



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencia de la
Producción

**“DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL CONTROL
OPERATIVO DE UN HORNO PARA FUNDICIÓN DE VIDRIO”**

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Carlos Eduardo Aguilar Pesantes

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a Ing. Jorge Duque director de tesis, por su invaluable ayuda

DEDICATORIA

A MIS HIJAS

A MI ESPOSA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Jorge Duque R.
DIRECTOR DE TESIS



Dr. Kléber Barcia V.
VOCAL

DECLARATORIA EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Carlos Eduardo Aguilar Pesantes

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el Diseño de un Modelo Matemático para el Control Operativo de un Horno de Producción de Vidrio, buscando la Optimización del consumo de combustible y un incremento de la capacidad de extracción del horno.

El Horno a optimizar, fue construido en Marzo de 1996 y en la actualidad tiene ciertos problemas de operación. El problema comenzó a finales del 2005, cuando el Regenerador izquierdo colapsó y el intercambio calorífico de dicho regenerador empezó a disminuir, lo que implicaba incrementar el consumo de energía. Adicionalmente, la corona del horno está en un 35% sin el aislante respectivo como consecuencia de los agujeros que se han presentado.

El modelo determina la cantidad de combustible requerida para la operación diaria, considerando como parámetros principales el Pull (Cantidad de vidrio que sale del horno en 24 horas de operación), porcentaje de casco (cantidad

de vidrio reciclado que se utiliza como parte de materia prima) y el color del vidrio que se está produciendo. Además el modelo calcula la cantidad de energía que se requiere para el funcionamiento del horno en MJ/Ton y los parámetros de operación como son temperatura óptica de la cámara del horno, la temperatura de precalentamiento de combustible, el porcentaje de humedad de la mezcla antes de entrar al horno y el porcentaje de exceso de oxígeno que debe de tener los gases de combustión que sale de la chimenea.

Una vez concluido el proyecto y con las mejoras hechas se observó adicionalmente a la disminución del consumo de combustible, un incremento del 6% del total de toneladas extraídas.

La implementación de las herramientas Lean Six Sigma utilizadas para el desarrollo de la presente tesis nos demuestran que esta metodología no solo se relaciona con la rama de control de calidad sino que puede desarrollarse varios modelos matemáticos que determinen el comportamiento de diferentes procesos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
0.1 Proceso de Fundición de vidrio.....	1
0.1.1 El Vidrio.....	1
0.1.2. Planta de Mezcla.....	3
0.1.3 Horno de Fundición.....	4
0.2 Acondicionamiento en los alimentadores y máquinas de formación...4	
0.3 Descripción del proceso de fabricación de envases de vidrio.....6	6
 CAPITULO 1	
1. OPERACIÓN DE HORNOS	
REGENERATIVOS.....	9
1.1. Materia Prima para el proceso de fabricación de Vidrio.....	9
1.2. Sistema de Control.....	11

1.3. Consumo de Energía en un Horno Regenerativo.....	13
---	----

CAPITULO 2

2. HERRAMIENTAS LEAN SIX SIGMA.....	16
2.1. Historia de Lean y Six Sigma.....	16
2.2. Lanzamiento de un proyecto DMAIC.....	19
2.3. Herramientas DMAIC utilizadas.....	20

CAPITULO 3

3. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE VIDRIO.....	32
3.1. Análisis de Pérdidas de Energía.....	32
3.2. Análisis de Parámetros Operativos.....	35
3.3. Optimización del Proceso.....	43

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
--------------------------------	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

SIMBOLOGÍA

LSS	Lean Six Sigma, es una metodología que utiliza herramientas estadísticas para control de procesos y disminuir desperdicios.
BB	Black Belt, es la persona entrenada en la metodología Lean Six Sigma para desarrollar proyectos.
CPk	Capacidad de proceso, mide la relación existente entre la media del proceso y su distancia al límite de especificación. Es el índice utilizado para saber si el proceso se ajusta a la tolerancia.
Cp	La tasa de variación total permitida por la especificación para la variación total realmente medida del proceso.
DMAIC	Pasos de la metodología Six Sigma por sus siglas Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar.
Pull	Es la cantidad de vidrio que sale de la máquina en 24 horas.
SIPOC	Cuadro por siglas en inglés Proveedor, Input, Proceso, Output, Cliente
I-MR	Son cuadros de control que grafican valores individuales y los rangos de operación
UCL	Límite de Control Superior

LCL	Límite de Control Inferior
X	Promedio
PPM	Partes por millón
Best Subset	Mejores Subconjuntos
MJ/Ton.	Mega joule por tonelada
PTM	Relación entre las unidades empacadas sobre las unidades fundidas.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 0.1 Vista de distribución de temperaturas correctas en un alimentador.....	5
Figura 0.2 Máquina formadora de envases	7
Figura 1.1 Sistema MCS para control del horno regenerativo.....	12
Figura 1.2 Horno regenerativo tipo endport	13
Figura 2.1 Diagrama de tareas fase Definir LSS	21
Figura 2.2 Diagrama de tareas fase Medir LSS.....	23
Figura 2.3 Diagrama de tareas fase Analizar LSS.....	26
Figura 2.4 Diagrama de tareas fase Mejorar o Implementar LSS.....	30
Figura 2.5 Diagrama de tareas fase Controlar.....	31
Figura 3.1 Corona de horno regenerativo.....	33
Figura 3.2 Cuadro de SIPOC.....	34
Figura 3.3 Carta de Control MJ/Ton diario.....	36
Figura 3.4 Capacidad del Proceso MJ/Ton diario.....	37
Figura 3.5 Mapa de flujo del proceso de fundición.....	37
Figura 3.6 Diagrama de Ishikawua.....	38
Figura 3.7 Matrix Plot de variables de operación del horno.....	40
Figura 3.8 Precalentador de bunker.....	44
Figura 3.9 Seteo temperatura del bunker.....	44

Figura 3.10	Corona o techo del horno antes	45
Figura 3.11	Corona después de mejoras.....	45
Figura 3.12	Área de quemadores antes de mejoras.....	46
Figura 3.13	Área de quemadores después de mejoras.....	46
Figura 3.14	Área de quemadores después de mejoras.....	46
Figura 3.15	Anillo Sellador.....	47
Figura 3.16	Ensamble Anillo – Quemador.....	47
Figura 3.17	Hoja de Control para determinar el combustible.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Composición del Vidrio.....10
Tabla 2	Índice de Transmisibilidad del vidrio.....11
Tabla 3	Voz del Cliente.....33
Tabla 4	Correlaciones de variables.....41
Tabla 5	Best Subset o Mejores Subconjuntos..... 42
Tabla 6	Consumo de Combustible 200855
Tabla 7	Consumo de Combustible 200955
Tabla 8	Sello protector de quemador para evitar pérdida de calor en el horno.....64
Tabla 9	Sello protector de quemador para evitar pérdida de calor en el horno.....65

INTRODUCCIÓN

0.1 PROCESO DE FUNDICIÓN DEL VIDRIO

0.1.1 El vidrio

La manufactura de envases de vidrio se efectúa mediante la fusión de diferentes materiales, pero principalmente de arena con alto contenido de sílice. Dependiendo de los compuestos usados se obtienen los diferentes colores disponibles en el mercado, ya sean flint, ámbar o verde. Las materias primas ingresan en forma de polvo fino y además se agrega casco, que es vidrio reciclado para bajar los costos.

En un vidrio, la deformación ocurre como un flujo viscoso isotrópico. Grupo de átomos, se mueven unos sobre otros como respuesta al esfuerzo, permitiendo la deformación. La resistencia a un esfuerzo aplicado es aportada por la atracción entre estos grupos de átomos. Esta resistencia se relaciona con la viscosidad η del vidrio, la que a su vez depende de la temperatura.

Conforme aumenta la temperatura, disminuye la viscosidad, el flujo viscoso es más fácil y el vidrio se conforma más fácilmente. La energía de activación E_a se relaciona con la facilidad que los grupos de átomos tienen para moverse unos sobre otros. La adición de modificadores, como el Na_2O , rompe la estructura reticular, permite que los grupos de átomos se muevan más fácilmente, reduce la E_a y reduce la viscosidad del vidrio.

La adición de otros óxidos a la sílice actúa como fundentes y reduce la temperatura liquidus del material cerámico. El más poderoso es la soda, Na_2O , la cual reduce la temperatura de fusión de $1720\text{ }^\circ\text{C}$ a $800\text{ }^\circ\text{C}$ en la composición eutéctica.

En las condiciones actuales del horno, tiene un consumo de energía muy elevado y con variación de temperatura. Se requiere diseñar un modelo matemático aplicando regresión estadística que nos dé el comportamiento del horno y los parámetros con los que se debe trabajar además de las pérdidas que se presentan por el deterioro de la corona.

0.1.2.-Planta de Mezcla

En esta área se prepara la mezcla que va a ingresar al horno. Aquí existen los silos de arena, caliza, soda, casco y feldespató. En un nivel inferior al de los silos está la mezcladora que procede a unir todos los materiales, con su correcta composición. Esta mezcla se la realiza mediante un sistema de control, debido a que los errores en ésta pueden dar defectos en los envases, como son las denominadas cuerdas, que no son más que vidrio con mala composición. Las cuerdas, producen esfuerzos internos en el vidrio, lo que puede finalmente ocasionar roturas en los envases. Desde la mezcladora, el material es transportado al silo que se encuentra en la parte superior del horno, el cual es alimentado por cargas (batch) que ingresan constantemente dependiendo de la extracción o pull (Peso de los envases que se esté fabricando en toneladas por velocidad de las máquinas en bpm por 1440 min. que tiene un día de producción). Estas cargas o batches tiene diferente composición dependiendo del color del vidrio. (Esto será revisado en el capítulo 1.1 de Materia Prima para el proceso de fabricación de vidrio)

0.1.3.- Horno de Vidrio

Existen varias técnicas de fundición dependiendo de las características del vidrio que se fabrique. Uno de los hornos utilizados en la industria de envases de vidrio son los Regenerativos. Estos utilizan los gases de la combustión para calentar el regenerador y después transferir esta energía que queda en los refractarios al aire de combustión. Los quemadores se colocan en las lumbreras de los gases de escape. La energía de los gases de escape se utiliza para precalentar el aire antes de la combustión, haciendo pasar los gases por una cámara revestida de material refractario, que absorbe el calor.

0.2 Acondicionamiento en los alimentadores y máquinas formadoras de envases.

Los alimentadores son canales utilizados para regular la temperatura del vidrio que sale del refinador y llevarlo a la temperatura adecuada para cada envase que se está produciendo. La principal función del alimentador es entregar un vidrio homogéneo y a la temperatura requerida.

Los alimentadores están divididos por zonas, en cada una de las cuales el vidrio es preparado térmicamente para producir sin defectos los diferentes envases. Las zonas son la Alcoba, zona de Atrás, zona Media y zona Frontal

La Zona Frontal es la que finalmente entrega el vidrio a la máquina, esta zona también es llamada de Acondicionamiento de Vidrio.

El sistema de enfriamiento es muy importante en los Refinadores y Alimentadores para un buen acondicionamiento de vidrio. (ver Fig. 0.1)

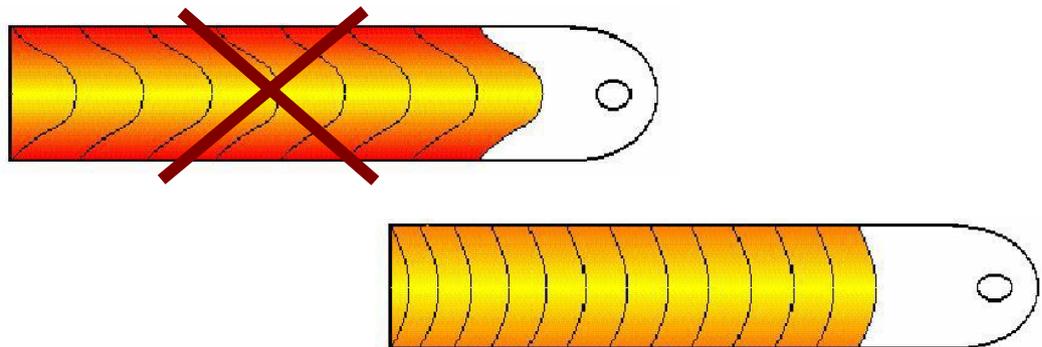


Fig.0.1 Vista de la temperatura correcta en un Alimentador

El Vidrio que sale del alimentador es cortado mediante un sistema de tijeras y entregado a la máquina a través de una serie de canales. Las máquinas de formación son neumáticas y tienen varios procesos

Soplo & Soplo, Prensa & Soplo y NNPB (Por sus siglas en inglés de Narrow Neck Press and Blow). La formación del envase se la realiza en dos etapas, la primera en el premolde y la segunda en el molde final. En el premolde, se fabrica el terminado (pico) del envase y es la etapa donde se garantiza la distribución de paredes en los envases. La segunda etapa es donde se le dá la forma final al envase.

0.3 Descripción del proceso de fabricación de envases de vidrio

Las máquinas formadoras de envases están divididas en secciones y existen desde 6 hasta 12 secciones (Ver Fig. 0.2). A mayor número de secciones, mayor es la velocidad de las máquinas. Existen máquinas que pueden correr hasta 350 botellas por minuto.

Una vez que la gota cae dentro del premolde, la aguja o macho sube y forma el terminado del envase y luego forma la distribución de vidrio que van a tener las paredes. Una vez formada la vela o parison, el premolde se abre y mediante un mecanismo de inversión, es trasladado al lado del molde.

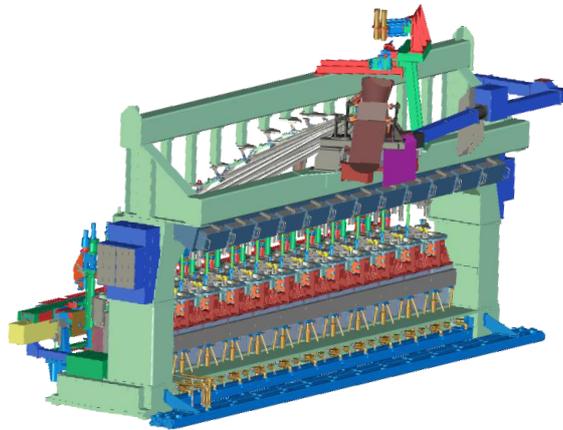


Fig.0.2 Vista de una maquina formadora de envases IS

Al ser entregado el parison al molde, este se cierra y baja la cabeza sopladora formando el envase. Una vez terminado este proceso, sale la cabeza sopladora y se abre el molde, el mecanismo de pinza se encarga de coger el envase y llevarlo al transportador para luego entrar al archa de recocido y aliviar las tensiones que se crean en el envase.

Los envases pasan por un control de calidad, donde se realizan una serie de pruebas de resistencia y son inspeccionados uno a uno en máquinas de inspección automática. Posteriormente son llevados a las

paletizadoras donde se forman las paletas con diferentes arreglos dependiendo del envase y el cliente.

Dentro de todo este proceso descrito, la empresa fabricante de envases de vidrio está buscando la oportunidad para disminuir el consumo de energía. Debido a esto se desarrolló el proyecto de reducción de consumo de combustible en el horno buscando desarrollar un modelo matemático que determine el comportamiento más óptimo para la operación del horno en sus diferentes colores.

En la presente Tesis va a encontrar el desarrollo del modelo utilizando las herramientas Six Sigma, buscando mejorar el proceso actual y mediante el modelo, disminuir el consumo de combustible. Las herramientas se enfocan en la obtención de la causa de los problemas determinando la causa de variación de los procesos. Mediante regresiones obtendremos los modelos necesarios para nuestro proceso.

CAPITULO 1

1. OPERACIÓN DE HORNOS REGENERATIVOS

Los hornos regenerativos están compuestos por 2 torres por las que ingresa el aire y salen los gases combustionados. Este proceso se realiza en dos etapas y con cambios de un regenerador al otro, cada 30 minutos. Se analizará en detalle en el capítulo 1.3

1.1 Materia Prima para el proceso de fabricación de Vidrio

La materia prima utilizada para la fabricación de envases de vidrio tiene como elemento base la arena con alto contenido de sílice. Este tipo de arena en el país se la puede encontrar únicamente en las provincias fronterizas de Loja y Zamora, de donde viene para su

procesamiento. Dependiendo del color, la composición del vidrio varía.
(Ver Tablas 1)

TABLA 1
Composición del Vidrio

Material	Porcentaje Vidrio Flint	Porcentaje Vidrio Ambar	Porcentaje Vidrio Verde
Arena Silica	40	43	25
Caliza	15	10	7
Soda Ash	14	11	8
Feldespatos	7	5	3
Componentes menores *	1	1	1
Casco	23	30	56

* Los componentes menores para vidrio Flint son el Sulfato de Sodio, Selenio y Carbón

* Los componentes menores para el vidrio ámbar son el Sulfato de Sodio, Escoria de hierro, Pirita de Hierro y Carbón.

