



AT

**“Eliminación del problema de
espreas obstruidas”**

T E S I N A

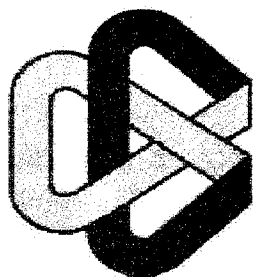
**Que para obtener la
Especialidad en Ingeniería de la Calidad**

P r e s e n t a

Ing. Carlos Raymundo Ruiz Calderón

Director de Tesina:

Ing. Román de la Vara Salazar



CIMAT

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATEMÁTICAS

**Tesina para obtener el título de especialista en
Ingeniería de la calidad.**

Elaborada por: Carlos Raymundo Ruiz Calderón

Tutor: Román de la Vara Salazar

Agradecimientos.

Le agradezco a mi esposa Claudia todo el apoyo que me ha brindado para poder sacar adelante estos estudios, pero sobre todo le agradezco por enseñarme a reconocer el verdadero sentido que tiene para mi la vida, mi familia.

Le agradezco a mi madre Aurora, su esfuerzo, y su entrega para hacer de mi un hombre de provecho, y por haber sabido inculcar en mi la pasión y el deseo por aprender y conocer todos los días algo nuevo.

Agradezco a mis pequeños Diego y Aldo porque todos los días me obligan a ser un mejor hombre para que a través de mi ejemplo ellos aprendan los valores que les permitan ser felices en su vida.

Contenido

Capítulo 1: Preliminares

- 1.1 Introducción
- 1.2 Objetivo
- 1.3 Marco teórico.
 - 1.3.1. Diseño para seis sigma
 - 1.3.2 Fundamentos de la combustión

Capítulo 2: Identificación del problema

- 2.1 Definición e impacto del Problema.
- 2.2 Modos de falla por planta.
- 2.3 Distribución de fallas por planta.
- 2.4 Distribución de fallas por tipo de quemador.
- 2.5 Impacto de la solución.
- 2.6 Impacto económico de la solución.
- 2.7 Objetivos del proyecto.
- 2.8 Equipo de apoyo técnico.
- 2.9 Definición de las Y's.
- 2.10 Diagrama de bloques funcionales.
- 2.11 Diagrama P y lista de X's potenciales.

Capítulo 3: Diseño y análisis experimental

- 3.1 Línea base de prueba de derrames.
- 3.2 Lluvia de ideas de conceptos de diseño.
- 3.3 Concepto de diseño actual.
- 3.4 Conceptos de diseños propuestos.
- 3.5 Resultados preeliminares de la lluvia de ideas.
- 3.6 Definición de variables de control.
- 3.7 Planteamiento del diseño de experimentos.
- 3.8 Resultados del diseño de experimentos.
- 3.9 Análisis del diseño de experimentos.
- 3.10 Conclusiones y comentarios del diseño de experimentos.
- 3.11 X's Vitales.

Capítulo 4: Optimización y análisis financiero

- 4.1 Optimización
- 4.2 Conceptos de manufactura.
- 4.3 Análisis financiero.
- 4.4 Validación.
- 4.5 Objetivo.
- 4.6 Metodología.
- 4.7 Montaje y fotos del dispositivo X,Y,Z.
- 4.8 Análisis de tolerancias.
- 4.9 Diseño de experimentos.
- 4.10 Análisis de validación y conclusiones.

Capítulo 5: Conclusiones

- 5.1 Pruebas de derrames.
- 5.2 Conclusiones generales

Capítulo 1: Preliminares

Capítulo 1: Preliminares

1.1 Introducción.

Mabe posee un centro de tecnología y desarrollo dedicado al desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías en sus productos, que eventualmente se aplican en sus nueve plantas dedicadas a la fabricación de productos de línea blanca (lavadoras, estufas y refrigeradores). Por el mismo dinamismo de las plantas manufactureras, muchas veces se vuelve imposible resolver allí mismo cierto tipo de problemas que consumen horas de desarrollo y de aplicación de herramientas de análisis más sofisticadas. Son precisamente en ese tipo de problemas en los que da soporte el centro de tecnología y desarrollo.

Uno de los principales subsistemas en las estufas es llamado subsistema de gas. Este subsistema es el encargado de distribuir el flujo de gas hasta los quemadores a través de la tubería de la estufa. Es a través de una chispa generada por un electrodo, que se provoca el encendido de los quemadores que a su vez generan el calor para poder calentar o cocinar los alimentos. La cubierta que es la parte en donde se soportan los quemadores y las parrillas se ensucia debido al uso de aceites e ingredientes propios de la cocina (Ver Figura 1).

Los hábitos de limpieza por parte de los usuarios generalmente consisten en remover los quemadores, aplicar detergente sobre la cubierta y hacer pasar un trapo para remover la mugre y el cochambre. Al remover los quemadores para su limpieza, los orificios que se encargan

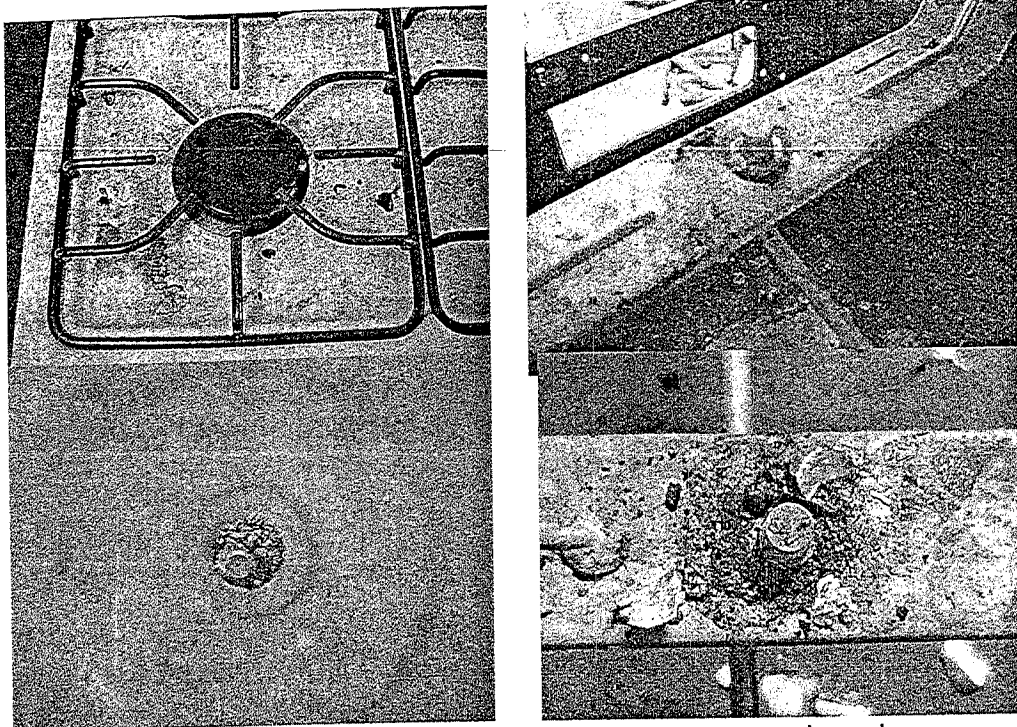


Figura 1. Obstrucción de espreas por cochambre

de inyectar el gas a los mismos, quedan expuestos a la mugre y al cochambre que remueve el ama de casa, lo que causa que existan derrames que paulatinamente van obstruyendo los orificios. Esto se nota por la disminución del flujo de gas, impactando directamente la calidad de la flama. En caso de obstrucción total el quemador no enciende, provocando el descontento del usuario y una llamada de servicio. Este problema ocupa el primer lugar en quejas vía llamadas de servicio en la división de estufas.

Se han buscado algunas soluciones pero ninguna de ellas ataca el problema de raíz. En la solución propuesta en este trabajo se piensa que el problema tiene que ver más con el concepto de diseño que con la manufactura, por tal motivo se ataca el problema desde la concepción misma del diseño. En este proyecto se presentan ideas de diseño que se pretende solucionen el problema. Se utilizan herramientas estadísticas y determinísticas integradas por la metodología de Diseño Para Seis Sigma (DFSS), una metodología desarrollada principalmente por General Electric derivada de la metodología 6 sigma. La estructura metodológica del DFSS, consta de 4 fases, identificar, diseñar, optimizar y validar. La explicación de

cada una de las fases está contenida más adelante en este trabajo.
(Ver Capítulo 1 Sección 1.3.1.)

1.2. Objetivos.

El objetivo de este trabajo es solucionar el problema de las “espreas obstruidas” aplicando la metodología de Diseño para Seis Sigma. En este propósito queda patente la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en la solución de problemas reales.

1.3. Marco teórico.

Para mejorar el entendimiento de esta tesina, se brindará un marco teórico relacionado con los principales términos empleados durante este trabajo. Estos términos giran en torno a la metodología de diseño para seis sigma y del fenómeno de la combustión.

1.3.1. Diseño para Seis Sigma.

Diseño para Seis Sigma (DFSS) es una metodología sistemática con herramientas, entrenamiento y mediciones que nos capacitan para diseñar productos y procesos que logren satisfacer las expectativas del cliente y que puedan ser producidos a un nivel de Seis Sigma. DFSS es la utilización de métodos y herramientas estadísticos para predecir y mejorar la calidad de un producto antes de construir prototipos. Para posteriormente verificar esta calidad en corridas piloto y unidades de preproducción y producción.

La metodología DFSS comprende 4 fases, identificar, diseñar, optimizar y validar cada una de las fases persigue diferentes objetivos.

Identificar:

El objetivo de esta fase es entender cuales son los requerimientos del cliente.

- Identifica los parámetros críticos para la calidad(CTQ) del Cliente

- CTQ Yugular de Desempeño y Flujo descendente
- ¿Podemos medir CTQ's? ¿Se tienen especificaciones clara para el diseño.?
- Analiza la capacidad del sistema de medición
- Genera / valida modelos de sistema / subsistema

Diseñar:

Se estudian los conceptos de diseño y se emplean capacidades de procesos similares para poder predecir la calidad y así verificar si se cumplen las necesidades del cliente. En ésta fase se busca tener un función de transferencia que sea capaz de establecer la relación entre la Y y las X's

- Flujo ascendente de capacidad
- Identifica las diferencias (gaps) entre la calidad predicha y la requerida.
- Identifica las funciones de transferencia para saber cuales son las X's que controlan el diseño.

Optimizar:

En esta etapa se obtienen las X's vitales o críticos para la calidad de las partes y los procesos involucrados en el diseño. Estos críticos se pueden obtener a través de modelos de simulación o diseños de experimentos en donde se pueda demostrar la alta contribución de algunas variables a la variabilidad de la respuesta.

- Usa DDE en simulaciones de computadora y prototipos para encontrar las pocas X's críticas, Utiliza la hoja "Analysis.xls" para diseño de parámetros y tolerancias
- Genera especificación de manufactura y compra
- Especifica media, varianza y sus límites

Validar:

Lo que se persigue en esta fase es validar los niveles de los parámetros críticos y las especificaciones encontradas en las fases anteriormente mencionadas.

- Confirma el ajuste de predicciones y piloto
- Hace el proceso a prueba de errores
- Desarrolla un plan de control de Manufactura y Proveedor para los CTQ's (media y varianza)
- Refina los modelos, y la base de datos de caracterización del proceso
- Documenta el esfuerzo y los resultados

En conclusión DFSS es una metodología que comienza entendiendo cuales son los requerimientos del cliente para que a través de conocer la capacidad de los procesos, poder tener diseños que cumplan con las expectativas de los clientes en un nivel de 6 sigma.

El nombre de la metodología implica el poder cumplir con los requerimientos del cliente en un nivel de 6 sigma, sin embargo en muchos casos esto no puede ser posible, y se tendría que evaluar el nivel de Z que puede alcanzar el diseño contra el costo para poder lograr ese nivel de calidad.

1.3.2 Fundamentos de la combustión

Para poder entender claramente muchos de los términos que se van a manejar en este trabajo se dará una introducción relacionada con el fenómeno de la combustión. Más adelante veremos que algunas de las características de calidad que vamos a estar evaluando tienen relación con este fenómeno.

Significado de la Combustión

Toda materia esta hecha de substancias básicas llamadas elementos. Uno de los elementos más comunes en la tierra, es el oxígeno. Cerca del 20% del aire, es oxígeno. Muchos de los materiales, reaccionan con el oxígeno, un proceso llamado oxidación. La corrosión es un proceso de oxidación muy común. A algunos procesos de oxidación se les tiene que agregar calor para que se produzcan y continúen. Cuando el oxígeno actúa con una sustancia y produce una gran cantidad de calor rápidamente, el proceso se llama combustión.

En presencia de aire suficiente, los gases combustibles se quemaran en su estado normal. Combustibles sólidos o líquidos, por otro lado, deberán cambiar su estado a gaseoso antes de que puedan quemarse. Usualmente el calor es el medio para el cambio a estado gaseoso.

Requerimientos para la combustión

Tres cosas se necesitan para que la combustión ocurra (como lo muestra la figura 2), combustible, oxígeno y calor. Todos deben estar presentes o la combustión nunca podrá realizarse. Quite cualquiera de ellos y la combustión se suspenderá.

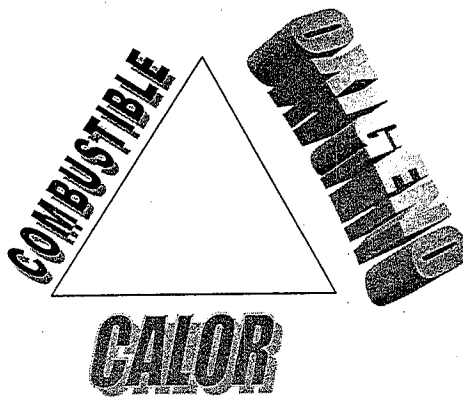


Figura 2. Triángulo de la combustión

La temperatura de ignición del gas es 1100-1200 F. Al quemar un gas, los 3 elementos deben estar presentes. El gas solo nunca encenderá. El aire que contiene el oxígeno, también es necesario también. Una flama abierta (piloto) o un medio eléctrico puede ser usado para encender el gas. después la flama del gas por si misma, provee por si misma, el calor necesario para mantener la combustión.

Química básica de la combustión.

La combustión del gas es una reacción química entre el gas y el oxígeno. La figura siguiente ilustra el caso de la combustión del metano. Los elementos básicos comunes de los gases combustibles,

son el hidrógeno y el carbono. Cuando el hidrogeno se quema, se produce vapor de agua. La molécula de agua representada por el símbolo H₂O, consiste de 2 átomos de hidrógeno y 1 de oxígeno. La combustión completa del carbono, producirá dióxido de carbono. Su símbolo es CO₂ y tiene 1 átomo de carbono y 2 de oxígeno en cada molécula. El gas y el oxígeno reaccionan entre ellos cuando se queman y se les llama reactivos. El vapor de agua y el dióxido de carbono formados durante la combustión, se les llama productos de combustión. En la figura 3 se muestra la combustión completa del metano con la cantidad exacta de oxígeno requerido. Este proceso básico de combustión debe entenderse por 3 razones:

- Muestra que solamente los productos resultantes son bióxido de carbono y vapor de agua si el gas es quemado completamente.
- Muestra la cantidad de oxígeno necesario para quemar completamente el gas.
- Muestra la cantidad de productos de la combustión generados.

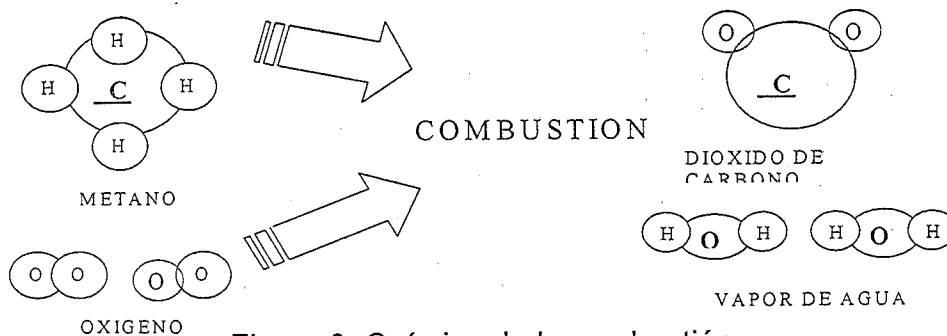


Figura 3. Química de la combustión

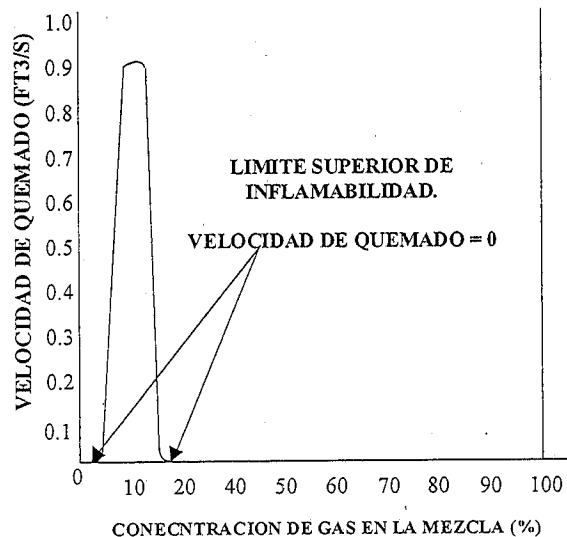
Este modelo esta expresado en términos de moléculas, pero puede ser expresado en pies cúbicos de los gases involucrados (2 pies cúbicos de oxígeno se requieren para quemar completamente 1 pie cúbico de metano). Este proceso formará 1 pie cúbico de bióxido de carbono y 2 pies cúbicos de vapor de agua.

Velocidad de quemado

La velocidad de quemado, es la velocidad a la cual viaja la flama a través de la mezcla aire-gas. También se le llama Velocidad de ignición o velocidad de la flama. Esta velocidad depende principalmente del tipo de gas y la cantidad de aire en la mezcla.

Algunos gases tienen velocidades de ignición muy altas. El hidrogeno se quema muy rápido (9.3 pies/seg), mientras que el metano es de baja velocidad (0.9 pies/seg). Estos valores se ven afectados por la cantidad de aire en la mezcla.

En la gráfica 1, se muestra cómo una mezcla de 0-4% de gas natural en aire no se quemara puesto que en esa zona su velocidad de quemado es 0. Mezclas de 4 a 14% si se quemaran. En la parte baja de la curva, la velocidad es baja, pero se incrementa rápidamente a medida que la mezcla se enriquece hasta alcanzar un pico al 10% aproximadamente. La velocidad de quemado cae nuevamente en mezclas teniendo de 11 a 14% de gas. Una mezcla del 15 al 100% de gas es muy rica y entonces la velocidad es nuevamente 0. Cada gas tiene su curva típica, pero sigue la misma forma de ésta.



Gráfica 1. Velocidad de quemado

Velocidades de flama en mezclas aire-gas natural

Estos efectos del tipo de gas, mezcla aire-gas y temperatura en la velocidad de quemado, tienen un significado práctico dado que la estabilidad de flama tiene una relación directa a dicha velocidad de quemado. Dichos factores también tienen cierta relación con ajustes de los quemadores y algunos otros problemas de servicio que suelen ocurrir. La velocidad de quemado de una flama en un quemador, puede cambiar mediante el ajuste del aire. La sustitución de un gas por otro obviamente resultará en diferente velocidad de quemado. La flama tiene una zona en la cual la temperatura es mayor que en cualquier otra zona. Un cambio en la velocidad de quemado puede cambiar esa zona de mayor temperatura de la flama cerca o lejos del quemador. Las mezclas de gas algunas veces son precalentadas de alguna manera antes de la ignición. Esto incrementa la velocidad de quemado y la intensidad de la flama. Este método es utilizado para acelerar algunas operaciones industriales que usan quemadores de gas.

