densidad ρ^∞ arrastrada por el fluido m_f de densidad ρ_f que es inyectado por un inyector de diámetro d_i , a una distancia X a la salida de la garganta del quemador, está dada por la siguiente ecuación empírica. [4]

$$\frac{m^\infty}{m_f} = 0,32 * \left(\frac{\rho^\infty}{\rho_f}\right)^{1/2} * \left(\frac{x}{d_i}\right) \rightarrow \text{Valido para } \frac{x}{d_i} > 18$$

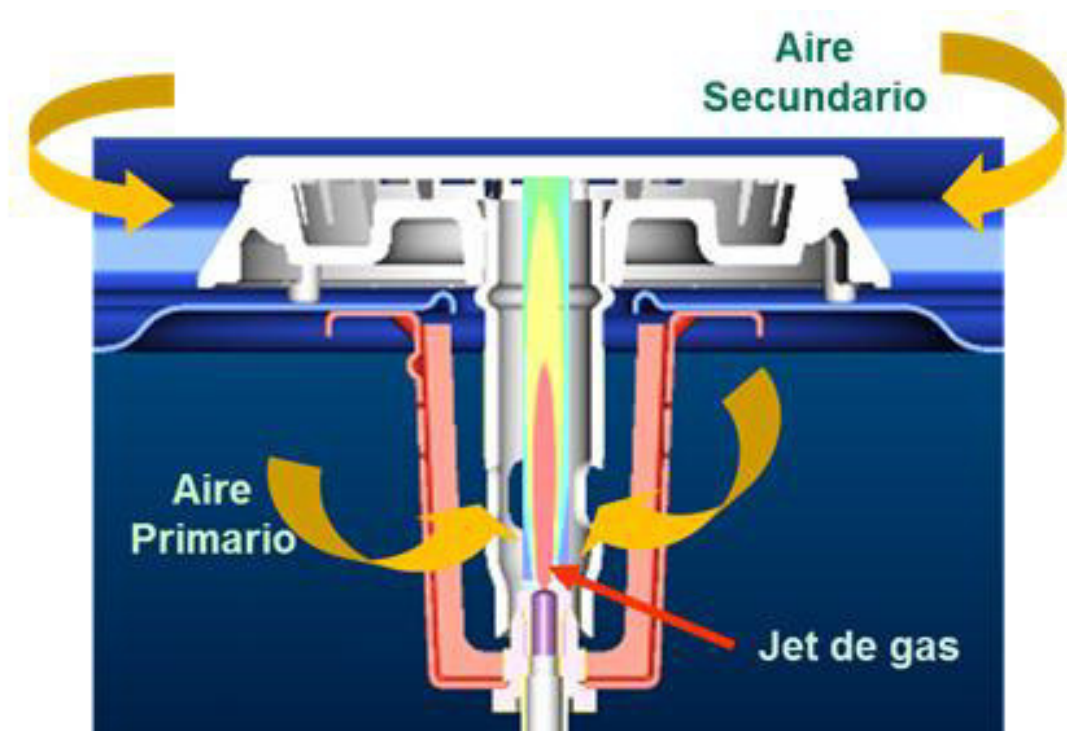


Fig. 5. Quemador atmosférico - Proceso de aireación



Fig. 6. Efecto de arrastre

Diseño del quemador.

Para el diseño del quemador deben considerarse:

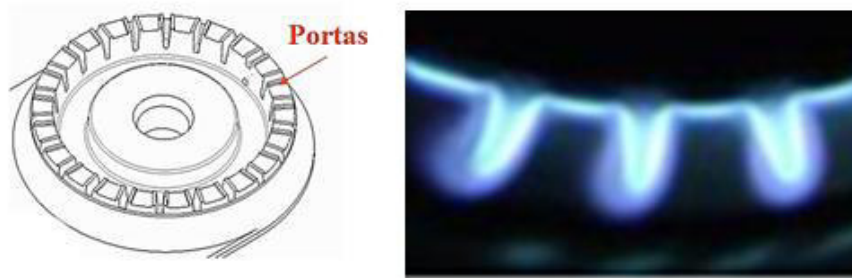


Fig. 7 Portas del quemador y llama

Las Portas. Aberturas por donde emerge la flama hacia la atmosfera, Distribuyen las llamas para proporcionar una buena transferencia de calor. Ver fig. 7

Para calcular la sección total de salida, se requiere conocer el flujo térmico del quemador, es decir las kcal/h que este ha de suministrar.

Según las condiciones en que opere el quemador se establece el tipo y el número de portas necesarias para obtener el área total. La siguiente relación liga el flujo térmico del quemador y la sección de salida. [1]

$$A_p = \frac{Q_t}{Q_u}$$

Donde: A_p es la sección de las portas en cm^2 , Q_t es el flujo térmico del quemador en kcal/h y Q_u es el flujo unitario o carga térmica en kcal/h.cm^2 de la sección de salida.

En función del gas de alimentación, las cargas térmicas por cm^2 de la sección de salida varían por lo general en torno a los siguientes valores:

$Q_u = 1.200 - 1.300 \text{ Kcal/h. cm}^2$ para los gases de la 1^{ra} familia (gases manufacturados). [1]

$Q_u = 700 - 800 \text{ Kcal/h. cm}^2$ para los gases de la 2^{da} y 3^{ra} familia (gases naturales, propano, butano). [1]

La distancia entre las portas deberá asegurar una fácil distribución de la llama y permitir el paso del aire secundario entre llama y llama, tal que

favorezca la combustión perfecta, pero sin enfriar las zonas de llama e incidir de modo determinante en el rendimiento.

La distancia entre las portas no tiene influencia sobre el retorno de llama y cuando supera los 5mm no produce efecto alguno sobre el desprendimiento de llama. La transmisión se hace más dificultosa a medida que aumente la distancia entre porta y porta. Si la distancia disminuye de 5 mm a 2 mm, la tendencia al desprendimiento de llama disminuye ligeramente. Para distancias menores las llamas tienden a superponerse, y dado que disminuye el aire secundario a disposición de cada una de ellas, es necesario un fuerte aumento de aire primario para que se produzca el desprendimiento de llama. A igualdad de grado de aireación, en cambio es evidente que la combustión empeora, se puede producir fácilmente el fenómeno de la aparición de puntas amarillas.

La relación entre el área de la porta y el espesor del material en la que se ha practicado tiene una importancia notable.

En general puede decirse que con portas de longitud superior a 10 diámetros es difícil que se presente retorno de llama.

La altura de la porta (que en proyectos normales varía entre 3 y 7 mm no influye apreciablemente en el desprendimiento de llama o retorno de llama ni en la formación de puntas amarillas.

Si un quemador con una sola fila de portas requiere para una cierta variación de carga unitaria, un aumento de aire primario por ejemplo de un 25%, cuando las portas se disponen en 2 filas, la cantidad de aire primario deberá aumentar alrededor de un 30% y si son 4 filas aumentar un 40%.

