

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



"REDUCCION DE TIEMPOS MUERTOS DE  
OPERACION USANDO SEIS SIGMA"

POR:

ING. RICARDO FRANCISCO PEREZ BENAVIDES

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE  
LA INGENIERIA DE MANUFACTURA  
CON ESPECIALIDAD EN AUTOMATIZACION

CD. UNIVERSITARIA

JUNIO 2003

TM  
Z5853  
.M2  
FIME  
2003  
.P47

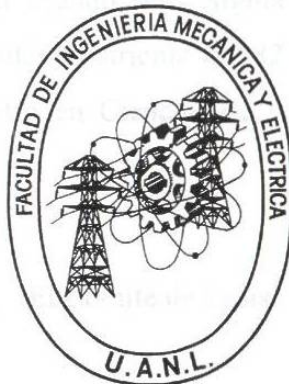
“REDDUCCION DE TIEMPOS MUERTOS DE  
2003 OPERACION USANDO SEIS SIGMA”



1020149131

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



REDUCCIÓN DE TIEMPOS MUERTOS DE OPERACIÓN  
USANDO SEIS SIGMA

POR

ING. RICARDO FRANCISCO PÉREZ BENAVIDES

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA DE MANUFACTURA  
CON ESPECIALIDAD EN AUTOMATIZACIÓN



FONDO  
TESIS

CD. UNIVERSITARIA, SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN  
JUNIO 2003

981062

TH  
25853  
.M2  
FINE  
2003  
.P47



FONDO  
TESIS

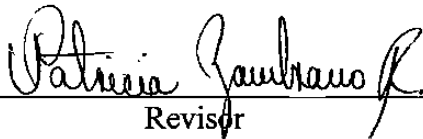
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
División de Estudios de Postgrado

Los miembros del comité de Tesis recomendamos que la Tesis “Reducción de Tiempos Muertos de Operación usando Seis Sigma”, realizada por el alumno Ing. Ricardo Francisco Pérez Benavides, matrícula 0558276 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería de Manufactura con especialidad en Automatización.

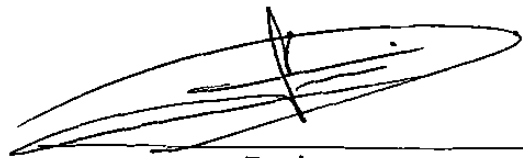
El Comité de Tesis



Director de Tesis  
Dr. Alberto Cavazos González



Revisor  
Dra. Patricia del Carmen Zambrano Robledo



Revisor  
Dr. Francisco Eugenio López Guerrero



Vó. Bo.  
Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez  
Sub-Director División de Estudios de Postgrado

## **DEDICATORIA**

**Para mi Familia,**

**A Sandra,**

por apoyarme en este reto y en  
nuestra vida.

**A Caro y Ricky,**

por el tiempo que me regalan para  
poder realizar este trabajo.

**A mis Padres,**

por sus enseñanzas.

**Agradecimiento a mis compañeros de trabajo,**

por su apoyo y cooperación en el  
trabajo presentado.

## PRÓLOGO

La competencia global en los negocios obliga a las empresas a buscar tener la mejora continua en sus operaciones, a través de entregar productos y servicios de mejor calidad, menor tiempo y con bajo costo de operación; para lo anterior una empresa líder, como lo es Motorola, desarrolló a principios de los 80s una metodología de mejora que ayudará en este fin, Seis Sigma.

Seis Sigma es ahora toda una estrategia de negocio que busca la mejora en el estado de resultado de las empresas, para lo cual utiliza la capacitación en el uso de herramientas estadísticas para el análisis de los datos. Esta estrategia se basa en el despliegue de una estructura en la organización para la realización de proyectos de mejora que aseguren el éxito de esta iniciativa.

La metodología de mejora propone un estricto seguimiento a las fases de generar conocimiento del proceso, definidas como medir, analizar, mejorar y controlar. Siempre orientadas con la finalidad de lograr los objetivos planteados en la definición del problema, pero buscando el beneficio práctico de este aprendizaje para la empresa.

Este trabajo pretende mostrar al lector con un buen nivel de detalle la mejora en un proceso industrial, usando la metodología de Seis Sigma. Esta documentación sería útil para ver la aplicación completa de la metodología y algunas de las herramientas que propone Seis Sigma para la mejora de los procesos.

Ricardo Fco. Pérez Benavides



# ÍNDICE GENERAL

SÍNTESIS.....	3
1 INTRODUCCIÓN .....	6
1.1 Descripción del problema .....	6
1.2 Objetivo del trabajo de la tesis .....	6
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Límites del estudio .....	7
1.5 Justificación del trabajo.....	7
1.6 Metodología .....	8
1.7 Revisión bibliográfica .....	10
2 SEIS SIGMA.....	11
2.1 ¿Qué es Seis Sigma? .....	11
2.2 Metodología de Mejora de los Procesos .....	17
2.2.1 Medir.....	20
2.2.2 Analizar .....	21
2.2.3 Mejorar.....	22
2.2.4 Controlar .....	24
2.3 Cambio de Cultura .....	25
2.3.1 Aceptación del Cambio de Seis Sigma .....	26
2.3.2 Análisis de los Involucrados .....	28
2.3.3 Liderazgo para lograr los Cambios .....	29
2.4 Resumen del capítulo .....	29
3 MEDIR.....	31
3.1 Descripción del Proceso de Hornos .....	32
3.2 Identificación de la variable de medición y la fuente de información .....	34

3.3	Validación del sistema de medición.....	39
3.4	Evaluación del desempeño actual .....	41
3.5	Determinación de los objetivos de mejora.....	43
3.6	Conclusiones del capítulo .....	50
4	ANALIZAR .....	51
4.1	Identificación de las causas de variación .....	51
4.2	Validación de las causas potenciales.....	55
4.3	Conclusiones del capítulo .....	69
5	MEJORAR.....	71
5.1	Soluciones que contrarrestan las causas verificadas .....	72
5.2	Establecimiento del ajuste de operación para las causas .....	74
5.3	Conclusiones del capítulo .....	89
6	CONTROLAR .....	91
6.1	Implementación de las soluciones en el proceso.....	91
6.2	Validación de la efectividad de las soluciones.....	101
6.3	Conclusiones del capítulo .....	106
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
7.1	Conclusiones .....	107
7.2	Recomendaciones.....	108
	BIBLIOGRAFÍA .....	109
	LISTADO DE TABLAS.....	110
	LISTADO DE FIGURAS .....	112
	LISTADO DE ECUACIONES .....	114
	APÉNDICE A: TABLA ANOVA.....	115
	APÉNDICE B: TABLA REGRESIÓN .....	117
	GLOSARIO .....	119
	RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO .....	121

## SÍNTESIS

En este trabajo se presenta la aplicación de la metodología de mejora de Seis Sigma para tratar un problema de tiempos muertos de operación presentados en el área de hornos de una empresa metalúrgica de la localidad. Se plantea la hipótesis que con esta metodología y con las herramientas que propone se logrará la disminución de los tiempos muertos de operación y esto significa aumento de productividad.

Para lo anterior es importante revisar la metodología de mejora de Seis Sigma, antes de ver la aplicación que se realiza para este problema en particular. Esta metodología plantea el uso de datos para lograr tener conocimiento real y herramientas estadísticas para convertir estos datos en información que ayude a tomar decisiones y acciones.

Las fases de la metodología de un proyecto de mejora son medir, analizar, mejorar y controlar; con el desarrollo de estas fases se logra la caracterización y optimización del proceso. Además es fundamental cuidar durante el desarrollo de un proyecto de mejora la potencial resistencia al cambio que puede generarse.

Al desarrollar la fase de medir se realiza el conocimiento del proceso por medio de un mapa de flujo del éste y se selecciona la característica crítica para el cliente, la cual este caso de estudio fue el tiempo de duración de las cargas en los hornos. Para lo anterior se estableció un límite de especificación máximo, con esto se estableció el desempeño actual del proceso al inicio del proyecto que fue de 383,126 defectos por millón de oportunidades (DPMO) ó 0.30 de Nivel Sigma que es uno de los indicadores de desempeño utilizado en la metodología Seis Sigma.

Antes de poder llegar a las conclusiones de la fase de medir presentadas se realizó la validación del sistema de medición utilizado, donde se encontró que se tenía diferencia entre la forma de medir el tiempo de duración de la carga. El punto anterior quedó resuelto antes de realizar los cálculos de nivel de desempeño.

Con lo anterior se buscó establecer un objetivo de mejora que estadísticamente fuera distinto al desempeño observado en el proceso actual, para lo anterior se realizó un análisis entre los hornos para seleccionar el mejor desempeño y establecer el objetivo de mejora en un Nivel Sigma de 1.18 ó 119,453 DPMO.

Para lograr conocer las causas que originaban los DPMO detectados en la fase de medir, se realizó en la fase de analizar un trabajo con el equipo del proyecto, con la finalidad de identificar las causas potenciales que podrían generar el efecto de tener mayor tiempo de duración de la carga. Después se procedió a priorizar las causas y elegir las más probables para validar si éstas en realidad estaban afectando.

Las causas que fueron verificadas de afectar al desempeño son: el cambio de condiciones del horno por falta de atención de operadores, fallas del sistema de combustión, tiempo para realizar la descarga y tiempo perdido en los cambios de turno. Para poder verificar las causas se realizaron pruebas estadísticas, después de una planeación y ejecución del cómo realizar esta verificación.

Se continuó con la fase de mejorar, donde se buscó contrarrestar las causas verificadas. Para lo cual se realizaron pruebas estadísticas que aseguren que las mejoras propuestas para las causas verificadas son efectivas. Para verificar estas soluciones se utilizaron pruebas de hipótesis, análisis gráficos, regresión y análisis de modo y efecto de fallas con lo que se logró tener la evidencia de que era significativa la mejora planteada.

Mantener el aprendizaje logrado es el objetivo de la fase de controlar, donde se establecieron los documentos de control y seguimiento de las mejoras propuestas y la validación de la mejora lograda en este proyecto.

En la fase final de este trabajo se validó de nueva cuenta el desempeño del proceso para compararlo contra el desempeño inicial y el objetivo planteado originalmente. el desempeño observado fue de 44,157 DPMO ó 1.70 Nivel Sigma, lo cual excede los objetivos planteados originalmente para la mejora.

En este trabajo las causas principales estaban relacionadas con la operación, por lo que el involucramiento y medición de desempeño de las actividades del proceso fue fundamental para lograr la mejora.

Se concluye que el uso de la metodología de Seis Sigma tiene la capacidad para mejorar este proceso, con lo relacionado a los tiempos muertos de operación.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Descripción del problema

Una empresa metalúrgica de la localidad, tiene limitada su capacidad de producción en el área de Hornos, la cual es el cuello de botella de la producción, por lo que cualquier demora en esta área repercute en la producción total de la planta. La productividad en el área de Hornos se ve afectada, entre otras cosas, por los tiempos muertos en la operación, lo que ocasiona que no se aproveche la capacidad instalada y la mano de obra disponible.

Dado que esta empresa tiene oportunidad de vender cualquier producción adicional que logre, el aumentar la producción será un beneficio directo en los resultados de operación.

## 1.2 Objetivo del trabajo de la tesis

Aplicar la metodología de mejora de procesos de Seis Sigma para lograr aumentar la productividad, analizando y buscando las causas principales que ocasionan las demoras de operación y así poder atacar estas causas y disminuir las demoras de operación.

### **1.3 Hipótesis**

Se supone que el uso de las herramientas y metodología de Seis Sigma tienen el potencial para mejorar el proceso al poder medir, analizar, mejorar y establecer en control los factores que afectan a la productividad, con lo cual se logrará la disminución de los tiempos muertos de operación.