Combustión Incompleta: causas y efectos.

Hasta ahora solo se ha considerado un proceso de combustión completa, en donde cada uno de los elementos de la ecuación está en sus debidas proporciones. Si la cantidad de aire suministrada no es la adecuada, se obtienen otros productos además de bióxido de carbono y vapor de agua. Algunos de esos productos pueden ser dañinos, especialmente de monóxido de carbono (CO).

Una ventilación pobre en un aparato, restringe el flujo de aire dentro del aparato. La falta de ventilación alrededor del aparato, puede disminuir el contenido de oxígeno en el aire. El desalojo de productos de combustión dentro de una habitación, reduce el contenido de oxígeno en el aire. Debido a que estas condiciones causan una combustión incompleta, se debe proveer una buena ventilación.

Es vital que en un aparato, el sistema de ventilación haga su trabajo. La importancia de proveer suficiente aire fresco a la habitación en que se encuentra el aparato, no debe menospreciarse. La norma Installation of Gas Appliances and Gas Piping regula estas condiciones (ANSI Z21.30 publicación 54).

Aun cuando se le proporcione suficiente aire al quemador, hay condiciones en las que el gas no se quemara completamente. Se le debe proporcionar suficiente temperatura para que se mantenga una buena combustión. Con ningún gas, la combustión se produce en un solo paso, sino que se requiere una serie de reacciones. Si la flama es enfriada (quenching) por alguna circunstancia, el proceso de quemado no se llevará a cabo normalmente. Es entonces que productos como el CO y el hidrógeno pueden aparecer en los productos de la combustión.

Monóxido de carbono

El monóxido de carbono, es un gas tóxico. Puede causar la muerte cuando se inhala en suficiente cantidad. Este gas no tiene olor, color ni sabor, por lo que no puede ser detectado por los sentidos humanos. Es inflamable. Puede crear una explosión cuando se combina con el aire adecuado similar al que produciría el gas natural. Sus límites de inflamabilidad se extienden desde el 12.5 hasta el 74% del gas en el aire. Es altamente tóxico aun en pequeñas cantidades en el aire (desde 1%), por lo tanto esto es más crítico que las posibilidades de aun explosión.

El hidrógeno es explosivo en proporciones del 4 al 74% en el aire, pero no es tóxico.

El CO inhalado, es absorbido por la sangre. Se combina con la sangre con la misma facilidad que lo hace el oxígeno, y permanece en ella por mas tiempo que el oxígeno lo hace. Esta propiedad ocasiona que el oxígeno sea desplazado de la sangre pudiendo ocasionar la muerte por falta de oxigenación.

La cantidad de CO que puede absorber la sangre, depende principalmente de los siguientes factores:

- Proporción de CO en el aire
- Tiempo de exposición
- Estado general de salud de la persona
- Grado de actividad física

Los efectos negativos de la absorción de CO, se reducen una vez que se respira aire fresco. Se necesitan 200 partes de oxígeno para reemplazar una parte de CO en la sangre. La tabla 1 lista los efectos de CO en los humanos.

Tabla 1. Efectos de la exposición al CO

PPM de CO en el aire	EFEECTO
50	Concentración permisible para una exposición de 8 horas
400-500	Concentración que puede ser inhalada por una hora sin efecto apreciable
600-700	Concentración que causa solo un pequeño efecto apreciable después de 1 hora de exposición
1000-1200	Causa molestias ligeras pero no presenta síntomas peligrosos después de 1 hora de exposición.
1500-2000	Concentración peligrosa si se inhala durante 1 hora.
4000-	Concentraciones fatales en exposiciones menores a 1 hora

El CO es solo uno de los productos de la combustión incompleta. Los Aldehídos son otra clase de componentes encontrados en una combustión incompleta. Por el contrario del CO, los aldehídos tienen un olor irritante y penetrante. Son fácilmente detectables por su olor aun en pequeñas concentraciones. Su olor es diferente al de los odorizantes agregados al gas para detección de fugas, y no deben confundirse. La ausencia de aldehídos no significa que no existe CO. Sin embargo, si hay olor a aldehídos, seguramente habrá presencia de CO. Los aldehídos también son tóxicos.

Quemadores de gas, diseño y operación

Un quemador es un dispositivo que sirve para quemar gas bajo control y producir calor útil. A continuación se muestra el dibujo de un quemador aireado atmosféricamente como el que se estudia en este trabajo.

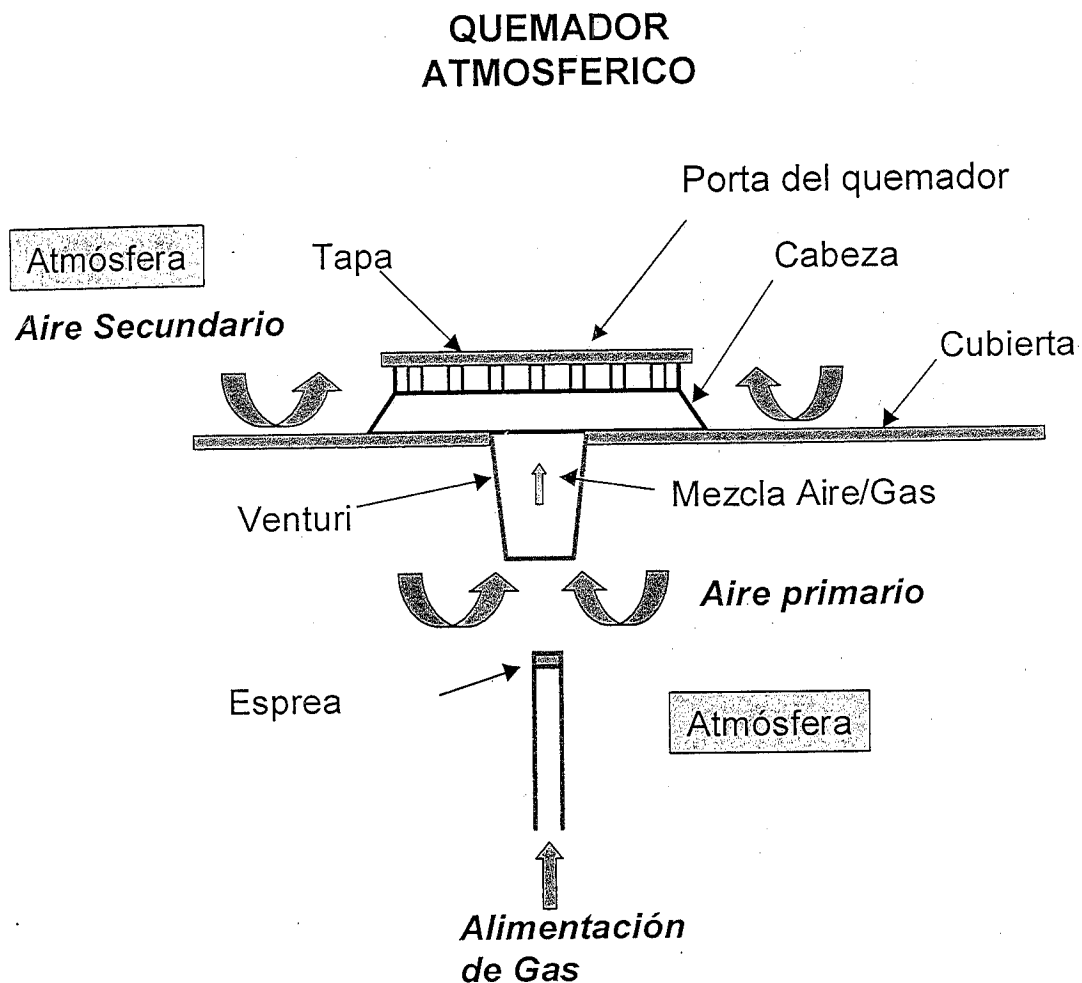


Figura 4. Quemador atmosférico

Apariencia y Estabilidad de Flama

Hay muchos factores que afectan la estabilidad de la flama. Algunos de ellos son:

- Cantidad de aire primario
- Velocidad de quemado del gas
- Carga de porta
- Tamaño de porta
- Profundidad de porta

En un quemador bunsen aireado atmosféricamente como el que se muestra en la figura 4, la mezcla aire-gas se quema en las portas. La flama trata de viajar a través de la mezcla en dirección de la cabeza del quemador en una relación equivalente a la velocidad de quemado de la mezcla. Como se discutió anteriormente, la velocidad de la flama varía con la mezcla aire-gas. Esta es mayor en mezclas con el 100% de aire primario. El diseño de la porta también afecta la velocidad de quemado. En la pared de la porta o cerca de ella, la flama es enfriada por la temperatura de la pared misma, por lo tanto la velocidad de quemado en esa zona es 0.

La velocidad de la mezcla aire-gas fluyendo de las portas, depende de:

- Cantidad de mezcla
- Tamaño de la porta.

La velocidad del flujo no es la misma en todos los puntos de la sección transversal de la porta, tal como lo muestra la figura 5. La fricción de las paredes de la porta, reduce la velocidad del flujo gradualmente hasta que este valor es cero en las fronteras de la pared. La mayor velocidad se encuentra en el centro de la porta. La figura 5 muestra gráficamente estas velocidades.

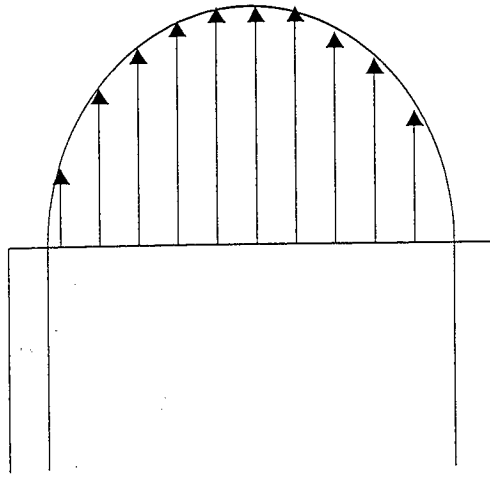


Figura 5. Distribución de Velocidades de Flujo en una Porta

La flama en una porta se estabiliza en aquellos puntos en donde las velocidades de flujo y las de quemado del gas (o flama) se igualan. Después de que la mezcla se aleja de la porta, su velocidad disminuye. A cierta distancia de la porta, esta velocidad se iguala con la velocidad de quemado y la flama se estabiliza en ese punto. Dado que la velocidad de flujo es mayor en el centro de la porta, la flama se estabiliza en punto más alto. La flama se estabiliza en los otros puntos más bajos mas alejados del centro de la porta en donde las velocidades son menores. Esta es la razón de la forma cónica de la flama. Las temperaturas son mayores cerca de la punta del cono donde las velocidades de quemado son mayores.

Este balance de velocidades explica porque la forma de la flama cambia cuando se modifica la aireación primaria. Cuando se incrementa la aireación primaria, la flama se hace más "picuda" y la altura del cono interno disminuye.

La carga de porta también es importante para obtener flamas estables. La carga de Porta es simplemente la cantidad de gas que pasa a través de una porta y es expresada en Btu por hora por pulgada cuadrada de área de porta:

$$\text{Carga de Porta} = \frac{\text{Input Rate}}{\text{área de porta}}$$

Grandes cargas de portas, tienden a provocar separación de las flamas. Pequeñas cargas de porta, tienden a provocar regreso de flama (flash back).

Efectos del flujo de aire en la eficiencia del aparato.

Por supuesto es deseable que un aparato opere a máxima eficiencia y seguridad. La eficiencia depende de poner el calor de la flama dentro de la sustancia que se desea calentar con la mínima perdida posible. En un aparato dado, la eficiencia de operación dependerá de la relación de transferencia de calor la cual se determina por la diferencia de temperatura entre los gases de combustión calientes y la sustancia calentada. La razón de la transferencia de calor es mayor con gases mas calientes moviéndose a través de la cámara de intercambio de calor. A mayor cantidad de exceso de aire, menor será la temperatura de los gases debido a que el aire excesivo diluye los productos de la combustión sin agregar ningún calor. Por lo tanto, el exceso de aire, deberá mantenerse bajo, pero garantizando que sea el suficiente para que se tenga una buena combustión bajo todas las condiciones de operación del aparato.

Medición del CO

El estándar ANSI Z21.1 sección 2.4.1 indica como debe medirse el CO producido por un aparato y menciona que nunca debe ser mayor a 800 ppm en una muestra libre de aire. Durante la prueba:

- Se deben cerrar todas las aberturas del aparato, excepto aquellas que son intencionales para la circulación de aire.
- Se debe usar un utensilio estandarizado que contenga 5 libras de agua a temperatura ambiente.
- Se coloca una campana recolectora encima del quemador.

- Se ponen a funcionar todos los quemadores que puedan operar simultáneamente.
- después de 5 minutos de operación, se recolecta una muestra de los productos de combustión a través de la campana, y se analiza su contenido de CO y CO₂.
- Se calcula el CO libre de aire (AFCO) con la siguiente formula:

$$\text{AFCO} = \frac{\text{CO}_2 \text{ último}}{\text{CO}_2 \text{ muestral}} \times \text{CO muestral}$$

Problemas típicos de quemadores

En la tabla 2 se muestran los principales problemas que pueden llegar a presentar los quemadores, el efecto que estas pueden tener y posibles causas que los generan.

Tabla 2. Principales problemas en los quemadores

Problema	Causa	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Acción Correctiva
Separación de flama (Lifting)	La velocidad de la mezcla es mayor que la velocidad de la flama.	Las flamas se separan de la porta.	El ruido puede crear llamadas de servicio. Si es muy severo, puede apagarse el quemador.	Reducir el aire primario. Asegurarse que la presión es la correcta. La espera no es más grande.
Regreso de flama (Flashback)	La velocidad de la mezcla es menor a la velocidad de la flama	La flama se produce dentro del quemador o del tubo de mezcla	Combustión incompleta. Si es prolongado, puede causar daños permanentes en el quemador.	Reducir el aire primario. Asegurarse que la presión y el tamaño del orificio no son mayores.
Flamas amarillas (Yellow tipping)	Falta de aire primario.	La punta de las flamas es amarilla	Combustión incompleta. Depósitos de carbón.	Ajustar el aire primario. Retirar cualquier obstáculo para la entrada de aire primario. Verificar la alineación de la esprea.

Espreas

La principal función de una esprea es mantener la capacidad térmica del quemador en el valor especificado. Debido a que los aparatos de gas están diseñados para garantizar su mejor funcionamiento a la capacidad calorífica especificada, la función de la esprea es muy importante.

Tipos de espreas.

Hay 3 tipos de espreas en general:

- Fijas
- Ajustables
- Universales

Espreas Fijas (Figura 6)

Es el tipo más común. Consiste simplemente de una pieza barrenada o punzonada. En algunas ocasiones, el orificio es hecho por láser. En el interior de la esprea, se utilizan diferentes ángulos. La relación entre el diámetro y la longitud de la esprea también marca algunas diferencias. La siguiente figura muestra 5 diseños típicos de espreas fijas.

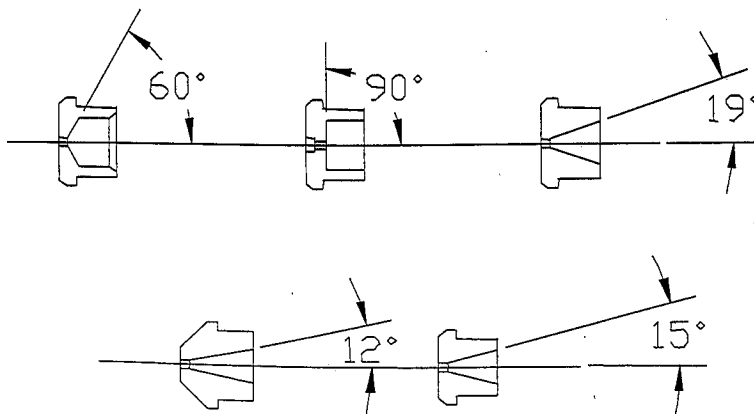


Figura 6

Espreas Ajustables (Figura 7)

Las espreas ajustables son usadas principalmente en estufas. Este tipo de orificios consiste de 2 partes, una movable y una estacionaria. La siguiente figura muestra como el orificio que esta en una "campana", se mueve con respecto a una aguja. Este movimiento hacia fuera o hacia adentro, ajusta el flujo. Una variación de este diseño, es que la aguja sea la parte movable.

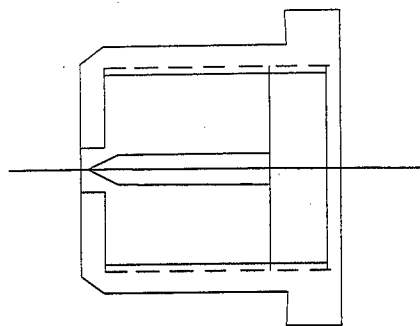


Figura 7

Espreas Universales (Figura 8)

Estas espreas están diseñadas para usarse con 2 tipos de gases indistintamente (previo ajuste). Generalmente se usan en estufas para gas Natural y LP.

La siguiente figura muestra el diseño típico de estas espreas. La aguja es fija mientras que la "campana" es la parte móvil. La aguja tiene un barreno que la atraviesa del tamaño apropiado para paso de gas LP, mientras que la campana tiene un agujero del tamaño necesario para paso de gas natural.

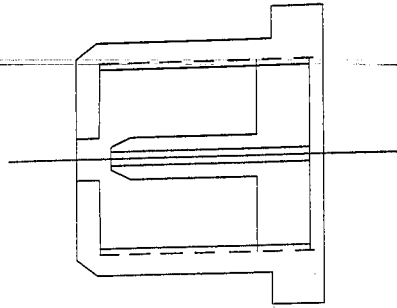


Figura 8

Coefficiente de descarga

El flujo de gas a través de una espreea, depende de 3 cosas básicamente:

- Tamaño del orificio.
- presión del gas a la salida del orificio.
- Gravedad específica del gas

Manteniendo constantes 2 factores cualquiera de los 3 arriba mencionados, se tendrá un flujo mayor con un orificio más grande, mayor presión y menor gravedad específica del gas.

Siempre fluye menor cantidad de gas a través de un orificio que el teórico. La cantidad real de flujo se determina por ciertas características en el diseño de la espreea, tales como el ángulo y forma del interior de la espreea y la profundidad del orificio con respecto a su diámetro. Además de esto, el jet de gas tiende a ser menor conforme se aleja del orificio, lo que tiende a reducir el diámetro efectivo de la espreea.

Los efectos de todos estos factores de diseño, se han agrupado y llamado coeficiente de descarga del orificio. Este coeficiente es siempre menor que 1.0 lo cual representaría las condiciones máximas posibles o el flujo perfecto. El flujo máximo por este factor es igual al flujo real de gas.

Generalmente no es necesario preocuparse por los coeficientes de descarga al checar o ajustar o seleccionar el flujo en un aparato,

porque las tablas para selección de espreas tienen considerado este factor.

Los coeficientes de descarga para espreas ajustables tienden a ser menores que para espreas fijas.

Calculo de flujo a través de un orificio.