1.4. Síntomas y causas para el planteamiento del problema

Las llamadas de servicio recibidas por los modos de falla presentados en la cocina modelo INGENIOUS769, y no corregidos por los técnicos han obligado a cambiar el producto defectuoso. Pero el producto cambiado presenta los mismos problemas, ocasionado que los costos de garantía se incrementen. La curva de la fig. 8 muestra como desde mayo a septiembre se incrementan las llamadas de servicio

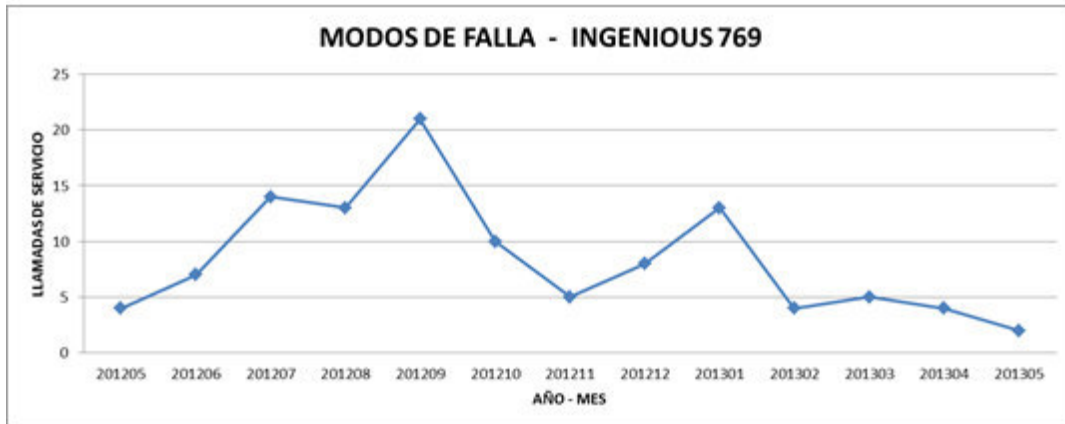


Fig. 8 Modos de falla cocina INGENIOUS769

Análisis inicial del Sistema de combustión

Con un producto que presenta los modos de falla se evidencia los problemas en el quemador rápido. Se genera un mapeo del sistema (Ver fig. 9) que ayuda a eliminar posibles causas y encontrar las causas más probables.

La principal causa, es el cambio en el diámetro de la esprea, realizado en la pruebas pre-piloto. En las fig.10 y 11. se observa la variación en el diámetro del inyector del quemador rápido, denominado Jumbo. Inicialmente presenta un diámetro de inyector de 0,83 mm.

Por problemas de proveeduría se cambia el diámetro a 0,80 mm, realizándose nuevos ensayos, teniendo la reducción de la potencia de

2,7 kW a 2,34 kW, especificándose luego el valor de 2,5 kW promedio de las potencia obtenidas en las pruebas pre pilotos..

MAPA DEL SISTEMA					
ETAPAS DEL PROCESO		MAPA DEL SISTEMA	CONDICIONES DEL PROCESO	CTQ'S	OBSERVACIONES PRUEBAS PRELIMINARES
A.1	Regulador de presión	A1	Mantener Capacidad demandada	Presión del sistema	Regulador del laboratorio calibrado. No aplica
			No provoca caídas de presión	Hermeticidad	Se confirma hermeticidad
A.2	Tubo Manifold	A2	Mantener Capacidad demandada	Composición del gas	Composición del gas Ecuador 70% Propano 30% Butano
			No provoca caídas de presión	Presión del sistema	Se confirma hermeticidad y presiones estables
A.3	Valvula	A3	Mantener Hermeticidad	Hermeticidad	Se confirma hermeticidad y presiones estables
			Resistir par de apriete a las cañerías y Manifold	Hermeticidad	
A.4	Cañería (pírfce holder)	A4	Resistir ciclos de apertura y cierre.	Presión del sistema	
			Mantener el flujo de gas	Hermeticidad	Se confirma hermeticidad y presiones estables
A.5	Esprea	A5	No presentar corrosión		
			Capacidad Térmica	Tamaño del orificio	Diametro mayor en pruebas de confirmación de diseño
A.6	Caja Quemadores	A6	El orificio no debe presentar inclinación ni ovalamiento	Presión del sistema	Se confirma datos del inyector.
			Libre de rebabas u obstrucciones		
A.7	Soportes (Bracket)	A7	Identificar su tamaño.		
			Mezcla aire-gas	Volumen de aire para mezcla aire-gas	Se confirma su ensamble
A.8	Cubierta	A8	Barra para aire caliente del horno		
			No provoca caídas de presión		
A.9	Parrillas superiores	A9	Distancia Vertical entre esprea y garganta del quemador	Volumen de aire para mezcla aire-gas	
			Mantener la concentricidad		Se confirma sus medidas y ensamble
A.10	Quemador	A10	No debe obstruir la entrada de aire primario		
			Entrada de aire secundario a los quemadores	Entrada de aire secundario a los quemadores	Entrada de aire secundario a los quemadores
A.11	Tapa quemador	A11	Estabilidad y ubica a quemadores y parrillas		
			Contienen los derrames		
A.10	Quemador	A10	Entrada de aire secundario a los quemadores	Entrada de aire secundario a los quemadores	Se confirma sus medidas y ensamble
			Mantene distancia entre el quemador y los utensilios		
A.11	Tapa quemador	A11	Proporciona estabilidad a los utensilios.		
			Recibe mezcla de aire-gas	Mezcla de aire-gas	Se debe confirmar por el cambio en el inyector
A.10	Quemador	A10	Velocidad de salida de la mezcla aire-gas por las portas	Dimensionamiento de las portas	Se confirma dimensionamiento de las portas y Quemador
			Destruyen las flamas		
A.11	Tapa quemador	A11	Longitud venturi	Carga de porta (Port Loading)	Carga de porta, no aplica para la Potencia del quemador
			Complemento para portas del quemador	Planicidad de 0.010" (zona de contacto)	
A.11	Tapa quemador	A11		Distancia entre tapa y salida del Venturi	
				Cap - Overlap	Se confirma dimensionamiento de las portas y Quemador
A.11	Tapa quemador	A11		Camara de combustión	