* Los componentes menores para el vidrio verde son el Sulfato de Sodio, Escoria de hierro, Pirita de Hierro y Carbón.

Los porcentajes de materia prima difieren en la medida que se utilice más o menos casco. La importancia del abastecimiento del vidrio reciclado en las fábricas de producción de vidrio radica en la disminución de la temperatura de fundición de la materia prima, lo que implica menos energía. Se requiere de menos combustible para fundir el vidrio ya procesado que fundir materia prima virgen. La única fábrica de vidrio que tiene el Ecuador tiene un consumo de 1.000 toneladas mensuales de Casco.

El porcentaje de utilización de Casco como materia prima, tiene una gran influencia en un índice de Transmisibilidad del vidrio o Transmitancia (Ver tabla 2). Este índice determina la cantidad de luz que puede pasar a través del vidrio y está dada en nanómetros. Esta varía dependiendo del color del vidrio, es así que para el Vidrio Flint debe de ser entre 50 hasta el 60. Utilizando más casco como materia prima, puede originar que este índice baje y le dé un tono verdoso en la apariencia del vidrio.

TABLA 2

Índice de Transmisibilidad del Vidrio	
VIDRIO	ÍNDICE (en nanómetros)
FLINT	50 – 60
VERDE	20 - 30
AMBAR	15 – 25

1.2 Sistema de Control

El sistema de Control para el horno en estudio es el MCS por sus siglas en inglés de Melting Control System o Sistema de Control de Fundición. El MCS, muestra las temperaturas en las diferentes zonas, presiones, nivel de vidrio, toneladas de vidrio que se extraen del horno y cantidad de combustible que se utiliza. (Ver Fig. 1.1). En la figura se muestra la cámara del horno en color café y los regeneradores en color verde y azul.

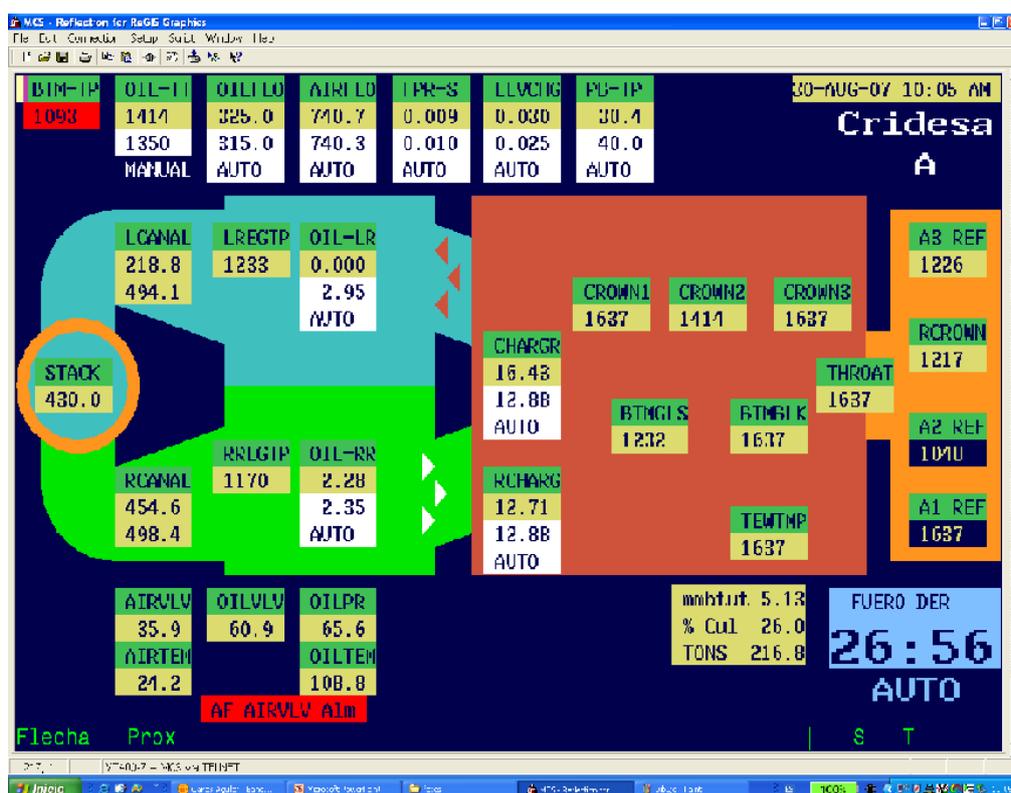


Fig.1.1 Sistema MCS para control del Horno Regenerativo

1.3 Consumo de Energía en un Horno Regenerativo

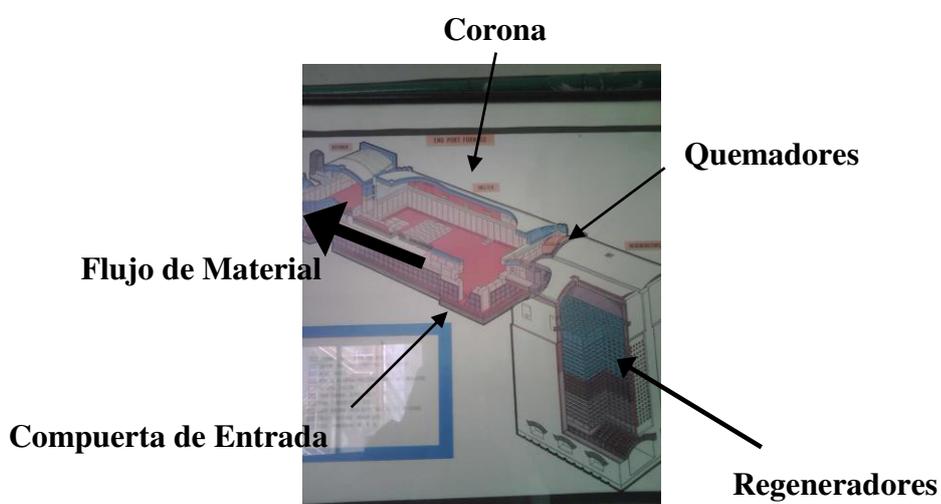


Fig.1.2 Horno Regenerativo tipo enport

Como se mencionó al inicio del capítulo, estos hornos realizan la reversión cambiando de puerto cada treinta minutos, pasando el aire que va a combustionarse por la cámara previamente calentada con los gases de escape. La temperatura de precalentamiento puede alcanzar hasta 1500°C , lo cual permite conseguir una eficiencia térmica muy elevada. Existen 2 tipos de hornos regenerativos, los endport y los sideport. Como su palabra lo indica, los endport tienen sus puertos regenerativos en un extremo de la cámara de fundición y el flujo de

material se dirige hacia el otro extremo. (Ver Fig. 1.2). Los sideport tienen sus puertos en las paredes laterales y el flujo de material corre paralelo a los puertos. Para el caso del horno en estudio, es del tipo endport y fue construido en 1996. Este horno ha tenido 3 reparaciones y actualmente tiene el regenerador izquierdo colapsado.

El Horno es alimentado por la compuerta de entrada a través de un sin fin denominado hidramix. Para el caso del horno endport se encuentra en uno de sus laterales. El hidramix alimenta la materia prima con una frecuencia determinada al horno dependiendo de la extracción que se esté dando en las máquinas formadoras.

Los quemadores están ubicados en la pared trasera del horno. Estos funcionan con un combustible (Fuel Oil 6) que es precalentado e inyectado y con aire comprimido que realiza la atomización. La temperatura histórica de precalentamiento del combustible es de 100°C por los últimos 30 años de existencia de la empresa. El estado de los quemadores es un punto muy importante para el análisis, además del mantenimiento de sus partes.

En la operación de los quemadores es necesario mantener una presión de atomización de 40 PSI en cada uno de los 8 quemadores. Los quemadores están distribuidos de 4 en 4 y prenden alternadamente cuatro en el lado izquierdo y cuatro en el lado derecho. Este proceso lo realizan cada 30 minutos, para poder realizar la transferencia de energía en los regeneradores.

Para entender la operación de los hornos regenerativos se debe de asumir un tiempo cero, el aire para la combustión ingresa por el regenerador izquierdo al horno, se realiza la combustión y los gases de escape salen por el regenerador derecho haciendo que los refractarios que lo conforman ganen temperatura. Después de 30 minutos, se realiza la reversión y por el lado donde salían los gases, empieza a ingresar el aire de combustión, haciendo que gane temperatura y disminuya la cantidad de energía necesaria para el proceso de combustión. Los gases de combustión salen por el regenerador izquierdo, haciendo que ahora éste gane la temperatura y lo prepare para el siguiente ciclo. Estos hornos se llaman regenerativos.

Del horno, el vidrio se traslada hasta el refinador, el cual es una cámara que distribuye el vidrio a través de los alimentadores a cada una de las máquinas.

CAPITULO 2

2. HERRAMIENTAS LEAN SIX SIGMA

2.1 Historia de Lean-Six Sigma.

Los conceptos LEAN fueron propuestos por Toyota y posteriormente adoptado por otros fabricantes japoneses. Originalmente se centra en reducir los desperdicios en la fabricación:

- Desperdicio de Transporte
- Desperdicio de Inventario (Exceso de abastecimiento listo para usar)

- Desperdicio de Movimiento (Exceso de movimiento de trabajadores)
- Desperdicio de Espera (Tiempo perdido)
- Desperdicio de Sobre Producción (Abastecimiento actual innecesario)
- Desperdicio de Sobre Proceso (Uso excesivo de capacidad)
- Desperdicios de Productos Defectuosos

Las herramientas y terminologías Lean son:

- Reducción del Tiempo de Configuración
- Mantenimiento Total Productivo
- Balance de Procesos
- Mejoramiento del flujo de proceso
- Prueba de errores
- Herramientas de Control Visual
- Aplicación del flujo de valor
- Análisis de la trampa de tiempo
- Sistema Genérico de Arrastre
- Arrastre de Abastecimiento
- Análisis del tamaño del lote
- Estrategia de Abastecimiento
- 5S

Los conceptos SIX SIGMA incluyen el uso de herramientas estadísticas y enfoque estructurados de solución de problemas. Enfatiza la necesidad de controlar el promedio y la variabilidad del proceso. El Nivel de Calidad Sigma o SQL (por sus siglas en inglés Sigma Quality Level), es la medida que se usa para indicar la frecuencia con la que ocurren los defectos.

Herramientas y terminologías Six Sigma:

- Indicadores de Repetibilidad y reproducibilidad
- Cp y Cpk , son los índices que miden la capacidad del proceso para estar dentro de los límites deseados.
- Cuadro Multivariable
- Mapa de efectos principales
- Mapa de interacciones
- Análisis de regresión
- Análisis de varianza (ANOVA)
- Matriz Causa y Efecto
- Análisis de Modalidad de falla y efecto (FMEA, por sus siglas en inglés, Failure mode effect analysis)
- Diseño de experimentos

- Pruebas de hipótesis
- Metodología de superficie de respuesta

El enfoque estructurado está dado por la Metodología de los cinco pasos DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar). Además la introducción de modelos matemáticos $Y = F(x_1, x_2, \dots)$ para concentrarse en mejorar el proceso crítico de entradas, en lugar de sólo el de las salidas

Lean Six Sigma se ha extendido para cuantificar y atacar los costos de la complejidad. La complejidad producto/servicio es la gestora del desperdicio que no añade valor y origina problemas de calidad.

2.2 Lanzamiento de un Proyecto DMAIC

El procedimiento para el lanzamiento de un proyecto en el enfoque

Lean Six Sigma, sigue el siguiente esquema:

- Creación de la carta del proyecto
- Aplicación de la Metodología DMAIC
- Término del proyecto

La carta del proyecto es la parte donde se describe el problema y su magnitud. El proyecto debe de tener un nombre con su descripción, respondiendo a las siguientes preguntas:

- ¿Qué está ocurriendo?
- ¿Cuándo empezó el problema?
- ¿Dónde ocurre?
- ¿Cuál es la magnitud del problema?

La oportunidad debe de estar relacionada con un tema clave del negocio. Los objetivos del proyecto deben de ser medibles. Los compromisos de tiempo deben ser claramente identificados, así como los costos del proyecto. Debe delimitarse el proyecto, es decir definir qué está dentro y qué está fuera del mismo.

Todo proyecto debe de tener:

- Un patrocinador
- Un representante financiero
- Un Green o Black Belt

2.3 Herramientas DMAIC utilizadas

Todos los proyectos Lean Six Sigma siguen la metodología DMAIC antes mencionada. Cada etapa utiliza una serie de herramientas que entraremos a detallar y que se utilizarán en el presente trabajo.

En la Fase DEFINIR (ver fig 2.1) se debe de determinar la Voz del Cliente VOC (Voice of Client por sus siglas en inglés), la Voz del Negocio VOB (Voice of Business por sus siglas en inglés), el área de enfoque, desarrollar la carta del proyecto, el SIPOC (por sus siglas en inglés Supplier, Input, Process, Output, Client) y el Mapa del Proceso

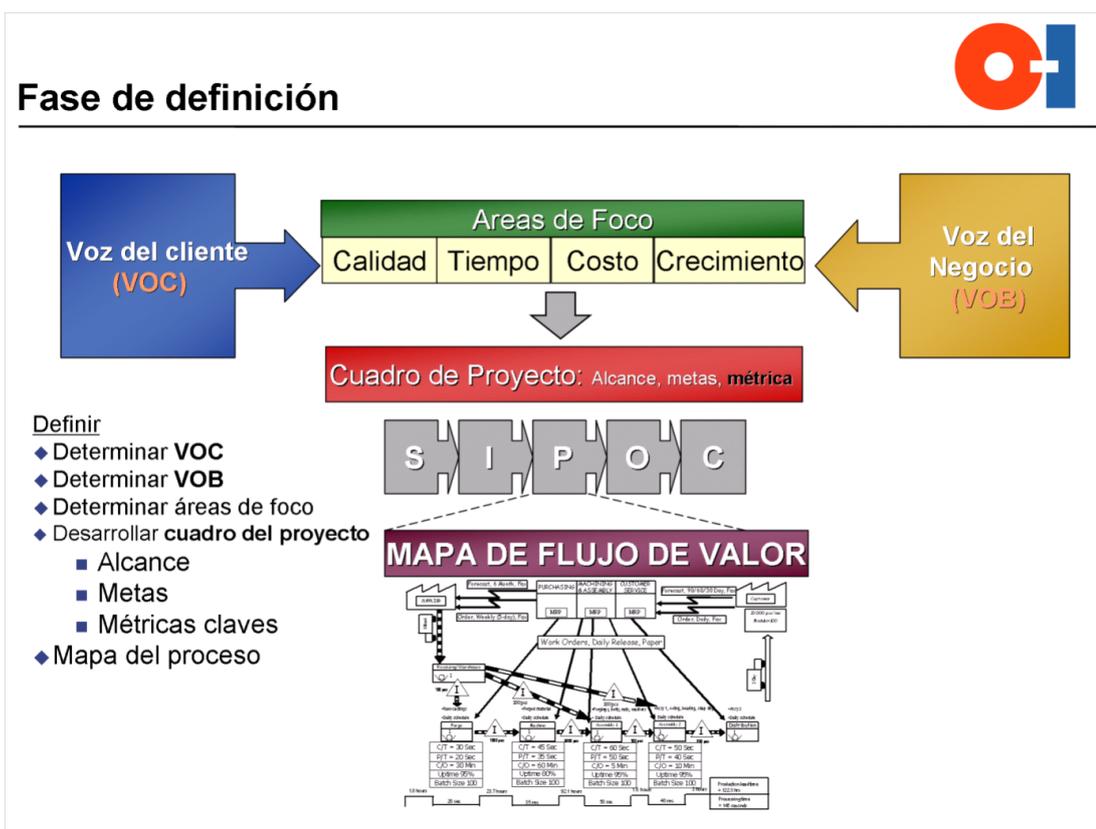


Fig. 2.1 Diagrama de tareas de la fase Definir. Fuente manual de entrenamiento LSS George Group.

La voz del cliente y la voz del negocio se levantan mediante tres herramientas:

- Entrevistas
- Encuestas
- Grupos de Enfoque (Son grupos formados por los clientes y por las personas involucradas con el negocio para obtener la información necesaria para el proyecto)

El área de enfoque, se determina definiendo el alcance del proyecto, definiendo la parte del proceso que se va a analizar. Con esto se desarrolla la carta o cuadro del proyecto.

Una vez definida la carta del proyecto, se debe de desarrollar el cuadro de SIPOC, en el que se incluye todo el funcionamiento del proceso actual. Es necesario definir quienes son los proveedores del proceso, cuales son las entradas, cual es el proceso en análisis, cuales son las salidas y finalmente cuales son los clientes. Un ejemplo de esto vamos a ver en el capítulo 3 de la tesis. Dentro del proceso, es necesario el desarrollo del diagrama de flujo de cada uno de los pasos del proceso, también llamado Mapa del proceso.