El volumen de gas que fluye a través de un orificio, depende la gravedad específica y la presión del gas así como también del área del orificio y su coeficiente de descarga. La cantidad de gas que un orificio descarga, se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$q = 1658.5KA \sqrt{\frac{d}{H}}$$

Donde:

q = Descarga real del orificio en BTU/hr

K = Coeficiente de descarga

A = Area del orificio en plg²

H = Presion del gas en plg² de columna de agua.

d = Gravedad específica del gas

Compensación por la altitud

La presión atmosférica se reduce a medida que aumenta la altitud con respecto al nivel del mar. A cualquier altitud por arriba del nivel del mar, un pie cúbico contendrá menos gas que a nivel del mar. Por lo tanto el poder calorífico del gas arriba del nivel del mar será menor y su gravedad específica también. Otro hecho, es que el aire contiene menos oxígeno en alturas mayores a nivel del mar. Por lo tanto, para que un aparato funcione adecuadamente al nivel del mar, se deberá reducir la capacidad nominal del mismo.

La mayoría de los fabricantes especifican las capacidades térmicas de los quemadores para altitudes hasta 2000 pies sobre el nivel del mar. A alturas mayores a 2000 pies, se debe reducir la capacidad térmica a razón del 4% por cada 1000 pies arriba del nivel del mar.

Capitulo 2: Identificación del problema.

Capítulo 2: Identificación del Problema

El propósito de esta fase es obtener las entradas suficientes (parámetros, necesidades, justificaciones) para poder acotar el problema y demostrar que al realizarlo se obtendría un beneficio real para el cliente. En el caso del problema de las espreas se presentaron análisis, fotos y tablas que ilustran la problemática, con lo cual queda demostrado el fuerte impacto que tiene la solución de este problema en la calidad percibida por los clientes y usuarios de las estufas.

2.1. Definición e impacto del problema.

El orificio que inyecta el gas a través de los quemadores se llama técnicamente esprea, elemento que forma parte del subsistema de gas y que se obstruye con la grasa, la mugre y los detergentes empleados por los usuarios a lo largo de la vida del producto. El problema se manifiesta con una disminución del flujo de gas hacia los quemadores, derivando en fallas tales como: disminución de la potencia de la flama, flamas amarillas y la obstrucción de la esprea, cuando la obstrucción en el orificio de la esprea es total los quemadores no encienden.

En las estufas fabricadas en mabe, existen diferentes modelos de estufas, mismas que utilizan diferentes tipos de quemadores, el principio de inyección de gas para diferentes tipos de quemadores es prácticamente el mismo, por lo que aunque la proporción de la falla no es la misma debido a la diferencia de volúmenes de estufas, estas fallas se presentan en cualquier tipo de quemador y en cualquier modelo de las estufas fabricadas en Mabe. Los nombres de los modelos de quemadores se llaman Vision, Proteo y Troquelado.

La falla de espreas obstruidas es una falla que el cliente manifiesta a través de llamadas efectuadas al área de ServiPlus, esta área está dedicada a atender las quejas de los clientes de los productos Mabe. El volumen de llamadas por esta falla es tal que se ha convertido en la falla número uno en el área de estufas, generando un costo significativo para la compañía. (Ver Tabla 3 y 4)

2.2. Modos de falla por planta.

La producción de estufas en Mabe se realiza en dos plantas manufactureras, una de ellas ubicada en la ciudad de México llamada IMASA y la otra ubicada en las ciudades de San Luis Potosí, llamada LEISER. Las estufas de ambas plantas presentan el problema de las espreas obstruidas y como evidencia se muestran tablas que maneja el área de ServiPlus en donde se describen los principales modos de falla. (Ver tabla 3 y 4)

Tabla 3. Participación de 10 Fallas Principales de Estufas México en el SCR

10 Fallas más Representativas	
CÓDIGO DE FALLA	SCR
3016 Esprea Quemador Superior Obstruida	0.86%
3015 Regulador De Aire Quemador Sup. Desajustado	0.42%
3010 Quemador Superior Manchado / Sucio	0.28%
3146 Modulo De Ignicion Abierto	0.23%
3021 Valvulas Quemador Superior No Sella Bien	0.20%
3502 Parrillas Superiores Acabado Botado	0.18%
3140 Bujias Quemadores Sup. Suelta	0.18%
3406 Perilla Valvulas Floja	0.16%
3314 Remate Copete Roto	0.13%
3019 Valvulas Quemador Superior Fuga En Cuerpo	0.13%

Tabla 4. Participación de 10 Fallas Principales de Estufas SLP en el SCR

10 Fallas más Representativas	
CÓDIGO DE FALLA	SCR
3016 Esprea Quemador Superior Obstruida	1.00%
3015 Regulador De Aire Quemador Sup. Desajustado	0.34%
3406 Perilla Valvulas Floja	0.17%
3345 Cubierta Superior Desportillada	0.12%
3010 Quemador Superior Manchado / Sucio	0.11%
3445 Bisagras Ptas Horno/Asador Desajustadas	0.10%
3140 Bujias Quemadores Sup. Suelta	0.06%
3006 Quemador Superior Puntas Amarillas	0.06%
3007 Quemador Superior Separacion De Flama	0.06%
3012 Quemador Superior Extincion De Flama	0.06%

2.3. Distribución de fallas por Planta:

En la Figura 9 se muestra la distribución de llamadas de servicio y el impacto que tienen en costo, desglosado para las dos plantas Imasa (México), Leiser (San Luis Potosí), evidenciando la importancia económica que representa este proyecto en la compañía.

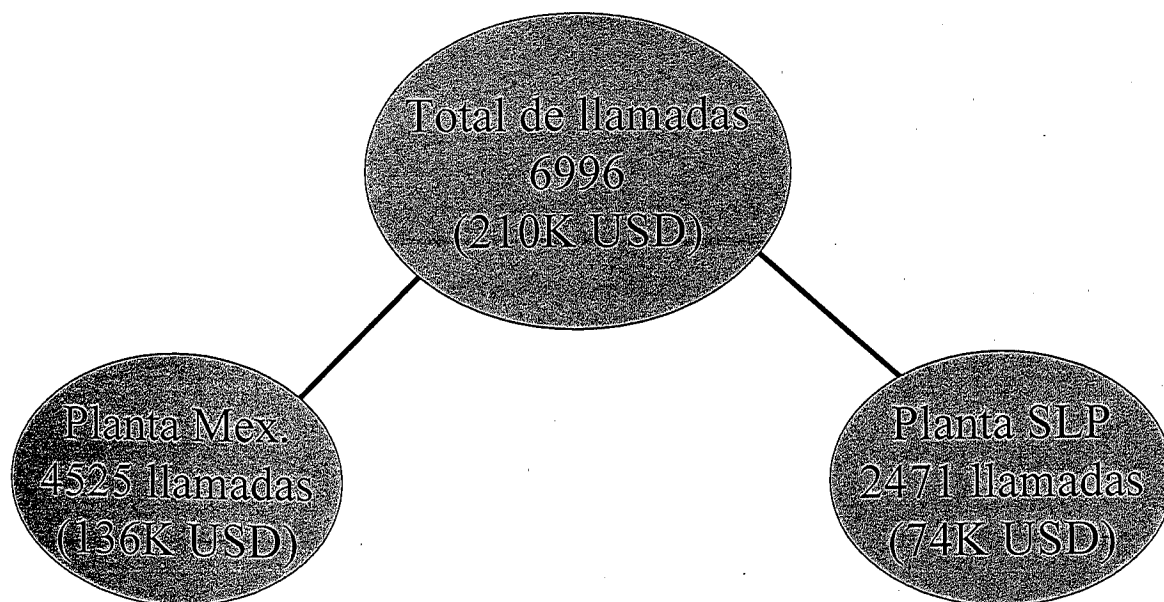
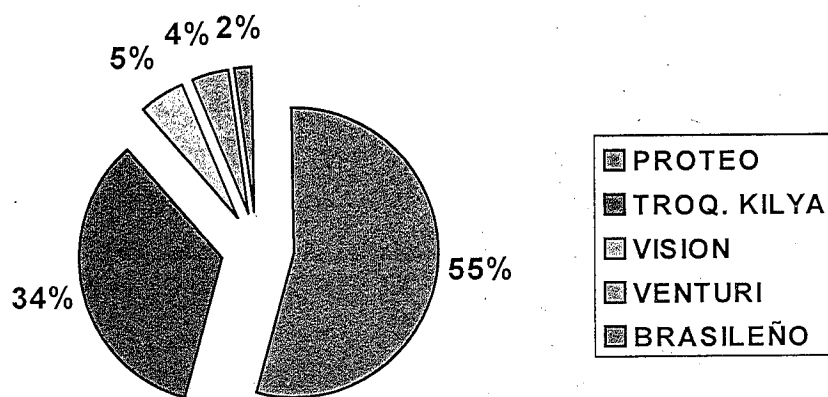


Figura 9. Distribución y costo de llamadas por planta

* Datos acumulados de los últimos 12 meses obtenidos al 2 de Julio de 2002

2.4. Distribución de fallas por tipo de quemador :

Mabe cuenta con diferentes modelos de estufas, estos modelos tienen 5 diferentes tipos de quemadores y en todos ellos está presente la falla. En la Gráfica 2 se muestra una gráfica con el desglose del % en llamadas de servicio de acuerdo al tipo de quemador.



Gráfica 2. Porcentaje de llamadas desglosado por tipo de quemador

2.5. Impacto de la solución en llamadas de servicio:

El beneficio económico que representa la solución de este problema a la compañía esta en función del volumen de producción. En la tabla 5 se muestra una tabla con los volúmenes de producción de acuerdo a la planta y al tipo de quemador. El volumen más alto de quemadores se encuentra en el quemador tipo proteo que representa el 55% del volumen total de estufas producidas, seguido del quemador troquelado con un 27%. El resto de los modelos poseen un porcentaje bajo respecto del volumen de producción, (Ver Gráfica 2).

Tabla 5. Volúmenes de producción de estufas por tipo de quemador y planta. (en miles de unidades)

PLANTA	TROQUELADO	PROTEO	VISION	T. C/VENTURI	BRASIL	TOTAL
MEXICO	285	185	6	130	30	636
SLP	5	400	24	0	0	429
TOTAL	290	585	30	130	30	1065
% DEL TOTAL	27%	55%	3%	12%	3%	

Para poder cuantificar el número de fallas en relación, al volumen de producción y al tipo de quemador, se utiliza una razón en la que se dividen, las fallas por tipo de quemador entre el volumen de producción de ese quemador, para poder obtener una proporción de fallas. Esta proporción se multiplica por un millón para poder obtener las partes por millón de defectos (PPM's) por quemador. En la tabla 6 se muestra las PPM's por tipo de quemador en donde se ve que paradójicamente el quemador vision es el que tiene las PPM's más altas. Sin embargo los volúmenes más altos de producción están en el quemador troquelado y proteo, es por eso que el impacto de la falla para el negocio es mayor en este tipo de quemadores.

Fallas por tipo de quemador en 12 meses

$$R = \frac{\text{Vol. De unidades producidas por tipo de quemador}}{\text{Vol. De unidades producidas por tipo de quemador}} \times 10^6$$

Tabla 6. PPM's por tipo de quemador

	TROQUELADO	PROTEO	VISION	T. C/ VENTURI	BRASIL	TODOS
R (PPM'S)	8314	6442	12567	2138	4733	6569

El quemador que aparece en la Tabla 5 con el nombre de quemador troquelado con venturi, tiene un concepto de diseño diferente al resto, de los quemadores expuestos en la tabla, este concepto a diferencia del resto, no está expuesto a los derrames generados en la cocina ni está expuesto a los desperdicios que pudieran causar una obstrucción al realizar la limpieza de la cubierta. Tomando en consideración lo anterior este tipo de quemador (T. C/ VENTURI) lo tomaremos como referencia para evaluar la efectividad del cambio, por eso el número de PPM's "R" que tomaremos para cuantificar la mejora será de 2138 PPM's, número que representa la cantidad de fallas que se obtendrían si se mejorara el concepto de diseño actual. A continuación se presentan algunos cálculos que se utilizaron para cuantificar la solución. En donde E represente la efectividad de la solución en %, tomando como base al quemador Troquelado con Venturi (T. C/VENTURI).

Si el nuevo diseño fuera por lo menos igual de efectivo que el Troquelado con Venturi:

$$E = 1 - \frac{R \text{ de quemador T. C/Venturi}}{R \text{ de quemador Proteo}} \quad E = 1 - \frac{R \text{ de quemador T. C/Venturi}}{R \text{ de quemador Troquelado}}$$

$$E = 1 - 2,138 / 6,475$$

$$E = 1 - 2,138 / 8,313$$

$$E = 67 \%$$

$$E = 75 \%$$

Con base en los cálculos anteriores se muestra la efectividad de la solución en la tabla 7. Eliminando un total de 4346 llamadas con los quemadores de mayor volumen, el quemador Proteo y el quemador Troquelado.

Tabla 7. Reducción de llamadas totales (Proteo y Troquelado)
(Efectividad de la solución)

	No. De llamadas	Efectividad del cambio	Llamadas eliminadas
Proteo	3788	67%	2538
Troquelado	2411	75%	1808
Total	6199		4346

2.6. Impacto económico de la solución.

En mabe se tiene un indicador llamado SCR (service call rate), el cual representa el número de llamadas recibidas en un año entre un pronóstico de estufas expuestas por mabe durante ese mismo periodo. Lo que quiere decir es que la mejora que se realiza en el producto el día de hoy, tendrá un impacto gradual en la disminución de las llamadas de servicio reportadas por esa falla en específico. El impacto en llamadas de servicio no se ve reflejado en su totalidad en el año siguiente que el proyecto se implementa, se tiene que dejar pasar al menos 3 años para que el impacto en la mejora sea casi del 100%. En la tabla 8 se muestra una simulación que trata de mostrar el impacto que tendría esta solución a través del tiempo, alcanzando un beneficio en el 3er año de 290,840 usd. Este cálculo se hace tomando como referencia la información proporcionada por ServiPlus en donde ellos estiman que cada llamada de servicio le representa a la compañía alrededor de 30 usd en costo.

Tabla 8 Impacto de la mejora a través del tiempo.

	1er. Año (36.34%)		2o. Año (88.79%)		3er Año (97.94%)		Total	
	No. Llamadas Eliminadas	USD	No. Llamadas Eliminadas	USD	No. Llamadas Eliminadas	USD	No. Llamadas	USD
Proteo	922	27661	2253	67604	2486	74570	5661	169835
Troquelado	657	19708	1606	48166	1771	53130	4033	121004
Total	1579	47369	3859	115770	4257	127700	9695	290840

La tabla 8 trata de mostrar que aún cuando no se está considerando el costo de la no calidad del producto, el ahorro que se genera al eliminar este código de falla significativo para la compañía. Con esta información se hace evidente que nuestra solución se debe de enfocar principalmente a la solución del problema para los quemadores que mayor volumen tiene, el quemador troquelado y el quemador proteo.

2.7. Objetivo del Proyecto:

Generar la tecnología del rediseño del sistema de gas, de tal forma que sea robusto a la obstrucción de las espreas y que garantice su funcionamiento a través del tiempo en uso.

2.8. Equipo de apoyo técnico:

El equipo de apoyo técnico juega un papel muy importante en la solución del problema. El equipo de apoyo es un grupo de personas de diferentes disciplinas que ayudan en la aportación de ideas y en la ejecución de actividades relacionadas con el proyecto. A continuación se listan algunas de las personas que participaron como equipo de apoyo técnico de este proyecto.

- **José Juan Chavero.** *Evaluación*
- **Claudia Alonso.** *Evaluación*
- **Raymundo Ruiz.** *Calidad*
- **Luis Aguilar.** *Diseño*
- **Arturo Lona.** *Diseño*

2.9. Definición de las Y's:

Las "Y's" representan los parámetros o características de calidad que son importantes en el diseño. Estas características o parámetros se deben de cuidar ya que a través de ellos se verá reflejada la satisfacción o seguridad del cliente. En la correcta definición de las "Y's" se encuentra gran parte del éxito de un proyecto ya que a partir de esta definición es que se derivan el resto de las actividades del proyecto. Haciendo un análisis a través del área de servicio de mabe nos pudimos dar cuenta que la inconformidad del cliente en este problema, se presenta al ver que la flama se vuelve más pequeña y amarilla "humeando" sus utensilios de cocinado. Desde un punto de vista de ingeniería, esto fenómeno que le sucede al cliente está altamente relacionado con la cantidad de emisiones de CO (Monóxido de carbono) que el quemador está generando a la atmósfera, por tal motivo esta es una de las características de calidad que se estará cuidando en el rediseño del quemador partes por millón de partículas de monóxido de carbón emitidas a la atmósfera (PPM's de AFCO). Por otro lado la obstrucción de la esprea representa una disminución en el flujo de gas que se inyecta a los quemadores, provocando que incluso el flujo de gas sea cero y que el quemador no encienda, por tal motivo se utilizará la variable capacidad térmica para poder monitorear esta falla. Como la solución tiene que ver con el rediseño del subsistema no podemos dejar de ver la características relacionadas con la apariencia de la flama en el quemador, la cual debe ser azul y estable. Por todo lo anterior se definen dentro del proyecto como variables de respuesta:

- Capacidad térmica (pies²/min). Muestra que tan obstruida pudiera estar la espera.
- Combustión (ppm AFCO). Refleja la calidad de la combustión que está llevando a cabo el quemador.
- Depósitos de carbón (discretas). Para el cliente es importante ya que al presentar estos depósitos, los utensilios de cocina se manchan.
- Apariencia de flama (discreta). Garantiza una correcta percepción por parte del usuario del funcionamiento de su quemador.

2.10. Diagrama de bloques Funcionales:

El diagrama de bloques funcionales es parte importante en el diseño ya que nos permite visualizar la problemática a nivel subsistema y poder identificar la región en donde la solución se debe de aplicar, además nos permite conocer las funciones de los componentes involucrados y sus interacciones con el resto de los subsistemas. (Ver figura 10)

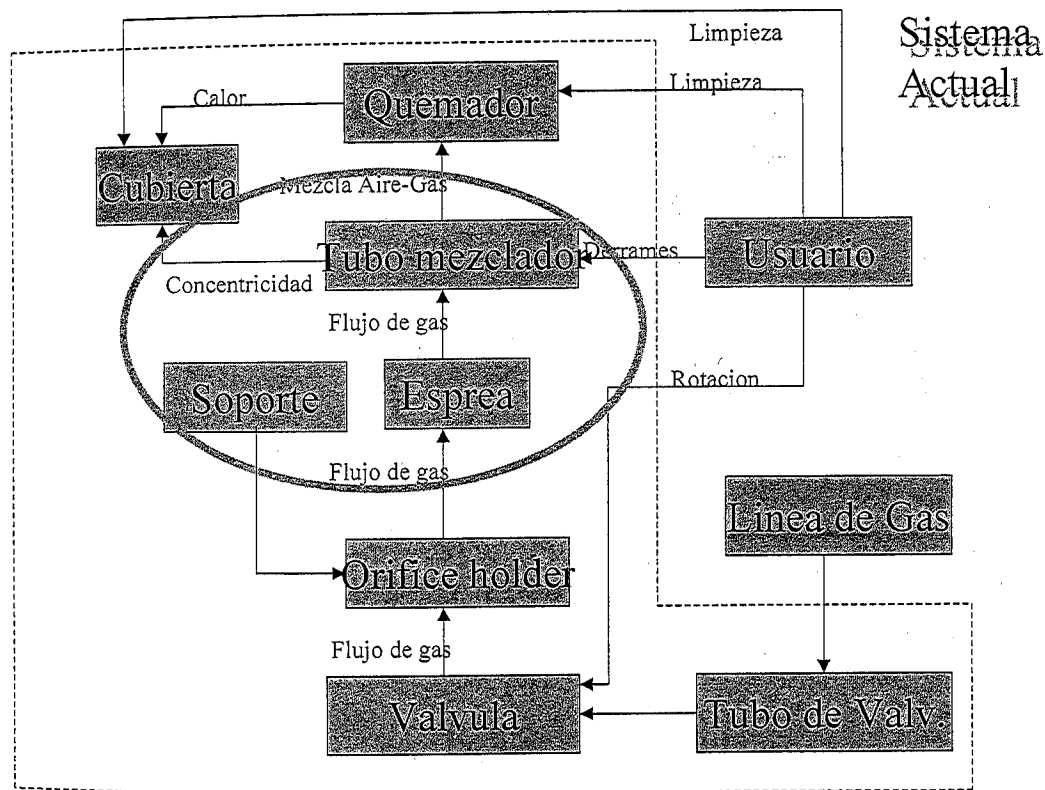


Figura 10. Diagrama de Bloques Funcionales subsistema de gas.

