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

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 2008 ……...55

Tabla 7 Consumo de Combustible 2009 ……55

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