En la fase MEDIR se debe definir las variables que afectan el proceso:

- Identificar la variable de salida “ Y “
- Calcular el tiempo de espera total del proceso
- Desarrollar el plan de recolección de datos
- Realizar el análisis del sistema de medición
- Desarrollar cuadros de control
- Determinar la capacidad del proceso
- Establecer medición de la línea base
- Identificar oportunidades de mejoras rápidas

En la Fig. 2.2 se pueden ver todas las herramientas utilizadas en la fase medir. Una vez identificadas tanto las variables de entrada como las de salida del proceso, es necesario hacer un levantamiento de datos como los que se observan en los apéndices A, B y C. Mediante cuadros de control se determina la variación natural del proceso actual y es necesario determinar la capacidad del proceso (C_p y C_{pk}) de trabajar en los límites esperados.

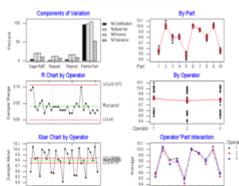


Fase “Medir”

Medir

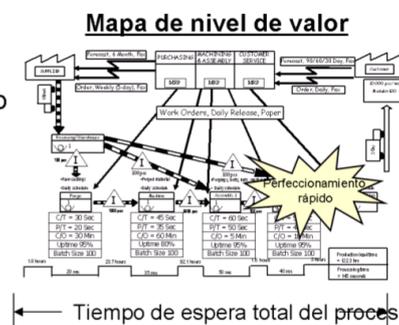
- ◆ Identificar el proceso clave de variable de producto – “Y”
- ◆ Calcular el tiempo de espera total del proceso
- ◆ Desarrollar plan de recolección de información
- ◆ Realizar análisis de sistema de medición
- ◆ Desarrollar cuadros de control
- ◆ Determinar **capacidad del proceso**
- ◆ Establecer **medición de la línea de base**
- ◆ Identificar oportunidades para perfeccionamientos rápidos

Plan de recolección de información

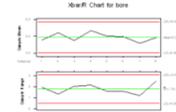


Análisis del sistema de medición

Lata Invenio Cause Checklist	Weeks (1st Month)				Category Totals
	1	2	3	4	
No order form					3
Customer data missing					3
Truckable question					4
Order P.O. discrepancy					9
Misfile & other					6
Weekly Total	9	4	6	6	25



Cuadros de control



Capacidad del proceso

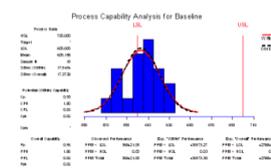


Fig. 2.2 Diagrama de tareas de la fase medir. Fuente manual de entrenamiento LSS George Group.

Una parte muy importante en la fase medir es el análisis del sistema de medición. Las propiedades que son necesarias en un sistema de medición son la exactitud, precisión, discriminación, estabilidad y linealidad.

La exactitud es la extensión a la que se desvía el promedio de las mediciones desde el valor verdadero. La desviación es el término dado a la distancia entre las mediciones promedio observadas y el valor correcto.

Para el análisis de la precisión del sistema de medición hay que entender dos conceptos básicos: Repetibilidad y Reproducibilidad. La repetibilidad es la variabilidad inherente del sistema de medición. Es una variación que ocurre cuando se realizan mediciones sucesivas bajo las mismas condiciones: misma parte, misma característica, misma persona, mismo instrumento, misma configuración y mismas condiciones ambientales.

Reproducibilidad es la variación en el promedio de las mediciones realizadas por los diferentes operadores usando el mismo instrumento de medición cuando miden idénticas características de la misma parte.

Una vez determinada la precisión, se debe de evaluar si el sistema de medición es suficientemente preciso. Para esto se debe de comparar la variación de medición con el proceso de medición mediante el índice % R & R.

Los criterios reconocidos para aceptabilidad de calibración ocurren cuando la variabilidad de la calibración R & R para procesar variables está bajo el 10%, entre el 10% y el 30% puede ser aceptable y sobre el 30% es inaceptable.

En la fase ANALIZAR se determina las variables de entrada que afectan el proceso (ver Fig. 2.3)

- Identificar las variables claves del proceso “ x “
- Matriz de Causa y Efecto
- Análisis de modalidad de fracaso y efecto – FMEA
- Análisis de Varianza – ANOVA
- Cuadros de efectos principales
- Análisis de regresión

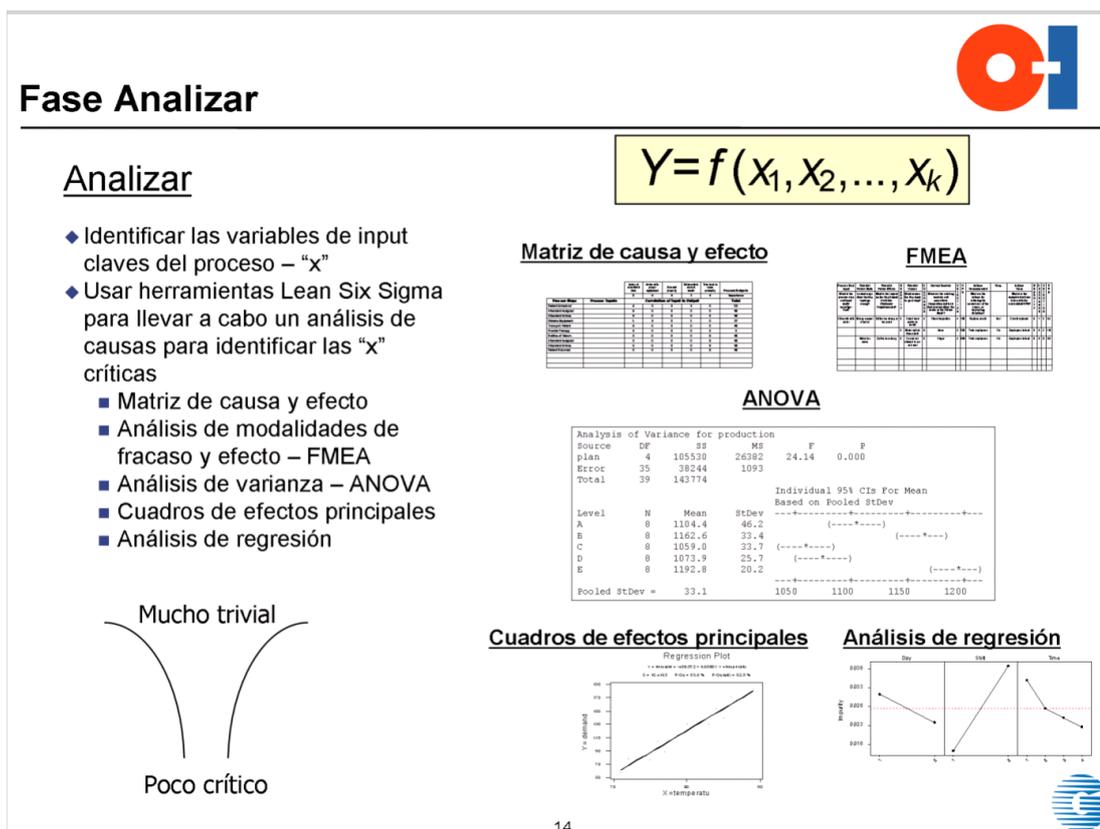


Fig. 2.3 Diagrama de tareas de la fase analizar. Fuente manual de entrenamiento LSS George Group.

Cuando se tiene muchas variables y no se conoce cual de ellas se puede expresar en términos de las demás; es decir, cual puede actuar como variable dependiente, se debe tratar de analizar la relación de dependencia entre las demás variables. Esta relación de dependencia se puede ver de varias maneras:

- Entre pares de variables
- Entre una variable y las demás
- Entre pares de variables pero eliminando el efecto de las demás (análisis de correlación parcial)
- Entre todas las variables.

Al determinar la dependencia lineal entre dos variables nos permite conocer si estas están relacionadas; es decir si una de ellas se puede expresar en función de la otra, lo cual implicaría que una de ellas aporta la misma información que la otra. Por tanto si las dos variables están presentes en el modelo sería redundante. Esta relación de dependencia entre dos variables X_i y X_j se puede visualizar mediante el gráfico de **Matrix Plot** (Ejemplo de ésta se verá en el capítulo 3 el cual se presenta en la figura 3.7) y calcular mediante el coeficiente de correlación lineal de **Pearson**, dado por:

$$r_{ij} = \frac{Cov(X_i, X_j)}{\sqrt{varX_i} \sqrt{varX_j}}$$

El **coeficiente de correlación de Pearson** es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas, determina que tan fuerte afecta una determinada variable sobre otra, y si la afecta en forma negativa o positiva, es decir si es inversa o directamente proporcional.

El **Valor-P** asociado a un resultado observado es la probabilidad de obtener un valor como el observado o más extremo si la hipótesis nula es cierta. Para que exista el 95% de probabilidad de que los datos observados tengan una relación, el Valor-P debe de ser menor que 0,05.

El número de relaciones incluidas en un modelo depende de los objetivos para los que se ha diseñado el mismo y el grado de explicación que se pretende obtener.

Desde el punto de vista matemático, la relación entre una variable y otra se expresa mediante el modelo $y = f(x)$, en el cual, los argumentos de la función constituyen las variables independientes o variables

explicativas y la variable y constituye la variable dependiente o explicada. Igualmente este modelo puede estar regido por una relación lineal, cuadrática, logarítmica, etc.

Por otro lado, si la relación existente es una relación no lineal, se puede utilizar algún criterio matemático para transformar dicha relación en otra lineal equivalente. Por ello en este punto se pretende resolver el sistema o modelo lineal desarrollado mediante el uso del programa Minitab.

Después de haber comprobado la independencia de las variables, es necesario aplicar la herramienta < **Best subsets regresión, o mejores subconjuntos.**> que permite realizar un análisis más detallado usando el criterio del máximo r^2 , examinando primero modelos de regresiones de un predictor, seleccionando después los dos modelos que proporcionan el máximo r^2 . El Minitab muestra los resultados de dichos modelos y examina ahora los modelos de dos variables predictoras, selecciona dos de los modelos que tengan el mejor r^2 y visualiza los resultados; este proceso continúa hasta que el modelo contenga todos los predictores.

Una vez determinados las variables predictoras, es necesario realizar regresiones o anovas para obtener el modelo.

En la fase IMPLEMENTAR se determina cuales son las variables principales que afectan el proceso y con el modelo ya determinado se busca las soluciones potenciales (Ver Fig. 2.4).

- “ x “ críticas confirmadas
- Desarrollar soluciones potenciales
- Seleccionar solución
- Optimizar el proceso
- Solución Piloto
- Desarrollar nueva capacidad del proceso

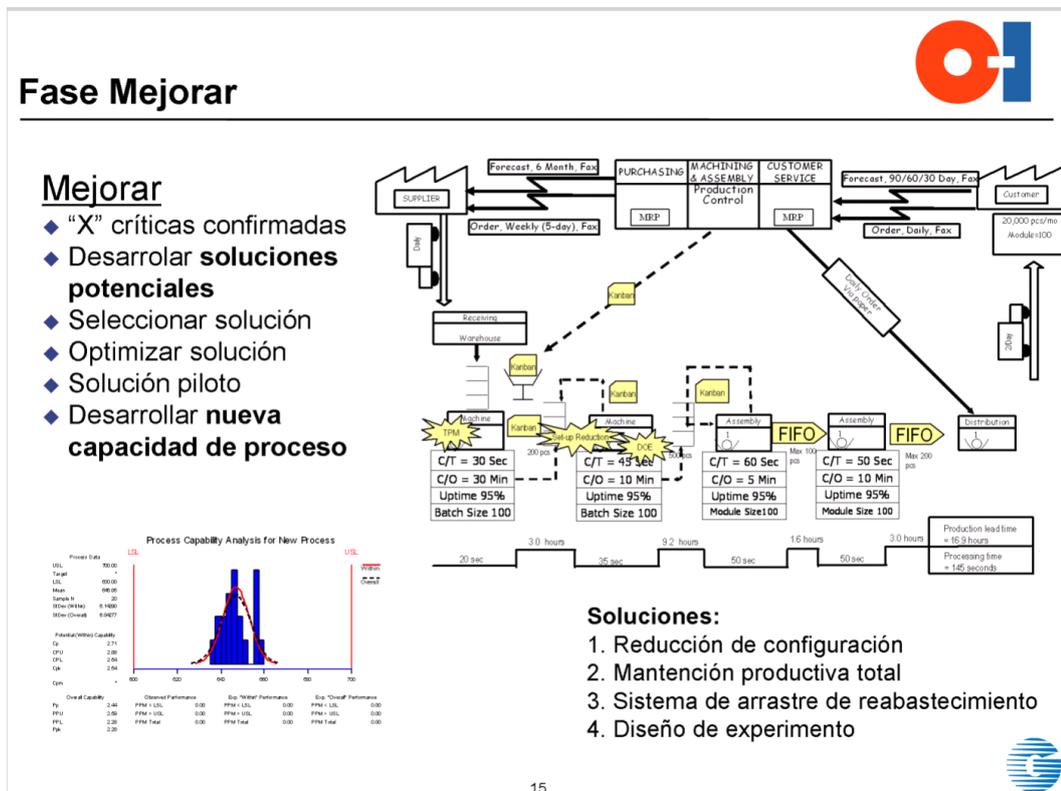


Fig. 2.4 Diagrama de tareas de la fase mejorar. Fuente manual de entrenamiento LSS George Group.

En la fase CONTROL se desarrolla un plan para mantener dentro de parámetros el proceso mejorado.

- Eliminar Defectos
- Escribir el plan de control
- Calcular mejoras financieras
- Documentar proyecto para futura implementación
- Traspasar el proyecto al patrocinador.

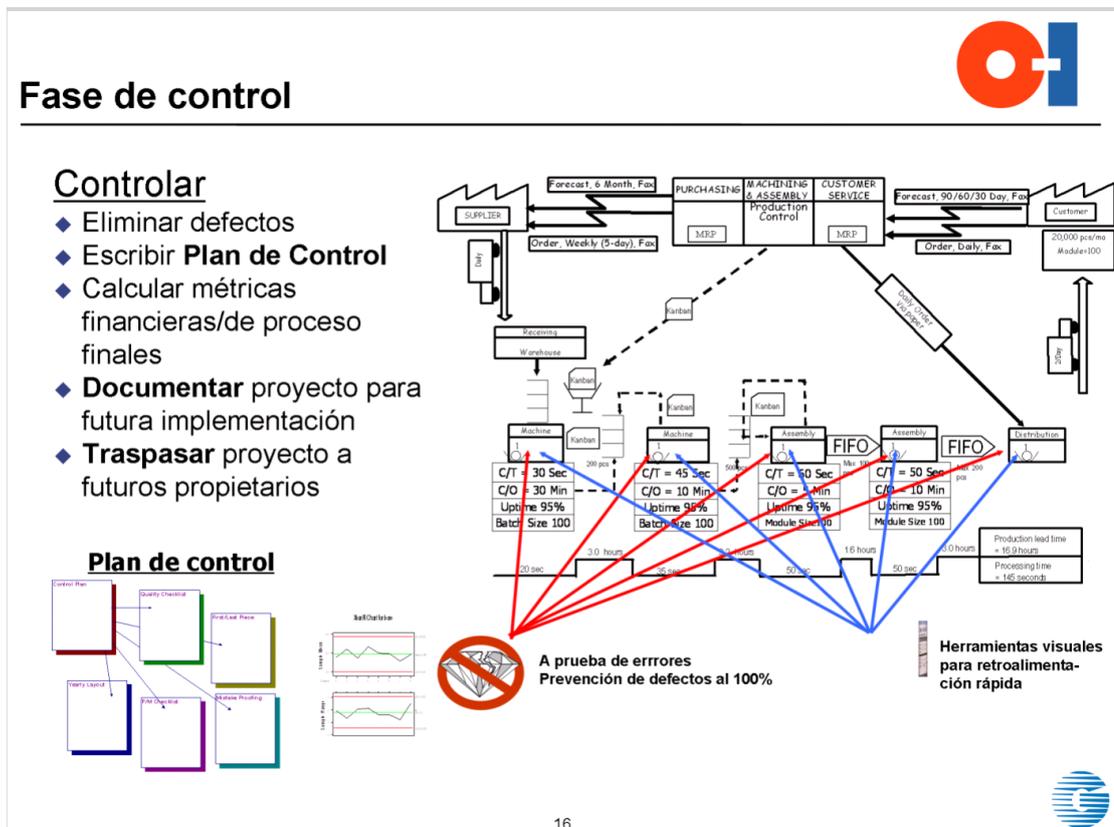


Fig. 2.5 Diagrama de tareas de la fase control. Fuente manual de entrenamiento LSS George Group.