Funciones de las partes involucradas:

Tubo Mezclador:

- Provee medios para la entrada de aire primario
- Provee medios para la mezcla aire-gas.
- Provee alineación con el mezclador.
- Ayuda a evitar el regreso de flama
- Provee concentricidad entre quemador y esprea.

Soporte Orifice Holder:

- Localiza la esprea con relación al tubo mezclador
- Soporta al tubo mezclador y orifice holder.
- Alinea el conjunto tubo-orifice holder con la cubierta

Esprea:

- Controla la cantidad de gas hacia el quemador.

2.11 Diagrama P y lista de X's potenciales (Figura 11)

Este diagrama se utiliza para poder identificar las entradas, las salidas, los parámetros de control y los parámetros de ruido que están afectando a un subsistema o componente. Este diagrama está representado por una caja y flechas que se encuentran ubicadas en los lados de la caja. La caja representa el subsistema, o componente que se está estudiando, en este caso estamos analizando el subsistema de gas y las flechas representan las entradas, las salidas, los parámetros de control y los parámetros de ruido que afectan al subsistema. En nuestro subsistema lo que le entra al sistema está representado por la flecha horizontal izquierda, la salida del subsistema está representado por la flecha horizontal derecha. La flecha vertical superior representa los parámetros de ruido que le

afectan al subsistema "KNP" (key noise parameters). La flecha vertical inferior, representa los parámetros que si se pueden llegar a controlar en el diseño "KCP" (Key control parameters).

Diagrama P

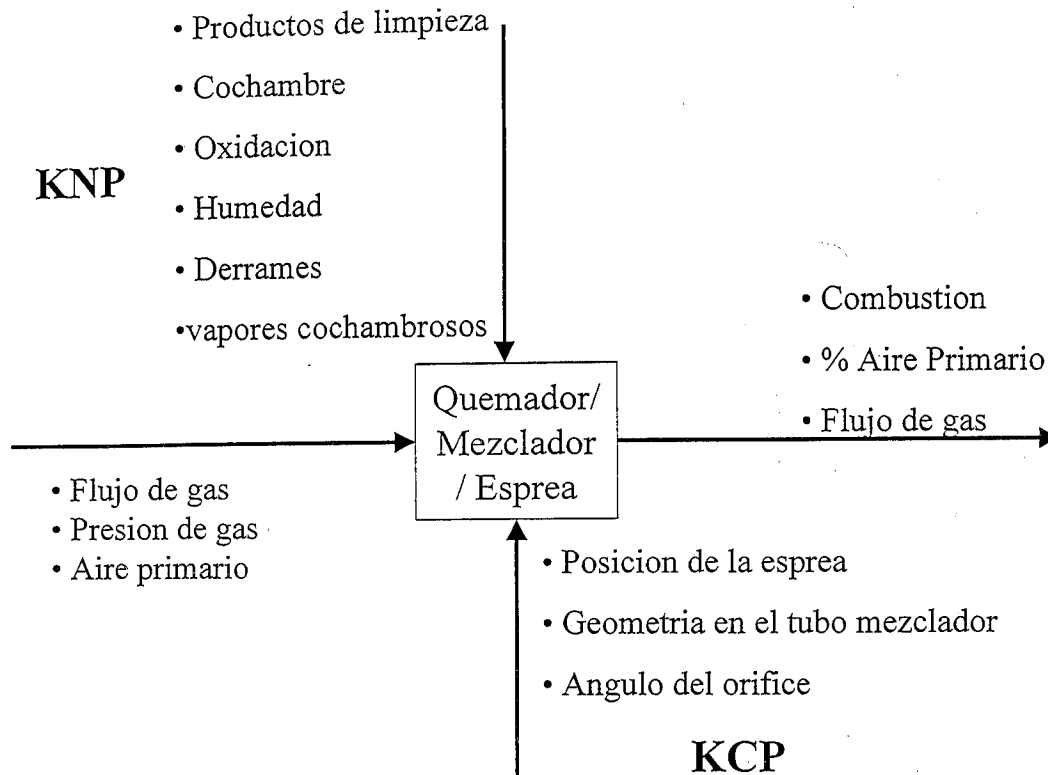


Figura 11. Diagrama de parámetros

X's potenciales:

A partir de la definición de la "Y" y con la ayuda de los diagramas antes vistos, ya se tiene una clara idea de cuales con las variables que afectan a la respuesta. El término de X's potenciales se utiliza para nombrar las variables que sospechosamente pudieran estar afectando en desempeño de la o las variables de respuesta. A

continuación se genera una lista de estas variables para el caso que estamos analizando.

- Productos de limpieza
- Cochambre
- Oxidación
- Humedad
- Derrames
- Geometría en el tubo mezclador
- Angulo del ataque de la esprea.

Capitulo 3: Diseño y Análisis experimental

CAPITULO 3: Diseño y análisis experimental

En el capítulo anterior se dieron algunos elementos que nos ayudaron a establecer correctamente la identificación de los parámetros sobre los cuales se va a centrar el diseño, por otro lado se pudo establecer el alcance y el impacto del proyecto. De acuerdo a la metodología de diseño para seis sigma, mostrada al inicio del capítulo 1, es tiempo de comenzar a desarrollar algunos conceptos de diseño que nos acerquen a la solución del problema.

La fase de diseño debe de combinar algunas disciplinas como son Manufactura, Servicio, Calidad entre otras. Esta es la parte en donde convergen tanto el conocimiento determinístico y el estadístico para crear y darle vida a las ideas. Para poder validar la calidad del diseño se tendrán que utilizar algunas pruebas relacionadas con el desempeño del subsistema. Las pruebas que principalmente se estarán utilizando a lo largo de esta fase son: Prueba de derrames, en donde se pretende a través de un procedimiento estándar poder reproducir la obstrucción de la espera. Apariencia de flama, en donde visualmente se evalúa si la flama presenta problemas de puntas amarillas (mala combustión) y que tan estable se aprecia la flama (robustez en la calidad de flama). Así mismo se utilizará una prueba en donde se define cuantitativamente si el rediseño presenta una correcta combustión a través de medir la PPM's AFCO explicada en el capítulo 1.

3.1 Línea base de prueba de derrames.

El centro de tecnología y desarrollo tiene un área de pruebas destinada específicamente para las estufas, en esta área es en donde se desarrollará la prueba que nos ayuden a demostrar la confiabilidad del rediseño, relacionada con la obstrucción de la esprea a lo largo del tiempo.

Es necesario desarrollar una prueba que nos muestre la confiabilidad que tiene el diseño que vamos a proponer, así como conocer el estado

actual de nuestro sistema, para ello, es importante el poder reproducir el modo de falla relacionado con la obstrucción de la esprea que es el modo de falla que se pretende atacar con el rediseño. A continuación mostramos el desarrollo de una prueba que nos permitirá visualizar la efectividad de la solución.

Objetivo de la prueba:

Reproducir y acelerar el mecanismo de falla de obstrucción de las espreas por acumulación de sólidos causada por derrame de alimentos en la cubierta / caja de quemadores, que sirva de base de comparación para la efectividad del rediseño.

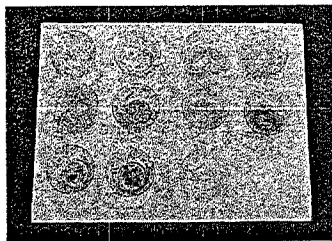
Pruebas preliminares para evaluar el efecto de diferentes alimentos

Alimentos:

- 1) Aceite de canola en aerosol
- 2) Aceite de soya
- 3) Mantequilla
- 4) Manteca de cerdo
- 5) Queso untable
- 6) Mantequilla de cacahuete
- 7) Huevo
- 8) Consomé de pollo concentrado
- 9) Mermelada
- 10) Puré de tomate
- 11) Leche

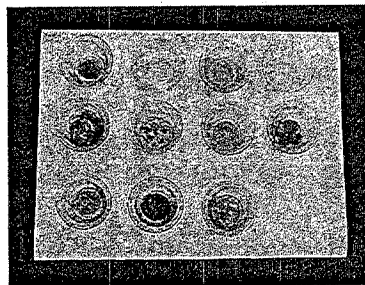
A continuación en la figura 12 se muestran las pruebas realizadas para encontrar la formula adecuada:

Accite de canola en aerosol
Peso: 4 g
Rack: C
Temperatura: 300 °F
Tiempo: 60 minutos
Comentarios:
Cambio de color,
no forma costra



Peso: 2 g
Rack: C
Temperatura: Ambiente con corriente de aire (ventilador)
Tiempo: 5 horas
Comentarios:
Cambio de color (1,2,3,4)
Formación de costra (5,6,7,8,9,10,11)

Accite de soya
Peso: 4 g
Rack: C
Temperatura: 300 °F
Tiempo: 60 minutos
Comentarios:
Cambio de color,
no forma costra



Peso: 2 g
Rack: C
Temperatura: 300 °F
Tiempo: 20 - 40 minutos
Comentarios:
Cambio de color (Todos)
Formación de costra (5,6,7,8,9,10,11)

Figura 12. Fotos en las que se probaron diferentes ingredientes para la prueba

Conclusión de la prueba:

Después de una serie de pruebas y experimentos llevadas en el laboratorio de cocinado se llegó a la mezcla recomendada por nuestra experta en cocinado para lograr la obstrucción de la espera. A continuación se enlistan los ingredientes y las cantidades necesarias para generar la mezcla que pueda reproducir la falla de obstruir las espreas.

Mezcla recomendada:

Huevo 100 g
Leche 100 g
Manteca de cerdo 100 g
Puré de tomate 100 g
Queso untable 100 g
Mezclar en la licuadora a velocidad alta hasta homogenizar, colocar en el aspensor

3.2 Concepto de diseño actual.

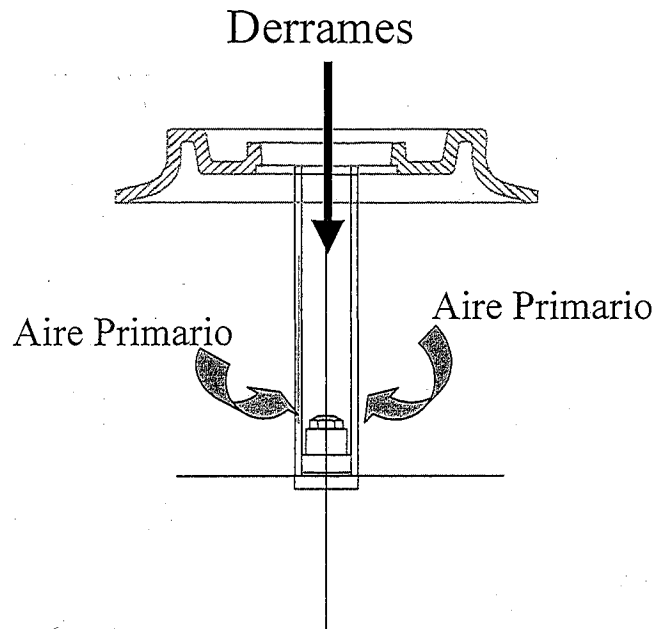


Figura 13. Concepto de diseño actual

3.3 Lluvia de ideas de conceptos de diseño.

Por la información que se tiene de los aparatos en campo que han presentado la falla, se deduce que la causa principal de la misma, es por derrames ya sea de sólidos de comida-cochambre y productos de limpieza.

Al analizar el diseño actual figura 13, se ve que la esprea esta en línea recta con los posibles derrames, por lo que la idea principal es la de poder mover la esprea de esa línea de acción.

El principal reto al cambiar el ángulo de ataque de la esprea, es el de suministrar la cantidad de aire primario necesaria para una buena combustión. El equipo aportó las siguientes ideas para la solución del problema:

A continuación se muestran las ideas de diferentes conceptos de diseño que se probaron en esta fase(Ver figura 14) :

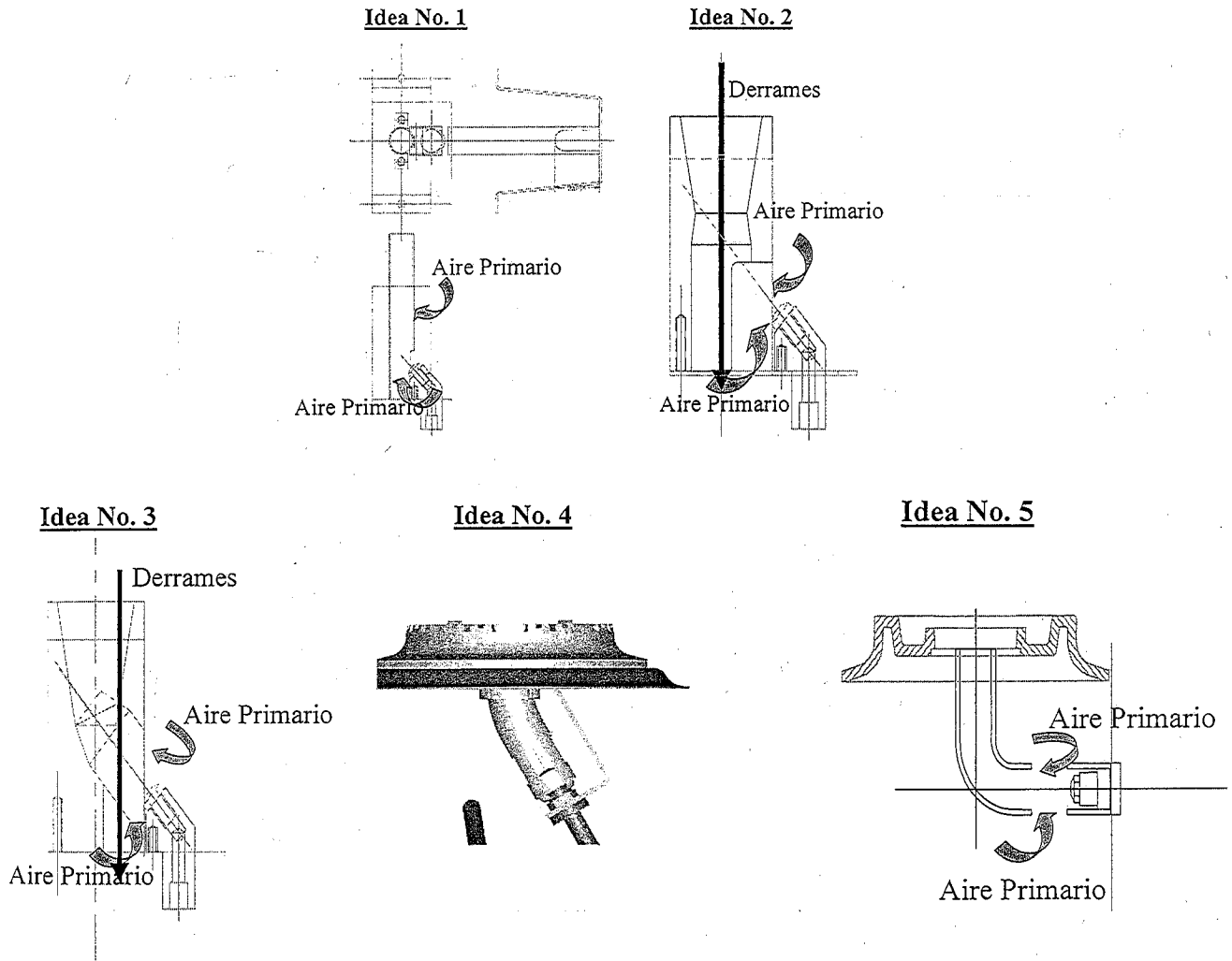


Figura 14. Lluvia de ideas de conceptos de diseño

En la siguiente figura se muestran un par de prototipos funcionando.

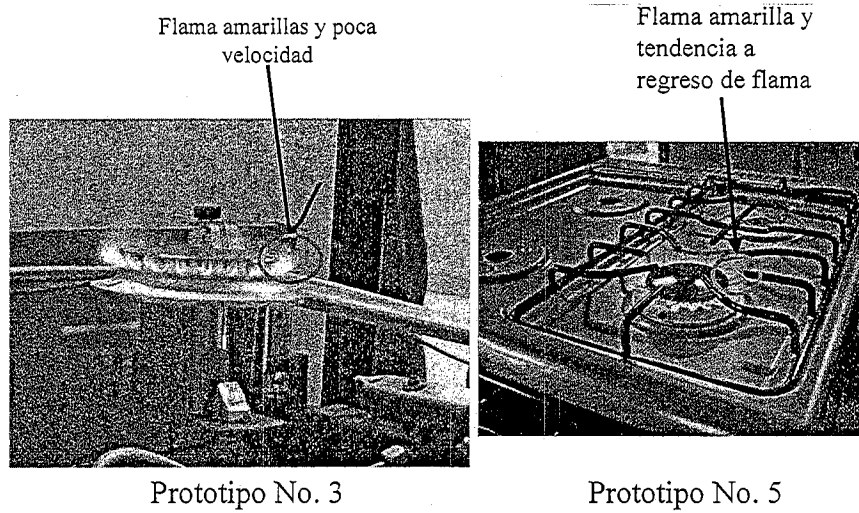


Figura15. Prototipos funcionando

3.5 Resultados Preliminares de la lluvia de ideas:

Se construyeron prototipos de las 5 opciones y se evaluaron en cuanto a apariencia de flama.

En todos los casos se encontraron flamas amarillas y un fenómeno llamado regreso de flama explicado en el capítulo 1; la opción 3 presentó mejores resultados en cuanto a robustez de flama y emisiones de CO en la prueba de combustión.

Como se ha venido explicando, la flama amarilla indica que el quemador está trabajando con una aireación primaria deficiente, dado que la opción tres presentó mejores resultados, el equipo decidió trabajar con esta idea tratando de hacer más eficiente la entrada del aire primario al quemador. Esto nos llevó a pensar en mejorar el diseño del venturi y así incrementar la entrada de aire para reducir la tendencia al regreso de flama y mejorar las flamas amarillas que se presentaron en el prototipo inicial.

A continuación se desarrollo un diseño de experimentos, esperando mejorar el diseño del venturi y poder así eliminar las fallas observadas en el prototipo.

3.6 Definición de Variables de control (KCP's):

Después de haber analizado la base teórica del diseño de venturis, estas fueron las variables que se probaron el DOE. Los niveles fueron seleccionados con apoyo de publicaciones relacionadas con el diseño de venturíes para quemadores que se presenta en la figura 15.

Posición de la esprea (Figura 16)

- A.-Angulo de ataque (Grados)
- B.-Distancia a esprea (plg.)