### **1.4 Límites del estudio**

Este estudio se realizará en una empresa metalúrgica de la localidad, en el área de Hornos. Se analizarán solamente las causas que afectan a la productividad, que están relacionadas a tiempos muertos de operación.

No se analizará, ni se trabajará con la tecnología del proceso metalúrgico de los hornos para la recuperación del metal. Dado que ésta permanecerá constante durante este estudio.

### **1.5 Justificación del trabajo**

La aplicación de técnicas modernas para la mejora de los procesos en la administración de la operación de la manufactura, como lo es Seis Sigma, da una excelente área de oportunidad para ofrecer resultados tangibles de mejora a la compañía, además de explorar la posibilidad de aplicar Seis Sigma en este tipo de problema.

Se espera que el enfoque aplicado al atacar este tipo de problema con la metodología de mejora Seis Sigma dará mejores resultados que los enfoques tradicionales de las técnicas de Ingeniería Industrial y los Círculos de Mejora continua, con los cuales se estaba buscando resolver el problema y se ha logrado tener el desempeño actual.

Aunque están documentadas las herramientas estadísticas, administrativas y de calidad por diversos autores sobre la metodología, no están ampliamente documentadas aplicaciones completas de la metodología de mejora de Seis Sigma. Lo anterior no permite la difusión de los diversos enfoques que se pueden generar para la solución de estos procesos y en particular en la reducción de tiempos muertos.

Sin embargo, se han encontrado en la literatura algunas aplicaciones aunque no con un alto nivel de detalle. En [9] se presenta un proceso de mejora para eliminar los defectos de manufactura en un proceso de tecnología de montaje superficial (SMT; por sus siglas en inglés), [5] reporta la aplicación para mejorar la calidad en el proceso de impresión de directorios telefónicos, [3] presenta la mejora de un proceso de extrusión de plástico para reducir los defectos de los productos moldeados, se encuentra en [11] la aplicación con el objetivo de mejorar la entrega, calidad de producto y proceso de desarrollo de software.

Este trabajo presenta los resultados de la aplicación de la metodología Seis Sigma en un proceso industrial, lo cual significará un beneficio a la empresa, y explora la eficacia de ésta al problema de pérdida de productividad por tiempos muertos de operación. Al presentar el proyecto completo de la metodología de mejora, la contribución de este trabajo es arrojar una mayor claridad en el tema.

## **1.6 Metodología**

Se utilizará la metodología de mejora Seis Sigma, donde se plantea primero conocer el problema práctico, para convertirlo en un problema estadístico. Con este problema estadístico se buscará la solución que dé una guía para la instalación de la solución práctica. La metodología es como se presenta:

### ❖ Medir

- Identificar la(s) variable(s) de medición y la(s) fuente(s) de información



- Validar el sistema de medición
- Evaluar el desempeño actual
- ❖ Analizar
  - Identificar las causas potenciales
  - Verificar y validar las causas más probables
- ❖ Mejorar
  - Encontrar las soluciones que contrarresten a las causas verificadas
  - Establecer el ajuste de las causas y sus tolerancias
- ❖ Controlar
  - Implementar las soluciones en el proceso
  - Validar la efectividad de las soluciones
- ❖ Elaborar Propuesta definitiva

Este trabajo se organiza de la siguiente manera. Primeramente se presentará una breve descripción de Seis Sigma en el capítulo 2, desde el punto de vista estrategia de negocio y metodología de mejora. El desarrollo del proyecto de mejora se describirá en cuatro capítulos; Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. En el capítulo final se darán las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

En el capítulo 3 se iniciará la caracterización preliminar del proceso para conocer su desempeño actual. En el capítulo 4 se completará la caracterización del proceso, al encontrar las causas principales que ocasionan su desempeño actual.

La mejora del proceso se verá en los capítulos 5 y 6, donde en el primero se buscarán las medidas para contrarrestar las causas encontradas en el capítulo 4, para después establecer los mecanismos para hacer que estas medidas contrarrestantes queden establecidas permanentemente.

## 1.7 Revisión bibliográfica

Para la realización de este trabajo se revisó bibliografía actualizada sobre la metodología Seis Sigma con la finalidad de fundamentar la metodología y las principales herramientas estadísticas y de calidad que se utilizan en este trabajo.

Para el desarrollo de los análisis estadísticos presentados en este trabajo se utilizó principalmente el software Minitab [10], versión 13.3, por lo que la revisión del manual del usuario fue necesaria para poder realizar estos análisis y tener su interpretación.

Se recomienda la revisión del manual del usuario del Minitab para interpretar las salidas de los análisis estadísticos y las gráficas presentadas en este trabajo.

De la literatura se consultaron las aplicaciones documentas para tratar de encontrar enfoques similares a los planeados en el objetivo de este trabajo; sin embargo, lo encontrado no tenía la misma aplicación y la documentación no tenía el detalle necesario.

Las herramientas estadísticas utilizadas se pueden encontrar en varios libros de texto sobre probabilidad y estadística, pero no son listados en la bibliografía al ser información general de consulta. En [4] y [8] se encuentran referencias de las herramientas utilizadas en este trabajo que ayudan en la interpretación de los análisis estadísticos.

## 2 SEIS SIGMA

En este capítulo se presentará brevemente una introducción a la metodología Seis Sigma, sus objetivos y fundamentos principales.

En la sección 2.1, se dará una introducción general a los conceptos fundamentales que propone y definen a Seis Sigma como iniciativa de negocio, para la búsqueda de la mejora de los procesos.

En la sección 2.2, se describirá brevemente la metodología de mejora de Seis Sigma, se bosquejarán los objetivos principales de cada una de las fases y se mencionarán las herramientas más frecuentemente usadas (secciones 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4). Para mayor referencia de la metodología se puede consultar [4], [6], [7], y [8].

En la sección 2.3 se introducen conceptos generales sobre el análisis necesario para lograr vencer la resistencia al cambio enfocado a Seis Sigma y en la sección 2.4 se presenta el resumen del capítulo.

### 2.1 ¿Qué es Seis Sigma?

La competencia global a la que están enfrentándose las empresas, ocasionó que se establecieran estrategias de negocio encaminadas a lograr la mejora de la rentabilidad de las empresas, al mismo tiempo que se enfocaban al cliente por medio de la calidad.

Motorola, Inc., a principios de los ochentas, fue el primero en lanzar el concepto de Seis Sigma como una metodología que buscaba proponer un nivel más alto de calidad al proponer como límite una variación de seis desviaciones estándar, o seis sigma, en sus procesos.

Lo anterior cambiaba el estándar que se tenía en esa época, tres desviaciones estándar, que iniciativas de calidad, como control estadístico de proceso, habían impuesto.

Después de ver el impacto que representó para Motorola el haber adoptado este estándar de desempeño, otras grandes empresas y líderes de sus segmentos adoptaron a Seis Sigma como su filosofía de trabajo.

De entre estas empresas, General Electric fue la que tomó a Seis Sigma como una de sus principales estrategias de negocio, esto gracias al liderazgo de Jack Welch, que identificó a Seis Sigma como una excelente oportunidad para el negocio. "...es la más importante iniciativa que GE ha tomado en su historia... es parte del código genético de nuestro liderazgo futuro", dijo Jack Welch sobre Seis Sigma, ver [7]. Aunque el concepto de Seis Sigma fue desarrollado por Motorola, fue General Electric quien le dio su definición actual de enfoque al negocio, enfocándose en el cliente.

Actualmente empresas como Sony, Nokia, Ford, Toyota, Honeywell, Lear, Johnson Controls, Texas Instruments, Toshiba, Canon, Polaroid, Hitachi, Lockheed Martin, American Express, DuPont, entre otras, ver [7], han adoptado a Seis Sigma como parte importante de sus iniciativas de calidad y mejora de sus procesos. Además también han incluido a Seis Sigma en el desarrollo de productos y procesos que les aseguren el logro de altos niveles de calidad.

El concepto de Seis Sigma está basado en el uso de metodologías para reducir la variación en los procesos, esta reducción puede ser en los procesos existentes o desde el

diseño de los procesos o de los productos. Estas metodologías tienen un uso intensivo de herramientas estadísticas y de calidad.

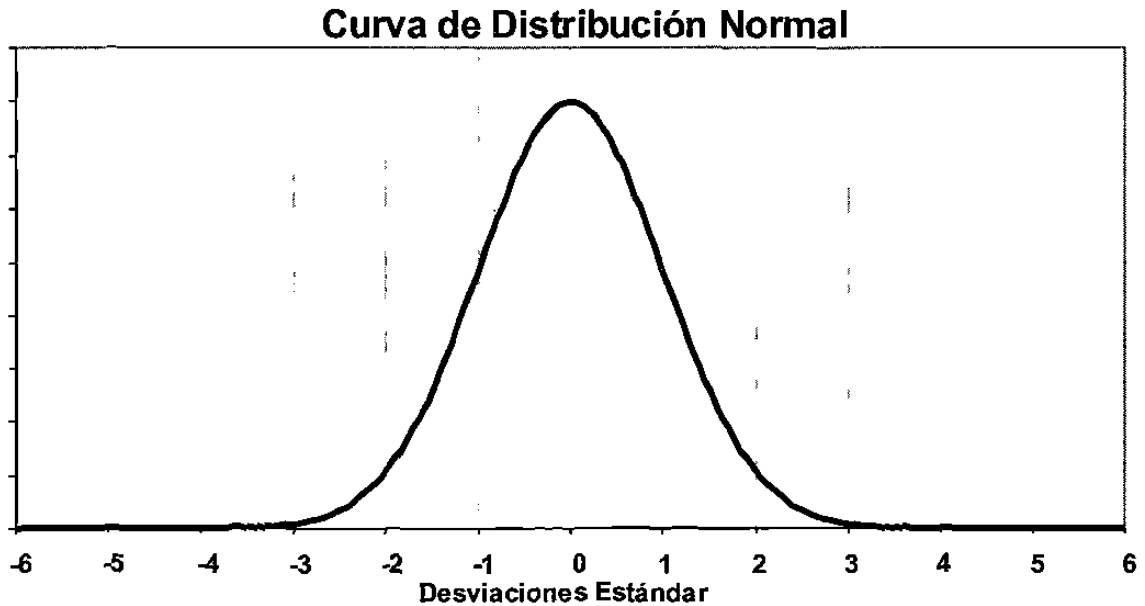


Figura 2.1 Curva de distribución normal

Cuando se habla de sigma, se refiere al símbolo griego ( $\sigma$ ) usado para representar la desviación estándar de la distribución normal, ver Figura 2.1.

Tener un proceso que cumple con las especificaciones dentro de una tolerancia de una  $\sigma$ , significa que se tendría bajo la curva normal el 68.3% de las probabilidades de cumplir con los requerimientos de ese proceso. Por lo que se tienen 31.7% probabilidades de no cumplir con las especificaciones ó 317,310 defectos por millón de oportunidad (DPMO), ver la Tabla 2.1 donde se presentan el área bajo la curva y los DPMO para diferentes desviaciones estándar.

Lo anterior da uno de los principios fundamentales de Seis Sigma, el de reducir la variación de los procesos para reducir la probabilidad de generar defectos en las operaciones.

$\sigma$ Desviaciones estándar (+/-)	Área Bajo la Curva	DPMO Probables
1	68.2689480%	317310.52
2	95.4499876%	45500.12
3	99.7300066%	2699.93
4	99.9936628%	63.37
5	99.999426%	0.57
6	99.999998%	0.00198

Tabla 2.1 Área bajo la curva de la distribución normal

Al principio del desarrollo de la metodología se estableció, bajo estudios realizados, ver [7], que los procesos tienen una variación en el corto y en el largo plazo, siendo esta  $1.5 \sigma$  de corrimiento entre el corto plazo “línea continua” y largo plazo “línea punteada”, ver Figura 2.2.