Para asegurar que el proceso permanezca bajo control es necesario el desarrollo de SOP's (por sus siglas en inglés Procedimientos Estándares de Operación), planes de control, control de procesos y SPCs (por sus siglas en inglés de Control estadístico de procesos)

CAPITULO 3

3. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DEL VIDRIO

3.1. Análisis de Pérdidas de Energía

En la fase DEFINIR del proyecto se determina que el problema de la Industria de vidrio era un elevado consumo de energía en la operación de su horno, alrededor de las 5000 MJ/ton. Se requiere de un plan de acción para reducir el consumo de energía. Cada MJ/Ton tiene un costo aproximado de \$ 26,3. Lo que agrava el problema es que el horno en estudio tiene un daño en la corona del horno lo que implica constante reparación en caliente. Se cree que al disminuir el consumo de combustible, va a generar una disminución en el mantenimiento y un posible incremento de pull que serán estimados.

El alcance del proyecto empieza desde el silo de materia prima, la operación de los quemadores, la operación de los regeneradores

hasta la garganta del horno. Además debemos de considerar las reparaciones hechas hasta el momento de la corona.



Fig. 3.1 Estado de la Corona del Horno Regenerativo

Para el análisis del proyecto se debe de considerar que el horno tiene un comportamiento diferente para los diferentes colores de vidrio y para los diferentes porcentajes de casco que se tenga en la mezcla. Mediante encuesta realizada se determina la voz del cliente.

TABLA 3

Voz del Cliente

Cliente	VOC Voz del Cliente	Problema Clave del Cliente	Requerimiento Crítico del Cliente	
Quien es el cliente?	Que es lo que el cliente quiere del proyecto?	Se necesita especificar los problemas para prevenir el malestar del cliente	Determinar las necesidades críticas y transformarlos en requerimientos específicos y medibles	
Zona Caliente. Área de fabricación de envases	Requiere de Vidrio con temperatura de fondo del horno dentro de control	Estabilidad en la temperatura de los alimentadores y no variación de la densidad	Temperatura de fondo del horno (ver Fig. 3.1) No afectar al PTM	
CEO	Reducir el consumo de MJ/Ton en el horno	Estabilidad en el proceso	Disminuir el consumo de bunker en el horno	
Proveedor	Inputs	Proceso	Outputs	
Buena calidad de vidrio	Buena calidad de vidrio	Sin semillas, ni burbujas ni piedras	Conteo de semillas, burbujas y piedras	
<ul style="list-style-type: none"> • Depart. de logística • Regenerador • Mantenimiento General • Mantenimiento de horno 	<ul style="list-style-type: none"> • Materia Prima • Presión de combustible • Temperatura combustible • Aire de Combustión • Presión de aire de 	<pre> graph TD A[Start Materia Prima] --> B[Alimentar materia prima al silo] B --> C[Operación del horno] D[Alimenta Fuel Oil 6 y aire para fundir] --> C C --> E[Materia prima fundida] E --> F[Vidrio entra a los alimentadores] F --> G[Zona de Producción] </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de fondo del horno • Semillas, burbujas y piedras • Perdidas de calor 	<ul style="list-style-type: none"> • Formación • Calidad • Ahorro de energía

Fig. 3.2. Desarrollo del cuadro SIPOC del proyecto

Mediante entrevistas y reuniones de grupo se busca analizar los diferentes riesgos que se puedan presentar en la ejecución del proyecto.

TABLA 3.1

Análisis de Riesgo

Riesgo (Problemas potenciales)	Probabilidad de ocurrencia del riesgo (1 Low – 10 Hi)	Impacto al proyecto si ocurre el riesgo (1 Low – 10 Hi)	Prioridad (Probabilidad X Impacto) si el riesgo ocurre	Acciones para reducir la probabilidad	Acciones para reducir el impacto	Dueño	Día en toma de acción	Status of Acción
Temperatura de fondo fuera de control	2	8	16	Incrementar el consumo de combustible	Realizar movimientos ligeros en operación	Raymond	01/01/09	
Problemas de producción	1	8	8	Incrementar el consumo de combustible	Evaluar los datos y haciendo seguimiento a los incrementos.	Tomas	01/01/09	Done
Resistencia del Personal	1	10	10	Involucrar al personal con ideas	Comunicación de la ideas al equipo	Carlos	01/02/09	Reunion con personal
Sin soporte por parte de la Gerencia	1	10	10	Retro alimentación de avances	Feedback constante a la gerencia de resultados	Carlos	12/12/08	Informe semanal a CEO

3.2 Análisis de Parámetros Operativos

Una vez determinados los parámetros que afectan el proceso de fundición de vidrio se realizó las mediciones para determinar las

pérdidas de energía del proceso, esto se lo realizó en las fases Medir y Analizar de las herramientas Lean Six Sigma.

Durante la fase MEDIR, se determinó el consumo promedio y la capacidad del proceso actual, además se realizó un mapa del flujo del proceso con sus respectivas variables. Mediante un diagrama de espina de pescado se definió las variables críticas del proceso. Finalmente se realizó el plan de levantamiento de Datos de las variables para su análisis.

Para la determinación de la LÍNEA BASE, se levantan los datos del MJ/Ton y se los muestra en el gráfico I-MR. (Ver Fig. 3.3)

El MJ/Ton contiene datos desde Enero hasta Septiembre del 2008. Esta es nuestra línea base, la que nos dio un promedio de 5141 MJ/Ton. Se levantaron 159 datos con cero subgrupos.

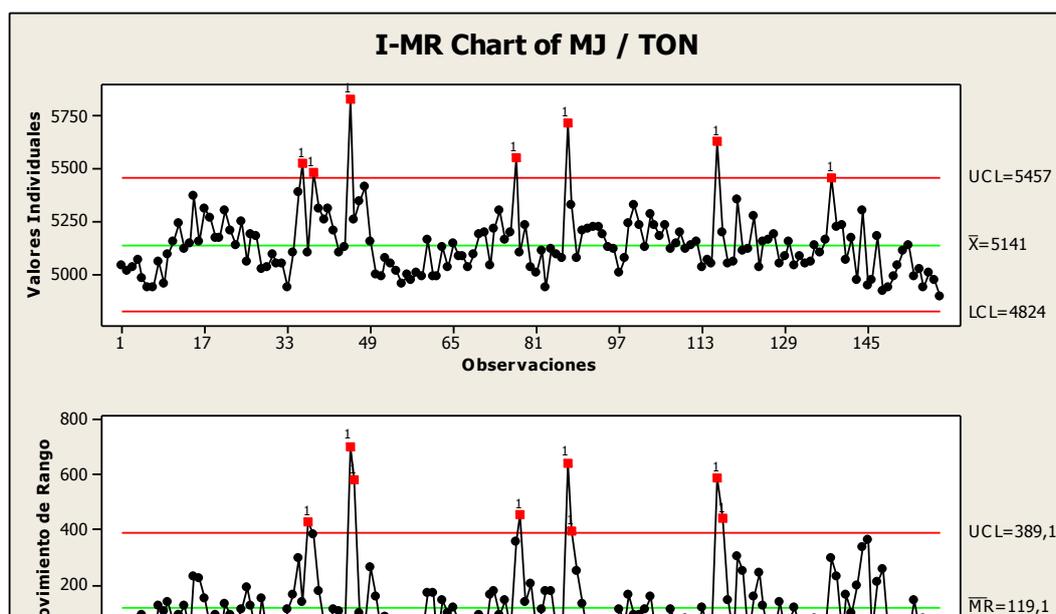


Fig. 3.3. I-MR, Carta de Control de MJ/Ton diario.

Con los datos, se determinó la CAPACIDAD ACTUAL DEL PROCESO. Se obtiene una desviación estándar de 150,19 MJ/Ton, el CP es 1.00 lo que indica que el proceso necesitaba ser centrado a los límites. El CPK es 1 lo que indica que el proceso excede su USL. Con 35096 defectos por millón de oportunidades PPM, el proceso actual tiene un nivel sigma de 3,31.

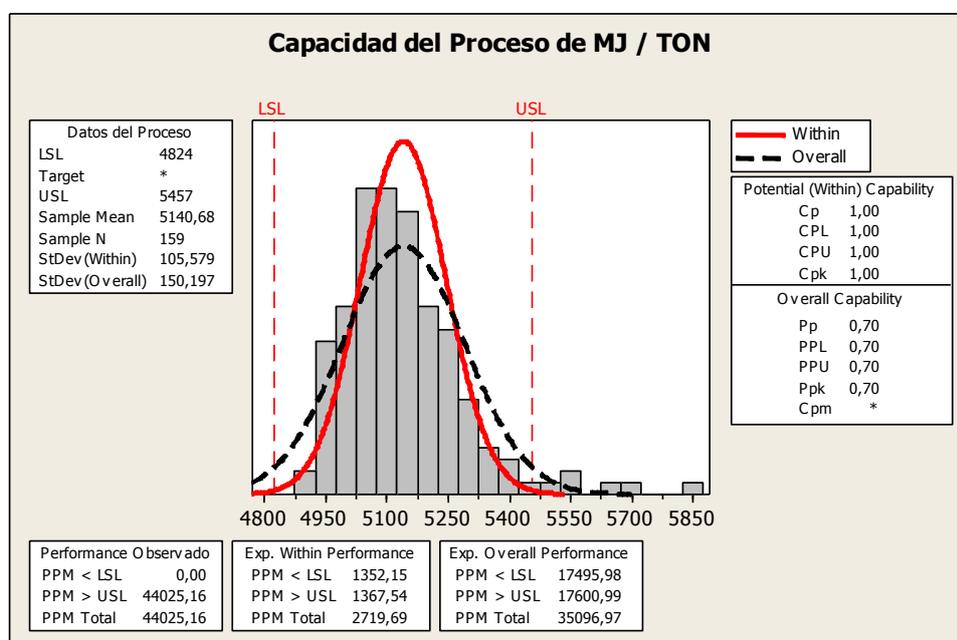
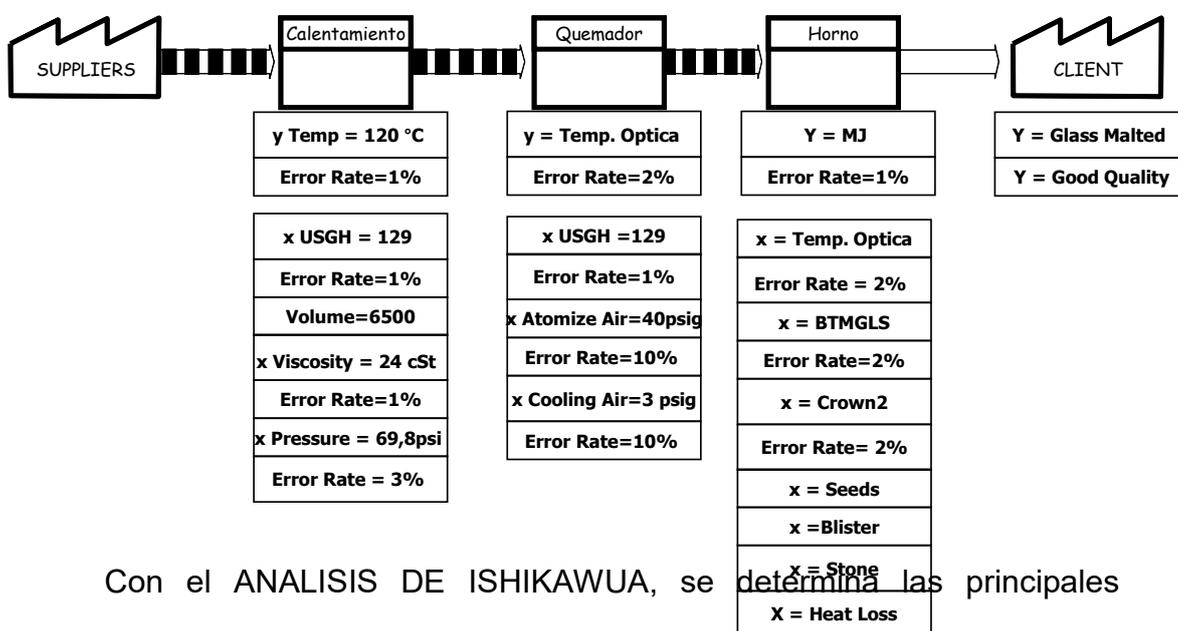


Fig. 3.4 Capacidad del proceso, consumo MJ/Ton

Se desarrolla el mapa de flujo del proceso para el análisis de las variables que afectan el consumo de combustible, incluyendo información detallada de cada variable.

Fig. 3.5 Mapa de flujo del proceso de fundición



Con el ANALISIS DE ISHIKAWUA, se determina las principales causas del consumo de combustible. (Ver Fig. 3.6)

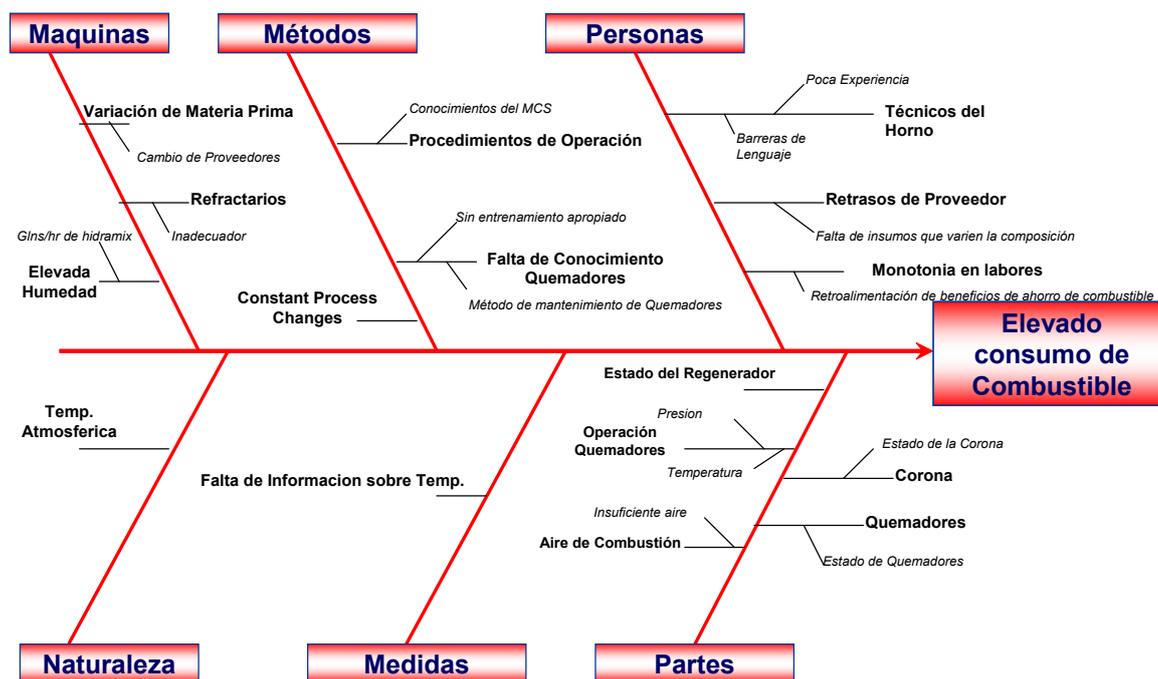


Fig. 3.6 Análisis de Ishikawua del consumo de combustible

Se determina las VARIABLES DE OPERACIÓN que afectan el consumo.

Y – Se definió como Variable de Salida los Galones de Combustible por día. (OILDAY) Este es la variable utilizada por el operador para su operación y la que afecta los MJ/Ton.

X – Se definió como Variables de Ingreso las siguientes:

- Presión de Atomización
- Temperatura de Combustible
- Temperatura de Corona 1 (Crown2)

- Temperatura de Corona 2 (Crown3)
- Temperatura de Fondo 1 (BTMBLK)
- Temperatura de Fondo 2 (BTMGLS)
- Nivel de Vidrio (GLEVEL)
- Temperatura Óptica
- % de Humedad de Mezcla
- % de Exceso de Oxígeno
- Porcentaje de Casco
- Extracción de Vidrio Diaria o Pull

Se crea la HOJA DE DATOS OPERACIÓN HORNO, para el levantamiento de las variables. Ver apéndice A, B y C.

Durante la fase ANALIZAR y después de haber realizado el levantamiento de los datos, se realizan dos análisis para encontrar la relación que se tienen entre ellos y descartar influencias relativas.