Geometría en el tubo mezclador (Figura 16)

- C.-Diámetro de garganta (plg.)
- D.-Angulo de salida (grados)
- E.-Longitud del tubo.

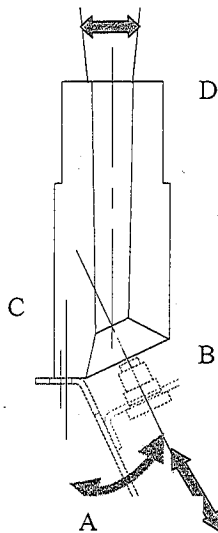


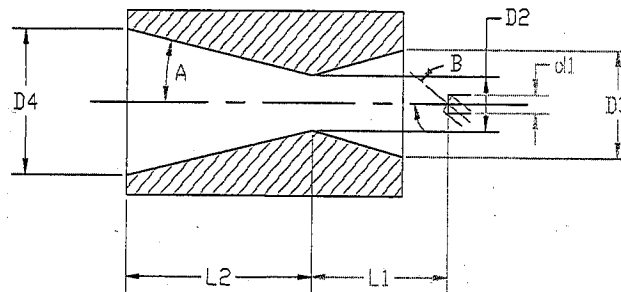
Figura 16. Variables de control

3.7 Planteamiento del diseño experimental

Basados en la teoría de venturas Figura 15, se determinó realizar un DOE de superficie de respuesta central compuesto para poder modelar y optimizar el diseño a partir de una función de transferencia y

además poder predecir o explorar nuevas regiones experimentales en cualquier otro venturi. A continuación se presenta la base teórica de las variables seleccionadas así como de sus niveles para posteriormente mostrar la tabla del plantamiento del experimento.

Guía de Diseño de Venturis (Gas Burner Research 26th. Bulletin)



- D1 = Diametro de Orifice Holder.
- D2 = Diametro de garganta.
- D3 = Diametro de entrada de aire.
- D4 = Diametro de salida de mezcla.
- L1 = Distancia de la garganta a la esprea.
- L2 = Longitud dediametro de mezcla.
- A = Angulo de diametro de mezcla.
- B = Angulo de desalineamiento de la esprea.

$$D2 = (0.2 \text{ a } 1.0) * \text{Area de Porta}$$

$$D3 = (1.25 \text{ a } 2.0) * \text{Area de porta}$$

$$D4 = 2 (L2 * \text{tg } A) + D2$$

$$L1 = (1.0 \text{ a } 1.5) * D2 \quad \text{si, } d1 > D2$$

$$= (0.5 \text{ a } 1.0) * D2 \quad \text{si, } d1 < D2$$

$$= (0.5 \text{ a } 2.0) * D2 \quad \text{si, } d1 < 0.5D2$$

$$L2 = 2'' \text{ a } 33''$$

$$A = 3 \text{ grados Max.}$$

$$B = 25 \text{ grados Max.}$$

Figura 17. Teoría de Venturis

A partir del análisis anterior de variables, se decide hacer un DOE de superficie de respuesta para medir la variable de respuesta de partículas de monóxido de carbono (CO) tal como se explicó en el capítulo 2 en la sección "definición de las "Y's" . El objetivo del experimento es llegar a una solución en donde la espesa no se obstruya y además no se afecte el desempeño del quemador. A continuación se presenta el esquema de experimentación propuesto (Tabla 9), en donde se utiliza un diseño de superficie de respuesta con la 5 variables mostradas en la figura 14.

Tabla 9. Diseño experimental propuesto

DDE superficie de respuesta				
D.Garganta	Ang. Salida	Ang. Ataque	Dist.a espesa	Long salida
0.4486	1	25	0.4486	3
0.4486	3	25	0.8971	3
0.4486	1	45	0.8971	3
0.4486	3	45	0.4486	3
0.75	1	25	0.8971	3
0.75	3	25	0.4486	3
0.75	1	45	0.4486	3
0.75	3	45	0.8971	3
0.5993	2	35	0.6729	3.5
0.5993	2	55	0.6729	2.5
0.5993	2	15	0.6729	2.5
0.5993	4	35	0.6729	2.5
0.5993	0	35	0.6729	2.5
0.9007	2	35	0.6729	2.5
0.2979	2	35	0.6729	2.5
0.4486	1	25	0.8971	2
0.4486	3	25	0.4486	2
0.4486	1	45	0.4486	2
0.4486	3	45	0.8971	2
0.75	1	25	0.4486	2
0.75	3	25	0.8971	2
0.75	1	45	0.8971	2
0.75	3	45	0.4486	2
0.5993	2	35	0.6729	2.5
0.5993	2	35	0.6729	2.5
0.5993	2	35	0.6729	2.5
0.5993	2	35	0.6729	2.5
0.5993	2	35	0.6729	2.5
0.5993	2	35	0.6729	2.5
0.5993	2	35	0.6729	2.5
0.5993	2	35	0.2244	2.5
0.5993	2	35	1.1214	2.5
0.5993	2	35	0.6729	1.5

Para poder correr el diseño se requirió de realizar venturis maquinados para poder dar las dimensiones que pedían las corridas experimentales.

3.8 Resultados del Diseño de experimentos

La variable más importante para el usuario debido a que tiene que ver con la seguridad es la prueba de combustión, en la cual se miden las partículas de CO, en PPM's. A continuación se muestra la tabla del resultado del diseño de experimentos realizado para diseñar el venturi. Para cada corrida experimental se realizaron 3 repeticiones (no se movieron los parámetros del diseño en cada corrida experimental). Y el resultado promedio de esas cuatro lecturas es el que se muestra a continuación en la Tabla 10. Sólo en las repeticiones del punto central, se movieron las condiciones experimentales.

3.9 Análisis del diseño de experimentos

A partir de los resultados de la tabla se realizó el análisis de las variables media, y desviación estándar. La media es el resultado de promediar las 3 lecturas de cada corrida experimental, y la desviación estándar es la variabilidad observada en esas 4 lecturas de cada corrida experimental.

Tabla 10. Resultados del experimento

DDE superficie de respuesta						
D.Garganta	Ang. Salida	Ang. Ataque	Dist a esprea	Long salida	Media	desv std
0.4486	1	25	0.4486	3	192.27	39.18
0.4486	3	25	0.8971	3	186.55	14.58
0.4486	1	45	0.8971	3	851.45	152.89
0.4486	3	45	0.4486	3	904.21	135.54
0.75	1	25	0.8971	3	459.64	36.66
0.75	3	25	0.4486	3	1873.81	179.59
0.75	1	45	0.4486	3	1048.69	180.42
0.75	3	45	0.8971	3	1589.46	166.7
0.5993	2	35	0.6729	3.5	560.72	56.39
0.5993	2	55	0.6729	2.5	1436.35	65.24
0.5993	2	15	0.6729	2.5	571.92	35.76
0.5993	4	35	0.6729	2.5	1207.3	62.53
0.5993	0	35	0.6729	2.5	577.74	123.98
0.9007	2	35	0.6729	2.5	1618.83	145.81
0.2979	2	35	0.6729	2.5	987	54
0.4486	1	25	0.8971	2	223.4	44.52
0.4486	3	25	0.4486	2	336.49	39.86
0.4486	1	45	0.4486	2	617.13	28.86
0.4486	3	45	0.8971	2	559.11	17.43
0.75	1	25	0.4486	2	886.85	12.6
0.75	3	25	0.8971	2	1217.88	171.55
0.75	1	45	0.8971	2	431.84	64.94
0.75	3	45	0.4486	2	1511.39	228.4
0.5993	2	35	0.6729	2.5	443.41	25.33
0.5993	2	35	0.6729	2.5	471.89	15.36
0.5993	2	35	0.6729	2.5	513.73	40.78
0.5993	2	35	0.6729	2.5	514.39	69.53
0.5993	2	35	0.6729	2.5	537.67	42.79
0.5993	2	35	0.6729	2.5	555.98	65.65
0.5993	2	35	0.6729	2.5	605.63	73.06
0.5993	2	35	0.2244	2.5	997.18	4.63
0.5993	2	35	1.1214	2.5	470.25	70.94
0.5993	2	35	0.6729	1.5	1222.35	42.55

Este primer análisis se enfoca sobre la respuesta de la media y se esta utilizando la opción de Analizar DOE de minitab ANOVA.

Response Surface Regression

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for media

Term	Coef	StDev	T	P
Constant	562.8	99.54	5.654	0.000
A	267.2	54.85	4.872	0.000
B	196.9	54.85	3.591	0.004
C	161.1	54.85	2.936	0.012
D	-121.1	54.85	-2.207	0.048
E	-0.1	54.85	-0.001	0.999
A*A	147.9	48.87	3.026	0.011
B*B	45.3	48.87	0.927	0.372
C*C	73.2	48.87	1.498	0.160
D*D	5.6	48.87	0.115	0.911
E*E	45.1	48.87	0.922	0.375
A*B	204.0	67.17	3.036	0.010
A*C	-115.6	67.17	-1.721	0.111
A*D	-87.0	67.17	-1.295	0.220
A*E	32.8	67.17	0.489	0.634
B*C	-14.8	67.17	-0.221	0.829
B*D	-18.4	67.17	-0.274	0.789
B*E	33.5	67.17	0.499	0.627
C*D	34.5	67.17	0.514	0.617
C*E	76.7	67.17	1.141	0.276
D*E	-0.8	67.17	-0.011	0.991

S = 268.7

R-Sq = 86.7%

R-Sq(adj) = 64.5%

Analysis of Variance for media

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	20	5633422	5633422	281671	3.90	0.010
Linear	5	3618544	3618544	723709	10.02	0.001
Square	5	856907	856907	171381	2.37	0.102
Interaction	10	1157971	1157971	115797	1.60	0.217
Residual Error	12	866311	866311	72193		
Lack-of-Fit	6	849122	849122	141520	49.40	0.000
Pure Error	6	17190	17190	2865		
Total	32	6499734				

Unusual Observations for media

Observation	media	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid
5	617.130	881.316	251.861	-264.186	-2.82R
9	223.400	421.856	251.861	-198.456	-2.12R
15	559.110	773.063	251.861	-213.953	-2.29R
23	987.000	620.036	207.784	366.964	2.15R
31	1222.350	743.146	207.784	479.204	2.81R

R denotes an observation with a large standardized residual

Conclusión del análisis de la media:

En la primer ANOVA se muestran todos los términos y a partir de su valor de P, discriminamos los valores que definitivamente no resultan tener significancia sobre la respuesta.

Por otro lado la diferencia entre la Rsq y la Radj es grande, lo que nos permite ver que existen términos que están de más en el modelo.

En la siguiente ANOVA eliminamos esos términos y a continuación mostramos el resultado.

Response Surface Regression

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for media

Term	Coef	StDev	T	P
Constant	639.6	57.50	11.124	0.000
A	267.2	45.45	5.878	0.000
B	196.9	45.45	4.333	0.000
C	161.1	45.45	3.543	0.002
D	-121.1	45.45	-2.663	0.014
A*A	143.1	40.34	3.548	0.002
C*C	68.4	40.34	1.696	0.103
A*B	204.0	55.67	3.664	0.001
A*C	-115.6	55.67	-2.077	0.049
A*D	-87.0	55.67	-1.563	0.132

S = 222.7 R-Sq = 82.5% R-Sq(adj) = 75.6%

Analysis of Variance for media

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	5359222	5359222	595469	12.01	0.000
Linear	4	3618544	3618544	904636	18.24	0.000
Square	2	739997	739997	369998	7.46	0.003
Interaction	3	1000681	1000681	333560	6.73	0.002
Residual Error	23	1140512	1140512	49587		
Lack-of-Fit	15	690164	690164	46011	0.82	0.650
Pure Error	8	450347	450347	56293		
Total	32	6499734				

Unusual Observations for media

Observation	media	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid	
23	987.000	677.613	166.392	309.387		
2.09R	31	1222.350	639.582	57.496	582.768	2.71R

R denotes an observation with a large standardized residual

Conclusión:

En este segundo análisis se conservan las variables que si resultan ser significativas a la respuesta. Cabe mencionar que con base en el análisis de los residuos se eliminó la observación 31, esto por ser una observación inusual. La justificación para poder eliminarla es que esta observación pertenece a una réplica del punto central, y dado que es un diseño que se replicó en el centro se decidió que esta observación podía eliminarse.

A continuación muestra el análisis sin esa observación:

Response Surface Regression

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for media

Term	Coef	StDev	T	P
Constant	598.0	50.21	11.908	0.000
A	267.2	38.35	6.967	0.000
B	196.9	38.35	5.135	0.000
C	161.1	38.35	4.199	0.000
D	-121.1	38.35	-3.156	0.005
A*A	158.7	34.38	4.616	0.000
C*C	84.0	34.38	2.444	0.023
A*B	204.0	46.97	4.342	0.000
A*C	-115.6	46.97	-2.462	0.022
A*D	-87.0	46.97	-1.853	0.077

S = 187.9 R-Sq = 87.7% R-Sq(adj) = 82.7%

Analysis of Variance for media

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	5533359	5533359	614818	17.42	0.000
Linear	4	3618544	3618544	904636	25.63	0.000
Square	2	914134	914134	457067	12.95	0.000
Interaction	3	1000681	1000681	333560	9.45	0.000
Residual Error	22	776635	776635	35302		
Lack-of-Fit	15	758022	758022	50535	19.01	0.000
Pure Error	7	18613	18613	2659		
Total	31	6309994				

Unusual Observations for media

Observation	media	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid
23	987.000	698.426	140.542	288.574	2.31R
25	577.740	204.060	91.680	373.680	2.28R

R denotes an observation with a large standardized residual

Conclusión:

Ya eliminando la observación inusual se tiene un % de explicación en la Radj del 82.7%. Con el fin de buscar un mejor modelo se trata de analizar a través de una regresión para poder incluir términos del tipo A^2B . A continuación se muestra dicho análisis:

The regression equation is

$$\begin{aligned} \text{media} = & 525 + 158 A + 157 B + 216 C - 132 D + 204 AB - 116 AC - 87.0 AD \\ & - 14.8 BC - 18.4 BD + 34.5 CD + 165 A^2 + 62.2 B^2 + 90.1 C^2 \\ & + 22.5 D^2 + 59.3 A^2B - 82.6 A^2C + 16.0 A^2D + 164 B^2A \end{aligned}$$

32 cases used 1 cases contain missing values

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	525.43	63.96	8.21	0.000
A	157.96	63.96	2.47	0.028
B	157.39	63.96	2.46	0.029
C	216.11	63.96	3.38	0.005
D	-131.73	63.96	-2.06	0.060
AB	203.96	45.23	4.51	0.001
AC	-115.62	45.23	-2.56	0.024
AD	-87.02	45.23	-1.92	0.077
BC	-14.84	45.23	-0.33	0.748
BD	-18.39	45.23	-0.41	0.691
CD	34.52	45.23	0.76	0.459
A ²	164.76	33.29	4.95	0.000
B ²	62.16	33.29	1.87	0.085
C ²	90.06	33.29	2.71	0.018
D ²	22.46	33.29	0.67	0.512
A ² B	59.34	78.34	0.76	0.462
A ² C	-82.58	78.34	-1.05	0.311
A ² D	16.01	78.34	0.20	0.841
B ² A	163.85	78.34	2.09	0.057

S = 180.9 R-Sq = 93.3% R-Sq(adj) = 83.9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	18	5884486	326916	9.99	0.000
Residual Error	13	425508	32731		
Lack of Fit	6	406895	67816	25.50	0.000
Pure Error	7	18613	2659		
Total	31	6309994			

24 rows with no replicates

Source	DF	Seq SS
A	1	1713399
B	1	930924
C	1	622507

D	1	351716
AB	1	665615
AC	1	213904
AD	1	121161
BC	1	3526
BD	1	5413
CD	1	19071
A2	1	703302
B2	1	87484
C2	1	231863
D2	1	14898
A2B	1	18778
A2C	1	36373
A2D	1	1368
B2A	1	143186

Unusual Observations

Obs	A	media	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid
8	1.00	1511.4	1797.0	147.7	-285.6	-.73R
14	1.00	431.8	648.9	147.7	-217.1	-.08R
15	-1.00	559.1	777.6	147.7	-218.4	-.09R 23
-2.00	987.0	868.5	173.2	118.5	2.27R	24
2.00	1618.8	1500.4	173.2	118.5	2.27R	25 0.00
577.7	459.3	173.2	118.5	2.27R		
26	0.00	1207.3	1088.8	173.2	118.5	2.27R
27	0.00	571.9	453.5	173.2	118.5	2.27R
28	0.00	1436.3	1317.9	173.2	118.5	2.27R
29	0.00	997.2	878.7	173.2	118.5	2.27R
30	0.00	470.2	351.8	173.2	118.5	2.27R

R denotes an observation with a large standardized residual

Eliminando los términos que no son significativos:

Regression Analysis

The regression equation is

$$\text{media} = 546 + 158 A + 197 B + 161 C - 121 D + 204 AB - 116 AC - 87.0 AD + 163 A2 + 60.4 B2 + 88.3 C2 + 164 B2A$$

32 cases used 1 cases contain missing values

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	546.16	50.24	10.87	0.000
A	157.96	57.28	2.76	0.012
B	196.95	33.07	5.96	0.000
C	161.05	33.07	4.87	0.000
D	-121.06	33.07	-3.66	0.002
AB	203.96	40.50	5.04	0.000
AC	-115.62	40.50	-2.85	0.010
AD	-87.02	40.50	-2.15	0.044
A2	163.03	29.72	5.49	0.000
B2	60.43	29.72	2.03	0.056
C2	88.34	29.72	2.97	0.008
B2A	163.85	70.15	2.34	0.030

S = 162.0

R-Sq = 91.7%

R-Sq(adj) = 87.1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	11	5785060	525915	20.04	0.000
Residual Error	20	524934	26247		
Lack of Fit	13	506320	38948	14.65	0.001
Pure Error	7	18613	2659		
Total	31	6309994			

24 rows with no replicates

Source	DF	Seq SS
A	1	1713399
B	1	930924
C	1	622507
D	1	351716
AB	1	665615
AC	1	213904
AD	1	121161
A2	1	703302
B2	1	87484
C2	1	231863
B2A	1	143186

Unusual Observations

Obs	A	media	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid
8	1.00	1511.4	1834.2	104.2	-322.8	-.60R
23	-2.00	987.0	882.4	154.0	104.6	2.08R
24	2.00	1618.8	1514.2	154.0	104.6	.08R
28	0.00	1436.3	1221.6	122.4	214.7	.02R

Conclusión:

Después de hacer estas iteraciones nos quedamos con el modelo de la regresión que nos da un % de explicación del 87%

A continuación se muestra el análisis para la desviación std utilizando la regresión.