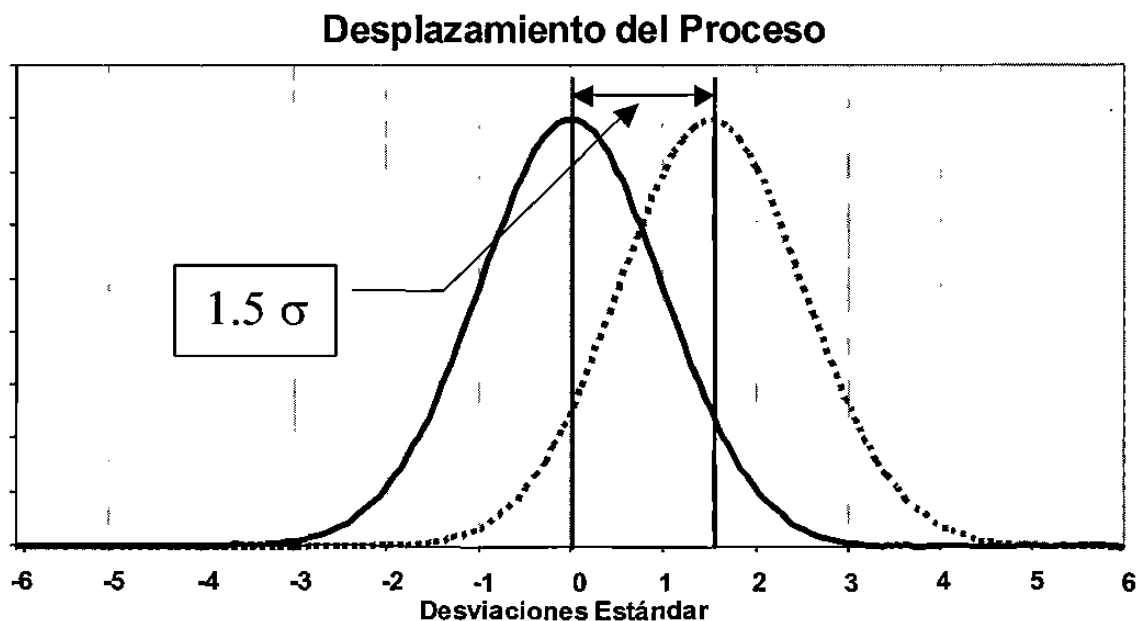


Figura 2.2 Corrimiento del proceso entre el corto y largo plazo

Seis Sigma identifica en su metodología para su indicador principal el Nivel Sigma de los procesos, con el cual busca ver el desempeño del proceso en el corto y largo plazo. Esto lleva a una de las definiciones de Seis Sigma, que es el de buscar un desempeño, en el largo plazo, de los procesos que solamente genera 3.4 defectos por

millón de oportunidad, equivalente a un Nivel Sigma de corto plazo de 6 Sigmas. En la Tabla 2.2 se puede ver varios niveles sigma en largo y corto plazo y los DPMO.

Nivel Sigma (corto plazo)	Nivel Sigma (largo plazo)	DPMO
1	-0.5	691462
2	0.5	308537
3	1.5	66807
4	2.5	6209
5	3.5	233
6	4.5	3.4

Tabla 2.2 Nivel Sigma corto y largo plazo vs DPMO

El Nivel Sigma de corto plazo es el desempeño del proceso, mientras que el largo plazo es el desempeño observado por los clientes; es decir, es el total de la variación que puede ser observada por algún cliente.

Para conocer el nivel de sigma se utiliza la desviación estándar normalizada ( $Z$ ); es decir, la distribución que tiene como promedio 0 y desviación estándar igual a 1. Conociendo el estadístico  $Z$  de cada lado de la distribución se obtienen los defectos, usando las tablas  $Z$ , como la presentada en [4] o utilizando herramientas de software, ver [10], dichos defectos se suman para obtener los defectos totales.

Para obtener el estadístico  $Z$  se utiliza las siguientes ecuaciones;

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \mu}{\sigma} \quad (2.1)$$

$$Z_{LIE} = \frac{\mu - LIE}{\sigma} \quad (2.2)$$

donde:

LSE es el límite superior de especificación,  
 LIE es el límite inferior de especificación,  
 $\mu$  es la media o promedio de la población, y  
 $\sigma$  es la desviación estándar de la población.

Conociendo las  $Z_{LSE}$  y  $Z_{LIE}$ , se calcula la probabilidad de tener defectos para cada uno de los límites de especificación. Para obtener la Z del proceso se suman las probabilidades de defectos de ambos límites y se obtiene el valor de Z en función de los defectos totales haciendo una búsqueda inversa en la tabla Z, como se muestra en la Ecuación( 2.3).

$$Z = \left| \Phi^{-1}(p_{LSE} + p_{LIE}) \right| \quad (2.3)$$

donde:

$$p_{LSE} = \Phi(Z_{LSE}),$$

$$p_{LIE} = \Phi(Z_{LIE})$$

$\Phi(Z)$  es la probabilidad acumulativa y

$\Phi^{-1}(p)$  es el inverso de la probabilidad acumulativa.

Cuando solamente se tiene un límite de especificación en el proceso, la Z del proceso es directamente la Z calculada para el límite especificado.

Las herramientas que propone la metodología Seis Sigma no son de nueva creación, sino las mismas que las iniciativas de calidad anteriores han propuesto (calidad total, control estadístico del proceso, círculos de calidad, entre otras), la diferencia que propone Seis Sigma es el enfoque a los clientes, pero desde el punto de vista de tener el mayor impacto favorable en el estado de resultados de la empresa, por lo que no sigue la calidad por la calidad misma.

Paradójicamente, Seis Sigma no busca que todos los procesos tengan una variación dentro de sus límites de especificación igual a +/- seis desviaciones estándar, sino busca la mejor rentabilidad para la compañía y que esta mejora pueda ser comprobada en el estado de resultados.



Este enfoque al negocio hace la diferencia de Seis Sigma, por lo que esta iniciativa incluye a todos los niveles de la organización para el logro de sus metas. Los niveles directivos son quienes identifican las oportunidades de mejora y asignan proyectos al personal entrenado en esta metodología, en el uso de herramientas estadísticas y de calidad.

Este personal entrenado para la ejecución de los proyectos se le denomina en la mayoría de las empresas “Black Belt”<sup>1</sup>, el nombre establecido a esta función fue asignado por uno de los primeros desarrolladores de Seis Sigma, Mikel Harry, el cual identificó la similitud que debe tener esta persona con las cintas negras de Karate<sup>2</sup>, en cuanto al seguimiento estricto a una metodología que lo hace llegar a un fin de alto desempeño, ver [7].

Para la ejecución de los proyectos además deben intervenir todos los involucrados en el proceso a ser mejorado, como lo son los jefes de área, supervisores o coordinadores y el personal operario. Además debe incluirse al personal de finanzas para la validación de los resultados.

## 2.2 Metodología de Mejora de los Procesos

Los datos son quienes impulsarán en la toma de decisiones y acciones, lo cual es pedido en toda la metodología de mejora de los procesos. Este concepto es uno de los valores agregados de Seis Sigma, dado que el trabajo con datos genera conocimiento del proceso que normalmente no se tiene.

---

<sup>1</sup> En la literatura se puede encontrar otros nombres para esta función; como pueden ser, “Experto Seis Sigma”, “Líder Seis Sigma”, “Seis Sigma Especialista”, ente otros.

<sup>2</sup> El Karate es un arte marcial de origen japonés, donde las cintas negras son los practicantes avanzados de esta disciplina deportiva.

En Seis Sigma se busca llegar al mayor nivel de conocimiento posible antes de tomar una decisión o una acción para la mejora del proyecto.

Los niveles de conocimiento usados para la toma de decisiones y acciones, pueden ser identificados con la siguiente tabla, donde de acuerdo a la forma que se usa para tomar decisiones y acciones se identifica el nivel de conocimiento usado, ver Tabla 2.3.

<b>Nivel de conocimiento</b>	<b>Para la toma de decisiones y acciones...</b>
0	...sólo se utilizan opiniones del personal.
1	...sólo se utilizan las experiencias del personal.
2	...se tienen algunos datos, pero sólo se ven los números o se responde ante datos individuales.
3	...se agrupan los datos, en tablas o gráficas y se analizan tendencias.
4	...se analizan los datos con estadística descriptiva, promedios, desviaciones estándar, etc.
5	...se analizan los datos usando estadística inferencial, pruebas de hipótesis, diseños de experimentos, etc.

Tabla 2.3 Niveles de conocimiento

La metodología de mejora de Seis Sigma está organizada en cinco fases principales, ver [7], las cuales tienen objetivos definidos. Las fases de un proceso de mejora se presentan en la Figura 2.3.

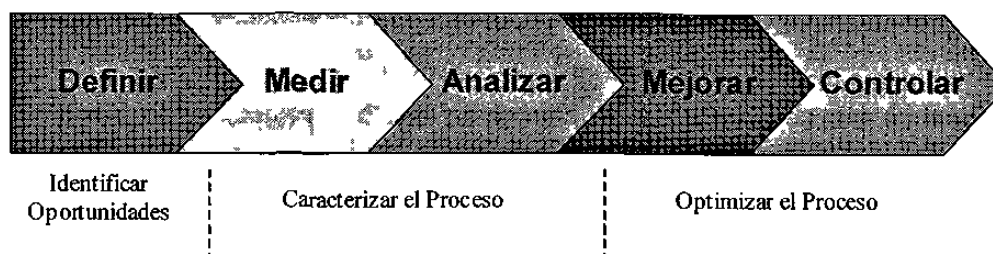


Figura 2.3 Fases del proceso de mejora Seis Sigma

Analizando las entradas y salidas de cada una de sus etapas y fases como se presenta en la Tabla 2.4, se pueden comprender los objetivos de la metodología de mejora.

<b>Etapa</b>	<b>Fase</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Identificar	Definir	Objetivos del negocio	Oportunidades de mejora
Caracterizar	Medir	Oportunidad de mejora	Problema práctico
	Analizar	Problema práctico	Problema estadístico
Optimizar	Mejorar	Problema estadístico	Solución estadística
	Controlar	Solución estadística	Solución práctica

Tabla 2.4 Entradas y salidas de las fases de la metodología

La fase Definir es parte del trabajo de los niveles ejecutivos de la empresa, donde el objetivo es identificar las oportunidades de mejora que se tiene en el negocio y para ello declarar un proyecto de mejora en un área específica.

Los objetivos específicos de la fase Definir es el de identificar la oportunidad de mejora para poder establecer el proceso y el problema a tratar en el proyecto de mejora, así como definir un equipo multidisciplinario de mejora para realizar este proyecto. El equipo será coordinado por un Black Belt, el cual será el facilitador y quien está capacitado para el análisis de los datos y en el desarrollo de la metodología.

Una vez que se tiene el proyecto definido y el equipo de trabajo inicia en realidad el trabajo del proyecto de mejora, con las fases de medir, analizar, mejorar y controlar.

Se presentará a continuación en las secciones siguientes cada una de las fases del proceso de mejora, y corresponderán al desarrollo de los capítulos 3 al 6, que llevan el mismo nombre de las fases de la metodología de mejora Seis Sigma.

En la metodología de Seis Sigma se tienen un gran número de herramientas, para cada fase, disponibles para su utilización en el desarrollo de un proyecto; donde el énfasis no es sobre cuál herramienta usar, sino el seguimiento de la metodología. La idea

de tener un número grande de herramientas disponibles, es el de tener opciones para usar según la complejidad del proceso y el proyecto que se está llevando a cabo en cada caso.