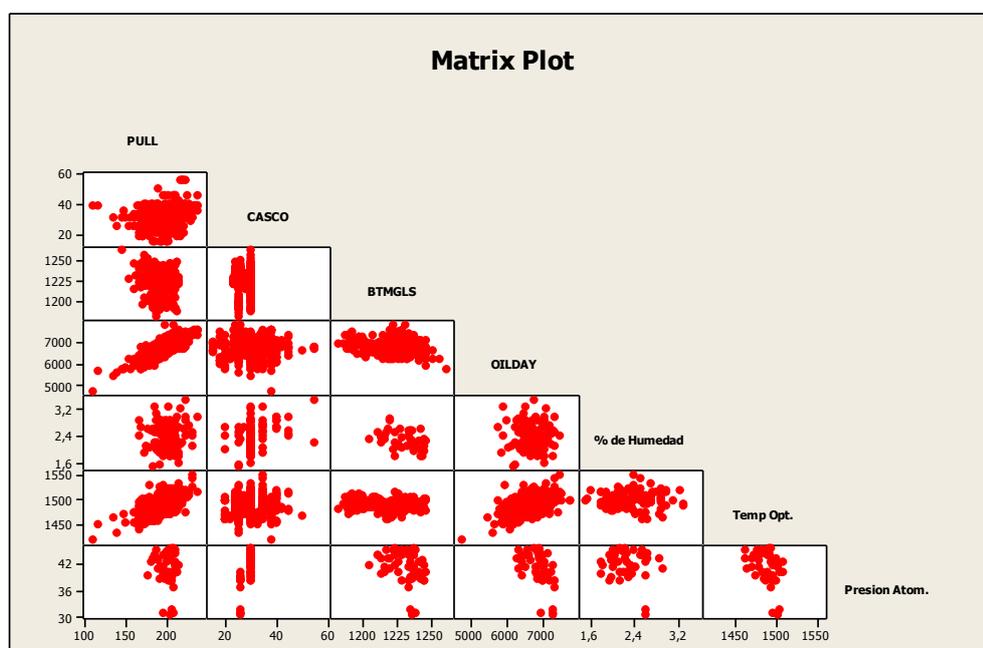


Fig 3.7 Matrix Plot de variables de operación del horno

El Matrix Plot muestra en forma gráfica las tendencias de las seis variables analizadas que afectan al consumo diario de combustible. Se observa que en la medida que se incrementa el pull y la temperatura óptica se incrementa el combustible. En cuanto al porcentaje de casco, la temperatura del fondo del horno BTMGLS, el porcentaje de humedad y la presión de atomización no se observa mayor efecto.

Adicionalmente para ver las correlaciones entre variables, se desarrolla la tabla de correlación. El primer valor es el de la Correlación Pearson y el segundo es el Valor correlativo P.

	OILDAY	OILTEM	% de Humedad
	-0,071 0,282		
	-0,103 0,232	0,088 0,570	
	0,570 0,000	-0,137 0,067	0,012 0,892
	-0,514 0,000	0,449 0,001	-0,121 0,434

TABLA 4

Después de haber analizado las variables que afectan el proceso de fundición de vidrio, se aplicó Best Subsets, obteniendo el siguiente análisis:

TABLA 5

Best Subsets Regression: OILDAY

Response is OILDAY

44 cases used, 734 cases contain missing values

Vars	R-Sq	R-Sq(adj)	Mallows Cp	S	P	% r	e	d s	e i T	o e	H n m	O u p	C I m A	P A L e t O	U S T d o p	L C E a m t	L O M d . .
1	69,6	68,8	127,5	154,30	X												
1	67,8	67,0	137,1	158,69													X
2	83,8	83,0	51,1	113,94	X												X
2	83,1	82,3	54,8	116,25	X												X
3	89,3	88,5	23,0	93,850	X												X X
3	89,1	88,3	23,7	94,391	X X												X
4	91,5	90,6	12,9	84,700	X X												X X
4	91,1	90,2	14,7	86,345	X												X X
5	92,7	91,7	8,1	79,400	X X												X X X
5	92,2	91,2	10,7	81,931	X X X												X X X
6	93,3	92,2	7,0	77,272	X X X												X X X X

La estadística Mallows C_p trabaja así:

Si la ecuación con p parámetros es adecuada, esto es, no tiene falta de ajuste, se tiene que la estimación de σ^2 con p variables ($CM_{Error}(p)$) debe estar muy cercana a la estimación de σ^2 con todas las k posibles variables predictoras (s^2)

De acuerdo con los análisis previos, para obtener finalmente el modelo matemático que explique el consumo de combustible por hora vamos a definir como variables que afectan al proceso las siguientes:

- Pull

- Porcentaje de Casco
- Color de Vidrio
- Temperatura Óptica
- Temperatura de Combustible
- % de Humedad de Mezcla
- % de Exceso de Oxígeno
- Presión de Atomización

3.2 Optimización del Proceso

Durante la fase IMPLEMENTAR y luego de haber obtenido las ecuaciones para los tres tipos de vidrio producido en esta industria, se realizan variaciones de los diferentes parámetros para así poder obtener el consumo de combustible más óptimo para el proceso. Se observa que dentro del análisis realizado la medición de la presión del aire de atomización se la realiza en un punto situado a 8 metros del área de consumo en los quemadores. Se procede a medir la presión de atomización en cada punto de los quemadores y los 3 que se encuentran mas alejados del medidor obtienen presiones por debajo de lo requerido, lo que afecta finalmente con la atomización del combustible. La presión mínima requerida es de 40 PSI y las mediciones en estos quemadores daban 25 PSI. Se procede con el

cambio del compresor que alimenta el aire a los quemadores, del compresor 50 PSI a alimentar con el de 70 PSI y se adaptaron reguladores en cada quemador para poder obtener la presión requerida del sistema.

Otra de las variables que se empezó a modificar fue la temperatura de precalentamiento de bunker, combustible utilizado en el proceso. La temperatura máxima utilizada para la operación era de 100°C, con el fin de mejorar la atomización del bunker dentro de la cámara del horno, se incrementa progresivamente hasta 125°C, esto es 10°C menos del punto de inflamación recomendado por el proveedor de combustible.



Fig. 3.8 Precalentador de Bunker



Fig. 3.9 Seteo Temperatura Bunker

El enfoque en esta etapa, fue de mejorar el funcionamiento de los quemadores, para optimizar la combustión. El mantenimiento de los quemadores era realizado cada semana y dentro del plan de mejora,

se empieza a realizar mantenimientos diarios con el personal que opera el sistema.

Debido al tiempo que tiene operando el horno, desde 1996, se observa un deterioro en la corona, la cual tiene un 25% menos de aislamiento. Esto origina pérdida de calor que actualmente no es estimada. Dentro del análisis de la presente tesis, se va a determinar la pérdida generada por este problema. Se procede al recubrimiento con el aislamiento requerido.



Fig. 3.10 Corona (antes)



Fig. 3.11 Corona (después)

En el área de los quemadores, se observa un espacio libre por donde ingresa aire del ambiente, lo que también produce pérdidas de temperatura. Para evitar esta pérdida se diseñó unos aisladores que

se instalan antes de los quemadores para sellar el paso de aire. Ver figuras 3.12, 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 además del dibujo 1.1.



Fig. 3.12 Área de Quemadores (antes)



Fig. 3.13 Área de Quemadores (después)



Fig. 3.14 Área de Quemadores

Diseño de anillo sellador.



Fig. 3.15 anillo sellador



Fig. 3.16 Ensamble Anillo Quemador

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Mediante Regresión Múltiple se obtiene los siguientes modelos matemáticos, para cada uno de los colores de vidrio que se producen en la industria:

VIDRIO FLINT

La ecuación obtenida de la regresión es

$$\mathbf{OILDAY = - 2370 + 12,1 PULL - 24,1 OILTEM - 217 \% de Humedad + 14,3 \% O2 L - 11,9 Presion Atom. + 7,17 Temp Opt.}$$

24 casos utilizados, 178 casos contienen valores incorrectos

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-2370	2272	-1,04	0,311	
PULL	12,137	1,841	6,59	0,000	2,784
OILTEM	-24,085	8,547	-2,82	0,012	2,145
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
% de Humedad	-216,83	78,63	-2,76	0,013	4,109
% O2 L	14,25	14,76	0,97	0,348	1,545
Presión Atom.	-11,907	7,537	-1,58	0,133	1,675

Temp Opt.	7,173	1,201	5,97	0,000	2,361
-----------	-------	-------	------	-------	-------

S = 52,6859 R-Sq = 97,6% R-Sq(adj) = 96,7%

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	1886267	314378	113,26	0,000
Residual Error	17	47189	2776		
Total	23	1933455			

Fuente	DF	Seq SS
PULL	1	1569749
OILTEM	1	105760
% de Humedad	1	51732
% O2 L	1	1931
Presión Atom.	1	58008
Temp Opt.	1	99087

VIDRIO AMBAR

La ecuación obtenida de la regresión es

$$\text{OILDAY} = 5825 + 15,8 \text{ PULL} - 12,1 \text{ CASCO} - 70,8 \% \text{ de Humedad} + 0,267 \text{ Temp Opt.} - 20,9 \text{ Presión Atom.} - 7,22 \text{ OILTEM}$$

37 casos utilizados, 250 casos contienen valores incorrectos

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5825	1956	2,98	0,006
PULL	15,775	2,372	6,65	0,000
CASCO	-12,117	2,593	-4,67	0,000
% de Humedad	-70,75	23,31	-3,04	0,005
Temp Opt.	0,2673	0,9113	0,29	0,771
Presión Atom.	-20,92	10,89	-1,92	0,064
OILTEM	-7,219	7,008	-1,03	0,311

S = 76,3127 R-Sq = 82,9% R-Sq(adj) = 79,5%

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
Regresión	6	848540	141423	24,28	0,000
Residual Error	30	174709	5824		
Total	36	1023248			

Source	DF	Seq SS
--------	----	--------

PULL	1	593096
CASCO	1	1056
% de Humedad	1	4976
Temp Opt.	1	5769
Presión Atom.	1	237463
OILTEM	1	6179

Observaciones Inusuales

Obs	PULL	OILDAY	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
240	206	7126,0	6974,9	31,7	151,1	2,18R
271	180	6730,0	6721,9	59,0	8,1	0,17 X
277	192	6664,0	6665,0	72,6	-1,0	-0,04 X

R denota una observación con un gran residual estandarizado.

X denota una observación cuyo valor "x" da un alto margen.

VIDRIO VERDE

La ecuación obtenida de la regresión es

$$\mathbf{OILDAY = - 7739 + 0,11 PULL - 11,1 CASCO - 7,9 OILTEM + 0,7}$$

$$\mathbf{Presión Atom. + 10,1 Temp Opt.}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
-----------	------	---------	---	---

Constant	-7739	2486	-3,11	0,005
PULL	0,110	3,631	0,03	0,976
CASCO	-11,103	1,881	-5,90	0,000
OILTEM	-7,88	10,96	-0,72	0,480
Presión Atom.	0,66	21,68	0,03	0,976
Temp Opt.	10,105	1,732	5,83	0,000

S = 65,9408 R-Sq = 88,9% R-Sq(adj) = 86,3%

Análisis de Varianza

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	733403	146681	33,73	0,000
Residual Error	21	91312	4348		
Total	26	824715			

Source	DF	Seq SS
PULL	1	78152
CASCO	1	81852
OILTEM	1	421309
Presión Atom.	1	4123
Temp Opt.	1	147966

Unusual Observations

Obs	PULL	OILDAY	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	185	6705,0	6867,6	21,7	-162,6	-2,61R
19	179	6488,0	6435,0	56,9	53,0	1,59 X
21	201	6661,0	6631,4	58,1	29,6	0,95 X

R denota una observación con un gran residual estandarizado.

X denota una observación cuyo valor "x" dio un alto margen.

Durante la fase CONTROLAR con los modelos matemáticos obtenidos, se desarrolla una Hoja de control en la cual se ingresan 3 parámetros:

- Color de Vidrio
- Pull o extracción
- Porcentaje de Casco que se está utilizando

Esta hoja va a ayudar al operador en la toma de decisiones en cuanto a la cantidad de combustible requerido, además de la información sobre el MJ/Ton que se va a obtener.

Microsoft Excel - HOJA COMBUSTIBLE

Ingresar los parametros de Pull, Casco y Color
 Considerar lo siguiente:
 Flint.- Solo existen datos entre 20 % y 30% de Casco que son los que se han trabajado historicamente. Para parametros fuera de este rango, se debe de validar la ecuación de estudio.
 Ambar.- El porcentaje de casco estudiado va de 5% en 5% desde 40% hasta 75%.
 Verde Oscuro.- El porcentaje de casco estudiado es igual al ambar, de 5% en 5% y desde 40% hasta 75%.
 Estos calculos fueron determinados con la operación de burbujeadores. Si se decide apagar los burbujeadores, los cálculos deben de ser convalidados en la práctica

Parametros de Ingreso		Combustible Requerido	
Pull	210	Oil day	7072
% de Casco	50	Oil/hr.	295
Color	Ambar	Oil day ajustado a 60°F	6639
		MJ/Ton	4698

Parametros de Operación	
Temp. Opt. +/- 7	1565
Oil Temp.	122
% de Humedad	2.4
% de Oxigeno	2
Presión Atom	40
Factor	0.9388

Fig. 3.17 Hoja de Control para determinar el combustible requerido.

Con las mejoras obtenidas en el proceso, el consumo de Bunker disminuyó un 5%, de un promedio de 205.000 galones en el 2008 hasta 194.000 galones en el 2009 (Ver Tablas 5 y 6)

Para el proyecto fue determinante el enfoque de optimización de la combustión y las pérdidas de calor que se observaron durante el desarrollo del mismo.

TABLA 6

Consumo Combustibles Galones / Kilos AÑO 2008												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Diesel (Gln)												
Secador / Payloader												
Refinador	14.165	8.260	8.292	8.068	9.299	8.529	6.881	8.291,29	9.572	12.283	8.791	8.880
Archas Formacion	37.918	32.786	37.254	40.249	36.730	35.299	37.605	41.070,71	36.217	35.822	41.363	43.884
Archas Decorado	18.108	19.176	23.223	11.223	18.948	24.436	4.701	1.966,00	18.978	20.242	1.782	6.259
Consumo Pala												
Total Consumo	70.192	60.223	68.770	59.540	64.977	68.264	49.187	51.328	64.767	68.346	51.936	59.023
Refinador Archas Decorado Consumo Pala Archas Formacion												
Bunker (Gln)												
Fundicion	210.747	184.006	208.220	202.965	209.085	206.909	207.163	204.374	205.432	209.854	203.425	200.770
Ajust.Invent.												
Total Consumo	210.747	184.006	208.220	202.965	209.085	206.909	207.163	204.374	205.432	209.854	203.425	200.770
Gas (Kgs)												
Fundicion	101.069	95.647	104.841	106.481	105.564	101.336	106.668	106.195	94.044	107.038	114.919	111.177
Ajust.Invent.												
Total Consumo	101.069	95.647	104.841	106.481	105.564	101.336	106.668	106.195	94.044	107.038	114.919	111.177

TABLA 7

Consumo Combustibles Galones / Kilos AÑO 2009											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	TOTAL
Diesel (Gln)											
Secador / Payloader											
Refinador	9.426	9.438	8.964	10.915	9.288	9.791					57.823
Archas Formacion	39.276	39.461	36.812	35.052	36.106	41.150					227.858
Archas Decorado	13.423	10.558	10.697	19.169	12.910	10.520					77.278
Ajust.Invent.											
Total Consumo	62.126	59.457	56.474	65.136	58.304	61.461					362.958
Bunker (Gln)											
Fundicion	197.604	185.788	191.636	196.475	192.354	197.559					1.161.416
Ajust.Invent.											0
Total Consumo	197.604	185.788	191.636	196.475	192.354	197.559					1.161.416
Gas (Kgs)											
Fundicion	120.009	116.770	116.672	108.082	115.158	109.671					686.362
Ajust.Invent.											0
Total Consumo	120.009	116.770	116.672	108.082	115.158	109.671					686.362

Como CONCLUSIONES podemos decir que:

1. Las herramientas Lean Six Sigma además de ser una excelente herramienta para mejorar el control de calidad, pueden ser utilizadas para determinar y mejorar el comportamiento de cualquier proceso, siguiendo los pasos descritos en esta tesis.
2. Mediante el desarrollo de la tesis se observó que la presión de atomización en todos los quemadores en un proceso en el que se trabaja con combustibles pesados, fuel oil, debe ser mínimo de 40 PSI para obtener una mejor pulverización del combustible en la cámara del horno
3. Otra variable importante para procesos que utilizan combustibles pesados es la temperatura de precalentamiento del mismo. Se pudo evidenciar que el consumo de combustible disminuyó al incrementar la temperatura de precalentamiento debido a que disminuye la viscosidad y mejora la combustión. Pero esta no debe de pasar la temperatura de inflamación del combustible, que para el caso del fuel oil 6 es de 140°C. Históricamente este horno precalentaba el combustible hasta 100°C.