The regression equation is

$$\text{desv std} = 47.9 + 23.0 A - 15.4 B + 7.4 C + 16.6 D + 31.9 AB + 2.7 AC - 9.2 AD - 9.5 BC - 15.7 BD - 10.5 CD + 17.0 A2 + 15.4 B2 + 4.68 C2 + 1.50 D2 + 40.0 A2B + 19.9 A2C - 27.5 A2D + 12.5 B2A$$

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	47.94	13.42	3.57	0.003
A	22.95	14.23	1.61	0.129
B	-15.36	14.23	-1.08	0.299
C	7.37	14.23	0.52	0.613
D	16.58	14.23	1.16	0.264
AB	31.85	10.06	3.17	0.007
AC	2.72	10.06	0.27	0.791
AD	-9.20	10.06	-0.91	0.376

BC	-9.48	10.06	-0.94	0.362
BD	-15.69	10.06	-1.56	0.141
CD	-10.46	10.06	-1.04	0.316
A2	17.033	7.311	2.33	0.035
B2	15.370	7.311	2.10	0.054
C2	4.682	7.311	0.64	0.532
D2	1.503	7.311	0.21	0.840
A2B	39.96	17.43	2.29	0.038
A2C	19.92	17.43	1.14	0.272
A2D	-27.53	17.43	-1.58	0.137
B2A	12.55	17.43	0.72	0.483

S = 40.25 R-Sq = 80.3% R-Sq(adj) = 55.1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	18	92700	5150	3.18	0.016
Residual Error	14	22685	1620		
Lack of Fit	6	19523	3254	8.23	0.004
Pure Error	8	3162	395		
Total	32	115385			

24 rows with no replicates

Source	DF	Seq SS
A	1	23539
B	1	3053
C	1	10234
D	1	75
AB	1	16235
AC	1	118
AD	1	1353
BC	1	1438
BD	1	3940
CD	1	1750
A2	1	7826
B2	1	6913
C2	1	644
D2	1	68
A2B	1	8517
A2C	1	2116
A2D	1	4041
B2A	1	840

Unusual Observations

Obs	A	desv	std	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid
5	-1.00	28.86		88.85	32.87	-59.99	2.58R
6	1.00	180.42		119.97	32.87	60.45	2.60R
7	-1.00	135.54		86.77	32.87	48.77	2.10R
13	-1.00	152.89		95.81	32.87	57.08	2.46R

R denotes an observation with a large standardized residual

Eliminando los términos que no son significativos:

Regression Analysis

The regression equation is

$$\text{dev std} = 52.9 + 31.3 A - 15.4 B + 31.9 AB + 16.7 A^2 + 15.1 B^2 + 40.0 A^2B$$

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	52.89	11.24	4.70	0.000
A	31.317	8.889	3.52	0.002
B	-15.36	15.40	-1.00	0.328
AB	31.85	10.89	2.93	0.007
A ²	16.724	7.888	2.12	0.044
B ²	15.061	7.888	1.91	0.067
A ² B	39.96	18.86	2.12	0.044

S = 43.55 R-Sq = 57.3% R-Sq(adj) = 47.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	66082	11014	5.81	0.001
Residual Error	26	49303	1896		
Lack of Fit	2	4486	2243	1.20	0.318
Pure Error	24	44817	1867		
Total	32	115385			

4 rows with no replicates

Source	DF	Seq SS
A	1	23539
B	1	3053
AB	1	16235
A ²	1	7826
B ²	1	6913
A ² B	1	8517

Unusual Observations

Obs	A	dev std	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid
6	1.00	180.42	59.54	19.58	120.88	3.11R
7	-1.00	135.54	46.10	19.58	89.44	2.30R
13	-1.00	152.89	60.61	19.58	92.28	2.37R
25	0.00	123.98	143.85	41.12	-19.87	-1.39
26	0.00	62.53	82.40	41.12	-19.87	-1.39

R denotes an observation with a large standardized residual
 X denotes an observation whose X value gives it large influence.

Conclusión:

Al igual que en el análisis de la media utilizamos dos tipos de análisis para obtener el modelo que mayor explicación nos de a la respuesta

A continuación se muestra el análisis de la desv. Std a través del método de ANOVA.

Response Surface Regression

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for desv std

Term	Coef	StDev	T	P
Constant	43.77	15.961	2.743	0.018
A	31.32	8.794	3.561	0.004
B	11.28	8.794	1.282	0.224
C	20.65	8.794	2.348	0.037
D	-1.77	8.794	-0.202	0.844
E	13.54	8.794	1.540	0.149
A*A	17.29	7.837	2.207	0.048
B*B	15.63	7.837	1.995	0.069
C*C	4.94	7.837	0.631	0.540
D*D	1.76	7.837	0.225	0.826
E*E	4.68	7.837	0.598	0.561
A*B	31.85	10.770	2.958	0.012
A*C	2.72	10.770	0.252	0.805
A*D	-9.20	10.770	-0.854	0.410
A*E	-7.85	10.770	-0.729	0.480
B*C	-9.48	10.770	-0.880	0.396
B*D	-15.69	10.770	-1.457	0.171
B*E	-13.69	10.770	-1.271	0.228
C*D	-10.46	10.770	-0.971	0.351
C*E	18.40	10.770	1.709	0.113
D*E	-9.54	10.770	-0.886	0.393

S = 43.08 R-Sq = 80.7% R-Sq(adj) = 48.5%

Analysis of Variance for desv std

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	20	93113	93113	4655.6	2.51	0.052
Linear	5	41305	41305	8260.9	4.45	0.016
Square	5	16115	16115	3222.9	1.74	0.201
Interaction	10	35694	35694	3569.4	1.92	0.141
Residual Error	12	22272	22272	1856.0		
Lack-of-Fit	6	19213	19213	3202.1	6.28	0.021
Pure Error	6	3060	3060	510.0		
Total	32	115385				

Unusual Observations for desv std

Observation	desv std	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid
4	179.590	147.989	40.384	31.601	2.11R
7	135.540	99.024	40.384	36.516	2.43R
8	228.400	193.604	40.384	34.796	2.32R
9	44.520	76.360	40.384	-31.840	-2.12R
26	62.530	128.853	33.316	-66.323	-2.43R

R denotes an observation with a large standardized residual

Solo con los terminos significativos

Response Surface Regression

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for desv std

Term	Coef	StDev	T	P
Constant	52.89	11.046	4.788	0.000
A	31.32	8.733	3.586	0.001
B	11.28	8.733	1.292	0.208
C	20.65	8.733	2.365	0.026
A*A	16.72	7.749	2.158	0.040
B*B	15.06	7.749	1.944	0.063
A*B	31.85	10.695	2.978	0.006

S = 42.78 R-Sq = 58.8% R-Sq(adj) = 49.2%

Analysis of Variance for desv std

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	67799	67799	11300	6.17	0.000
Linear	3	36826	36826	12275	6.71	0.002
Square	2	14739	14739	7370	4.03	0.030
Interaction	1	16235	16235	16235	8.87	0.006
Residual Error	26	47586	47586	1830		
Lack-of-Fit	8	18163	18163	2270	1.39	0.266
Pure Error	18	29422	29422	1635		
Total	32	115385				

Unusual Observations for desv std

Observation	desv std	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid
6	180.420	93.506	20.199	86.914	2.30R
7	135.540	53.427	20.199	82.113	2.18R
26	62.530	135.687	31.967	-73.157	-2.57R

R denotes an observation with a large standardized residual

Conclusión:

De los dos análisis el que mejor resultado es el que explica el 49% por ser este un modelo para la desviación estándar este porcentaje resulta bueno ya que en este tipo de respuestas los modelos no suelen tener un porcentaje de explicación alto.

3.10 Conclusiones y comentarios del DDE:

- Al parecer las variables que se seleccionaron fueron las adecuadas, cabe mencionar que las variables de respuesta resultan de la obtención de 3 repeticiones de cada corrida experimental es decir no fueron replicas autenticas.
- Al tratar de obtener el mejor modelo se realizo el análisis utilizando la regresión con el fin de introducir datos del tipo A^2B y en el caso de la media y el valor máximo si funciona ya que los mejores modelos se obtuvieron incluyendo estos términos al modelo.
- El análisis de los residuales nos permitió hacerle mejoras al modelo ya que al eliminar el término inusual en la respuesta media provoco una mejora significativa en el modelo sin alterarlo.
- A pesar de que la variable desv std tiene un modelo con una explicación menor al 50% en términos de un modelo para la variación este resulta de gran ayuda.
- Con esta función de transferencia ya podemos pasar a la optimización de las respuestas.
- A través del experimento, se muestran cuales son las variables críticas que se tienen que cuidar en el diseño.
- Desde la tabla de resultados ya se tiene prototipos ganadores respecto de la especificación de la variable de respuesta es decir se tienen combinaciones que nos dan respuestas menores a 800 PPM .

Figura 18. Prototipo del DDE funcionando.



Figura 18. Prototipo del diseño de experimentos, funcionando

3.11 X's VITALES (CTQ's)

- Diámetro de garganta
- Angulo de salida
- Angulo de ataque
- Distancia a esprea

Capitulo 4: Optimización y Validación.

Capítulo 4: Optimización y Validación.

4.1 Optimización :

En el capítulo anterior se realizó un diseño de experimentos de superficie de respuesta para encontrar las X's vitales y encontrar la función de transferencia que explique el fenómeno de la combustión. A partir de esa función de transferencia se utilizará una herramienta de excell llamada solver que se utiliza para encontrar el punto optimo dentro de una región experimental. A continuación se presentan 3 funciones de transferencia, la primera para la variable de respuesta que representa el valor máximo de la combustión encontrado en cada corrida experimental, la segunda para el promedio de las combustiones registradas en cada corrida experimental y la tercera variable que representa la desviación estándar de cada corrida experimental.

Función para la respuesta $\max=648-12.5*B2+136*C2+263*D2-187*E2+231*(B2*C2)-262*(B2*D2)-113*(B2*E2)+368*(B2*B2)+134*(C2*C2)+87.7*(D2*D2)+147*(B2*B2)*C2+234*(C2*C2)*B2.$

Función para la media $=546+158*B2+197*C2+161*D2-121*E2+204*(B2*C2)-116*(B2*D2)-87*(B2*E2)+163*(B2*B2)+60.4*(C2*C2)+88.3*(D2*D2)+164*(C2*C2)*B2$

Función desv std $=52.89+31.32*B2+11.28*C2+20.65*D2+16.72*(B2*B2)+15.06*(C2*C2)+31.85*(B2*C2)$

Con la ayuda del solver se realizaron muchas iteraciones utilizando las funciones de transferencia. En la tabla 11, se presentan algunos experimentos de confirmación para las funciones de transferencia. La opción a utilizar es la que tiene un ángulo de 35° por ser con este ángulo la opción que menos expuesta esta a los derrames.

Run Order	D.Garganta	Ang. Salida	Ang. Ataque	Dist. a esprea	Long salida	Prototipo	Diferencia observado y predicho	Promedio a 10 minutos	Prediccion. 10 minutos
41	0.66	0	35	1.2500	2	17	207.7	254	312.1
37	0.66	0	15	1.1214	2	16	59.2	194	158.0
43	0.66	0	45	1.1214	2	18	1131.6	926	823.4

Tabla 11. Optimización vía Solver

En la tabla 12, se muestran los niveles en los cuales se obtienen buenos resultados de combustión 182 PPM's, teniendo el ángulo de ataque en 35° y asegurando con esto que la espera no va a estar expuesta a los derrames.

La verificación de la función de transferencia descubierta en la sección de análisis se realizó en 3 prototipos para tres ángulos de ataque diferente.

El ángulo que se eligió es el de 35 grados por presentar menos exposición a los derrames y permitir al mismo tiempo, el acceso a la espesa desde la cubierta para poderles brindarles servicio.

Media Real	DS Real	Media Predicha	DS Predicha	Diferencia Real vs Esperado Media	Diferencia Real vs Esperado DS
234.87	50.6	271	80	-36.5	29.7
254.48	31.6	182	80	72.6	48.4

Tabla 12. Resultados de Prototipos con ángulo de 35 grados

Dentro de la metodología de diseño para seis sigma se tiene contemplada una fase llamada de optimización, en donde se busca encontrar los niveles necesarios para poder optimizar la respuesta. Con ayuda de las ecuaciones encontradas en la fase de análisis se intentará optimizar el resultado de la respuesta.

4.2 Conceptos para manufactura:

Toda la fase experimentación se estuvo trabajando con algunos prototipos maquinados, por los volúmenes que se manejan en la producción de estufas este proceso es imposible de manejar en la producción, de tal manera que se trabaja en los conceptos de manufactura que puedan hacer posible producir este concepto de diseño. Con la información obtenida de los DDE ya se puede conceptualizar el concepto de manufactura que además cumplan los objetivos de serviciabilidad.

A continuación en la figura 19 se presenta el concepto de manufactura que se pretende utilizar en el desarrollo.

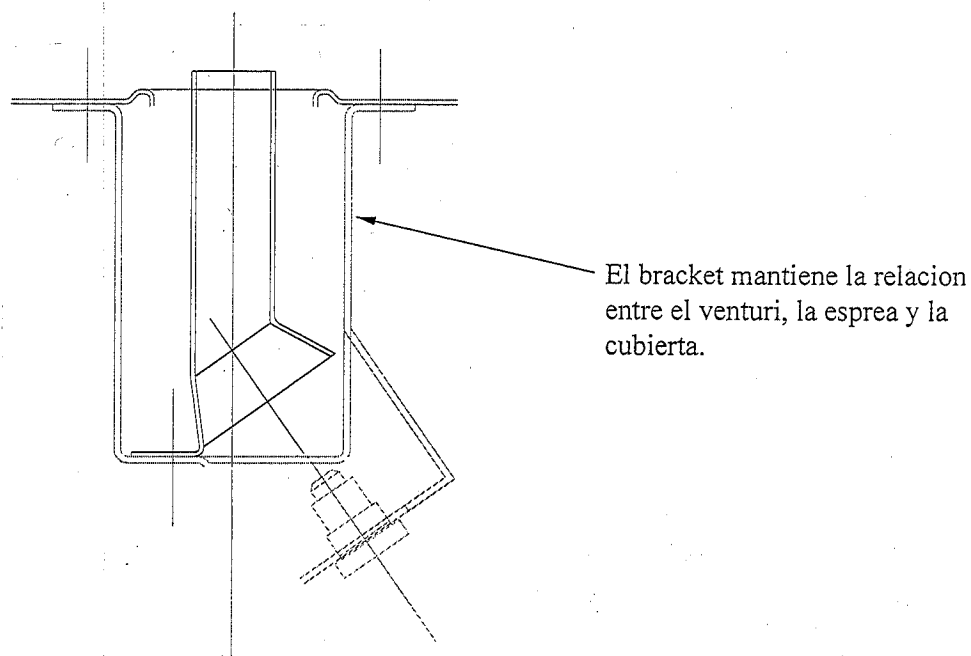


Figura 19. Concepto de manufactura preliminar

A continuación en la figura 20, se presentan algunos conceptos de diseño de tal manera que sea posible reproducir los niveles de combustión que se obtuvieron en el diseño de experimentos y además poder cumplir con los volúmenes que se requerirían en la producción.

En la primera opción se presenta el concepto de diseño realizado a través de un proceso troquelado.

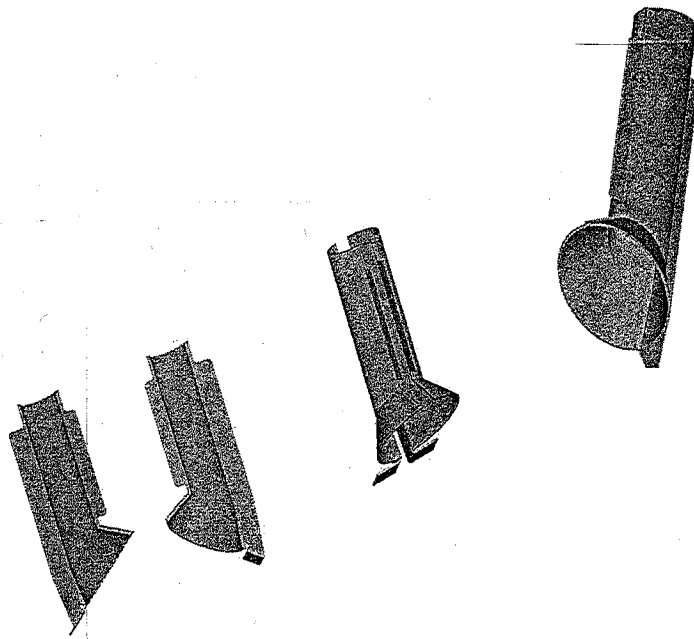


Figura 20. Conceptos de manufactura del venturi

En la opción dos mostrada en la figura 21, se propone utilizar un venturi de fundición y un tubo rolado, a continuación se muestra el concepto de diseño combinando estos dos procesos:

Venturi Fundición + Tubo rolado

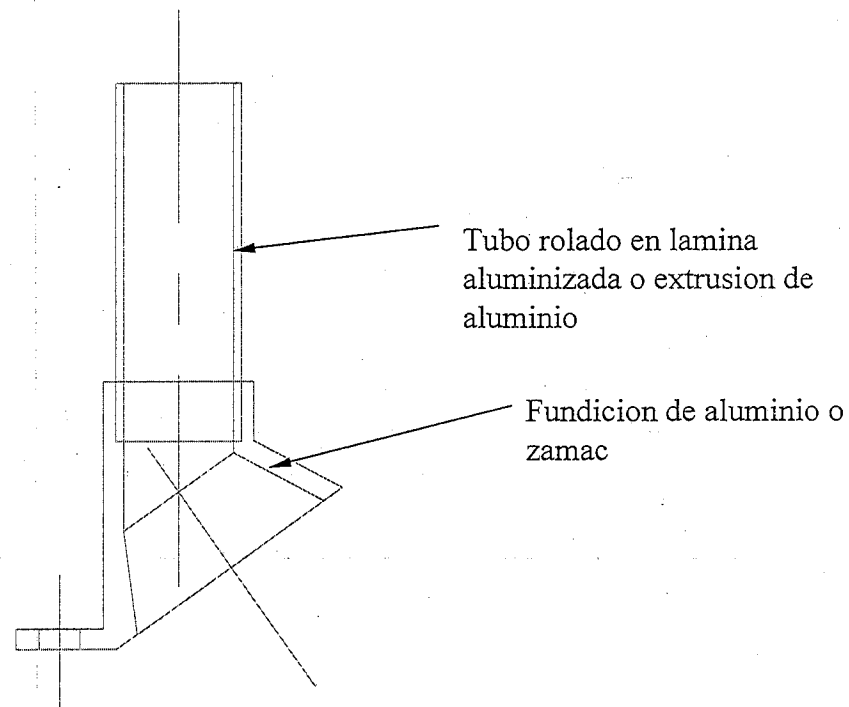


Figura 21. Concepto de venturi fundido.

4.4 Validación:

Dentro de la metodología de diseño para seis sigma, se tiene que cubrir la fase de validación, en donde se pretende demostrar que el desempeño del diseño es aceptable.

Para poder cubrir esta parte se tendría que demostrar que el diseño propuesto es robusto a la variación que generan los procesos de manufactura. Para evitar realizar una inversión de alrededor de 10,000 usd para poder comprar un troquel provisional y así realizar la validación con partes representativas, se realiza esta validación mediante la simulación en Excel, de la variabilidad de los procesos aplicada en un diseño de experimentos en donde se mueve la esprea en las tres direcciones del espacio, nombradas X, Y, Z .

4.5 Objetivo de la fase de validación:

Conocer la sensibilidad de respuesta (AFCO) en función de la posición de la esprea en sus tres ejes para definir las tolerancias del proceso.

4.6 Metodología:

Para poder realizar la validación se tienen que realizar una serie de acciones antes de llegar a la experimentación. A continuación se describen los pasos que se tienen que cubrir para poder realizar la validación de la solución:

- Definición del montaje del dispositivo X,Y,Z en la estufa. (Ver figura 22).
- Analizar las tolerancias del sistema para conocer los límites experimentales en donde se desea probar la respuesta.
- Definición del diseño de experimentos.
- Ejecución del diseño de experimentos.
- Análisis y conclusiones (definición de tolerancias).