Fig. 9. Mapeo del sistema de combustión

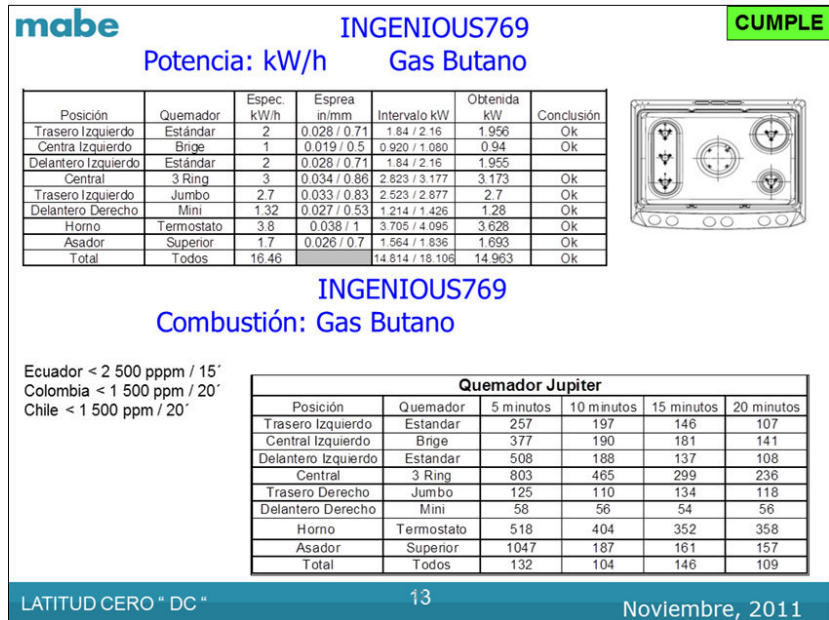


Fig. 10 Ensayos confirmación de diseño - INGENIOUS769

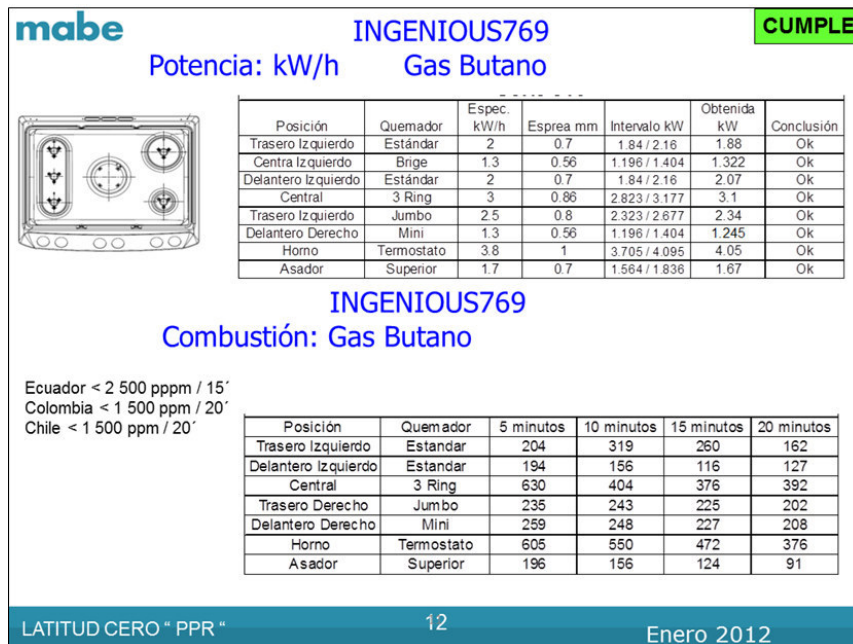


Fig. 11. Ensayos pre-piloto - INGENIOUS769

CAPITULO 2

2. ANALISIS DEL SISTEMA DE GAS

2.1. Diseño del quemador original

Para verificar la potencia del quemador se calcula el area de las portas, las medidas se obtienen de la vista D, H y J de la fig 11.

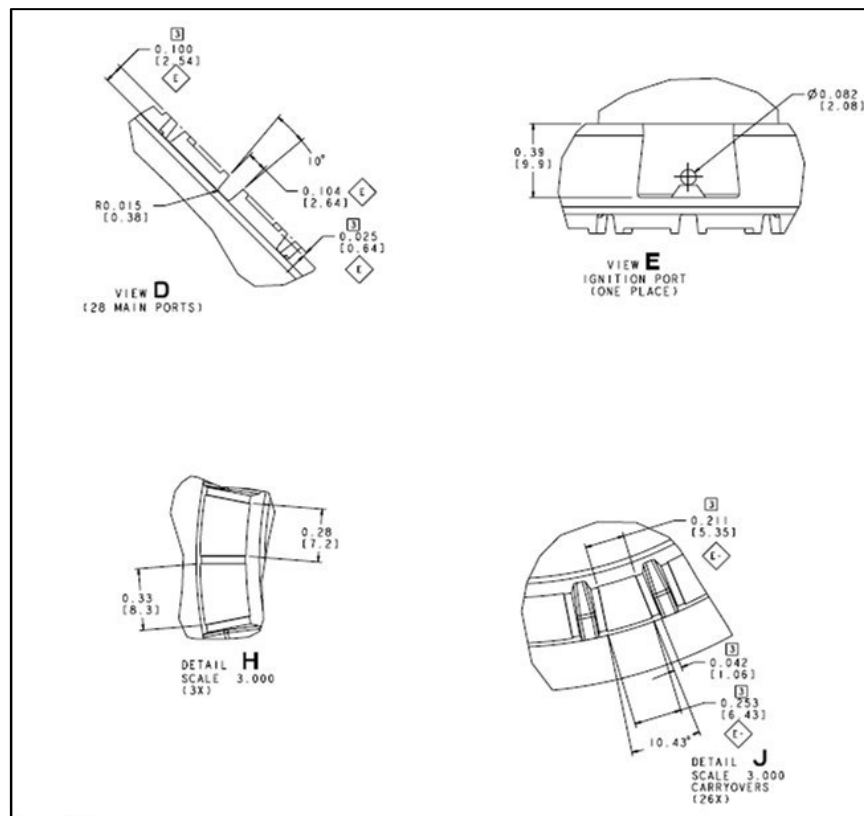


Fig. 12. Detalle de las portas del quemador rápido

Se tienen, 29 portas grandes, con un área de 6,09 mm², área total de 176,11 mm². 32 portas pequeñas con un área de 4,12 mm², área total 131,69 mm² Total área de porta = 308,30 mm², o 3,083 cm²

Tomado un valor intermedio de carga térmica, 750 kcal/h.cm² y Aplicando la fórmula para hallar la potencia del quemador

$$Q_t = A_p \cdot Q_u$$

Se obtiene

$$Q_t = (3,083 \text{ cm}^2)(750 \text{ kcal/h.cm}^2)/(859,045 \text{ kcal/kW.h})$$

$$Q_t = 2,69 \text{ kW}$$

Con la ecuación que relaciona la capacidad calorífica del gas PC en kcal/cm³ y el flujo volumétrico, V en m³/h. se obtiene también el valor de potencia

$$Q_t = V \cdot PCS$$

Donde V es el flujo volumétrico que depende del diámetro del inyector. [1]

$$V = \frac{11}{10^3} K d_i^2 \sqrt{\frac{h}{d_{rel}}}$$

Conociendo:

Diámetro del Inyector (d_i) = 0,80 mm

Densidad relativa (d_{rel}) del Gas LP (70% propano y 30% butano)

$d_{rel} = 1,522(0,70) + 2,006(0,30)$ de la tabla 3

$d_{rel} = 1,6672$

El coeficiente de flujo (k) = 0,80 para los inyectores más comunes

La presión estática del gas (h) = 279,4 m de agua (11 pulg de agua)

El flujo volumétrico **$V = 0,073 \text{ m}^3/\text{h}$**

Con el flujo volumétrico se calcula la Potencia teórica del quemador .