4. Las pérdidas de calor que se originan por el desgaste natural del horno deben ser minimizadas mediante un programa de mantenimiento de la corona y siempre después de cada reparación es necesario volver a colocar el aislamiento para evitar estas pérdidas.

5. Para optimizar el proceso de combustión en estos hornos es indispensable que todo el aire para la combustión ingresen por los regeneradores. Debido a esto se diseñaron los sellos de quemadores para así evitar que ingrese aire del ambiente a la cámara. Es necesario el monitoreo periódico debido a que estos están en contacto con el horno.

APENDICE A

BASE DE DATOS DE OPERACION DEL HORNO COLOR VIDRIO VERDE																
FECHA	PULL Ton.	CASCO %	CROWN2 °C	CROWN3 °C	BTMBLK °C	BTMBLK °C (range)	BTMGLS °C	BTMGLS °C (range)	AIRVLV promedio	OPTIC promedio	% HUM. BATCH	GLEVEL desv st.	OILDAY Gal.	OILTEM	OILDAY Gal.	MJ / TON
16-Jun-07	182.9	45.0	1438	1500	1273	12.2	1259	15.8	43	1573	4	0.0065	6885	98.5	6530	5390
17-Jun-07	188.0	45.0	1438	1502	1271	4.6	1252	1.6	44	1575	3	0.0181	6930	100.2	6573	5278
18-Jun-07	188.0	45.0	1437	1498	1273	2.9	1253	0.9	44	1571	3	0.0075	6898	100.3	6543	5254
19-Jun-07	185.9	45.0	1440	1504	1274	3.2	1251	1.9	43	1572	3	0.0069	6896	100.2	6541	5312
20-Jun-07	185.7	45.0	1439	1505	1278	4.2	1253	2.4	42	1572	3	0.0054	6896	100.0	6541	5317
21-Jun-07	190.3	45.0	1436	1500	1277	8.1	1252	4.1	42	1567	4	0.0060	6906	99.7	6550	5196
11-Jul-07	178.6	40.0	1428	1430	1287	24.5	1279	25.1	36	1545	2	0.0201	6601	100.1	6261	5292
12-Jul-07	182.9	40.0	1408	1414	1261	17.4	1257	18.2	34	1535	3	0.0222	6482	101.6	6148	5075
13-Jul-07	177.4	40.0	1415	1417	1245	15.8	1236	15.6	39	1543	3	0.0113	6714	101.1	6368	5419
14-Jul-07	180.2	40.0	1427	1429	1239	7.1	1236	5.1	41	1553	3	0.0126	6799	101.4	6449	5402
15-Jul-07	180.1	40.0	1427	1431	1247	8.1	1240	6.2	40	1554	3	0.0124	6798	100.2	6448	5405
16-Jul-07	182.4	40.0	1428	1429	1253	7.2	1245	4.8	40	1551	3	0.0115	6801	100.3	6451	5339
17-Jul-07	179.7	40.0	1432	1430	1257	5.7	1244	4.5	40	1550	3	0.0087	6798	100.5	6448	5417
18-Jul-07	179.4	40.0	1437	1434	1255	3.7	1244	1.9	41	1550	3	0.0089	6799	99.7	6449	5427
19-Jul-07	178.6	40.0	1430	1430	1258	6.4	1245	3.1	39	1549	4	0.0093	6686	100.3	6342	5360
20-Jul-07	179.3	55.0	1433	1442	1266	9.1	1232	7.3	35	1549	4	0.0084	6545	100.8	6208	5227
21-Jul-07	182.9	55.0	1436	1149	1270	6.7	1254	4.3	35	1555	4	0.0086	6538	100.8	6201	5118
22-Jul-07	178.7	75.0	1442	1453	1281	22.4	1264	18.3	34	1546	3	0.0098	6488	100.1	6154	5199
23-Jul-07	179.2	40.0	1442	1447	1305	20.7	1286	19.3	40	1547	3	0.0136	6739	100.3	6392	5385
07-Nov-08	186.6	45.0	1449	1506	1194	2.8	1220	19.5	44	1553	3	0.0153	6449	125.2	6054	4822
08-Nov-08	183.9	45.0	1448	1503	1187	6.8	1214	7.7	47	1555	7.7	0.0055	6583	125.5	6180	4994
09-Nov-08	183.9	45.0	1450	1501	1192	6.6	1220	6.0	48	1553	2	0.0058	6592	125.5	6189	5001
10-Nov-08	178.6	45.0	1444	1497	1194	3.5	1222	2.5	45	1546	2	0.0059	6420	125.9	6027	5015
11-Nov-08	178.9	45.0	1439	1486	1194	3.4	1223	3.0	46	1542	3	0.0056	6390	124.9	5999	4984
12-Nov-08	179.0	45.0	1436	1487	1194	5.7	1223	4.3	46	1540	2	0.0053	6350	123.8	5961	4950
02-Feb-09	189.9	60.0	1466	1486	1233	8.5	1233	4.3	45	1519	2	0.0075	6962	123.3	6536	5115
03-Feb-09	186.9	60.0	1467	1464	1231	4.4	1264	4.5	45	1510	2	0.0090	6961	123.2	6535	5196
04-Feb-09	190.7	60.0	1450	1461	1231	6.4	1231	4.5	45	1506	2	0.0080	6963	122.7	6537	5094
05-Feb-09	190.8	60.0	1452	1458	1237	6.7	1245	4.5	45	1506	2	0.0074	6961	122.8	6535	5090
06-Feb-09	190.2	60.0	1452	1459	1242	8.5	1242	6.5	44	1504	2	0.0106	6961	122.8	6535	5106
07-Feb-09	190.4	60.0	1448	1456	1243	5.8	1243	5.8	44	1505	2	0.0103	6917	122.8	6494	5069
08-Feb-09	190.6	60.0	1445	1455	1246	7.3	1246	7.3	43	1502	2	0.0073	6891	123.1	6469	5044
09-Feb-09	190.9	60.0	1446	1453	1239	9.2	1239	9.2	45	1505	2	0.0078	6949	122.9	6524	5079
10-Feb-09	160.3	60.0	1441	1452	1234	2.8	1234	2.8	45	1502	3	0.0087	6946	122.6	6521	6046
11-Feb-09	209.8	45.0	1437	1446	1236	4.6	1236	4.6	47	1498	3	0.0119	7037	122.4	6606	4680

APENDICE B

BASE DE DATOS DE OPERACION DEL HORNO COLOR VIDRIO AMBAR 1																
FECHA	PULL Ton.	CASCO %	CROWN2 °C	CROWN3 °C	BTMBLK °C	BTMBLK °C (range)	BTMGLS °C	BTMGLS °C (range)	AIRVLV promedio	OPTIC. promedio	% HUM. BATCH	GLEVEL desv st.	OILDAY Gal.	OILTEM	OILDAY Gal.	MJ / TON
26-Oct-06	195.3	75	1395	1457	1282.0	10.0	1262.0	15.8	41.0	1551.0	2.8	0.0058	6546.0	98.5	6208.9	4799.3
27-Oct-06	195.3	75	1399	1466	1257.0	4.6	1241.0	1.6	35.0	1555.7	3.1	0.0053	6272.0	100.2	5949.0	4598.4
28-Oct-06	196	75	1396	1465	1242.0	4.0	1225.0	0.9	35.0	1553.3	3.0	0.0075	6254.0	100.3	5931.9	4568.8
29-Oct-06	197.3	75	1390	1459	1229.0	3.2	1213.0	1.9	34.0	1547.7	3.0	0.0075	6270.0	100.2	5947.1	4550.3
30-Oct-06	211	75	1402	1470	1224.0	4.2	1208.0	2.4	44.0	1558.7	3.2	0.0096	6645.0	100.0	6302.8	4509.3
31-Oct-06	197.6	75	1400	1469	1224.0	5.0	1208.0	4.1	44.0	1560.7	3.3	0.0807	6513.0	99.7	6177.6	4719.5
1-Nov-06	215.6	75	1407	1478	1226.0	12.0	1210.0	12.9	46.0	1565.0	3.0	0.0055	6740.0	99.2	6392.9	4476.2
2-Nov-06	216.9	75	1405	1478	1220.0	10.0	1205.0	4.0	47.0	1562.7	3.3	0.0063	6768.0	101.3	6419.4	4467.9
3-Nov-06	217.3	75	1409	1483	1218.0	8.2	1204.0	6.2	48.0	1565.7	3.0	0.0059	6780.0	102.4	6430.8	4467.6
4-Nov-06	217.3	75	1412	1486	1214.0	9.1	1200.0	7.9	47.0	1570.3	2.9	0.0056	6760.0	99.7	6411.9	4454.4
5-Nov-06	218.1	75	1409	1483	1210.0	14.9	1197.0	11.4	47.0	1565.3	3.0	0.0077	6767.0	100.6	6418.5	4442.6
6-Nov-06	218.2	75	1413	1487	1208.0	13.2	1194.0	9.3	48.0	1571.3	2.9	0.0055	6834.0	101.1	6482.0	4484.6
7-Nov-06	214.3	75	1416	1482	1212.0	8.3	1199.0	8.1	50.0	1566.0	3.1	0.0512	6791.0	100.9	6441.3	4537.4
8-Nov-06	218.5	75	1421	1483	1210.0	6.5	1196.0	8.5	49.0	1570.3	3.2	0.0064	6848.0	100.7	6495.3	4487.6
9-Nov-06	214.4	75	1416	1483	1207.0	3.9	1193.0	4.2	51.0	1571.7	3.1	0.0714	6697.0	100.7	6352.1	4472.6
10-Nov-06	212.5	75	1412	1484	1208.0	4.6	1193.0	4.7	47.0	1569.7	3.4	0.0071	6671.0	100.6	6327.4	4495.0
11-Nov-06	214	75	1413	1484	1206.0	3.2	1190.0	9.1	47.0	1569.3	3.0	0.0059	6694.0	100.3	6349.3	4478.9
12-Nov-06	214.1	75	1414	1486	1206.0	3.6	1190.0	6.8	47.0	1570.3	3.0	0.0094	6706.0	100.3	6360.6	4484.8
13-Nov-06	214.8	75	1416	1487	1206.0	11.6	1190.0	8.3	47.0	1572.3	3.2	0.0058	6676.0	99.8	6332.2	4450.2
14-Nov-06	213.7	75	1415	1491	1205.0	4.3	1189.0	3.8	48.0	1575.7	4.0	0.0052	6763.0	100.5	6414.7	4531.4
15-Nov-06	210.8	75	1414	1490	1202.0	4.4	1184.0	2.2	46.0	1571.7	4.1	0.0058	6695.0	101.1	6350.2	4547.6
16-Nov-06	211.5	75	1414	1489	1199.0	8.1	1180.0	5.5	45.0	1571.7	4.0	0.0057	6635.0	100.9	6293.3	4491.9
17-Nov-06	214.5	75	1413	1489		7.4		7.2	48.0	1572.3	3.9	0.0058	6762.0	100.5	6404.3	4507.2
18-Nov-06	217.1	75	1418	1493	1191.0	11.0	1171.0	10.2	47.0	1575.3	3.7	0.0058	6777.0	100.9	6428.0	4469.7
19-Nov-06	215.1	75	1416	1489	1189.0	12.4	1169.0	12.9	47.0	1569.7	3.8	0.0088	6709.0	100.5	6363.5	4466.0
20-Nov-06	177.3	75	1401	1470	1194.0	10.0	1172.0	25.1	33.0	1554.0	3.6	0.0056	6020.0	100.1	5710.0	4861.7
21-Nov-06	168.8	75	1390	1459	1205.0	8.2	1183.0	18.2	31.0	1543.3	3.5	0.0063	5842.0	101.6	5541.1	4955.5
22-Nov-06	180.7	75	1400	1470	1212.0	15.8	1189.0	15.6	36.0	1555.7	4.0	0.0092	6214.0	101.1	5894.0	4923.9
23-Nov-06	201.2	75	1395	1461	1217.0	7.1	1195.0	5.1	50.0	1538.7	3.9	0.0081	6900.0	101.4	6544.7	4910.5
4-Abr-07	218.3	75	1415	1484	1480.0	8.1	1250.0	6.2	46.0	1570.0	3.0	0.0066	6906.0	100.5	6550.3	4529.7
5-Abr-07	215.7	75	1412	1486	1458.0	7.2	1228.0	4.8	41.0	1571.0	2.9	0.0050	6727.0	101.1	6380.6	4465.5
6-Abr-07	215.9	75	1414	1485	1454.0	5.7	1223.0	4.5	43.0	1567.0	2.8	0.0049	6799.0	101.1	6448.9	4509.1
7-Abr-07	218.3	75	1413	1486	1452.0	3.7	1221.0	1.9	43.0	1565.0	2.7	0.0053	6800.0	101.2	6449.8	4460.2
8-Abr-07	214.6	75	1402	1474	1249.0	10.0	1219.0	3.1	43.0	1553.0	3.0	0.0056	6837.0	101.0	6484.9	4561.8
9-Abr-07	213.2	75	1397	1468	1253.0	8.2	1223.0	7.3	42.0	1547.0	3.0	0.0053	6833.0	100.6	6481.1	4589.1
10-Abr-07	210.2	75	1391	1463	1249.0	6.7	1220.0	4.3	41.0	1544.0	3.6	0.0049	6759.0	100.0	6410.9	4604.2
11-Abr-07	191	70	1393	1464	1257.0	4.4	1228.0	18.3	34.0	1555.0	3.6	0.0080	6397.0	100.9	6067.6	4795.6

APENDICE B

BASE DE DATOS DE OPERACION DEL HORNO COLOR VIDRIO AMBAR 2

FECHA	PULL Ton.	CASCO %	CROWN2 °C	CROWN3 °C	BTMBLK °C	BTMBLK °C (range)	BTMGLS °C	BTMGLS °C (range)	AIRVLV promedio	OPTIC promedio	% HUMID. BATCH	GLEVEL desv st.	OILDAY		OILTEM	MJ / TON
													Gal.	Gal.		
12-Abr-07	190.3	70	1406	1480	1255.0	8,1	1227.0	19,3	35,0	1556,0	3,9	0,0052	6438,0	100,7	6106,4	4844,1
26-Jun-07	205.5	75	1430	1488	1307,0	7,4	1276,0	4,0	39,0	1560,0	2,6	0,1000	7126,0	100,6	6759,0	4965,2
27-Jun-07	203.8	75	1416	1478	1310,0	7,4	1281,0	6,1	39,0	1544,0	3,8	0,0074	6809,0	101,1	6458,3	4783,9
28-Jun-07	207	75	1425	1483	1297,0	4,4	1270,0	20,0	43,0	1554,0	2,9	0,0053	6942,0	100,9	6584,5	4801,9
29-Jun-07	203.8	75	1432	1491	1299,0	8,1	1272,0	29,0	44,0	1555,3	3,9	0,0071	6959,0	100,7	6600,6	4889,3
30-Jun-07	207	75	1430	1489	1306,0	7,4	1280,0	8,5	43,0	1553,7	3,7	0,0066	6966,0	100,7	6607,3	4818,5
1-Jul-08	206.8	75	1433	1494	1302,0	8,1	1279,0	6,4	43,0	1559,0	4,5	0,0059	6965,0	100,6	6606,3	4822,5
2-Jul-08	208.2	70	1429	1489	1298,0	4,3	1279,0	3,7	48,0	1558,0	2,9	0,0073	7138,0	100,3	6770,4	4909,0
3-Jul-08	209.8	70	1412	1486	1302,0	4,4	1286,0	3,4	45,0	1553,3	2,9	0,0071	7011,0	100,3	6649,9	4784,9
4-Jul-08	206.3	70	1420	1488	1289,0	10,0	1277,0	4,7	44,0	1549,0	3,0	0,0079	6967,0	99,8	6608,2	4835,6
5-Jul-08	208.9	70	1419	1448	1285,0	8,2	1275,0	9,0	46,0	1547,7	3,7	0,0065	7046,0	100,5	6683,1	4829,5
6-Jul-08	207.7	70	1419	1427	1281,0	13,3	1273,0	12,8	45,0	1546,7	4,3	0,0069	6966,0	101,1	6607,3	4802,3
7-Jul-08	209.2	70	1419	1427	1276,0	4,9	1271,0	3,1	49,0	1542,3	4,5	0,0051	6966,0	100,9	6607,3	4767,8
8-Jul-08	210.1	70	1431	1436	1272,0	4,1	1268,0	2,9	50,0	1554,0	2,9	0,0063	7195,0	100,5	6824,5	4903,5
9-Jul-08	205.9	65	1433	1442	1319,0	5,5	1302,0	3,8	41,0	1528,3	3,7	0,0071	6783,0	100,5	6433,7	4717,0
10-Jul-08	206.3	65	1395	1435	1281,0	4,4	1270,0	3,2	44,0	1530,7	3,6	0,0068	6896,0	100,3	6540,9	4786,3
11-Jul-08	206.2	65	1416	1436	1264,0	4,4	1254,0	2,1	45,0	1534,0	4,9	0,0056	6964,0	101,8	6605,4	4835,8
12-Jul-08	206.3	65	1415	1439	1258,0	8,1	1248,0	5,9	44,0	1535,0	3,6	0,0061	6964,0	102,0	6605,4	4833,5
13-Jul-08	206.2	65	1419	1440	1252,0	7,4	1243,0	2,6	45,0	1536,0	2,9	0,0045	6963,0	101,3	6604,4	4835,1
30-Nov-08	206.1	65	1418	1429	1253,0	2,0	1244,0	1,4	44,0	1531,7	4,0	0,0050	6948,0	102,4	6590,2	4827,1
1-Dic-08	207.9	65	1426	1437	1250,0	5,8	1242,0	5,5	48,0	1541,3	3,8	0,0060	7108,0	102,3	6673,0	4770,2
2-Dic-08	203.5	65	1436	1438	1256,0	4,4	1248,0	1,3	51,0	1544,3	4,9	0,0059	7197,0	102,4	6756,5	4934,4
3-Dic-08	203.8	65	1438	1444	1266,0	8,1	1258,0	7,4	45,0	1546,0	3,6	0,0060	7002,0	102,1	6573,5	4793,6
4-Dic-08	201.5	65	1435	1443	1272,0	7,4	1265,0	15,4	43,0	1545,3	3,8	0,0076	6941,0	102,4	6516,2	4806,1
5-Dic-08	203.5	65	1436	1441	1270,0	8,3	1264,0	8,9	43,0	1539,7	3,5	0,0059	6941,0	102,6	6516,2	4758,9
6-Dic-08	203.6	65	1433	1433	1268,0	11,3	1262,0	10,7	45,0	1540,0	3,5	0,0060	6944,0	102,4	6519,0	4758,6
7-Dic-08	204.7	65	1446	1446	1265,0	10,1	1260,0	17,0	42,0	1537,0	4,6	0,0055	6909,0	102,4	6486,2	4709,1
8-Dic-08	206.9	65	1448	1448	1264,0	9,7	1259,0	16,3	49,0	1541,0	4,2	0,0067	7141,0	102,3	6704,0	4815,5
9-Dic-08	201.2	55	1451	1451	1246,0	9,2	1261,0	9,2	50,0	1536,7	2,9	0,0052	7182,0	102,5	6742,5	4980,4
10-Dic-08	202	55	1461	1461	1241,0	9,7	1262,0	15,4	51,0	1542,0	3,4	0,0049	7202,0	103,1	6761,2	4974,5
11-Dic-08	202.7	55	1475	1475	1240,0	9,3	1261,0	4,7	51,0	1555,3	3,3	0,0046	7228,0	102,5	6785,6	4975,2
12-Dic-08	200.7	55	1486	1486	1243,0	9,5	1264,0	13,0	52,0	1566,3	3,3	0,0049	7237,0	101,9	6794,1	5031,0
13-Dic-08	197.1	55	1465	1465	1244,0	13,3	1265,0	11,5	44,0	1556,7	3,3	0,0049	6989,0	102,5	6561,3	4947,4