4.7 Montaje del Dispositivo X, Y, Z

Se instaló un dispositivo que permite el movimiento de la esprea dentro de los límites obtenidos mediante el análisis de tolerancias; esto con la finalidad de colocar la esprea en las posiciones según se indica en el DOE.

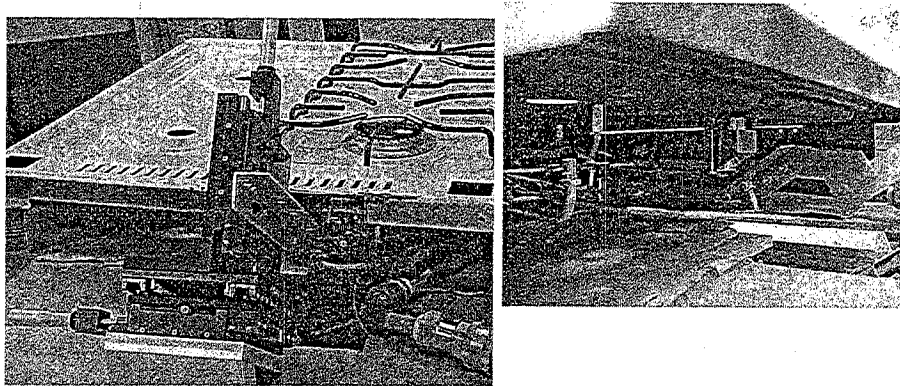


Figura 22. Dispositivo X,Y,Z

4.8 Análisis de tolerancias

A continuación mostramos las ecuaciones que dan la posición de la esprea respecto al venturi, y con ellas podremos más adelante realizar la estimación de la variación total en cada una de las direcciones para poder ejecutar la validación.

Análisis de Tolerancias

•Función de transferencia
en dirección X:

$$\underline{GAP = B - A}$$

$$A = X_5 * \text{coseno}(\alpha) + h_1$$

$$B = \text{seno}(\alpha) * (I_2 - \text{tangente}(\alpha) * (X_4 + X_5)) \\ \frac{X_4 + X_5}{\text{coseno}(\alpha)}$$

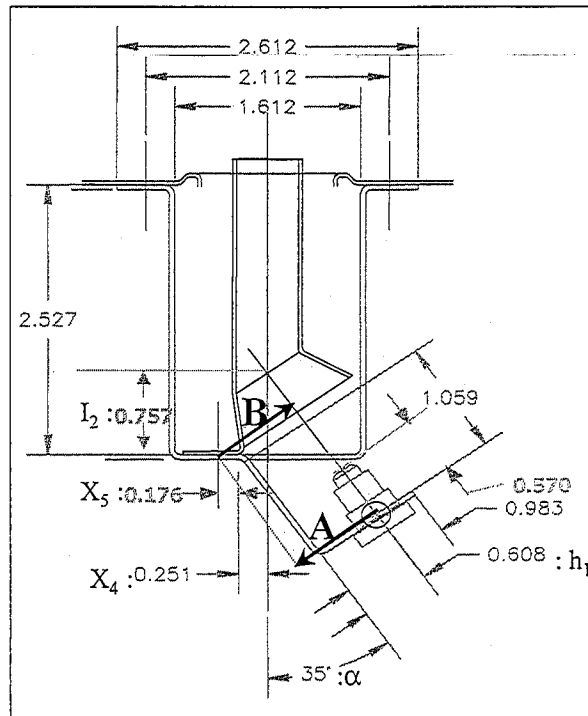


Figura 23

Utilizando trigonometría se obtiene la ecuación que rige el movimiento de la espina en cada una de las tres direcciones. En la figura 23 se obtiene la ecuación del movimiento de la espina en la dirección "X", donde el gap representa el desfase que se puede dar entre la espina y el venturi en esta dirección.

Figura 24

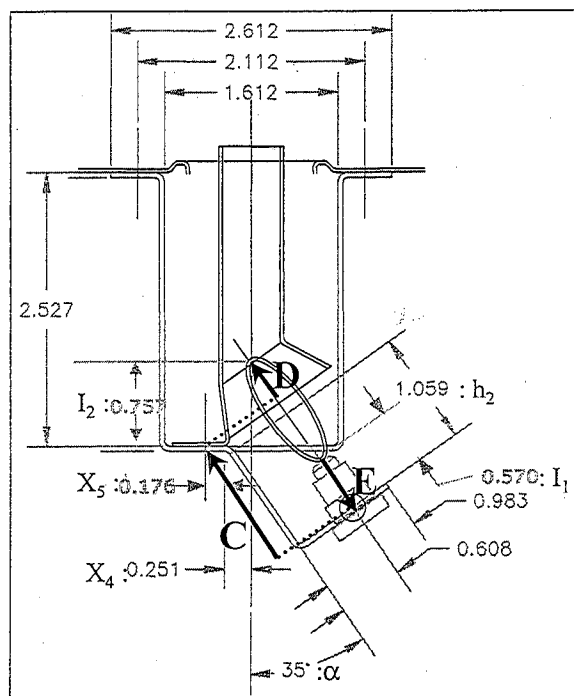
•Función de transferencia
en dirección Y:

$$\underline{GAP = C + D - E}$$

$$C = X_5 * \text{seno}(\alpha) + h_2$$

$$D = \text{coseno}(\alpha) * (I_2 - \text{tangente}(\alpha) * (X_4 + X_5))$$

$$E = I_1$$



Asimismo se obtiene la ecuación que rige el movimiento de la espera en la dirección "Y". En la figura 24 se obtiene la ecuación del movimiento de la esprea en la dirección "Y", donde el gap representa que tan cerca o que tan lejos se encuentra la espreas respecto de la boca del ventura.

- Función de transferencia en Z

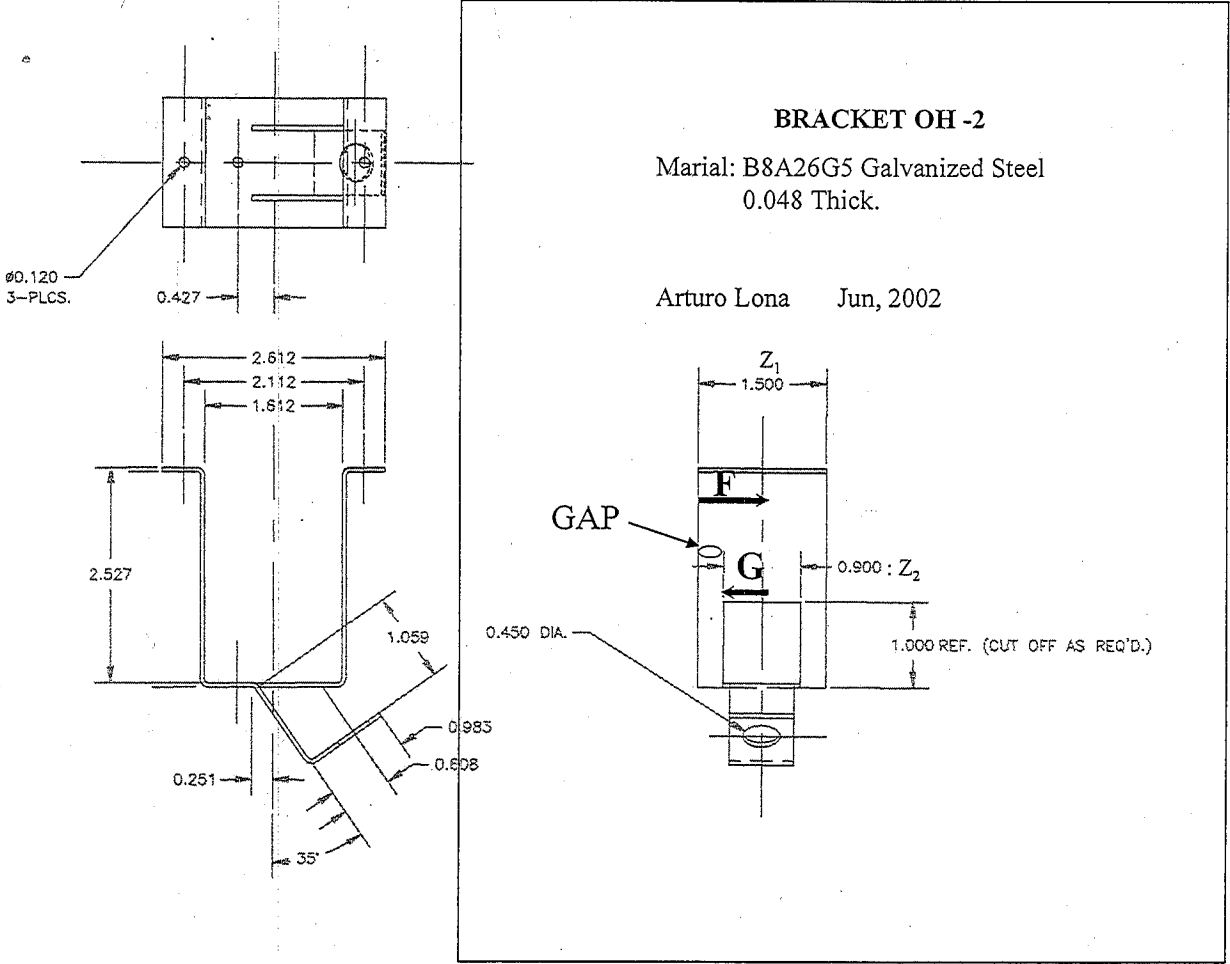


Figura 25

$$\underline{GAP = F - G}$$

$$F = Z_1/2$$

$$G = Z_2/2$$

Asimismo se obtiene la ecuación que rige el movimiento de la espera en la dirección "Z". En la figura 25 se obtiene la ecuación del movimiento de la esprea en la dirección "Z", donde se representa el desfase de la esprea respecto al venturi en esta dirección.

Análisis de tolerancias:

Con la ayuda de las ecuaciones trigonométricas mostradas anteriormente se realiza un análisis de tolerancias para poder estimar los límites 6 sigma en los que debemos de mover la esprea en los 3 ejes coordenados. En este análisis, lo que se hace es que a partir del valor objetivo de la posición de la esprea en las tres direcciones X,Y,Z y con el uso de la desviación estándar de procesos similares, se simula el rango completo en el que el valor de la posición puede llegar a variar en la vida real; para este caso se utilizaron 6 desviaciones estándar hacia un lado y 6 desviaciones estándar hacia el otro, para cubrir todo el rango de la tolerancia en el que la espera pudiera llegar a moverse. En las tablas trece, catorce y quince, se muestran dichos análisis a través de una hoja de Excel en donde se alimenta la ecuación trigonométrica y las capacidades de los procesos similares para obtener como resultado la tolerancia máxima del diseño para cada dirección en la que la espera se puede llegar a mover. Estos límites son los que nos ayudarán a determinar los niveles para el experimento que se pretende desarrollar:

Statistical Design Analysis Spreadsheet

Response Description: _____ Analyst: _____ Date: 28-Aug-02

Analysis Table

Variable Information				Tolerance			Dist. Type Normal or Uniform	% Cont. to σ Response	Sensitivity Coef.	DPU	Z_{LT}
Factor Description	Mean	Short or Long Term	Std Dev	Lower	Upper	% or Actual					
X2	0.757	s	0.0270					28.43%	0.573576436	0.000E+00	N/A
X4	0.251	s	0.0270					57.99%	0.819152044	0.000E+00	N/A
X5	0.176	s	0.0090	0.05535	0.05535	Actual	Normal or	0.00%	7.90757E-16	2.297E-06	4.58
H1	0.698	s	0.0090	0.05535	0.05535	Actual	Normal or	9.60%	-1	2.297E-06	4.58
ALFA	35	s	0.6972	4.287657	4.287657	Actual	Normal or	3.98%	0.008310043	2.297E-06	4.58

Mean Response	4.5E-06
Response Upper Spec Limit	0.16991
Response Lower Spec Limit	-0.1699

Summary Table

Response						Components	
Mean	Std Dev	DPU	Z_{LT}	Worst Case Limits		DPU	Z_{LT}
				Lower	Upper		
4.5E-06	0.0377575	6.901E-06	4.35	-0.26019	0.090985	6.890E-06	4.69

Rev: GEA 9/1/98 B.Mallory
© Dr. Maurice L. Berryman, 1996. All rights reserved.

Limites en 6S para los niveles del DOE

Tabla 13. Análisis de tolerancias dirección X

Tabla14. Análisis de tolerancias dirección Y

Statistical Design Analysis Spreadsheet

Response Description: _____ Analyst: _____ Date: 28-Aug-02

Analysis Table

Variable Information				Tolerance			Dist. Type Normal or Uniform	% Cont. to σ Response	Sensitivity Coef.	DPU	Z_{LT}
Factor Description	Mean	Short or Long Term	Std Dev	Lower	Upper	% or Actual					
I1	0.57	S	0.0050				2.79%	-1	0.000E+00	N/A	
I2	0.757	S	0.0270				54.62%	0.819152044	0.000E+00	N/A	
X4	0.251	s	0.0270				26.78%	-0.573576436	0.000E+00	N/A	
X5	0.176	s	0.0090	0.05535	0.05535	Actual	Normal or	0.00%	-1.58151E-15	2.297E-06	4.58
H2	1.059	s	0.0090				9.04%	1	0.000E+00	N/A	
ALFA	35	s	0.5972	4.287657	4.287657	Actual	Normal or	6.77%	-0.011166696	2.297E-06	4.58

Mean Response → 0.96513
 Response Upper Spec Limit 1.1402
 Response Lower Spec Limit 0.79006

Summary Table							
Response				Components			
Mean	Std Dev	DPU	Z_{LT}	Worst Case Limits		DPU	Z_{LT}
				Lower	Upper		
0.96513	0.0389048	6.901E-06	4.35	0.685035	1.013009	4.593E-06	4.81

Rev: GEA 9/1/98 B.Mallory
 © Dr. Maurice L. Berryman, 1996. All rights reserved.

Limites en 6S para los niveles del DOE

Tabla 15. Análisis de tolerancias en la dirección Z

Statistical Design Analysis Spreadsheet

Response Description: _____ Analyst: _____ Date: 28-Aug-02

Analysis Table

Variable Information				Tolerance			Dist. Type Normal or Uniform	% Cont. to σ Response	Sensitivity Coef.	DPU	Z_{LT}
Factor Description	Mean	Short or Long Term	Std Dev	Lower	Upper	% or Actual					
E	0.75	S	0.0100				100.00%	1	0.000E+00	N/A	
	0.75										

Mean Response → 0
 Response Upper Spec Limit 0.0585
 Response Lower Spec Limit -0.0585

Summary Table							
Response				Components			
Mean	Std Dev	DPU	Z_{LT}	Worst Case Limits		DPU	Z_{LT}
				Lower	Upper		
0	0.013	6.901E-06	4.35	-0.045	0	0.000E+00	

Rev: GEA 9/1/98 B.Mallory
 © Dr. Maurice L. Berryman, 1996. All rights reserved.

Limites en 6S para los niveles del DOE

4.9 Diseño de experimentos de confirmación:

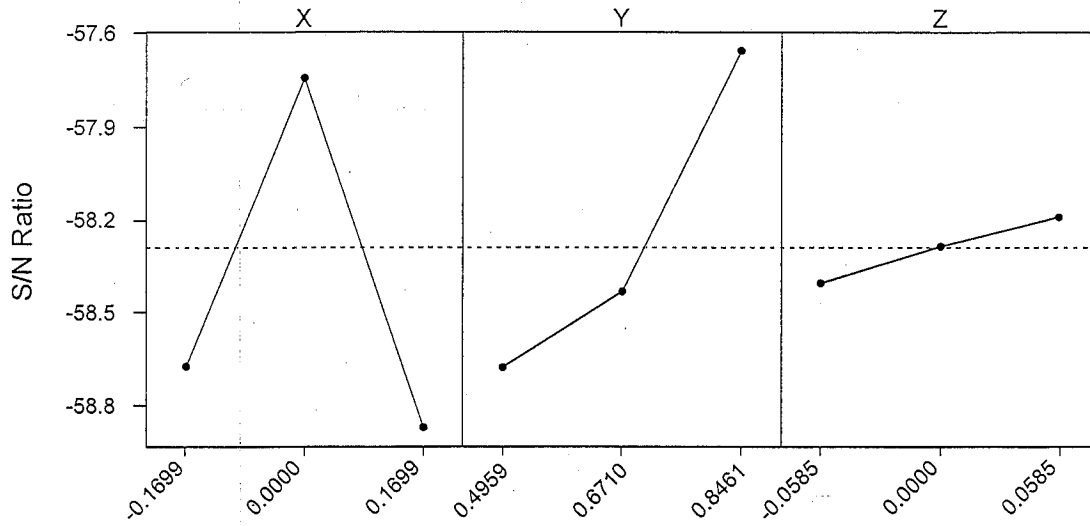
Teniendo los niveles de los 3 ejes coordinados en los que se predice pudiera llegar a variar la posición de la esprea, respecto del venturi, se construye un diseño Box-Benken mostrado en la tabla 16, para poder movernos en los tres ejes coordinados, a continuación se muestra la tabla con el planteamiento experimental y los resultados del diseño de experimentos realizado para demostrar la factibilidad del diseño. Cabe mencionar que se le agregaron variables de ruido al diseño para demostrar lo robusto que es a las condiciones que en el campo se pueden llegar a presentar en cuanto a la presión de gas de la línea de alimentación y el tipo de gas, que puede llegar a variar de acuerdo a la mezcla de gas propano y butano en el gas LP. Se sabe que la condición más severa de operación se da cuando se tienen presiones bajas en la línea de gas y además una alta concentración en el contenido de gas butano en los tanques a alimentación a la estufa.

Posición	"+ baja" X	"+ se aleja" VARIABLE Y	"+ izquierda" Z	RUIDO				Promedio	Razón Señal a Ruido S/N	Desvest
				Corrida 1	Corrida 4	Corrida 2	Corrida 3			
				Butano Reducida	Butano Incrementada	LP Reducida	LP Incrementada			
1*	0.0000	0.6710	0.0000	1054	824	689	505	768	-57.991308	228.305
2	-0.1699	0.6710	-0.0585	1082	757	752	654	811	-58.3533983	253.989
3	0.0000	0.8461	0.0585	893	690	598	410	648	-56.5320855	226.669
4	-0.1699	0.8461	0.0000	1267	662	873	510	828	-58.8419455	225.602
5	-0.1699	0.6710	0.0585	1281	793	830	647	888	-59.2641965	232.563
6*	0.0000	0.6710	0.0000	1025	717	740	480	740	-57.676417	249.1
7	0.1699	0.6710	-0.0585	1373	758	893	586	902	-59.5411358	288.357
8	0.1699	0.4959	0.0000	1318	836	891	662	927	-59.6245927	274.665
9	0.1699	0.8461	0.0000	1024	810	629	591	763	-57.8693065	231.153
10	0.0000	0.4959	0.0585	1152	756	803	546	814	-58.5155217	265.305
11	0.0000	0.4959	-0.0585	1157	630	798	598	796	-58.3422337	209.499
12	0.0000	0.8461	-0.0585	1029	652	651	528	715	-57.3784275	162.376
13	-0.1699	0.4959	0.0000	1057	788	794	536	794	-58.220596	189.437
14*	0.0000	0.6710	0.0000	1077	707	700	480	741	-57.747404	233.758
15	0.1699	0.6710	0.0585	1131	746	737	645	814	-58.4403663	219.111

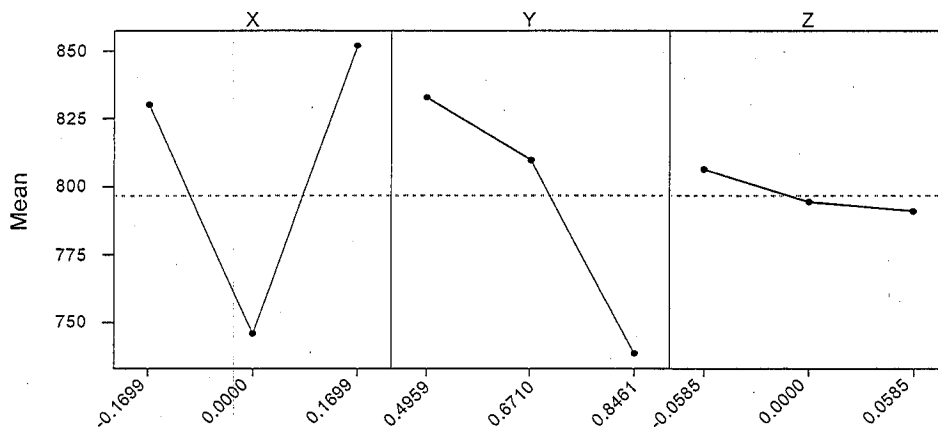
Tabla 16. Diseño de experimentos de confirmación.