El poder calorífico superior PC, que es de $24.025,42 \text{ kcal/ m}^3$

La potencia **$Q_t = 2,04 \text{ kW}$**

Observamos que las potencias obtenidas son diferentes, esto debido a que no hay un balanceo de energía en el quemador.

2.2. Análisis de resultados

Se genera la matriz, análisis de modo y efecto de falla potencial (AMEF), (ver fig. 13) un método para hallar los problemas potenciales y sus posibles efectos en el sistema, para priorizar y concentrar recursos en planes de mejora

 ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA POTENCIAL														
PROYECTO: Problema de estabilidad de llamas en Modelos INGENIOUS769										FECHA				
RESPONSABLE DEL PRC Jorge Leon - Celso Carrera										12-jul-12				
Nombre de la variable de Entrada	Modo(s) como falla la Entrada	Efecto principal del modo como falla la Entrada (afecta a CTQs)	Severidad	Causa (s) de la falla potencial	Ocurrencia	Controles actuales en el proceso	Detección	Prioridad de riesgo (NPR)	Acciones recomendadas	Severidad	Ocurrencia	Prioridad de riesgo (NPR)	Responsable	
Carga de porta (Port Loading) - Cabeza del quemador	Composición del gas diferente	Baja capacidad termica del quemador	7	Gas LP Local con Poder calorifico inferior	3	Ninguno	7	147	Verificar area de entrada de aire primario.	7	24	56	JL - CC	
	Inyector con diametro menor	Baja capacidad termica del quemador	7	Componentes de compra salandar	3	Ninguno	7	147	Bucar inyector de mayor diametro	5	22	20	JL	
	Area para la mezcla aire gas muy grandes	Desprendimiento de la	Exceso de aire primario	8	Area de porta mayor	3	Inspección Quemador	3	72	Verificar area de porta de acuerdo a capacidad teorica.	7	25	70	JL - CC
			Ruido	6	Portas anchas	3	Inspección Quemador	3	54	Verificar area de porta de acuerdo a capacidad teorica.	7	25	70	JL - CC
			Exceso aire primario	6		3	Inspección Quemador	3	54	Verificar area de entrada de aire primario.	7	24	56	JL - CC
													0	

Fig. 13. Cuadro AMEF

Con el diámetro de inyector cambiado se tiene que la causa raíz es la carga de porta superior, es decir, que la potencia del quemador está calculada para una potencia superior que la potencia que entrega el flujo de gas dado por el diámetro actual del inyector

2.3. Alternativas de solución

Para corregir este problema se tiene:

- Aumentar el diámetro del inyector

Sirve para aumentar el flujo másico y por ende la potencia, así buscar que el exceso de aire primario de una mezcla aire–gas homogénea y mantenerla estabilidad de llama.

- Calcular el área de aire primario que necesita el quemador.

Calcular el área de entrada para el aire primario, sin modificar los componentes, es decir, sin cambiar las dimensiones del quemador y del inyector, buscar el equilibrio en la mezcla para lograr una llama estable.

CAPITULO 3

3. EVALUACIONES

3.1. Cálculos para determinar la propuesta de solución

Aumentar el diámetro del inyector.

Con el inyector de mayor diámetro, 0,90 mm, el flujo volumétrico se incrementa, aumentando la potencia del quemador.

$$V = \frac{11}{10^2} K d_i^2 \sqrt{\frac{h}{d_{rel}}}$$

Densidad relativa (drel) del Gas drel = 1,6672

El coeficiente de flujo, tomado da la fig. 2. K. = 0,80

La presión estática del gas (h) = 279,4 mm de agua

Se obtiene **V = 0,0923 m³/h**

Con el poder calorífico superior PC, de 24.025,42 kcal/ m³

Se obtiene **Qt = 2,58 kW.**

Con el inyector de 0,90 mm se obtiene una potencia cerca a la original.

ANEXO REGISTRO DE PRUEBAS

2012/09/30
Cocina de Producción → Sin modificación
Φ Inyección
Φ PD → Φ 0.80mm.
Φ PD → Av. or 0.50mm.
Φ C → Fuelle King → 0.92 mm.
Φ OI → Φ 0.70 mm.
Φ PI → End. 0.8mm; 0.56mm.
Tiempo de Encendido
Fin
Φ 4 → 2,57 ; 1,26 ; 0,087 ; 0,091 ; 0,11
Φ 40 → 0,090 ; 0,036 ; 0,036 ; 0,041 ; 0,083
Φ 72 → 0,046 ; 0,049 ; 0,037 ; 0,033 ; 0,052
Φ 31 → 1,22 ; 0,048 ; 0,231 ; 0,041 ; 0,032
Φ 32 → 2,11 ; 0,083 ; 0,026 ; 0,028 ; 0,028
Φ 81 → 1,84 ;
Tiempo de estabilización de la llama → Suma componente
Φ 4 → Flotador de laucción y después de 60 seg. Sigue flotando la llama en su estado p. 2-26.
Φ 40 → 0,77 seg.
Φ 72 → 0,01 → 0,02 ~ 2 seg de estabiliza
Φ 31 → 1 seg
Φ 32 → 1,5 seg
Φ 81 → 1,50 seg.

Marcela Champauf
 Responsable de Pruebas/Ensayo

Pág. 6. De 9.

Fig. 14. Hoja de registro de pruebas

ANEXO REGISTRO DE PRUEBAS

	2012-09-02
Susceptor 769 CXD Serie: 1794 2080216	
Hueltra: Quemador Eclipse 4"	
- Se coloca ϕ inyector 0.90 mm. - Quemador eclipse 4" - Barra, Soporte V y la arandela para apretar el inyector Botón de la de la Barma.	
- Al inicio hay fluctuación pero se estabiliza a los 2 minutos. - Juego de color, que da con agua para ver la estabilidad de la flama se deja 30 minutos para verificar si se estabiliza por automático cuando hace puntos, cuando se va el gas y se verifica el hallar en el quemador y no hay y se ve una flama que se ve, la prueba no cumple con el combustible que se hizo.	
	2012-10-05
Hueltra: Quemador eclipse 4"	
- Se coloca ϕ inyector 0.80 mm. - Se coloca 4 tubitos nichrome de 1/2" que tiene aberturas 4 perforaciones redondas para regular el quemador Botón de la de la Barma.	
Al inicio se verifica que hay flama, cuando se ve observa que la topilla de los tubos se cubren la flama para realizar de nuevo la prueba.	
- Se realiza y se verifica que sigue haciendo puntos amarillos en todo el quemador eclipse 4"	

María Chingoy
 Responsable de Pruebas/Esfavo

Fig. 15. Anexo registro de pruebas

Al ensayar con el inyector de 0,90 mm, se observa llama amarillas, por lo que el sistema no presenta llama estable. Ver fig. 14 y 15

Otra prueba que se efectuó, consistió en alargar la cabeza del inyector de 0,80 mm para reducir el área de entrada del aire primario, pero nuevamente se presentaron las puntas amarillas.