APENDICE B

BASE DE DATOS DE OPERACION DEL HORNO COLOR VIDRIO AMBAR 3

FECHA	PULL Ton.	CASCO %	CROWN2 °C	CROWN3 °C	BTMBLK °C	BTMBLK °C (range)	BTMGLS °C	BTMGLS °C	BTMGLS °C (range)	AIRVLY promedio	OPTIC promedio	% HUMID. BATC	GLEVEL desv st.	OILDAY Gal.	OILTEM	OILDAY Gal.	MJ / TON
14-Mar-09	201.3	55	1447	1447	1241.0	4.9	1262.0	1262.0	2.1	45.0	1548.0	3.3	0.0063	6997.0	102.5	6568.8	4849.7
15-Mar-09	180.3	55	1443	1443	1242.0	4.1	1264.0	1264.0	2.1	42.0	1552.0	4.4	0.0092	6730.0	102.2	6318.1	5207.9
16-Mar-09	187.2	40	1455	1503	1268.0	5.5	1291.0	1291.0	2.6	45.0	1551.0	3.3	0.0103	6503.0	125.1	6003.0	4765.8
17-Mar-09	182.7	40	1452	1501	1239.0	4.4	1261.0	1261.0	3.4	43.0	1550.0	3.2	0.0060	6468.0	126.5	5971.0	4857.0
18-Mar-09	185.5	40	1446	1501	1219.0	13.3	1241.0	1241.0	4.6	43.0	1548.0	3.2	0.0061	6478.0	129.0	5980.0	4791.0
19-Mar-09	187.1	40	1436	1491	1205.0	4.9	1228.0	1228.0	6.1	45.0	1542.1	3.4	0.0080	6562.0	129.0	6057.0	4812.0
20-Mar-09	188.1	40	1436	1490	1197.0	4.1	1220.0	1220.0	2.7	46.0	1540.4	3.2	0.0053	6657.0	129.0	6145.0	4855.0
21-Mar-09	187.6	40	1436	1489	1203.0	7.4	1227.0	1227.0	5.7	47.0	1536.7	3.0	0.0055	6684.0	129.0	6170.0	4888.0
22-Mar-09	184.6	40	1438	1489	1206.0	8.1	1231.0	1231.0	1.4	48.0	1539.9	2.9	0.0067	6684.0	129.0	6170.0	4967.0
23-Mar-09	191.9	45	1441	1499	1207.0	4.3	1232.0	1232.0	4.0	50.0	1444.8	3.1	0.0137	6664.0	129.0	6152.0	4764.0
24-Mar-09	193.9	45	1445	1502	1211.0	4.4	1235.0	1235.0	5.1	52.0	1550.8	2.6	0.0051	6744.0	126.1	6225.0	4772.0
25-Mar-09	199.7	45	1440	1496	1206.0	10.0	1230.0	1230.0	8.7	51.0	1546.9	2.9	0.0057	6797.0	126.4	6274.0	4669.0
26-Mar-09	115.5	45	1441	1491	1248.0	8.2	1275.0	1275.0	6.7	49.0	1534.1	2.6	0.0073	6754.0	123.2	6235.0	4640.0
27-Mar-09	201	45	1444	1499	1237.0	13.3	1262.0	1262.0	15.5	53.0	1552.4	2.6	0.0071	6798.0	121.9	6275.0	4640.0
28-Mar-09	200.5	45	1447	1503	1222.0	8.3	1247.0	1247.0	2.3	55.0	1557.2	2.6	0.0054	6862.0	121.7	6334.0	4695.0
29-Mar-09	200.5	45	1446	1500	1213.0	6.5	1238.0	1238.0	3.5	55.0	1552.6	2.5	0.0065	6877.0	120.9	6348.0	4705.0
30-Mar-09	200.5	45	1438	1494	1195.0	3.9	1219.0	1219.0	9.6	57.0	1548.1	2.4	0.0062	7048.0	119.2	6506.0	4822.0
31-Mar-09	197.8	45	1444	1499	1192.0	3.9	1217.0	1217.0	2.9	60.0	1552.9	2.5	0.1180	6470.9	120.1	6470.9	4862.0
1-Abr-09	189.8	45	1446	1500	1197.0	7.4	1224.0	1224.0	6.9	54.0	1556.7	2.6	0.1280	6828.0	120.7	6302.9	4935.3
2-Abr-09	200.5	45	1149	1506	1211.0	7.1	1239.0	1239.0	7.9	49.0	1557.5	2.9	0.1980	6818.0	120.9	6293.7	4665.1
3-Abr-09	200.4	45	1449	1505	1209.0	5.8	1236.0	1236.0	4.0	54.0	1557.8	2.5	0.1160	6811.0	121.7	6287.2	4662.7
4-Abr-09	199.3	45	1448	1506	1207.0	3.5	1235.0	1235.0	2.0	54.0	1556.6	2.4	0.1030	6811.0	121.8	6287.2	4688.4
5-Abr-09	201.9	45	1450	1507	1203.0	4.8	1231.0	1231.0	3.2	56.0	1558.2	2.4	0.1070	6813.0	121.1	6298.3	4636.2
6-Abr-09	200.7	40	1446	1499	1243.0	4.4	1271.0	1271.0	3.2	62.0	1557.0	2.2	0.0068	6815.0	122.7	6397.9	4737.7
7-Abr-09	203.89	40	1452	1506	1222.0	7.0	1251.0	1251.0	5.5	65.0	1554.0	2.2	0.0056	6882.0	121.0	6460.8	4709.4
8-Abr-09	201.8	40	1451	1505	1208.0	6.8	1237.0	1237.0	4.3	66.0	1558.0	2.3	0.0061	6902.0	120.3	6479.6	4772.0
9-Abr-09	198	40	1447	1500	1199.0	6.2	1228.0	1228.0	4.3	66.0	1559.0	2.1	0.0045	6924.0	120.1	6500.3	4879.1
10-Abr-09	201.4	40	1447	1498	1197.0	4.2	1226.0	1226.0	2.4	67.0	1557.0	2.3	0.0050	6926.0	120.7	6502.1	4798.1
11-Abr-09	203.7	40	1447	1501	1190.0	6.2	1220.0	1220.0	4.1	69.0	1559.0	2.2	0.1180	6982.0	120.2	6554.7	4782.3
12-Abr-09	201.3	40	1449	1503	1194.0	5.6	1224.0	1224.0	4.6	71.0	1563.0	2.2	0.1280	7023.0	121.2	6593.2	4867.7

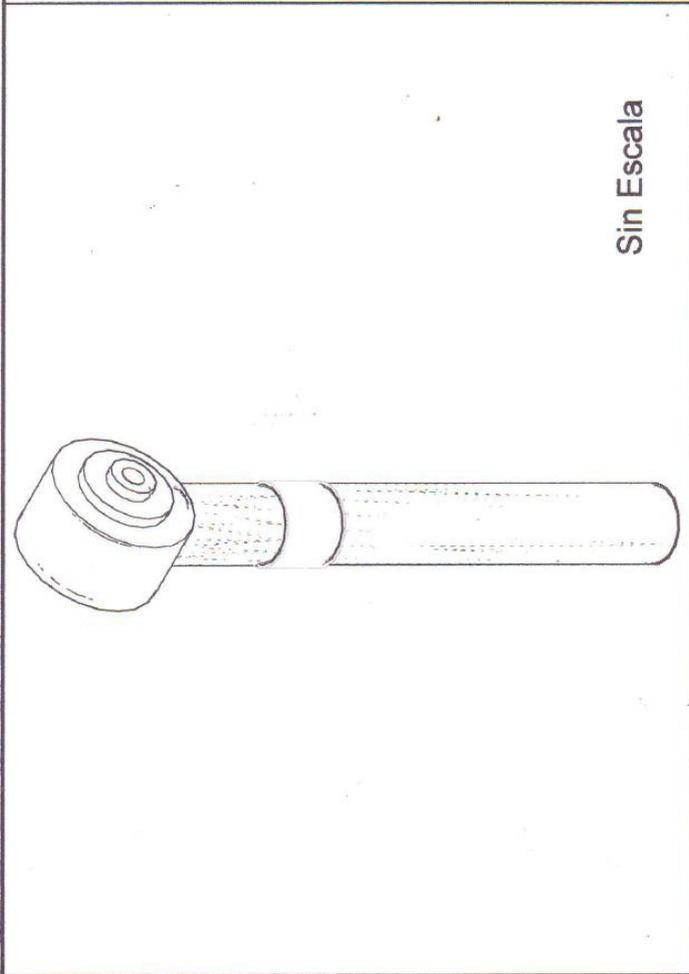
APENDICE C

BASE DE DATOS DE OPERACION DEL HORNO COLOR VIDRIO FLINT 1																		
FECHA	PULL	CASCO	CROWN2	CROWN3	BTMBLK	BTMBLK	BTMBLK	BTMGLS	BTMGLS	BTMGLS	AIRVLV	OPTIC	% HUM.	GLEVEL	OILDAY	OILTEM	OILDAY	MJ / TON
	Ton.	%	°C	°C	°C (range)	°C (range)	°C	°C (range)	°C	°C (range)	promedio	promedio	BATCH	desv st.	Gal.	°C	Gal. Correct.	
1-Sep-08	206.8	26	1415	1487	1235	10,0	1235	15,8	1235	15,8	65	1505	2,6	0,0840	7324	102,1	6876	4941
2-Sep-08	204	26	1414	1496	1232	4,6	1236	1,6	1236	1,6	65	1502	2,6	0,0930	7318	102,2	6870	5005
3-Sep-08	196,4	26	1406	1495	1237	4,0	1239	0,9	1239	0,9	54	1495	2,6	0,1520	6994	102,2	6566	4969
4-Sep-08	208,9	26	1415	1489	1238	3,2	1237	1,9	1237	1,9	64	1502	2,6	0,0880	7329	102,2	6880	4895
5-Sep-08	195,6	26	1402	1490	1236	4,2	1241	2,4	1241	2,4	50	1496	2,6	0,1070	6887	101,4	6466	4913
6-Sep-08	197,1	26	1398	1469	1232	5,0	1241	4,1	1241	4,1	59	1490	2,8	0,1040	7105	101,1	6670	5029
7-Sep-08	192,4	26	1390	1468	1235	12,0	1242	12,9	1242	12,9	54	1485	3,0	0,1360	6853	101,4	6434	4970
8-Sep-08	204,8	26	1405	1498	1221	10,0	1235	4,0	1235	4,0	61	1495	2,3	0,1530	7178	101,3	6739	4890
9-Sep-08	199,3	26	1405	1489	1224	8,2	1236	6,2	1236	6,2	62	1491	2,7	0,0950	7172	101,4	6733	5021
10-Sep-08	209,3	26	1411	1489	1223	9,1	1234	7,9	1234	7,9	63	1494	2,6	0,1460	7371	101,8	6920	4914
11-Sep-08	207	26	1409	1489	1222	14,9	1229	11,4	1229	11,4	61	1496	2,5	0,1730	7352	101,9	6902	4955
12-Sep-08	203,4	26	1417	1489	1227	13,2	1234	9,3	1234	9,3	56	1500	2,4	0,0980	7224	101,5	6782	4955
13-Sep-08	201,6	30	1416	1489	1233	8,3	1241	8,1	1241	8,1	49	1490	2,4	0,1110	7017	105,5	6588	4856
1-Dic-08	204,9	30	1407	1483	1237	6,5	1245	8,5	1245	8,5	49	1486	2,0	0,1480	7004	108,0	6575	4769
2-Dic-08	204,9	30	1403	1483	1237	3,9	1245	4,2	1245	4,2	48	1497	2,1	0,1320	7016	108,6	6587	4777
3-Dic-08	205,1	30	1405	1484	1235	4,6	1244	4,7	1244	4,7	49	1488	1,8	0,1140	7032	108,4	6602	4784
4-Dic-08	206,9	30	1399	1454	1235	3,2	1243	9,1	1243	9,1	50	1492	2,0	0,1170	7070	112,8	6637	4768
5-Dic-08	190,4	30	1389	1466	1235	3,6	1244	6,8	1244	6,8	41	1479	2,0	0,0940	6680	116,6	6271	4895
6-Dic-08	178,2	30	1383	1467	1234	11,6	1243	8,3	1243	8,3	37	1473	2,6	0,1340	6453	118,4	6058	5052
7-Dic-08	194,4	30	1382	1461	1221	4,3	1238	3,8	1238	3,8	44	1477	2,0	0,1060	6832	118,8	6414	4903
8-Dic-08	201,1	30	1391	1460	1228	4,4	1238	2,2	1238	2,2	55	1491	2,0	0,1350	6911	118,7	6488	4795
9-Dic-08	204,65	30	1395	1469	1227	8,1	1237	5,5	1237	5,5	61	1492	2,0	0,1880	6901	118,1	6479	4636
10-Dic-08	204,65	30	1394	1459	1223	7,4	1233	7,2	1233	7,2	63	1490	2,6	0,1520	6936	119,1	6512	4800
11-Dic-08	207,5	30	1393	1453	1219	11,0	1229	10,2	1229	10,2	64	1489	2,0	0,1360	7028	119,1	6598	4726
12-Dic-08	209,4	30	1396	1449	1216	12,4	1227	12,9	1227	12,9	70	1492	2,6	0,1200	7178	118,6	6739	4783
13-Dic-08	214,9	30	1399	1450	1213	10,0	1224	25,1	1224	25,1	71	1495	1,8	0,1160	7318	118,9	6870	4751
14-Dic-08	213,5	30	1405	1449	1215	8,2	1226	18,2	1226	18,2	71	1508	2,2	0,1090	7278	121,2	6833	4756
15-Dic-08	202,2	30	1403	1460	1227	15,8	1238	15,6	1238	15,6	72	1506	2,2	0,1230	7046	122,4	6615	4862
16-Dic-08	213,3	30	1402	1461	1237	7,1	1247	5,1	1247	5,1	67	1504	2,3	0,1140	7077	122,5	6644	4829