### **2.2.1 Medir**

En esta fase el objetivo es conocer el proceso para poder entender el problema práctico sobre el cual se va a trabajar. Esto se logra a través de conocer exactamente qué es lo que le interesa al cliente y como se puede convertir en información del proceso.

Dado que la mayoría de las decisiones a tomar serán sobre la base de los datos generados desde esta primera fase, la validación del sistema de medición es esencial para el avance del proyecto sobre el desempeño de la característica crítica para la satisfacción del cliente (CTQ)<sup>3</sup>, que interesa mejorar.

Es necesario conocer el proceso, lo cual se realiza a través de herramientas como el mapa de proceso y/o el diagrama SIPOC<sup>3</sup> que presenta las entradas, salidas, proveedores, clientes del proceso. El conocimiento del proceso ayudará a entender las expectativas de los clientes y así poder establecer prioridades y objetivos de mejora, con lo cual entenderemos cuál es el defecto que se genera para poder medirlo y después analizarlo.

Para establecer la medición del desempeño actual se utilizan las mediciones de Seis Sigma, como lo es el nivel de Sigma del proceso y los defectos por millón de oportunidad (DPMO) detectados.

En esta fase se debe establecer el objetivo de mejora que se tratará de alcanzar para este proceso. Con esta información, la cual será el nivel base del proyecto, se iniciará el análisis y será el punto de comparación de la mejora lograda.

---

<sup>3</sup> Ver glosario.

Algunas de las herramientas de uso común en esta fase son:

- Mapa de proceso.
- Diagrama SIPOC.
- Estudios del sistema de medición.
  - Estudios sobre la varianza, como “Gage R&R”<sup>4</sup>.
  - Estudios sobre la media, como exactitud y linealidad.
- Estadística descriptiva.
- Cálculo del Nivel Sigma del proceso.
- Plan del proyecto.
- Plan de recolección de datos.

En este trabajo se utilizan el mapa de proceso, el diagrama SIPOC, estudio Gage R&R, estadística descriptiva, cálculo del Nivel Sigma. Estas herramientas están documentadas en [2], [4], [7], [8] y [10].

### **2.2.2 Analizar**

En la fase de análisis se requiere conocer el problema de manera estadística; es decir, identificar las causas que ocasionan la diferencia entre el desempeño real del proceso y el desempeño deseado o la meta establecida.

Para esta fase es necesario conocer las causas raíz que ocasionan el defecto establecido en la fase anterior. Estas causas raíz deben ser analizadas y verificadas antes de llevarlas a la fase siguiente de mejora.

Se usan herramientas para priorizar las causas más probables, para después poder verificar las causas potenciales que generan el defecto. Para verificar las causas se debe

---

<sup>4</sup> Ver Glosario.

tener un plan de verificación, el cual deberá incluir la toma de datos y una herramienta para probar su validez.

Esta es la fase más intensiva del proyecto, donde se deben encontrar las causas que ocasionan el defecto para poder lograr la meta establecida en la fase de medir.

Algunas de las herramientas de uso común en esta fase son:

- Tormentas de ideas.
- Diagrama causa-efecto.
- Técnica de grupo nominal.
- Análisis de modo y efecto de falla (AMEF).
- Plan de verificación de causas.
- Pruebas de hipótesis.
  - Datos discretos.
  - Datos continuos.
- Análisis de regresión.
- Diseños de experimentos.

En este trabajo se utilizan tormenta de ideas, diagrama causa-efecto, técnica de grupo nominal, plan de verificación de causas, AMEF, gráfica de efectos principales, análisis de varianzas (ANOVA), análisis de medias (ANOM), análisis de Pareto y análisis de regresión. Estas herramientas están documentadas en [1], [4], [8] y [10].

### **2.2.3 Mejorar**

En esta fase se busca tener una solución estadística para el problema que se tiene planteado, trabajando sobre las causas que fueron verificadas en la fase de analizar. Es decir, para cada causa verificada se debe tener una solución planteada y se debe poder verificar antes de su implementación.

Las soluciones óptimas se deberán seleccionar sobre la base de un análisis logrado de la información sobre el efecto potencial de esta solución en la característica crítica analizada. Estos análisis deben mantener una confianza en la información obtenida, como el uso de pruebas de hipótesis donde se tengan datos numéricos por analizar.

Las mejoras pueden quedar establecidas usando varias herramientas, por ejemplo la modificación de proceso y su documentación en el mapa de proceso antes de probar sería un ejemplo de una herramienta en la etapa de mejora. Después de haber definido este cambio, se debe hacer una comprobación de la efectividad de esta prueba.

Se revisará si los cambios propuestos por estas soluciones harán que se logre llegar al objetivo inicialmente planteado, en caso contrario tal vez debamos seguir investigando las causas potenciales o las soluciones planteadas, hasta lograr llegar al objetivo.

Algunas de las herramientas de uso común en esta fase son;

- Plan de verificación de las soluciones.
- Análisis de modo y efecto de falla (AMEF).
- Pruebas de hipótesis.
- Análisis de regresión.
- Diseño de experimentos.
- Análisis de tolerancias.

En este trabajo se utilizan tormenta de ideas, técnica de grupo nominal, plan de verificación de las soluciones, AMEF, gráfica de efectos principales, gráfica multi-vari<sup>5</sup>, análisis de varianzas (ANOVA), análisis de medias (ANOM), análisis de Pareto y análisis de regresión. Estas herramientas están documentadas en [1], [4], [8] y [10].

---

<sup>5</sup> Ver glosario.

## 2.2.4 Controlar

En la última fase, cuando se tiene la solución estadística, se busca tener implementada la solución práctica en el proceso para poder mantener las mejoras logradas en las soluciones propuestas en la fase de mejorar.

El principal objetivo de esta fase es el de establecer los mecanismos que aseguren que la mejora será implementada completamente y mantenida en el proceso durante la operación normal, teniendo el mínimo de variaciones.

La metodología establece que una forma de lograrlo es mediante la estandarización de los procesos y su documentación en las condiciones óptimas encontradas en la fase anterior, además de implementar herramientas de control de los procesos o de mecanismos que eviten la generación de los errores (Poka-Yokes<sup>6</sup>), entre otros.

Para todas las causas verificadas se debe tener un plan de control, donde se establezcan los mecanismos que aseguren el control de los niveles óptimos para cada una de las causas. Este plan debe comprender las acciones a realizar y su documentación.

Algunas de las herramientas de uso común en esta fase son:

- Planes de control
- Documentación en los sistemas de calidad
- Gráficas de control
- Controles a prueba de errores (poka-yoke)
- Estudios de sistema de medición de las causas críticas
- Análisis del nuevo desempeño

---

<sup>6</sup> Ver glosario.



En este trabajo se utilizan tormenta de ideas, técnica de grupo nominal, estandarización de procedimientos, cálculo de Nivel Sigma, AMEF, gráfica de efectos principales, gráfica Multi-Vari<sup>7</sup>, prueba t de dos poblaciones, análisis de varianzas (ANOVA), análisis de medias (ANOM) y análisis de Pareto. Estas herramientas están documentadas en [1], [4], [8] y [10].

### **2.3 Cambio de Cultura**

En esta sección se presentarán algunos temas relacionados con el cambio de cultura o aceptación del cambio que es necesario para la implementación de Seis Sigma en la organización. Donde el principal componente para el cambio de cultura es el trabajo con el personal involucrado en los procesos a mejorar.

Seis Sigma no es solamente el uso de herramientas estadísticas, sino el cambio de la forma de resolver los problemas en los negocios. Primero que nada resolver los problemas en función de su impacto al estado de resultados de la compañía y tomando para las decisiones y acciones los análisis basados en datos.

El punto fundamental es hacer ver en las organizaciones la necesidad de Seis Sigma para obtener los beneficios potenciales, de las mejoras en los procesos, que ayudarán a poder competir en los mercados y/o tal vez a la permanencia del negocio.

El cambio de forma de enfrentar las mejoras es el trabajo fundamental del Black Belt, y uno de los objetivos es transmitir a la organización ese cambio. Esto se realiza al involucrar a un equipo multidisciplinario en el desarrollo de los proyectos de mejora y hacerlos partícipes del seguimiento a la metodología de Seis Sigma.

---

<sup>7</sup> Ver glosario.

### 2.3.1 Aceptación del Cambio de Seis Sigma

Para tener el desarrollo de proyectos Seis Sigma exitosos en la organización se requiere que se tenga una aceptación de los involucrados en el equipo, iniciando por los mandos directivos de la organización. Los cuales deben mandar la señal clara del compromiso de la organización con el uso de Seis Sigma como medio de buscar las mejoras en los procesos.

El Black Belt enfrenta en los equipos de trabajo la resistencia al cambio que se pueda generar por el proceso de cambio promovido por Seis Sigma. La resistencia al cambio es parte de la naturaleza humana ante lo nuevo y desconocido, dado que supone alguna pérdida para los involucrados.

Se debe estar atento a poder identificar qué genera la resistencia al cambio, para poder establecer un plan de acción con la finalidad de contrarrestarlo. Se pueden clasificar en cuatro las formas de resistencia a la implementación de Seis Sigma, de acuerdo a la naturaleza de su generación, ver [6]:

- Técnica
- Política
- Organizacional
- Individualizada

La resistencia técnica es la generada ante el uso de nuevas herramientas desconocidas por el personal, lo que genera percepciones negativas ante la complejidad de estas herramientas. Esto principalmente cuando se enfrenta ante personal altamente capacitado, como lo son los Black Belts.

La manera de atacar esta resistencia es con información y educación sobre las herramientas, además de involucrarlos en el desarrollo de las mismas, haciendo énfasis en que lo importante es la metodología y sus resultados; y no los cálculos y algoritmos de las herramientas.

Cuando alguna persona siente que Seis Sigma le ocasiona una pérdida en su estatus se genera la resistencia política, la pérdida puede ser real y/o percibida por la persona.

Para combatir la resistencia política se debe comunicar a los involucrados cuáles serán los beneficios que obtendrán de Seis Sigma, además de ser claros y honestos en los cambios que puedan significar una pérdida para su estatus. Puede ser necesario identificar la ayuda de los niveles altos de la organización para este tipo de resistencia.

La resistencia organizacional ocurre cuando las personas en mandos ejecutivos perciben que pierden el control de los cambios, están preocupados debido a que el cambio no fue de ellos, no fue su idea. Esta forma de resistencia puede ser una combinación de las dos primeras, dado que no entienden cómo se generó el cambio y perciben la pérdida del cambio.

Este tipo de resistencia puede ser parte de no haber involucrado a las personas claves en el proceso de mejora desde el inicio, dado que ésta es la forma de contrarrestar esta resistencia, tener involucrados al personal clave y darles parte del control del cambio que les aplique.

La última forma de resistencia mencionada es la individualizada, la cual está referida a actitudes presentadas por personas debidas a cuestiones ajenas al trabajo que le ocasionan estrés. Estas personas pueden mostrar resistencia activa o pasiva a las iniciativas de cambio.

Por su naturaleza esta forma de resistencia puede tener varias formas de contrarrestarla, pero básicamente la recomendación es disminuir el temor del cambio y aumentar el involucramiento de la persona. En todos los casos, pero en éstos en particular, es importante el reconocimiento de los pequeños logros obtenidos.

### 2.3.2 Análisis de los Involucrados

Cuando se está realizando un proyecto de mejora se deben identificar a los involucrados claves del proceso, para medir el grado de aceptación del cambio. Para esto se ha propuesto usar una herramienta llamada análisis de los involucrados, ver Tabla 2.5.