3.2. Calcular el área de aire primario necesario

Calcular el área de las porta con los datos de potencia del quemador obtenido anteriormente manteniendo el diámetro del inyector

$Q_t = A_p \cdot Q_u$ entonces el área de porta sería $A_p = Q_t / Q_u$

$$A_p = (2,04 \text{ kW}) (859,045 \text{ kcal/kW.h}) / (750 \text{ kcal/h.cm}^2)$$

$$A_p = 2,34 \text{ cm}^2$$

Ahora se busca la ecuación que relacione el área de porta con el área para el ingreso del aire primario.

Como el quemador mantiene una sola fila de orificios, entonces el aumento de aire primario debe ser mínimo un 25%, en el área.

Por lo tanto:

$$A_a = 1,25 \cdot A_p$$

$$A_a = 1,25(2,34 \text{ cm}^2)$$

$$A_a = 2,93 \text{ cm}^2$$

Con el área para la alimentación de aire primario, se busca un regulador que se adapte al sistema.

Este regulador tiene forma cilíndrica con 4 ventanas ovaladas dispuestas a su alrededor, ver fig. 22, con las siguientes medidas, alto de 13 mm y un semicírculo de diámetro 6,3 mm en ambos extremos. Esta nos da un área total de ventana A_v

$$\text{Diámetro de los semicírculos de la ventana (D)} = 6,30 \text{ mm}$$

$$\text{Altura de la ventana} = 13,0 \text{ mm}$$

$$A_v = \frac{\pi}{4} D^2 + (L-D)D$$

$$\text{Obtenemos } A_v = 0,734 \text{ cm}^2$$

$$\text{Como son 4 ventanas entonces } A_v \text{ Total} = 2,94 \text{ cm}^2$$

Ensamblando el regulador en el artefacto realizamos las pruebas

3.3. Pruebas Realizadas

Se genera un plan de evaluaciones para las pruebas que se realizarán.



 Fecha: 28 de Agosto del 2012 Proyecto: COCINA INGENIOS769 CON MINI CONECTOR ADAPTADO							
Para: MABE-ECUADOR Normas: INEN 2 259: 2000, NTC 2832-1.						INGENIOUS	Total
Etapa: EVALUACION							Generales
Revisión: 0						1	1
						Pruebas Generales y Confiabilidad	0
				Capacidades Térmicas: Estándar = 6000 Btu/h Q. Eléctrico =	Marca Mabe		
					Modelo INGENIOUS769ECX0		
					Quemador 1 Rapido (Eclipse) 2 Semirapido (TRI-TEC PRO)		
ITEM	Prueba	Inóso	Norma	Descripción	Criterio de Aceptación	Duración	Aplica
1	Hermeticidad (Fuga de gas)	7.1.9	INEN 2 259: 2000	Aplicar una presión de 15,5 kPa.	No exceder 100 cm ³ /h.	1	X
3	Estabilidad de flama.	7.1.9.7	INEN 2 259: 2002	Se permite una ligera tendencia al desprendimiento de llama al encender, pero las llamas deben ser estables.	Las flamas deben ser estables en los primeros 10 minutos..	1	NA
4	Combustión	7.1.9.7	INEN 2 259: 2002	Colocar un recipiente en cada quemador y medir el (CO) a los 15 minutos, gas Butano y L.P.	Gas L.P. 1400 ppm Gas Butano 2500 ppm y Total 2500 ppm a 15 min	1	X

Fig. 16. Plan de Evaluación

Las pruebas se realizan acorde a los procedimientos en la norma NTE INEN 2259, para lo cual se usan los siguientes equipos. [6]:

Equipo ATQ, para verificar la hermeticidad del sistema de combustión.

La fuga de gas no debe exceder los 100 cm³/h. Ver fig. 17.



Fig. 17. Equipo AYQ para medir hermeticidad

Para evaluar la combustión se usa un analizador de gases TESTO 300-1LL o el marca Horiba, VA-3000/sampling unit VS-3000. El primero es portátil y el segundo es fijo. Miden las emisiones de los gases de la combustión los cuales no deben ser superiores a 800 ppm. Ver fig. 18.



Fig. 18. Analizador de gases TESTO

En las pruebas de combustión se usan los gases de ensayo especiales.

Ver fig.19.

Gases de ensayo (ver nota 4)	Categorías de artefactos
	I ₃
Gas de referencia	Butano comercial ¹⁾ G.L.P. ²⁾
Gas límite de combustión incompleta ³⁾	Butano comercial
Gas límite de desprendimiento de llama ³⁾	Propano comercial
Gas límite de formación de hollín	Butano comercial

1) Para el caso que se disponga de un equipo para la obtención del Cp se puede utilizar como gas de referencia el GLP normalmente distribuido.
 2) Corresponde a la mezcla de gas licuado de petróleo comercializado comúnmente en Ecuador.
 3) Los ensayos con los gases límites son hechos con el inyector y la regulación correspondiente al gas de referencia de la familia a la que pertenece el gas límite utilizado para el ensayo.

Fig. 19. Gases de ensayo

3.4. Resultados

PRUEBA 1:

Se adiciona mini tubo regulador a quemador Rápido (Q4). Ver fig.20.







Fig. 20. Prueba 1

Los resultados son los mostrados en la fig. 21

Apariencia de Flama: Gas LP.

QUEMADOR POSTERIOR DERECHO. Q4

- Encendido cruzado normal.
- Llama de color azul. No hay puntas amarillas
- No existe desprendimiento ni retroceso de la llama.
- Llama completamente estable con y sin recipiente.
- Durante el apagado no se presenta ruido o pequeña explosión (extinction pop)


Temp. Ambiente: 22°C; Presión Atmosférica: 1010 mbar; Humedad relativa: 50%; Presión Gas: 28 mbar.

Combustion: Gas LP.

País	Gas	Minutos	Límite
Ecuador	Butano	15	2 500 ppm
Colombia	Butano	20	1 500 ppm
Chile	Butano	20	1 500 ppm
Venezuela	L.P.	5	800 ppm

GAS LP/ (G30-REFERENCIA)					
Posición	Quegador	CO(ppm) Corregido			
		5 min.	10 min.	15 min.	20 min.
Posterior Derecho	Rápido	179	127	98	88
Posterior Izquierdo	Tri-Tec-Pro	425	251	176	137

GAS BUTANO/ (G30-COMBUSTION INCOMPLETA)					
Posición	Quegador	CO(ppm) Corregido			
		5 min.	10 min.	15 min.	20 min.
Posterior Derecho	Rápido	298	273	257	256
Posterior Izquierdo	Tri-Tec-Pro	293	268	247	221



CUMPLE

Temp. Ambiente: 22°C; Presión Atmosférica: 1010 mbar; Humedad relativa: 50%; Presión Gas: 35 mbar.

Fig. 21. Resultado prueba 1

El ensamble presento interferencia. La altura de la mini cámara topaba a parte inferior del quemador, levantándolo ligeramente, evitando que este asiente en el volcán de la cubierta. Todas las pruebas se cumplieron.