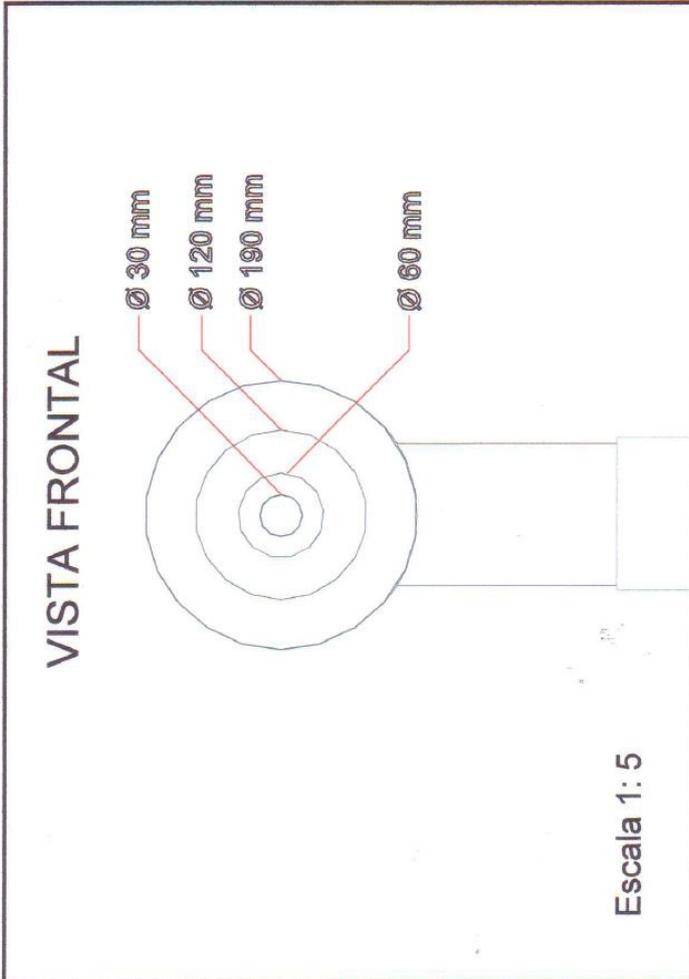
APENDICE C

BASE DE DATOS DE OPERACION DEL HORNO COLOR VIDRIO FLINT 2

FECHA	PULL Ton.	CASCO %	CROWN2 °C	CROWN3 °C	BTMBLK °C	BTMBLK °C (range)	BTMGLS °C	BTMGLS °C (range)	AIRVLV promedio	OPTIC promedio	% HUM. BATCH	GLEVEL desv st.	OILDAY Gal.	OILTEM °C	OILDAY Gal. Correct.	MJ / TON
17-Dic-08	211,3	30	1388	1484	1234	8,1	1245	6,2	66	1502	2,3	0,1000	7063	122,7	6631	4664
18-Dic-08	211,4	30	1393	1486	1233	7,2	1243	4,8	67	1497	1,8	0,1850	7046	122,8	6615	4650
19-Dic-08	210,1	30	1392	1485	1231	5,7	1241	4,5	68	1496	2,3	0,1410	6999	121,8	6571	4650
20-Dic-08	209,7	30	1385	1486	1227	3,7	1237	1,9	69	1493	2,1	0,8940	6922	120,1	6390	4570
21-Dic-08	201,4	30	1386	1474	1227	10,0	1238	3,1	66	1490	2,2	0,5410	6870	122,1	6342	4528
22-Dic-08	205,9	30	1384	1468	1229	8,2	1239	7,3	65	1485	2,2	0,2050	6899	121,9	6368	4680
23-Dic-08	210,9	30	1379	1463	1226	6,7	1236	4,3	66	1482	2,3	0,1760	6922	125,6	6390	4597
24-Dic-08	212	30	1373	1464	1221	4,4	1232	18,3	66	1482	2,1	0,1410	6925	124,8	6392	4503
25-Dic-08	202,4	30	1375	1480	1217	8,1	1229	19,3	54	1477	2,4	0,1300	6605	126,1	6097	4481
26-Dic-08	207,3	30	1383	1488	1211	7,4	1222	4,0	63	1481	2,0	0,2400	6872	124,6	6344	4477
27-Dic-08	206,3	30	1393	1478	1212	7,4	1224	6,1	64	1490	2,2	0,1160	6783	124,8	6261	4548
28-Dic-08	195,6	30	1379	1483	1210	4,4	1223	20,0	54	1475	2,5	0,1030	6543	124,3	6040	4511
29-Dic-08	184,9	30	1370	1491	1205	8,1	1218	29,0	49	1461	2,6	0,1360	6360	124,0	5871	4589
30-Dic-08	190	30	1370	1489	1206	7,4	1219	8,5	48	1463	2,9	0,1360	6351	124,0	5863	4719
31-Dic-08	187,6	30	1375	1494	1207	8,1	1220	6,4	47	1469	2,9	0,1460	6312	124,0	5827	4586
1-Ene-09	187,5	30	1366	1489	1204	4,3	1217	3,7	48	1461	2,6	0,1420	6359	122,3	5870	4616
2-Ene-09	198,3	30	1326	1486	1198	4,4	1211	3,4	51	1462	2,6	0,2780	6633	122,2	6123	4653
3-Ene-09	185,2	30	1373	1488	1198	10,0	1211	4,7	51	1471	2,6	0,3590	6417	123,8	5924	4589
4-Ene-09	193,7	30	1373	1448	1202	8,2	1216	9,0	54	1469	2,4	0,1230	6531	123,7	6029	4626
5-Ene-09	206,3	30	1386	1427	1202	13,3	1216	12,8	65	1484	2,3	0,1430	6832	122,3	6307	4543
6-Ene-09	209,6	30	1391	1427	1199	4,9	1213	3,1	67	1486	2,4	0,1500	6884	121,8	6355	4506
7-Ene-09	211,7	30	1402	1436	1189	4,1	1204	2,9	69	1498	2,3	0,1350	6966	121,8	6430	4514
8-Ene-09	203,5	30	1402	1442	1198	5,5	1213	3,8	67	1499	2,2	0,1760	6906	122,5	6375	4656
9-Ene-09	201	30	1408	1435	1211	4,4	1226	3,2	69	1508	2,1	0,1300	6962	122,4	6427	4751
10-Ene-09	182,2	30	1399	1436	1219	4,4	1235	2,1	61	1494	2,6	0,6900	6450	124,8	5954	4857
11-Ene-09	197	30	1406	1439	1217	8,1	1233	5,9	68	1501	2,4	0,1060	6864	122,1	6336	4780

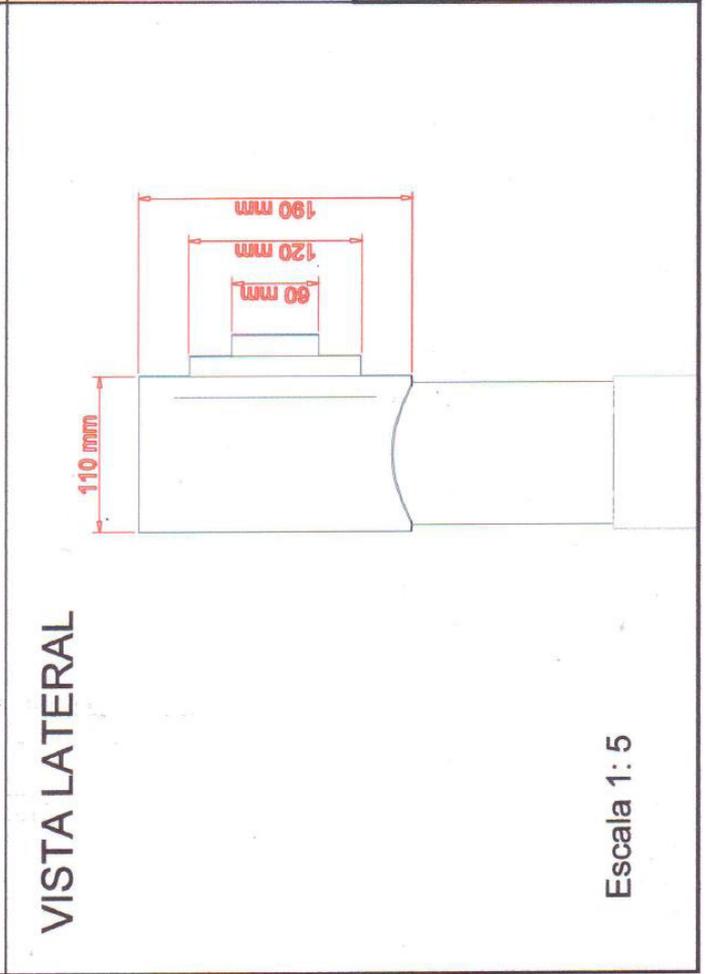


Sin Escala



VISTA FRONTAL

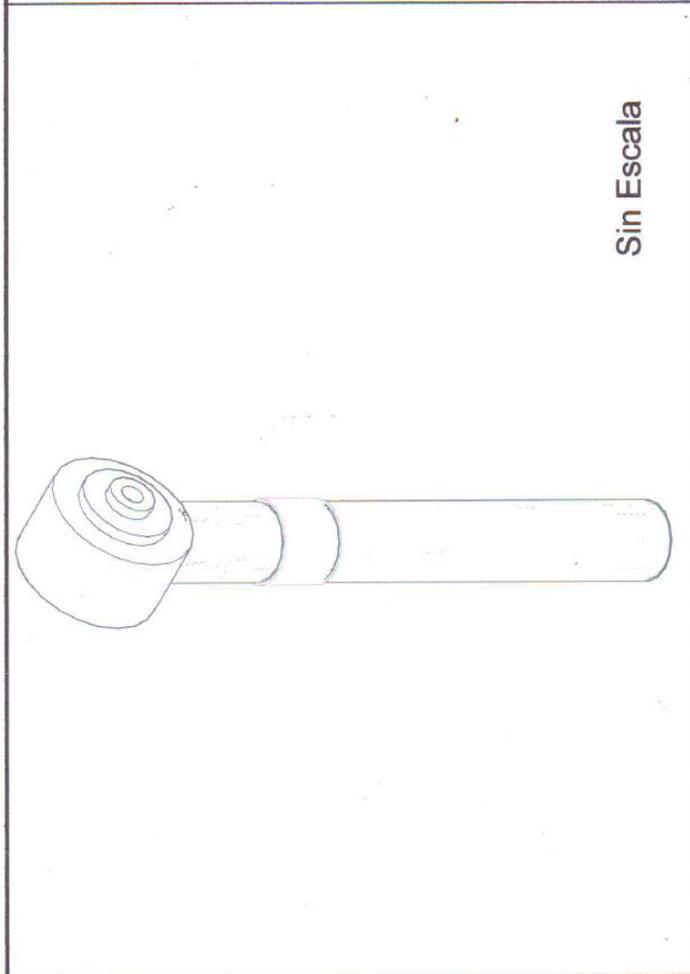
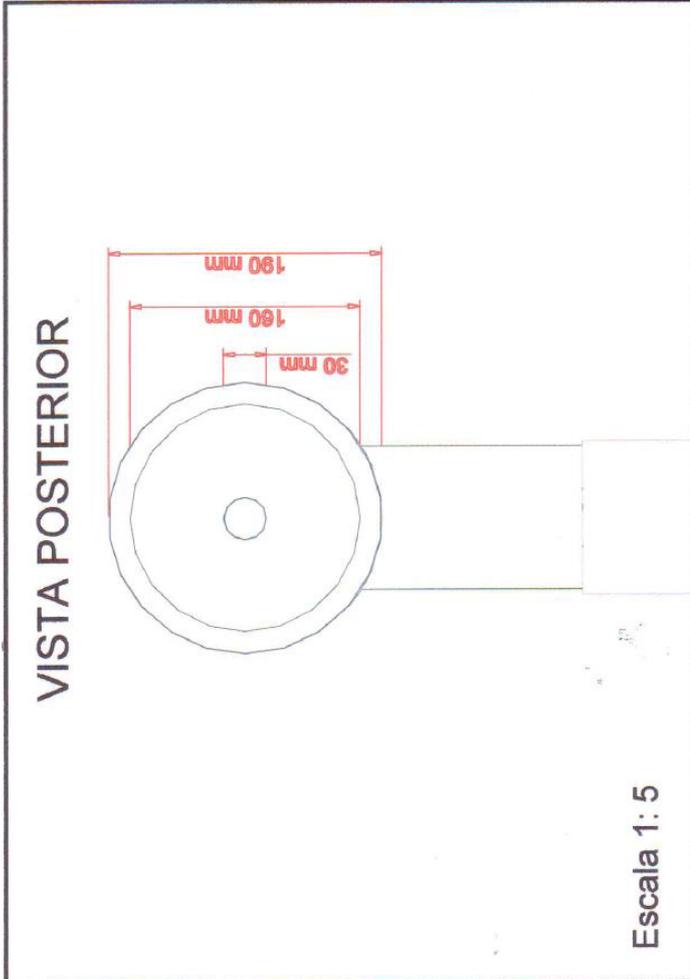
Escala 1: 5



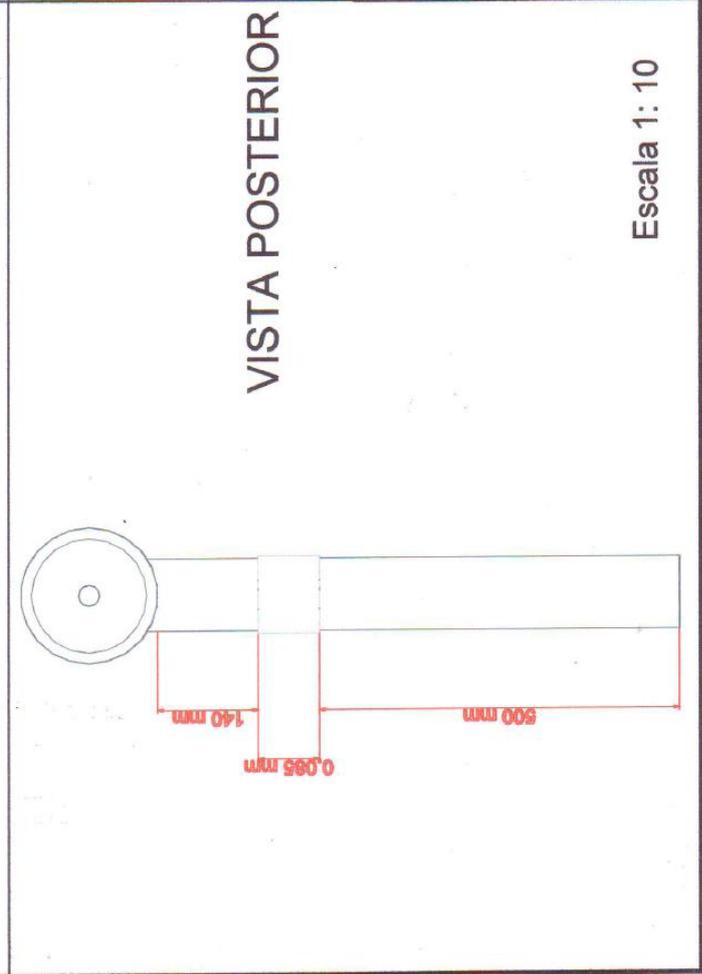
VISTA LATERAL

Escala 1: 5

<p>FIMCP - ESPOL</p>		FECHA:	NOMBRE:
		Dibujó:	C. Aguilár
<p>ANILLO SELLADOR</p>		Revisó:	Ing. Duque
		PLANO No: 1	
<p>PROYECTO:</p>	<p>ESCALA:</p>	<p>CONTIENE:</p>	
<p>MATERIALES:</p> <p>ANILLO SOPORTE DE QUEMADOR</p> <p>ACERO A53</p>		<p>MASA (Kg):</p> <p>3,4 Kg.</p>	



FIMCP - ESPOL		FECHA:	NOMBRE:
		Dibujó:	C. Aguilera
		Revisó:	Ing. Duque
PROYECTO:		PLANO No:	
ANILLO SELLADOR		2	
ESCALA:	CONTIENE:	ANILLO SOPORTE DE QUEMADOR	
	MATERIALES:	ACERO A53	
		MASA (Kg.): 3,4 Kg.	



BIBLIOGRAFIA

1. LEAN SIX SIGMA FOR SERVICE, Autor George Michael
2. MANUAL DE ENTRENAMIENTO BLACK BELT, George Group
3. MANUAL DE OPERACIÓN DE HORNOS REGENERATIVOS, Owens
Illinois Glass Container
4. COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS. Dr. Ing. E. Brizuela –
Ing. J.C. Loza