Involucrado clave	Fuertemente en contra	Ligeramente en contra	Neutral	Ligeramente a favor	Fuertemente a favor
Gerente	X □ □		Plan de acción →	O	
Jefe de Departamento		X □ □	Plan de acción →	O	
Supervisor A		X □ □	Plan de acción →		O
Supervisor B			X □ □	Plan de acción →	O
Técnico			X □ □	O	

Tabla 2.5 Análisis de los involucrados

En esta herramienta se tiene en las columnas categorías del grado de aceptación del cambio de Seis Sigma, las cuales son: fuertemente en contra, ligeramente en contra, neutral, ligeramente a favor, fuertemente a favor. Se listan todos los involucrados clave que se van a analizar.

Con esta herramienta se busca el análisis del estado actual de los involucrados, la cual se presenta con una “X”, mientras que el estado deseado se presenta con una “O”. Se debe identificar la diferencia que existen entre el estado actual y el deseado de involucramiento y establecer un plan para contrarrestar la resistencia o falta de involucramiento presente.

Para poder establecer este plan de acción se debe analizar el tipo de resistencia que el equipo de trabajo puede presentar, de las mencionadas en la sección 2.3.1, además de analizar el nivel de influencia del involucrado entre los demás miembros del equipo.

### **2.3.3 Liderazgo para lograr los Cambios**

La función del Black Belt en el desarrollo del proyecto como líder de coordinar todas las actividades, es fundamental para lograr establecer el liderazgo necesario con el equipo de trabajo. El liderazgo que debe ejercer el Black Belt no está relacionado con los niveles jerárquicos de las organizaciones.

En [6], página 185, se menciona lo siguiente: “Incorporar Seis Sigma es más que usar una iniciativa táctica de reducir costos, Seis Sigma es una filosofía de administración. Es un compromiso para administrar a través del proceso, no de las funciones del organigrama, y tomar decisiones basados en hechos y datos en lugar de las habilidades inherentes de administración que se cree hacen a los grandes ejecutivos”.

Por lo que el liderazgo que logra desarrollar el Black Belt debe estar enfocado al aspecto técnico de la metodología, buscando lograr el apoyo de todos los involucrados. La empatía en las situaciones que implican el proyecto es indispensable para que el Black Belt logre tener la apertura de los miembros del equipo de trabajo.

## **2.4 Resumen del capítulo**

En este capítulo se muestra de manera general parte de la filosofía que forma a Seis Sigma como estrategia de negocio, presentado sus antecedentes y metodología.

El desarrollo de los proyectos Seis Sigma de mejora se lleva a cabo con el uso de herramientas estadísticas para comprobar con datos las creencias, y con esto tener un mejor nivel de conocimiento de los procesos.

Las fases del proyecto de mejora son medir, analizar, mejorar y controlar, con lo que se lleva a cabo el proceso de caracterizar y optimizar el proceso analizado para su mejora.

El estudio detallado de la metodología y de las herramientas de calidad, estadísticas y software relacionados se pueden encontrar en parte en la bibliografía listada en este trabajo.

El manejo de la resistencia al cambio que implica la implementación de una iniciativa de negocio que pretende cambiar la forma de administrar, como lo es Seis Sigma, es crítico para tener resultados satisfactorios.

### **3 MEDIR**

En este capítulo se presentará la aplicación y resultados de la fase medir al proyecto para iniciar con la etapa de caracterización del proceso, desde el punto de conocer el proceso y entender su desempeño actual, sobre la base de un indicador que muestre el estado actual del proceso.

Se inicia con la descripción operativa del proceso, sección 3.1, para después ir a identificar la variable de medición y su fuente en la sección 3.2. La calidad de la información es fundamental para los análisis que se realizarán, por lo que en esta primera etapa se verificará su validez, en la sección 3.3.

Lo anterior sirve para el desarrollo del proyecto y medir el desempeño actual del proceso, sección 3.4. Se establecerá un objetivo de desempeño del proceso sobre la base del desempeño actual, que será realizado en la sección 3.5.

Finalmente en la sección 3.6 se presentan las conclusiones y resultados principales encontrados en este capítulo al haber aplicado la fase de medir de la metodología.

### 3.1 Descripción del Proceso de Hornos

En una empresa se tienen 6 hornos para la reducción de materiales y recuperación del metal que contienen. El trazado de la operación contiene tres áreas; el almacén y preparación de las cargas de materia prima para los hornos, los hornos y almacén del producto terminado, ver Figura 3.1.

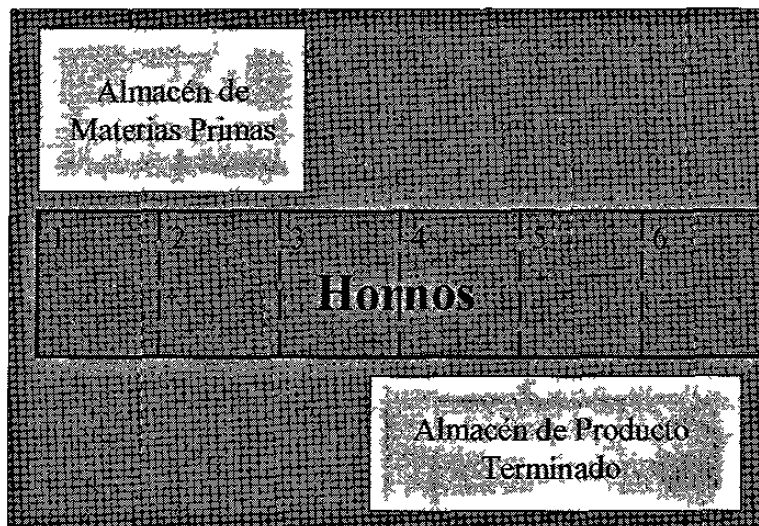


Figura 3.1 Trazado general de la planta

Dado que la mejora a realizar es operativa, el proceso se describe en términos operativos.

Cada uno de los hornos es operado por un hornero, el cuál es responsable de cargar, operar y descargar el horno. En el área de almacén de materias primas está un operador que ayuda a tener la materia prima lista para cargarse en los hornos y en almacén de producto terminado está un operador para recibir y entregar el producto terminado a la siguiente etapa del proceso de esta empresa.

La operación del horno es continua, es decir, cuando termina de procesar un lote comienza el siguiente sin interrupción. Los hornos trabajan todos los días del año, con



excepción de sus paros programados para mantenimiento de ladrillo refractario, los cuales son de 6 a 8 días cada 4 a 6 meses.

El primer análisis del proceso es realizado usando el mapa del proceso, ver Figura 3.2, con la finalidad de conocer los subprocesos involucrados. El proceso de los hornos inicia cuando se cargan los materiales con metal y los fundentes en el horno, para llevar a cabo esta labor se transporta el material desde el almacén de materia prima hacia los hornos. Cuando el horno se llena, inicia el proceso de fusión de los materiales.

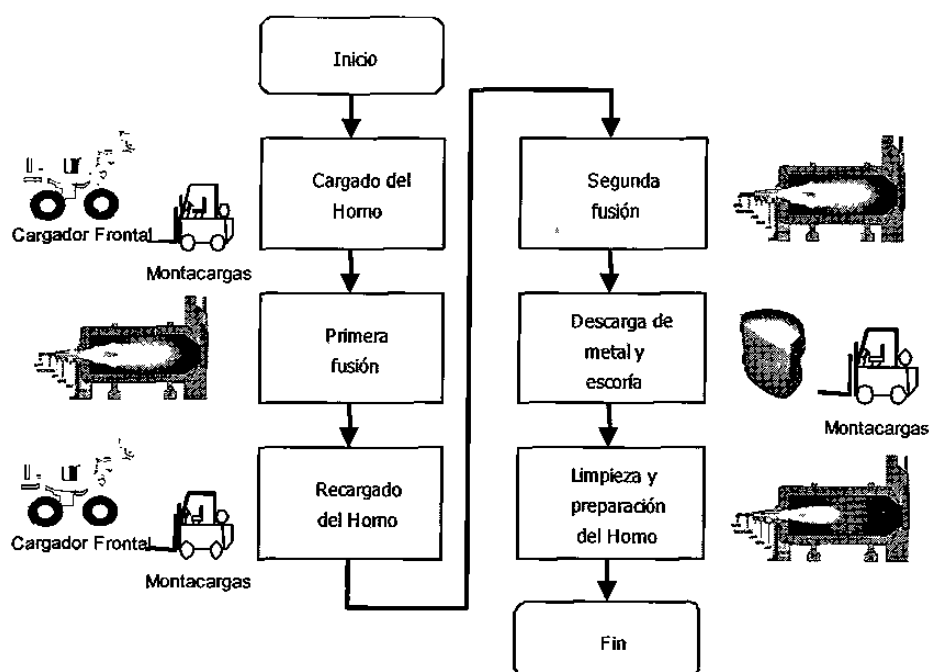


Figura 3.2 Mapa del proceso de Hornos

Después de que pasa el proceso de la primera fusión, se agrega más material en el horno, para esto se inicia el recargado del horno con un procedimiento similar al del cargado del horno, pero en menor cantidad de materiales. Al terminar este recargado, inicia la segunda fusión que continúa hasta que el metal y la escoria están listos para descargarse.

Se inicia la descarga del metal y la escoria, los cuales son transportados al área del almacén de producto terminado. Cuando termina la descarga se procede a hacer limpieza y preparar el horno para la siguiente carga, con esto termina el proceso.

### **3.2 Identificación de la variable de medición y la fuente de información**

El primer paso al iniciar el trabajo de caracterización del proceso, es el formar un equipo de trabajo para el desarrollo del mismo. Este equipo fue definido considerando todos los involucrados en el proceso.

El equipo fue coordinado por el autor como Black Belt y los integrantes son el jefe del área y sus supervisores, además de todos los operadores de la misma área. El personal de mantenimiento fue involucrado también en el equipo, dadas las posibles implicaciones que pudiera tener en la operación de los equipos del área.

Se realizaron reuniones con el equipo para exponer la definición del proyecto de mejora por iniciar y se les solicitó su cooperación dado el gran involucramiento que tienen con el proceso.

En todos los análisis de grupo fue tomado en cuenta la opinión de cada uno de los miembros del equipo y se retroalimentaron los avances para asegurar que acepten los cambios posibles propuestos en la etapa de optimización del proceso.

Para identificar la variable de medición y determinar la fuente de información primero se decide conocer al proceso a través del diagrama SIPOC. Donde primero se identifica lo que hace el proceso en el área de Hornos, para analizar cuáles son las entradas y salidas y quiénes son los proveedores y clientes. En la Tabla 3.1 se muestra el diagrama SIPOC para el proceso de los hornos.

(S) Proveedores	(I) Entradas	(P) Proceso	(O) Salidas	(C) Clientes
Preparación de cargas (interno). <u>Requerimientos:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargas disponibles.               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tiempo.</li> <li>○ Cantidad.</li> </ul> </li> <li>• Disponibilidad del cargador frontal.</li> <li>• Preparación correcta de carga.</li> <li>• Identificación correcta de cargas/lotes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Materiales con metal.</li> <li>➤ Fundentes.</li> <li>➤ Gas-Oxígeno.</li> </ul>	Reducir los materiales para recuperar el metal que contienen en los hornos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Metal líquido.</li> <li>➤ Escoria líquida.</li> </ul>	Proceso de refinación del metal (interno). <u>Requerimientos:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen de producción; entre mayor mejor, dado que hornos es el cuello de botella de la empresa.</li> <li>• Metal libre de escoria, según especificaciones.</li> <li>• Identificación correcta del producto terminado.</li> </ul>
Suministro de energéticos (externo). <u>Requerimientos:</u> Disponibilidad.				Control Ambiental (interno/externo). <u>Requerimientos:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad de escoria.</li> </ul>

Tabla 3.1 Diagrama SIPOC

La información de los requerimientos de los clientes internos fue consultada con las personas a cargo de esas áreas en la empresa.