Se reduce la altura de la cámara 2 cm y se verificar su manufactura

PRUEBA 2:

Mini tubo regulador con la entrada de aire se desplaza 2,5 mm y se reduce la altura 3 mm en referencia a la propuesta inicial.



Fig. 22. Mini tubo regulador

MUESTRA 2



Ensamblabilidad: ok, no hay interferencia con el quemador

Extinction pop: prácticamente 0

Estabilidad llama: ok

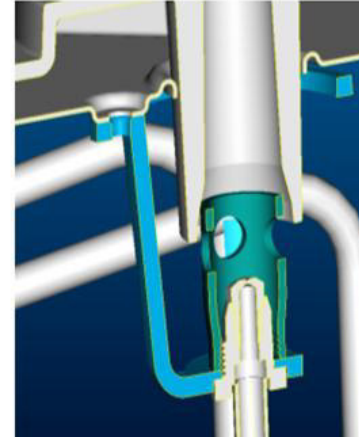


Fig. 23. Prueba 2

La Prueba realizadas con la cámara dan resultados óptimos,

En esta prueba la mini cámara en el quemador rápido (Q4) estabiliza la llama, se observa llamas completamente azules y presentan bajos porcentajes de ppm. Ver fig. 24

Apariencia de Flama: Gas LP.

QUEMADOR POSTERIOR DERECHO. Q4



- Encendido cruzado normal.
- Llama de color azul. No hay puntas amarillas
- No existe desprendimiento ni retroceso de la llama.
- Llama completamente estable con y sin recipiente.
- Durante el apagado no se presenta ruido o pequeña explosión (extinction pop)

Temp. Ambiente: 22°C; Presión Atmosférica: 1010 mbar; Humedad relativa: 50%; Presión Gas: 28 mbar.

Combustion: Gas LP.

País	Minutos	Requisito	
		Gas Natural/ G20(Referencia) Gas LP/ G30(Referencia)	Gas Butano / G30(Combustion Incompleta)
Colombia	20	1000 ppm	1500 ppm
Ecuador	15	1400 ppm	2500 ppm
Venezuela	5	800 ppm	---
Chile	20	1000 ppm	1500 ppm



GAS LP/ (G30--REFERENCIA)					
Posición	Quemador	CO(ppm) Corregido			
		5 min.	10 min.	15 min.	20 min.
Posterior Derecho	Rápido	91	94	95	103
Posterior Izquierdo	Tri-Tec-Pro	425	251	176	137

GAS BUTANO/ (G30--COMBUSTION INCOMPLETA)					
Posición	Quemador	CO(ppm) Corregido			
		5 min.	10 min.	15 min.	20 min.
Posterior Derecho	Rápido	155	87	67	52
Posterior Izquierdo	Tri-Tec-Pro	293	268	247	221

Temp. Ambiente: 22°C; Presión Atmosférica: 1010 mbar; Humedad relativa: 50%; Presión Gas: 35 mbar.

CUMPLE

Fig. 24. Resultados Prueba 2

3.5. Implementación y costos involucrados

Al adaptar de la Mini Cámara en el Sistema de combustión del quemador rápido y revisar los costos involucrados se tiene un ligero incremento por la colocación de la mini cámara.

Para colocar la mini cámara, se elimina una tuerca de seguridad que ensambla el inyector, por lo tanto no afecta la mano de obra y el costo solo es de materiales.

Tabla 4. Análisis de costos

Análisis de costos			
Costo actual	Sale	Ingresos	Total.
Mini cámara		0,19	0,19
Tuerca de seguridad	0,137		-0,137
Total			0,053
Incremento de 0,053 dolares por cocina			

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Al adaptar la Mini Cámara en el Sistema de combustión del quemador rápido, se confirma, que para mantener la estabilidad de llama de un quemador es indiferentes a la composición química del gas, y que más bien depende del área o flujo de aire para la mezcla aire-gas, y de la potencia dada por el flujo volumétrico del gas o diámetro del inyector, sin importar el diseño del quemador. Pero es necesario conocer el diámetro del inyector, para encontrar la potencia teórica que nos lleve a obtener el área de para la entrada del aire primario necesario.

Se logra que el quemador cumpla con los requisitos de Seguridad de funcionamiento y combustión de la Norma Técnica NTE INEN 2259, sin cambiar la potencia especificada del quemador.

Se logra eliminar el cambio de artefacto, por un servicio para ensamblar la mini cámara, para obtener la estabilidad de llama, eliminando los incrementos en los costos de garantía.

Se establece que las pruebas finales deben realizarse en producto de producción piloto o normal, para evaluar los últimos cambios y así evitar problemas en el campo.

También se estableció formatos de prueba para todos los productos que ingresen al laboratorio sea por evaluación a problemas de campo o para pruebas no normalizadas.

4.2. Recomendaciones

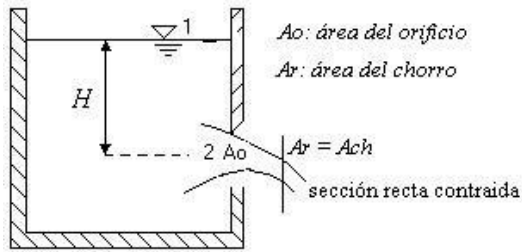
Con los datos obtenidos se recomendó, mediante un procedimiento, una solución para problemas de estabilidad de llama o combustión en productos que tengan diseños diferentes a los nacionales.

También se recomendó que para proyectos realizados fuera de la planta de Guayaquil se establezcan pruebas de confiabilidad para verificar que los diseños mantengan su comportamiento a través del tiempo.

APENDICE

Apéndice A. Flujo volumétrico del gas

Para determinar el flujo de gas, escribiendo la ecuación de Bernoulli sin pérdidas en las secciones 1 Y 2 en la figura se tiene:



$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

Fig.A1 Flujo en orificios

El chorro a la salida del orificio se contrae, a esta sección se la denomina vena contracta, que si el orificio es circular se demuestra empíricamente que tienen lugar a distancia $D/2$, de la pared. Si se considera en la ecuación de Bernoulli un régimen permanente, sin pérdidas entre las secciones 1 y 2, esta última en la vena contracta, donde la presión es $p_2=0$, dado que el chorro está en contacto con la atmosfera . Entonces para el caso de un estanque libre la velocidad y presión relativa son nulas ($V_1=0$, $P_1=0$), entonces a velocidad teórica en 2 es:

$$Z_1 - Z_2 = H = \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow V_t = \sqrt{2gH}$$

Donde $V_2 = V_t$, velocidad teórica en la vena contracta, porque se han despreciado las pérdidas. La velocidad real en la vena contracta será v :

$$v = C_2 V_t = C_2 \sqrt{2gh}$$

en la que: v = velocidad del gas, en m/s;

C_2 = Coeficiente de velocidad;

A su vez, la velocidad del gas que pasa a través de un orificio se obtiene por:

$$v = C_2 \sqrt{\frac{2gh}{\rho}} \quad (1)$$

en la que: v = velocidad del gas, en m/s;

C_2 = coeficiente de rozamiento;

g = aceleración debido a la gravedad (9.81 m/s²);

h = presión estática del gas, en mm de H² O;

ρ = peso específico del gas, en Kg/m³;

El caudal descargado por el orificio será igual a la sección transversal de la vena contracta por la velocidad de la sección. La sección A_c de la vena contracta será

$$A_c = C_2 A$$

en la que: A = Area del orificio

C_2 = coeficiente de contracción;

Se determina el flujo de gas.

$$V = C_1 A v \quad (2)$$

dónde: V = flujo de gas, o caudal, en m^3/s ;

C_1 = coeficiente de contracción de la vena gaseosa;

A = sección del orificio, en m^2 ;

v = velocidad del gas, en m/s.