4.10 Análisis de la validación:

Main Effects Plot for S/N Ratios



Main Effects Plot for Means



A partir del análisis sobre la señal de ruido y la media, se observa que la combinación que favorece a la respuesta ocurre en el centro de la variable X, en el nivel alto de la variable Y y aunque la variable Z no parece ser significativa, la mejor señal se obtuvo en el nivel alto de esta variable. A continuación se generarán las Anovas para la respuesta media, la señal de ruido y la desviación estándar ya después de haber eliminado los términos que no fueron significativos ,para conocer la explicación que tienen estas variables a la respuesta.

Response Surface Regression

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for MEAN1

Term	Coef	StDev	T	P
Constant	746.04	9.224	80.883	0.000
X	10.84	8.628	1.257	0.249
Y	-47.03	8.628	-5.451	0.001
Z	-7.50	8.628	-0.869	0.414
X*X	95.00	12.630	7.521	0.000
X*Y	-49.37	12.202	-4.047	0.005
X*Z	-41.06	12.202	-3.365	0.012
Y*Z	-21.44	12.202	-1.757	0.122

S = 24.40 R-Sq = 94.5% R-Sq(adj) = 88.9%

Analysis of Variance for MEAN1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	7	71110.7	71110.7	10158.7	17.06	0.001
Linear	3	19086.2	19086.2	6362.1	10.68	0.005
Square	1	33690.2	33690.2	33690.2	56.57	0.000
Interaction	3	18334.3	18334.3	6111.4	10.26	0.006
Residual Error	7	4168.7	4168.7	595.5		
Lack-of-Fit	5	3673.5	3673.5	734.7	2.97	0.271
Pure Error	2	495.2	495.2	247.6		
Total	14	75279.4				

Unusual Observations for MEAN1

Observation	MEAN1	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid
13	793.750	827.844	19.293	-34.094	-2.28R

R denotes an observation with a large standardized residual

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for SNRA1

Term	Coef	StDev	T	P
------	------	-------	---	---

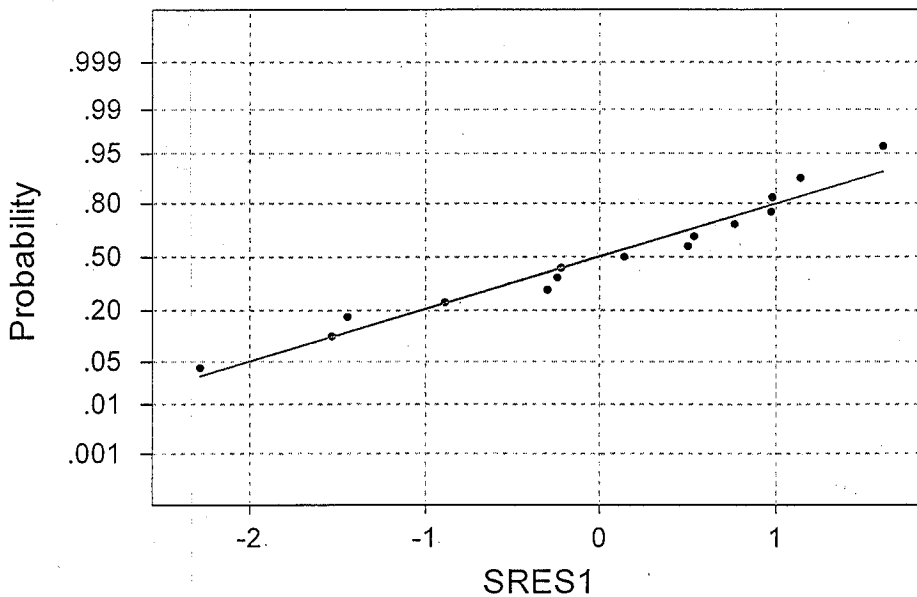
Constant	-57.74	0.1158	-498.731	0.000
X	-0.10	0.1083	-0.920	0.388
Y	0.51	0.1083	4.708	0.002
Z	0.11	0.1083	-0.992	0.354
X*X	-1.03	0.1585	-6.502	0.000
X*Y	0.59	0.1532	3.880	0.006
X*Z	0.50	0.1532	3.286	0.013
Y*Z	0.26	0.1532	1.666	0.140

S = 0.3063 R-Sq = 93.1% R-Sq(adj) = 86.3%

Analysis of Variance for SNRA1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	7	8.90375	8.90375	1.27196	13.56	0.001
Linear	3	2.25145	2.25145	0.75048	8.00	0.012
Square	1	3.96656	3.96656	3.96656	42.28	0.000
Interaction	3	2.68574	2.68574	0.89525	9.54	0.007
Residual Error	7	0.65677	0.65677	0.09382		
Lack-of-Fit	5	0.60148	0.60148	0.12030	4.35	0.197
Pure Error	2	0.05529	0.05529	0.02765		
Total	14	9.56052				

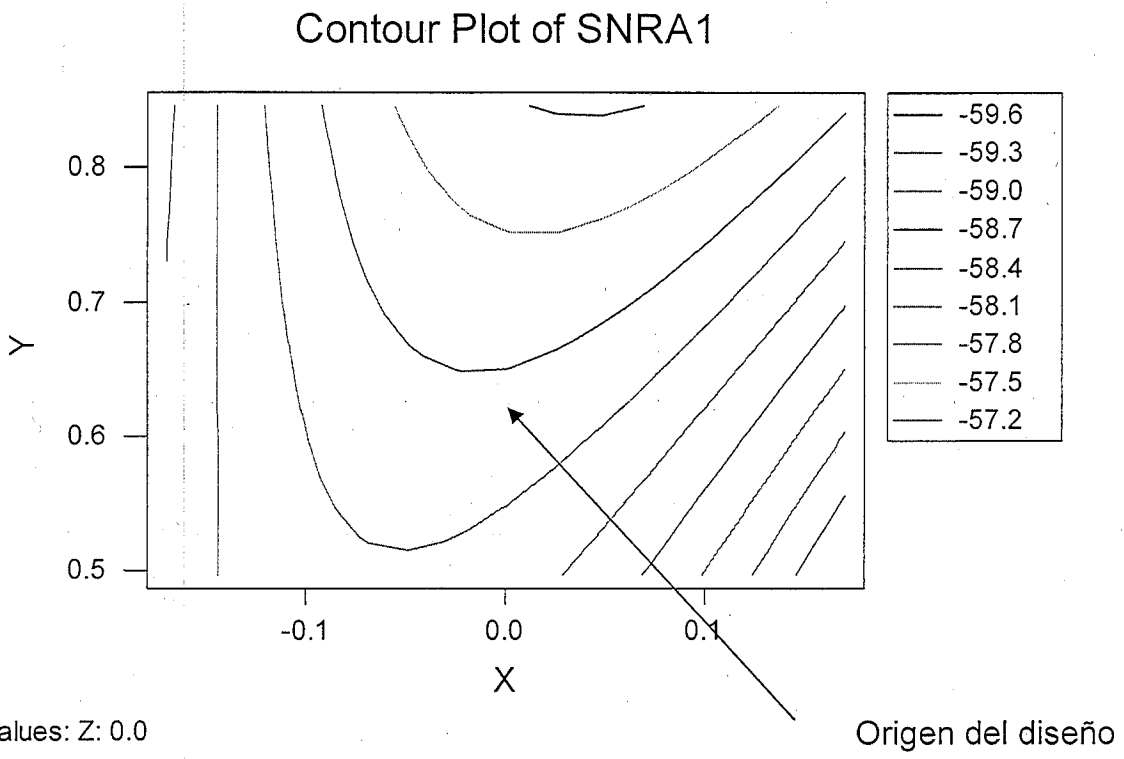
Normal Probability Plot

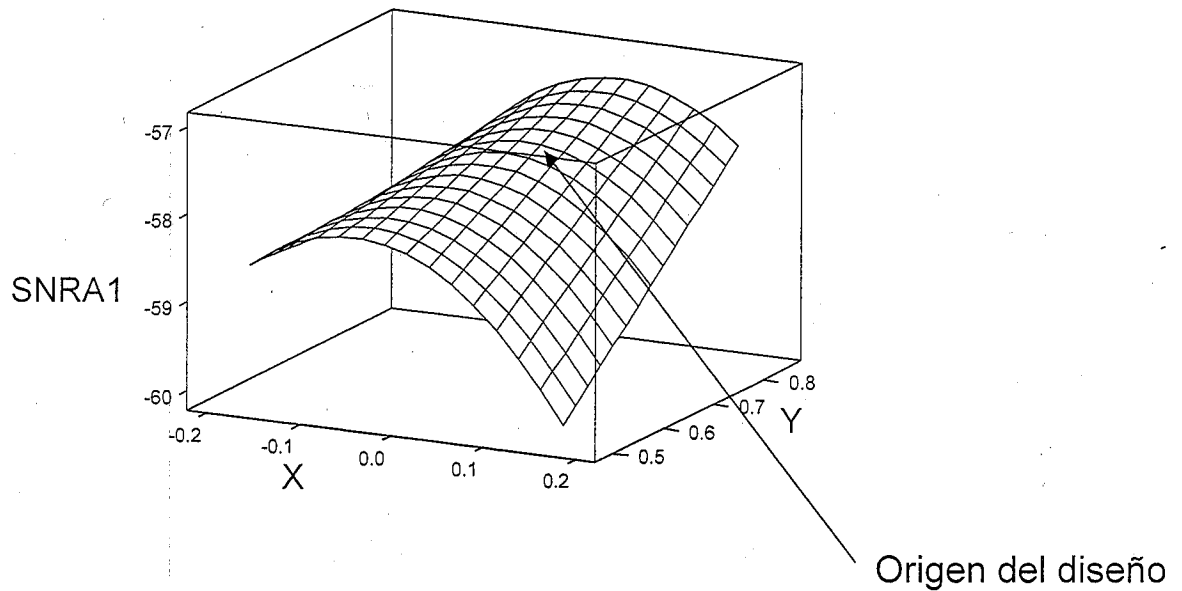


Average: -0.0184625
 StDev: 1.11893
 N: 15

Anderson-Darling Normality Test
 A-Squared: 0.323
 P-Value: 0.492

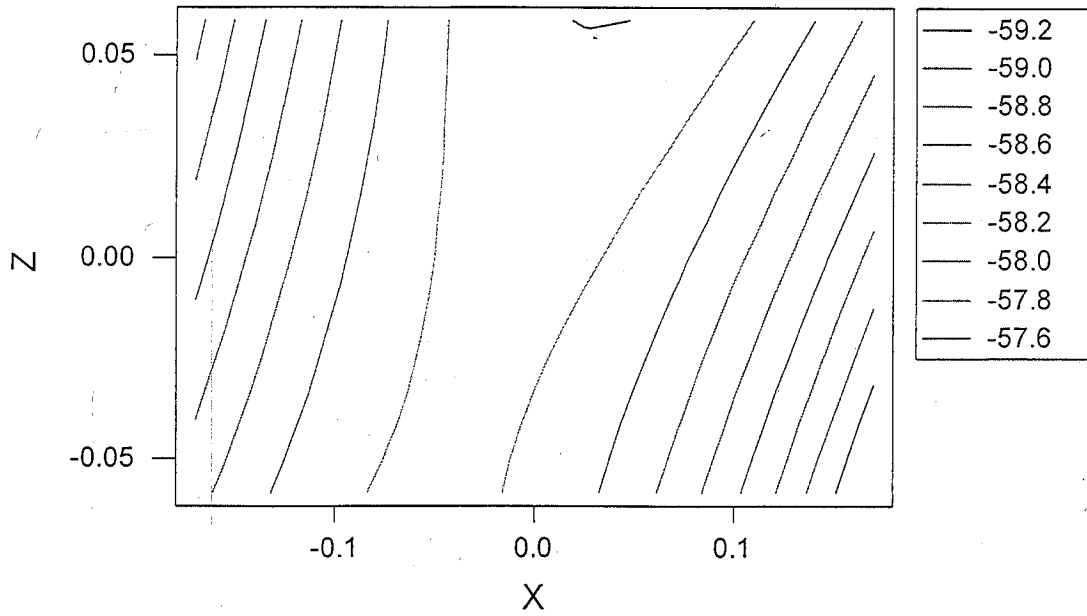
Los residuales en el modelo se comportan como una distribución normal por lo que el supuesto se cumple para los residuales. En las ANOVAS resultantes para la media y la señal de ruido se observa una explicación de arriba del 80% sobre la respuesta. Los efectos de la variable X y Z no son significativos, sin embargo estos efectos son significativos en su forma cuadrática y en la interacción con otras variables. A continuación se presentan algunas gráficas de contorno sobre la señal a ruido para identificar la zona en la que mejores resultados se obtuvieron:



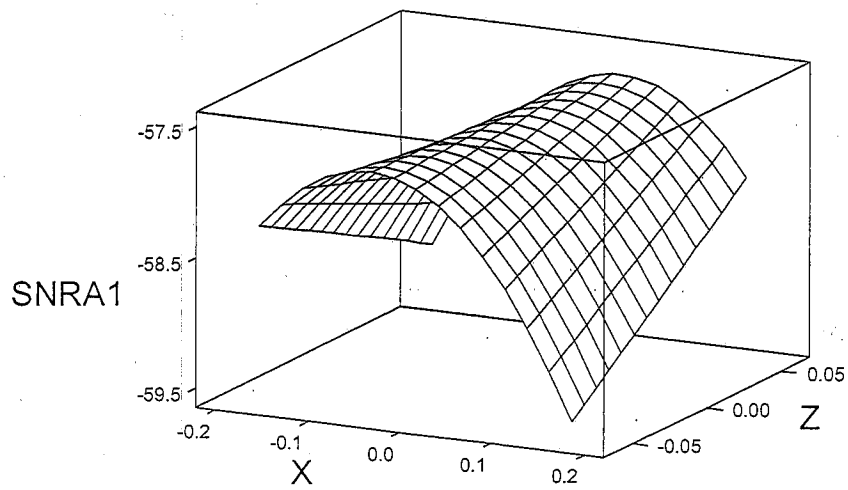


En la gráfica de contorno y en la gráfica de superficie, de las variables "X" vs "Y" de la señal a ruido, se demuestra que el origen es un buen punto desde el punto de vista de diseño para colocar la espesa, ya que los valores de la señal si son robustos al tipo de gas y la presión de entrada. Al mover la variable "Y" hacia el nivel máximo es en donde se optimiza la respuesta, sin embargo no resulta tan práctico el moverse hacia esa región experimental.

Contour Plot of SNRA1



Hold values: Y: 0.671

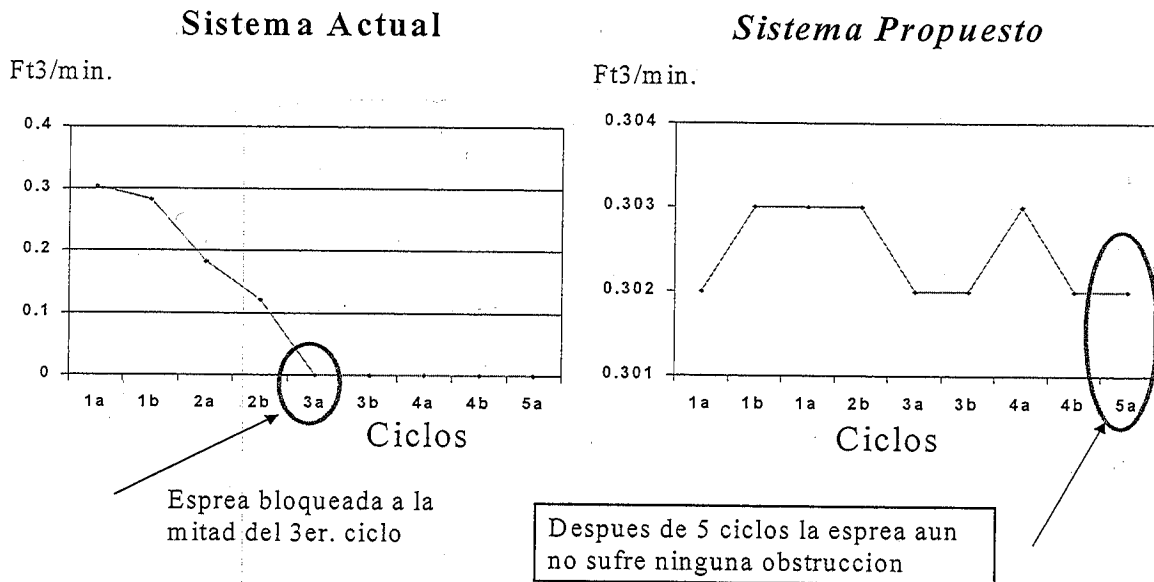


En las gráficas de contorno y de superficie para la respuesta nuevamente se demuestra que el colocar la espuma en el origen es una buena opción para soportar la variación en la presión de gas y el tipo de gas, ya que se obtienen valores en la señal de ruido favorables.

Capitulo 5: Conclusiones

5.1 Prueba de derrames:

Pruebas de derrame de sólidos según la ETP



Conclusión de la prueba de derrames:

Estas gráficas muestran que la solución efectiva en términos de los derrames las gráficas están comparando el diseño actual con el propuesta, a través de la medición de flujo en el tiempo (ciclos de derrames), se demuestra que la propuesta de diseño eliminaría la obstrucción de la esprea debido a los derrames.

5.2 Conclusiones generales del proyecto:

- Mediante el uso de las herramientas de 6 Sigma, al conocimiento del producto y de los procesos de los integrantes del equipo, ha sido posible llegar a un concepto que resuelve el problema de espreas obstruidas por derrames de sólidos a través de la cubierta.
- Los aspectos de facilidad de acceso para servicio y costo de materiales, también se cumplen.
- Los ahorros por llamadas de servicio y ahorro de materiales, permiten una pronta recuperación de la inversión.
El costo de la no-calidad, no esta cuantificado, pero es importante mencionar que esta implícito en los beneficios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar (2003)
"Análisis y diseño de experimentos". Mc Graw Hill
- Eduardo Castaño Tostado y Jorge Domínguez Domínguez(2001)
"Diseño de experimentos para el desarrollo tecnológico y mejora industria". Jit Press.
- C.M. Creveling, J.L. Slutsky y D Antis, Jr
"Design for Six Sigma in technology and product development"