Analizando la información obtenida de los requerimientos del cliente, en el diagrama SIPOC, contra la declaración del proyecto de mejora, el equipo decidió que la característica crítica para el cliente (CTQ) es el volumen de producción. Se llegó a esta conclusión por medio de técnica de grupo nominal, ver [4].

Para la selección de la CTQ se tomó en cuenta la declaración del problema con el cual inició este proyecto de mejora, el cual es presentado en el capítulo 1, ver sección 1.1 Descripción del problema.

El volumen de producción es una medición de negocio, por lo que se requiere tener una medición de proceso con la cual se pueda trabajar en el proyecto de mejora. Un análisis de cascada de la demanda sirve para encontrar los posibles indicadores a utilizar que arrojen la medición del proceso, por lo que se decidió a realizarlo.

<b>Característica Crítica para el Cliente</b>	
Volumen de producción.	
Número de cargas procesadas.	Tiempo de duración de las cargas.
	Tiempos muertos por mantenimiento preventivo.
	Tiempos muertos por fallas.
Toneladas por carga.	Capacidad instalada.
	Aprovechamiento de materiales.

Tabla 3.2 Cascada de la demanda

Con el análisis realizado de la cascada de la demanda, ver Tabla 3.2, se identificó que el volumen de producción está en función de dos características del proceso, el número de cargas procesadas y las toneladas que ofrece cada lote. Las toneladas que ofrece cada lote están en función de la capacidad instalada y el aprovechamiento de los materiales.

La capacidad instalada y el aprovechamiento de materiales no serán parte del alcance de este proyecto, por lo cual se descartan para este trabajo dado que en los procesos de mejora se busca trabajar con el mismo equipo instalado o con cambios mínimos.

La característica crítica del proceso, donde mediremos la mejora del proceso, que está en función del objetivo del proyecto es el número de cargas procesadas. La medición de respuesta del proceso a seleccionar es el tiempo de duración de las cargas,

el cual es el indicador del desempeño del proceso. Lo anterior fue decidido por el equipo, usando técnica de grupo nominal.

Se identificó que la fuente de información son los reportes de producción diarios y los reportes de las cargas, que se llevan actualmente en el área. Los reportes se llevan de manera impresa y no se capturan en un medio electrónico con el detalle de las cargas, solamente se captura los totales diarios de producción, por lo que se procedió a capturar la información de esta fuente.

También se especificó la unidad de medición para cada una de las variables de medición, esto está reportado en la Tabla 3.3.

<b>Variable</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Fuente de información</b>
Cargas procesadas	Número de cargas por mes	Reportes de cargas
Tiempo duración de las cargas	Horas (se utilizará escala decimal)	Reportes de cargas

Tabla 3.3 Variables de medición

Se procede después de la definición de la variable a medir del proceso, a recolectar información de los últimos meses. Esta información se presenta en la Figura 3.3, en forma de un histograma de la información.

Para futuros análisis será requerido tener una especificación de esta variable del proceso, por lo que se procede a establecer los límites del proceso para establecer el estado de desempeño. Dado que esta variable tiene la característica de que entre menor es mejor, solamente se definirá el límite superior de especificación.

Aunque el equipo de trabajo establece que el tiempo de duración de las cargas debería ser de 8 horas, no se tiene un valor especificado para tener el límite superior del proceso. Por lo anterior, se trabaja con el equipo para buscar cómo establecer este límite.

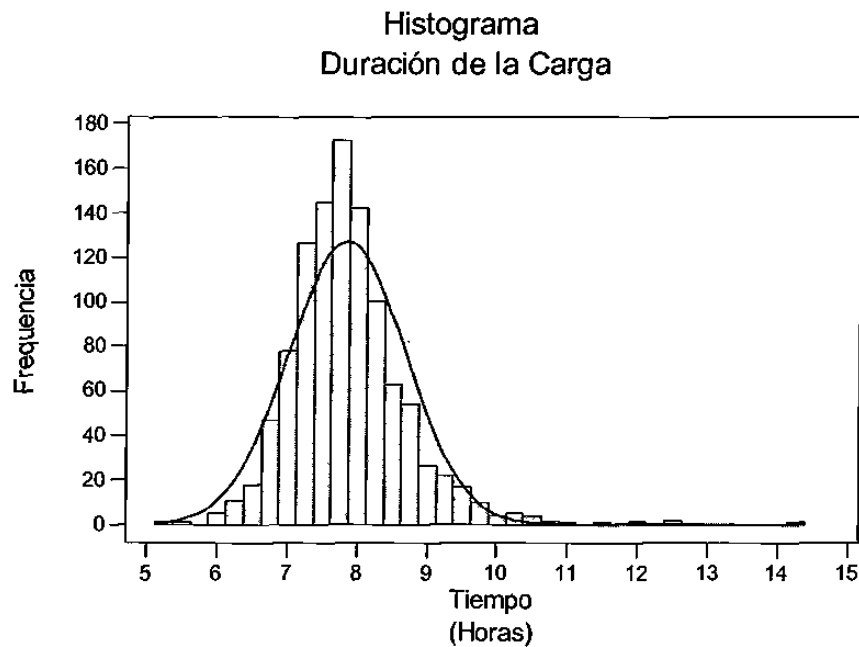


Figura 3.3 Histograma del tiempo de duración de la cargas

El límite superior se especifica, de acuerdo con el equipo y con el análisis de la información y se tomará el valor que represente el tercer cuartil de los datos. Lo anterior dada la gran variación observada por el proceso y a la falta de una especificación establecida.

Con la selección del tercer cuartil, el equipo decidió establecer la reducción del 25% restante de las cargas con tiempos de duración por encima de este valor establecido por el tercer cuartil actualmente.

<b>Descriptive Statistics: Tiempo Duración (Horas)</b>						
Variable	N	Mean	Median	TrMean	StDev	SE Mean
Tiempo	1063	7.8495	7.7500	7.8066	0.8319	0.0255
Variable	Minimum	Maximum	Q1	Q3		
Tiempo	5.1700	14.3300	7.3300	8.2500		

Tabla 3.4 Estadística descriptiva de los tiempos de duración de la carga

En la Tabla 3.4 se observa el reporte del software Minitab de la estadística descriptiva para los datos mostrados en la Figura 3.3, donde muestra el valor calculado para el tercer cuartil bajo el encabezado “Q3” que es igual a 8.25 horas.

El valor de 8.25 horas como límite superior de especificación (LSE), será usado en las siguientes etapas del proceso. Con esta definición se procede a validar el sistema de medición y continuar con el inicio del análisis de la información para conocer el desempeño actual del proceso. El LSE está dado por:

$$LSE=8.25 \text{ horas} \quad (3.1)$$

### 3.3 Validación del sistema de medición

Para validar el sistema de medición de los tiempos de duración de la carga se tomó al azar, de los 6 hornos, 30 cargas para registrar la diferencia entre el tiempo reportado por el hornero y el tiempo transcurrido entre fin de la carga anterior y el inicio de la carga siguiente a la carga estudiada. Lo anterior para tener dos fuentes de información y poder validar el sistema de medición, ver datos en Tabla 3.5.

De los datos recolectados se calculó la diferencia entre cada par de datos, por el tipo de información se decide hacer un estudio de reproducibilidad (Gage R&R) por el método corto, para lo cual se requiere conocer la variación de las mediciones, para evaluar que tanto aportan en la información recolectada contra las especificaciones.

Para la evaluación de la variación que aporta el sistema de medición, se usa el método corto documentado en [2], con la diferencia de obtener directamente la desviación estándar por tener 30 datos. Se usan las siguientes ecuaciones:

$$\%GR \& R = \frac{5.15\sigma}{Tolerancia} * 100 \quad (3.2)$$

$$Tolerancia = 2 * \left| LSE - \bar{x}_{Proceso} \right| \quad (3.3)$$

donde:

$\%GR\&R$  es el porcentaje de aportación de la variación del sistema de medición a la tolerancia establecida,

$\sigma$  es la desviación estándar de las diferencias encontradas entre las dos fuentes de información,

LSE es el límite superior de especificación establecido en la ( 3.1 y

$\bar{x}_{Proceso}$  es el promedio histórico del proceso.

Tiempo reportado por				Tiempo reportado por			
Muestra	el hombro	Tiempo Real	Diferencia	Muestra	el hombro	Tiempo Real	Diferencia
1	7.67	7.84	0.17	16	9.33	9.66	0.33
2	8.33	9.25	0.92	17	9.00	9.17	0.17
3	8.58	9.08	0.50	18	9.50	9.50	0.00
4	7.92	8.09	0.17	19	11.08	11.08	0.00
5	7.67	7.67	0.00	20	8.17	8.17	0.00
6	8.08	8.08	0.00	21	9.00	9.00	0.00
7	8.42	8.42	0.00	22	9.75	9.75	0.00
8	11.50	13.83	2.33	23	9.17	9.34	0.17
9	10.00	10.00	0.00	24	9.08	9.08	0.00
10	9.25	9.42	0.17	25	11.92	11.92	0.00
11	8.17	8.67	0.50	26	10.83	11.08	0.25
12	9.33	9.83	0.50	27	10.25	10.25	0.00
13	8.42	8.67	0.25	28	7.92	8.09	0.17
14	8.92	9.09	0.17	29	8.67	8.84	0.17
15	11.50	12.17	0.67	30	8.75	9.00	0.25

Promedio Diferencia	0.26 Horas
Desviación Estándar	0.45 Horas
<b>%GR&amp;R</b>	<b>291 %</b>

LSE	8.25 Horas
Promedio Histórico	7.85 Horas
Tolerancia	0.80 Horas

Tabla 3.5 Cálculo de %GR&R

El análisis presentado en la Tabla 3.5 arroja un resultado que indica que la variación encontrada puede ser de 291% del tamaño de la tolerancia establecida, por lo que el sistema de medición es inaceptable. El criterio máximo aceptable es tener un 30% de la variación explicada por el sistema de medición, ver [2]. Por lo tanto se deberá resolver este problema antes de continuar con el análisis de la información.



Se procedió con el análisis de las causas con el equipo de trabajo y se encontró que el tiempo de duración de carga era reportado entre el inicio de la carga y el final de la colada, pero algunos horneros no estaban reportando el tiempo que usan entre el final de la colada y la limpieza y el tapado del horno antes de volver a cargarlo, por tener diferentes criterios de cómo medir el tiempo de duración de la carga.

Por lo anterior se solicitó a los supervisores de Hornos que hablarán con sus horneros para que reporten el tiempo de duración de la carga, desde el final de la colada de la carga anterior hasta el final de la colada reportada. Con esto se evitarán los tiempos no reportados.

Se evaluó nuevamente el sistema de medición y se verificó que se había estandarizado el criterio para el registro de la duración de las cargas; es decir, la diferencia encontrada fue de 0.

Para los análisis del siguiente capítulo se toma el tiempo transcurrido entre los finales de cada colada de carga. Las diferencias que se registren en el futuro se asentarán en el reporte de tiempos muertos con tiempo no registrado entre cargas.

Se revisó además el registro del número de cargas procesadas por mes, en el reporte de cargas, contra los datos reales dando iguales en todos los casos. Con lo anterior se valida la información que está registrada en los reportes de cargas y de producción.

### **3.4 Evaluación del desempeño actual**

Con la fuente de información validada, se evaluó el desempeño actual del proceso. Con la finalidad de calcular el Nivel Sigma y los DPMO se toman datos del último mes completo que es el estándar usado por el personal, para tomar esta primer medición

como el desempeño inicial. Este desempeño inicial servirá para hacer la comparación del desempeño del proyecto en el futuro.