Sustituyendo en la formula (1) v por su expresión dada en la formula (2) resulta:

$$V = C_1 \cdot A \cdot C_2 \sqrt{\frac{2gh}{\rho}}$$

El coeficiente C_1 tiene en cuenta la formación de vena gaseosa y el C_2 las pérdidas de carga por rozamiento.

Estos dos coeficientes de corrección pueden englobarse en un solo coeficiente k , que se define como el coeficiente de flujo de un fluido a través de un orificio y que depende de la forma del orificio, del espesor, del tipo de material de que se ha hecho el orificio, y del esmero del trabajo (ver fig. 2). La fórmula definitiva se convierte por lo tanto en:

$$V = k \cdot A \sqrt{\frac{2gh}{\rho}}$$

el valor del coeficiente k difícilmente puede alcanzar la unidad, por lo tanto la cantidad de gas que puede pasar a través de un orificio es casi siempre inferior a la que debería corresponder a su sección efectiva de salida.

En la formula (2) el flujo está expresado en m^3 / s . En la práctica es más corriente expresarlo en m^3 / h ; y también frecuentemente se sustituye el peso específico del gas por la densidad respecto al aire.

Si además expresamos la sección A del orificio en función del diámetro del mismo dado en mm, y sustituimos g por su valor, indicado anteriormente, se obtiene la siguiente fórmula aproximada:

$$V = \frac{11}{10^3} kd^2 \sqrt{\frac{h}{d(rel)}}$$

Esta fórmula es válida para presiones no demasiado elevadas, hasta de un valor de 2 atm valor difícilmente alcanzable con los equipos domésticos.

APENDICE B. ARRASTRE PRODUCIDO POR EL FLUIDO INYECTADO

El quemador atmosférico es el quemador que requiere una mezcla de aire y gas antes de ser encendido. El aire primario es el aire pre-mezclado con gas. El remanente es conocido como aire secundario, el cual es arrastrado desde la atmosfera por el vacío creado por la velocidad del gas al pasar por el orificio. De aquí proviene el nombre de quemadores atmosféricos, ya que este quemador obtiene la fuente de aire de la atmosfera que le rodea.

Los principios desarrollados por Venturi y Bunsen fueron utilizados para poder distribuir la mezcla de gas y aire al tope del quemador. En la fig.26 se muestra un esquema de los principios envueltos en un quemador atmosférico.

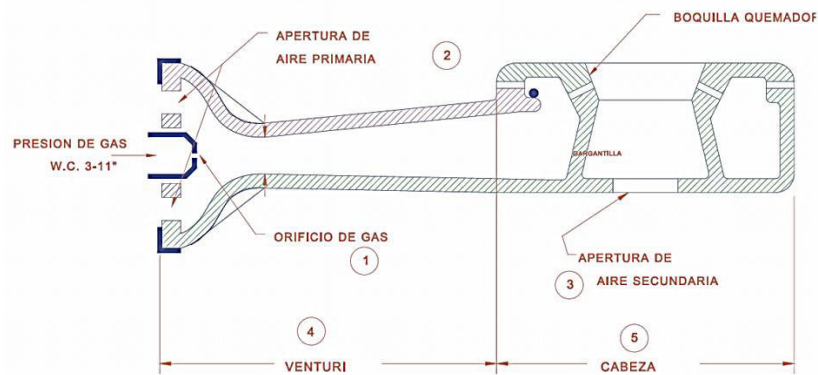


Fig. B1 Esquema de los principios de un quemador atmosférico

Al distribuir la fuente de gas a través del orificio (1) a una presión de 3 a 11 pulgadas, produce una fuente que contiene de 40% a 60% de aire primario requerido el cual se obtiene a través de (2) aperturas de aire primario. Mientras exista suficiente aire secundario (3) la combustión debe surgir correctamente.

Arrastre producido por el fluido inyectado

En el quemador atmosférico de premezcla a inducción basa su funcionamiento en un fenómeno denominado inducción o arrastre, este fenómeno se basa en el principio de conservación de la cantidad de movimiento, ya que un gas motriz denominado inductor es descargado por medio de una boquilla denominada inyector, a una atmósfera que contienen otro gas denominado inducido, gracias a la fricción existente entre el gas inductor y el gas inducido, el gas inductor arrastra al gas inducido a un sistema de secciones de tubería denominada venturi o mezclador, el cual se encarga de realizar la mezcla entre el gas combustible y el gas comburente, de su geometría depende que esta mezcla se haga lo más homogénea posible para que la combustión sea eficiente. Posterior al mezclador, viene la sección de la cabeza del quemador que es donde se desarrolla la combustión, de su geometría depende que la llama sea estable en un determinado rango de potencias de funcionamiento

de gas, el cual en función de la presión de la línea de combustible y de la configuración del agujero de salida, induce el combustible y aire primario en un venturi, seguido de un tubo circular en el cual la mezcla reactiva es distribuida en forma de corona, la mezcla sale a través de pequeños agujeros en los cuales las llamas son estabilizadas. El proceso de inducción de aire primario acontece en función de una acción combinada de efectos difusivos y advertidos ejercidos por el combustible que sale del inyector, a presión, en el aire entorno al él. Estos efectos fluido-dinámicos dependen de las condiciones de presión, densidad del

combustible, geometría del inyector y de la geometría del venturi. La estrangulación del fluido a su paso por el venturi genera una caída de presión axial, induciendo aire al interior del quemador, un segundo efecto de la estrangulación en la garganta del venturi es el de homogenizar espacialmente la estequiometría de la mezcla reactiva, en función de los valores de velocidad y turbulencia alcanzados. Después de la garganta del venturi, el fluido comienza a recuperar presión estática debido a la expansión del área de flujo, hasta un valor superior al de la presión atmosférica en un punto localizado antes de los pequeños agujeros, lo anterior permite salida de mezcla reactiva por los agujeros en los cuales se forman las llamas.

Caudal de fluido arrastrado:

El fluido arrastrado por el chorro del fluido inyectado sigue la teoría del chorro confinado, similar a la del chorro libre en sus postulados básicos. Suponiendo que la cantidad de movimiento se conserva dentro del quemador, y despreciando la influencia de las presiones y los rozamientos contra las paredes, se puede expresar que:

$$M_f V_f = M_\infty V_\infty$$

donde:

M_f : es el caudal másico de gas

V_f : es la velocidad del gas en el inyector

M_∞ : es el caudal másico del aire

V_∞ : es la velocidad del aire

$$V_f = Q_f / S_i$$

$$V_\infty = Q_\infty / S_m$$

$$M_f = Q_f \times \delta_f$$

$$M_\infty = Q_\infty \times \delta_\infty$$

Para encontrar la relación entre el flujo másico del fluido circundante (aire) y el flujo másico del fluido inyectado (gas) por el inyector.

$$\frac{m_\infty}{m_f} = \frac{V_f}{V_\infty}$$

Remplazando las ecuaciones de caudal masico:

$$V_f = \frac{m_f \rho_f}{S_i}$$

$$V_\infty = \frac{m_\infty \rho_\infty}{S_\infty}$$

$$\frac{m_\infty}{m_f} = \frac{m_f \rho_f S_\infty}{m_\infty \rho_\infty S_i}$$

$$\left(\frac{m_\infty}{m_f}\right)^2 = \frac{\rho_f S_\infty}{\rho_\infty S_i}$$

$$S_i = \frac{\pi d_i^2}{4} \quad y \quad S_\infty = \frac{\pi d_t^2}{4}$$

Donde d_t es el diámetro del tubo de mezcla (garganta del venturi) a la salida del quemador, la ecuación nos queda:

$$\left(\frac{m_{\infty}}{m_f}\right)^2 = \frac{4\pi dt^2}{4\pi di^2} \frac{\rho_f}{\rho_{\infty}}$$

Simplificando:

$$\left(\frac{m_{\infty}}{m_f}\right)^2 = \frac{dt^2}{di^2} \frac{\rho_f}{\rho_{\infty}}$$

$$\frac{m_{\infty}}{m_f} = \frac{dt}{di} \left(\frac{\rho_f}{\rho_{\infty}}\right)^{1/2}$$

Considerando que a partir de un tramo de seis diámetros del tubo de mezcla, se alcanza en el chorro una concentración homogénea y dado que dt depende del ángulo de salida del chorro y de la geometría del tubo mezclador, la sección de tubería recta depende la cantidad de flujo inducido. Si la relación longitud/diámetro es muy pequeña decrecerá la eficiencia del proceso de inducción, ya que el chorro del flujo inductor no estará en contacto con las paredes del cuello. Si es muy larga las pérdidas asociadas a este elemento será una fuerte restricción para la inducción. Por lo que existe una relación apropiada para este elemento, ya que si esta por debajo o por arriba ocasionara que no se succione la cantidad de fluido inducido que se requiere. El diámetro que posee este máximo rendimiento depende de la cantidad de movimiento del gas motriz y de las pérdidas totales de la cantidad de movimiento del flujo a través del sistema

inductor. Valores entre 5 y 7 para esta relación son óptimos para el funcionamiento de arrastre hacia la garganta. La expresión será:

$$\frac{m_{\infty}}{m_f} = \frac{k2X \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d_i} \left(\frac{\rho_f}{\rho_{\infty}}\right)^{1/2}$$

$$\frac{m_{\infty}}{m_f} = 2k \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \frac{X}{d_i} \left(\frac{\rho_f}{\rho_{\infty}}\right)^{1/2}$$

Debido al largo número de variables envueltas, es un reto predecir apropiadamente y optimizar el funcionamiento del sistema inductor.

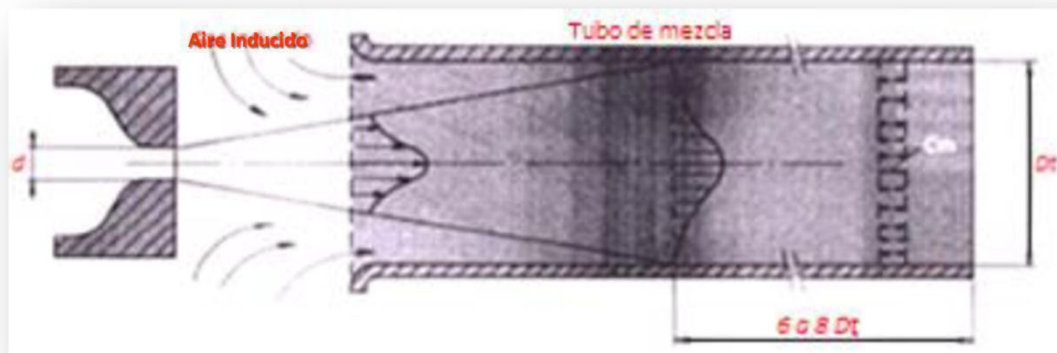


Fig. B2 Perfil de velocidades de un tubo de mezcla

Los experimentos y modelos computarizados sirven para determinar el funcionamiento del inductor, por lo que para $\frac{X}{d_i} > 18$, la expresión $2k \tan(\alpha/2)$ se aproxima a 0,32. Por lo tanto la cantidad de fluido circundante m_{∞} de densidad

ρ_{∞} arrastrada por el fluido m_f de densidad ρ_f que es inyectado por un inyector de diámetro d_i , a una distancia X a la salida de la garganta del quemador, esta dada por la ecuación encontrada.

$$\frac{m_{\infty}}{m_f} = 0,32 \left(\frac{\rho_f}{\rho_{\infty}} \right)^{1/2} \frac{X}{d_i}$$

Bibliografía

1. Giuliano Salvi. (1968). La Combustión: Teoría y Aplicaciones. (2da edición). Madrid. Editorial Dossat.
2. Arturo Lona. (2003). Fundamentos de combustión de gas (Capacitación). Queretaro. MABE Tecnología y Desarrollo.
3. Claudio Mataix. (1986). Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas (2da edición). Madrid. Editorial Ediciones del Castillo S.A.
4. Javier Agudelo Gomez & Wilson Salinas Blanco (2010). Estudio teórico-experimental de quemadores de premezcla con aire inductor, para su aplicación en la pequeña y mediana industria en Colombia. (Trabajo de grado). Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico mecánicas.
5. Dr. Ing. E. Brizuela & Dra. Ing. S.D. Romano. (2003) 67.30 Combustion. Departamento de Ingeniería Mecánica y Naval. Recuperado de <http://www.iabasededatos.com.ar/Secciones/Archivos/Ingenieria%20Ambiental/Maquinas%20termicas/2013%20-%20Teor%C3%ADa%20-%20Combusti%C3%B3n%20%28Dr.%20Ing.%20E.%20Brizuela%20%E2%80%93%20Dra.%20Ing.%20S.%20D.%20Romano%29.pdf>
6. INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2000). Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2259:2000 Artefactos de uso doméstico para cocinar que utilizan combustible gaseosos. Requisitos e inspección. (1era edición). Quito. Registro oficial No. 117 de 2000-07-11.
7. Dpto. Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Universidad de Valladolid. Recuperado de <file:///C:/Users/jlgmfcu/Downloads/Documento9.pdf>