Los datos son tomados para los 6 hornos, cuidando tener la información correcta evitando las diferencias de criterio detectadas en la sección 3.3. Esta información fue capturada en una hoja electrónica, para después proceder a su análisis.

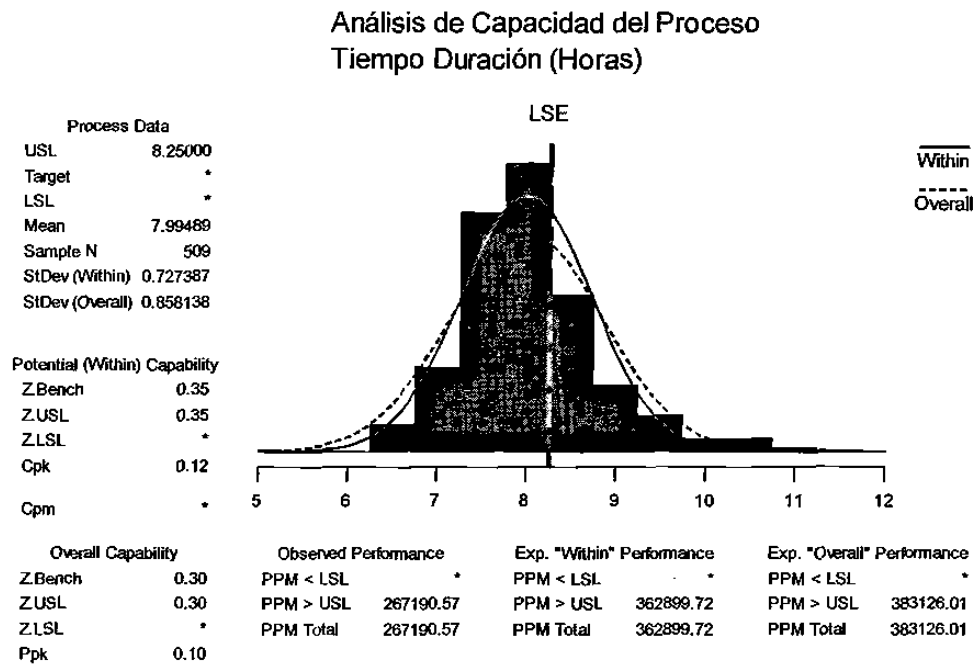


Figura 3.4 Capacidad del proceso

Se determina la capacidad del proceso para la información recolectada de los seis hornos, la cual es del mes base de estudio. Arroja un desempeño de defectos representados por 383,126 DPMO o PPM, como se presenta en la Figura 3.4 como “PPM Total”, en la columna “Exp. ‘Overall’ Performance”.

En la misma figura se presenta el número de cargas realizadas en el mes analizado, las cuales son 509 cargas, lo anterior se presenta en la figura como “Sample N”, que se refiere al tamaño de muestra observado en este análisis.

Lo anterior equivale a tener un Nivel de Sigma igual a 0.30, considerando que en un mes se presentan todas las causas comunes de variación, se toma el análisis de largo plazo. En la Figura 3.4 se puede ver el valor del análisis de largo plazo bajo el título de “overall capability”, Zbench, que es la Z del proceso.

Lo anterior representa que se tiene el 38.31% de probabilidades de tener cargas con duración de tiempo de carga mayor al LSE. También se realizó este análisis para cada uno de los hornos, arrojando los resultados presentados en la Tabla 3.6.

Horno	Nivel Sigma $\sigma$	DPMO	Media (horas)	Desviación estándar
1	0.27	395172	8.031	0.821
2	0.34	366344	7.904	1.010
3	0.03	488038	8.226	0.803
4	0.71	238026	7.821	0.599
5	-0.06	522412	8.304	0.954
6	0.58	281941	7.795	0.786

Tabla 3.6 Nivel Sigma de los Hornos

Con los análisis anteriores se conoce el desempeño actual del proceso en función de la característica que se busca mejorar, el tiempo de duración de las cargas definida en 3.2. Con la información anterior el siguiente paso es establecer cuál debe ser el objetivo de mejora del proceso.

### 3.5 Determinación de los objetivos de mejora

Para poder determinar los objetivos de mejora a establecer en este proyecto, se debe analizar el comportamiento de la información recolectada. Para lo que se usará una gráfica de control de datos individuales para tratar de identificar cómo se comporta el proceso.

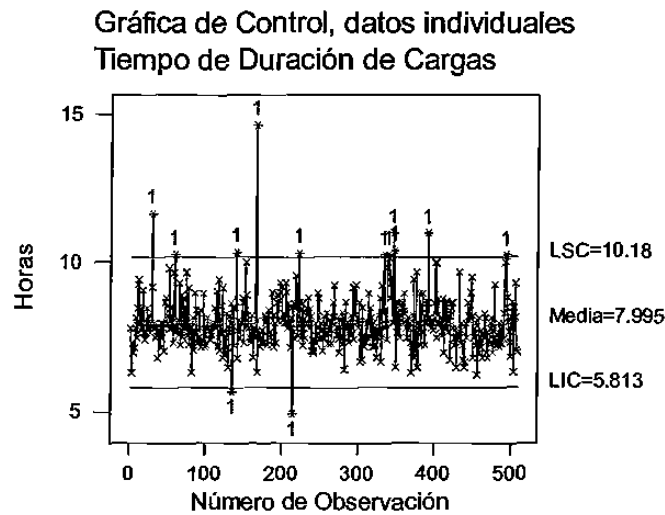


Figura 3.5 Gráfica de control

En la Figura 3.5 se observa que existen causas especiales de variación, las cuales son identificadas por ser observaciones (presentadas como “1” en la gráfica) que están fuera de los límites de control del proceso calculados y representados en la misma figura como LSC (límite superior de control) y LIC (límite inferior de control). La variación que está dentro de los límites de control se dice que son de causas comunes de variación, las cuales deben ser el enfoque principal del proyecto para analizar.

Para establecer los objetivos de mejora se debe estar trabajando con datos con causas comunes de variación, por lo cual se eliminarán estos datos de la información para realizar los análisis y así establecer el objetivo de desempeño.

Lo anterior asegura normalidad de los datos y permite el uso de más herramientas estadísticas, pero no significa que no se tomen en cuenta las cargas que tienen causas especiales, sino que esas causas se deben atacar de manera distinta y además por su naturaleza son de fácil identificación.

El análisis de las cargas que se muestran como causas especiales se presume que se refieren a fallas identificables del equipo, quemadores y equipo móvil, principalmente. Estas fallas se analizarán para ver su efecto en la fase de analizar.

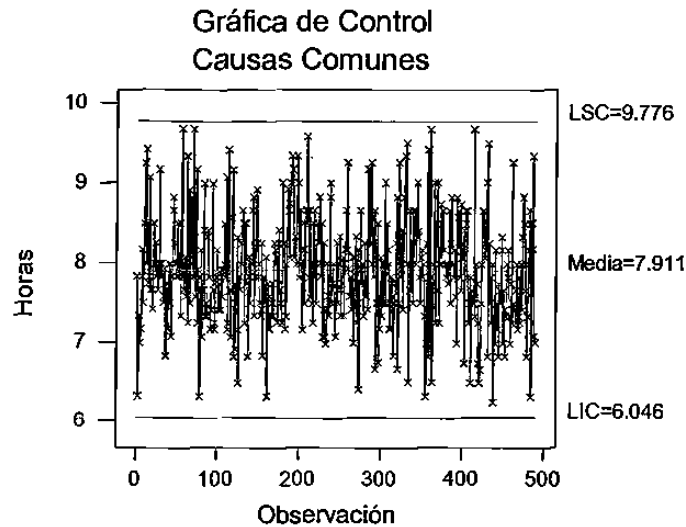


Figura 3.6 Gráfica de control, causas comunes

En la Figura 3.6 se muestran todas las observaciones que están dentro de los límites de control estadístico, con estos datos se analiza el comportamiento comparado de los 6 hornos, para tratar de identificar si es posible establecer una diferencia entre el desempeño de cada horno.

Para ver si tenemos una diferencia significativa entre el desempeño de los hornos se usa una prueba estadística ANOVA, para probar si existen diferencias entre el tiempo promedio que tiene cada uno de los hornos. La intención de este análisis es poder establecer un “benchmark” o punto de comparación del desempeño que sirva para establecer el objetivo de desempeño del proceso, dado que no tenemos una referencia externa de dónde tomar el punto de comparación.

En la Tabla 3.7 se presentan los resultados del análisis del ANOVA. La prueba indica que existe una diferencia significativa entre los tiempos promedio de duración de carga según el horno donde se están procesando. Al tener un valor de  $p$  menor al nivel de significancia aceptado de 0.05 se rechaza la hipótesis nula.

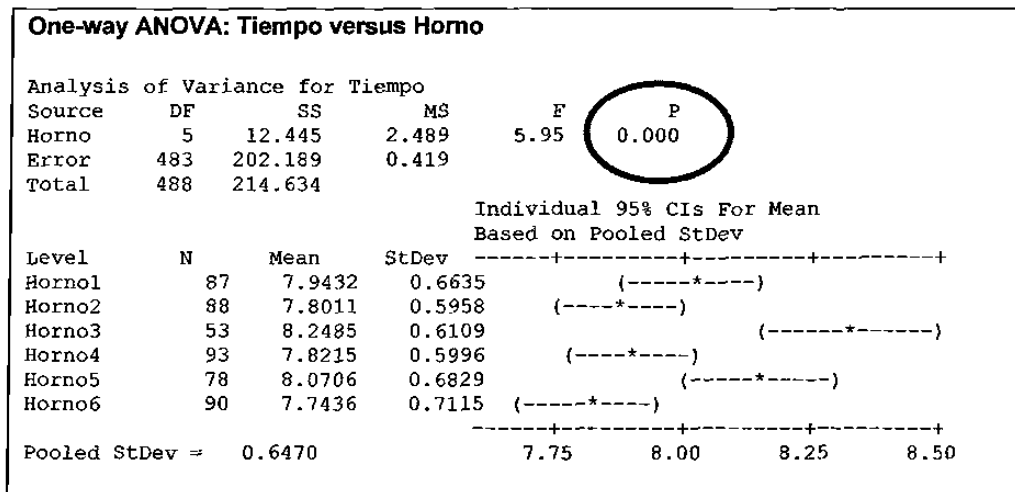


Tabla 3.7 ANOVA. Tiempo duración contra horno

Ya que se tiene como objetivo reducir la variación que se tienen entre las cargas, se analiza la información para identificar si tienen la misma variación entre los hornos. En la Figura 3.7 se tiene la prueba de homogeneidad de varianzas, donde arroja el resultado del valor de  $p$  de 0.450 según la prueba de Bartlett para distribuciones normales, lo cual indica que no se puede rechazar la hipótesis de igualdad de varianzas según el horno.

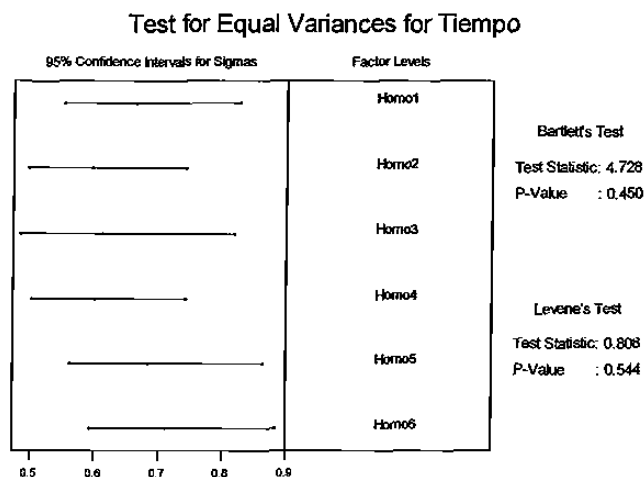


Figura 3.7 Homogeneidad de varianzas

Con el aprendizaje anterior, se busca establecer cuál es el horno con el promedio menor de tiempo de duración de las cargas, para lo cual se realiza una prueba de análisis

de medias. Con esta prueba identificamos el horno que es significativamente distinto, como lo presentó la prueba de ANOVA realizada anteriormente.

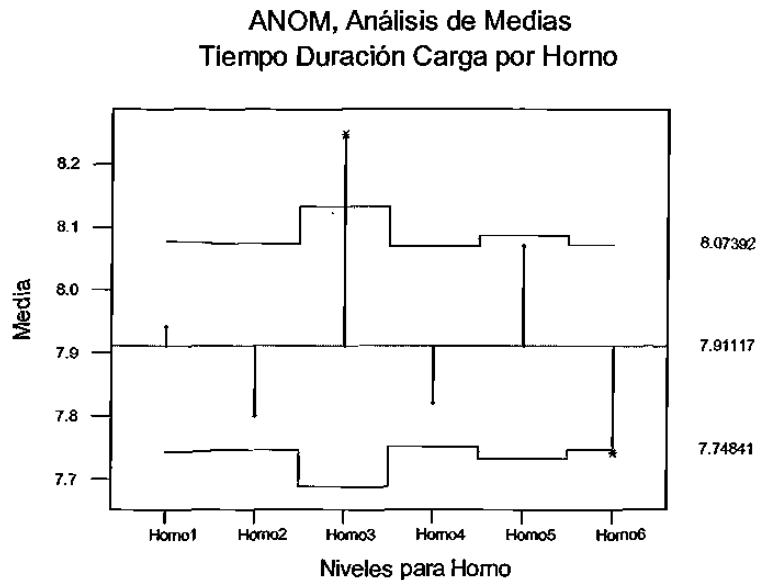


Figura 3.8 Análisis de medias

En la Figura 3.8 se observa en esta prueba gráfica que el horno #6 tiene un promedio de duración de carga significativamente distinto y menor al promedio de todos los hornos, con un nivel de confianza del 95%. Esto se presenta con el asterisco que presenta la media. También presenta que el horno #3 tiene un promedio de carga significativamente distinto, aunque en este caso es mayor que el promedio de todos los hornos.

En la sección 3.4 se encontró que el desempeño actual del proceso es de un Nivel Sigma de 0.30, sin embargo es necesario encontrar el intervalo de confianza (I.C.) de ese valor, dado que el objetivo de desempeño que se establezca en esta sección debe estar fuera del intervalo de confianza del desempeño actual.

Con la información que se tiene de los I.C. de la media y desviación estándar se puede calcular el I.C. del Nivel Sigma del proceso. En la Figura 3.9 obtenemos la información de los valores del I.C., se usarán los valores superiores del I.C. de la media

y desviación estándar para calcular el valor inferior del I.C. del Nivel Sigma y los valores inferiores del I.C. de la media y desviación estándar para el valor superior del I.C. del Nivel Sigma.

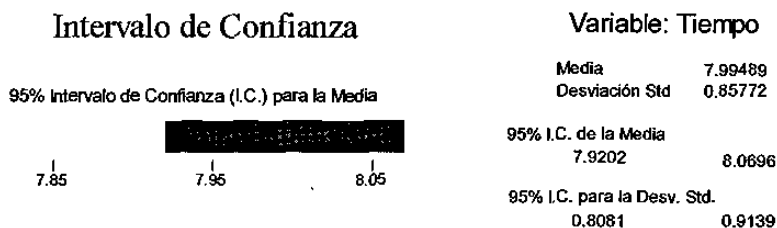


Figura 3.9 Intervalo de confianza del desempeño actual

El valor de Nivel Sigma objetivo del proceso debe estar fuera y por encima del I.C. del Nivel Sigma actual del proceso. Los cálculos para llegar al I.C. se encuentran en la Tabla 3.8.

$$Nivel\ Sigma_{inferior} = \frac{8.25 - 8.0696}{0.9139} = 0.1973$$

$$Nivel\ Sigma_{superior} = \frac{8.25 - 7.9202}{0.8081} = 0.408$$

$$Nivel\ Sigma = 0.30$$

$$0.1973 < Nivel\ Sigma < 0.408$$

Tabla 3.8 Intervalo de confianza para el nivel sigma del proceso

Como se concluyó que el horno 6 tiene el mejor desempeño actualmente y es significativamente distinto del comportamiento del resto de los hornos, se calcula el desempeño actual de este horno para buscar establecer el objetivo de desempeño.

Con la información del horno 6, del cual fueron ignoradas las causas especiales identificadas al eliminar los datos, se obtiene un nivel sigma de 0.71 y unos DPMO de



238,907. El desempeño está fuera del intervalo de confianza calculado para el desempeño actual.

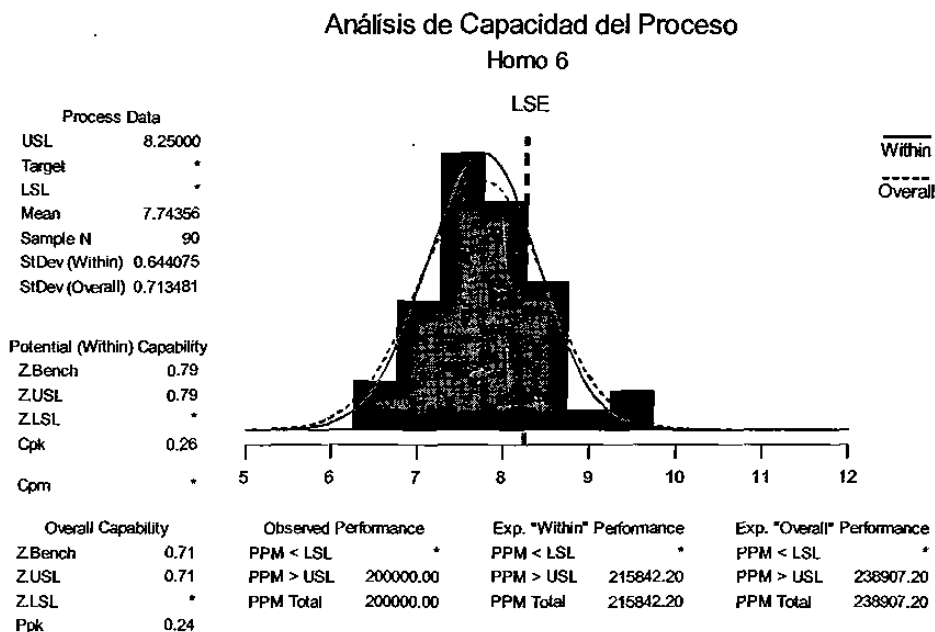


Figura 3.10 Análisis de capacidad del proceso, Horno 6

Al presentar esta información al equipo decidió una reducción de defectos de al menos el 50% de los DPMO, como un criterio preliminar para alcanzar un aumento significativo en esta variable. Ya que el horno 6 tiene el mejor desempeño actual, se toma como objetivo una reducción del 50% de los DPMO que presenta el horno 6, ver en Tabla 3.9.

Lo anterior lleva a estimar un objetivo de 119,453 DPMO o 1.18 Nivel Sigma, como se indica en la Ecuación( 2.3).

$DPMO_{ACTUAL}$	$\xrightarrow{50\% REDUCCIÓN}$	$DPMO_{OBJETIVO}$
238907	$\xrightarrow{50\% REDUCCIÓN}$	119453
$Nivel\ Sigma_{OBJETIVO} = \Phi^{-1}(0.119453)$		
$Nivel\ Sigma_{OBJETIVO} = 1.18$		

Tabla 3.9 Nivel Sigma objetivo

Se concluye estableciendo el nivel sigma objetivo para el proyecto, el cual está fuera del intervalo de confianza del desempeño actual, por lo tanto representa una mejora real del proceso.

### **3.6 Conclusiones del capítulo**

El proceso de hornos tiene variación de los tiempos de duración de carga, lo cual hace que el Nivel Sigma sea bajo. La mejora en el sistema de medición de los tiempos de duración de las cargas permitió conocer de manera real el desempeño del proceso.

El objetivo de mejora establecido en la sección 3.5, indica tener un desempeño de los hornos de un Nivel Sigma de 1.18. En el cual con los 119,453 DPMO esperados, significan que solamente el 11.9% de las cargas tendrán un tiempo mayor al límite superior de especificación establecido por el equipo de trabajo de este proyecto de mejora.

El entendimiento del porqué de las variaciones en el tiempo de proceso se realizará en el capítulo 4.

## **4 ANALIZAR**

Con la fase de analizar se terminará la etapa de caracterización del proceso al conocer su problema estadístico; es decir, cuáles son las causas que ocasionan el desempeño observado en la fase de medir.

Para conocer el problema estadístico, primero se enfocará el esfuerzo a identificar todas las posibles causas de variación que ocasionan los defectos, sección 4.1, para continuar con la validación de las causas más probables en la sección 4.2.

En esta fase se trabaja con pruebas estadísticas para darle validez y un alto nivel de conocimiento a las ideas generadas por el equipo de trabajo. En la sección 4.3 se presentan las conclusiones encontradas en este capítulo.

### **4.1 Identificación de las causas de variación**

Para identificar las fuentes que generan los defectos reportados en la fase de medir realizado en el capítulo 3, los cuales son las cargas con duración en tiempo en exceso, se trabaja con el equipo del proyecto para generar una lluvia de ideas de las posibles causas de variación que están ocurriendo sobre el proceso.

Se llevan a cabo varias sesiones de trabajo para tener la opinión de todos los involucrados, donde se les pide respondan al cuestionamiento “¿Qué, Quién, Por qué se, Cómo se, Cuándo se,... ... podría afectar el tiempo de duración de las cargas?”

Para categorizar este análisis se usa el diagrama Causa-Efecto<sup>8</sup>, donde el objetivo es tener las causas probables con un buen nivel de análisis que conduzca a encontrar causas raíz.

Se le pide al equipo el evitar dar ideas que sean soluciones o ausencias de soluciones, es decir evitar que en esta etapa traten de resolver el problema planteado. Para este análisis de grupo se usará el análisis de Por Qué, para lo cual se representará como una rama inferior en el diagrama causa efecto, la respuesta al cuestionamiento del por qué la causa planteada afecta.

Se realiza el análisis clasificando las posibles causas en categorías: método, maquinaria, mano de obra, materiales, medio ambiente y medición, ver [4] . Lo anterior con la finalidad de ayudar en la comprensión de las causas, esta clasificación hace que algunos autores llamen a esta herramienta diagrama 6M.

El resultado del trabajo con el equipo del proyecto está documentado en el diagrama causa efecto presentado en la Figura 4.1.

El siguiente paso de este análisis es hacer una votación del equipo para priorizar las causas de las cuales se considera están afectando el desempeño de las variables que se están analizando. A esta herramienta se le conoce como técnica de grupo nominal y se basa en el conocimiento y experiencia del equipo de trabajo para la priorización de las causas.

Las causas que fueron priorizadas por el equipo bajo esta técnica fueron resaltadas del texto usando letras negritas en la Figura 4.1 y están listadas en la Tabla 4.1, éstas serán las causas que se analizarán en la siguiente sección, la 4.2.

---

<sup>8</sup> También se le conoce como diagrama de pescado o Ishikawa (en relación con su desarrollador Karoru Ishikawa).

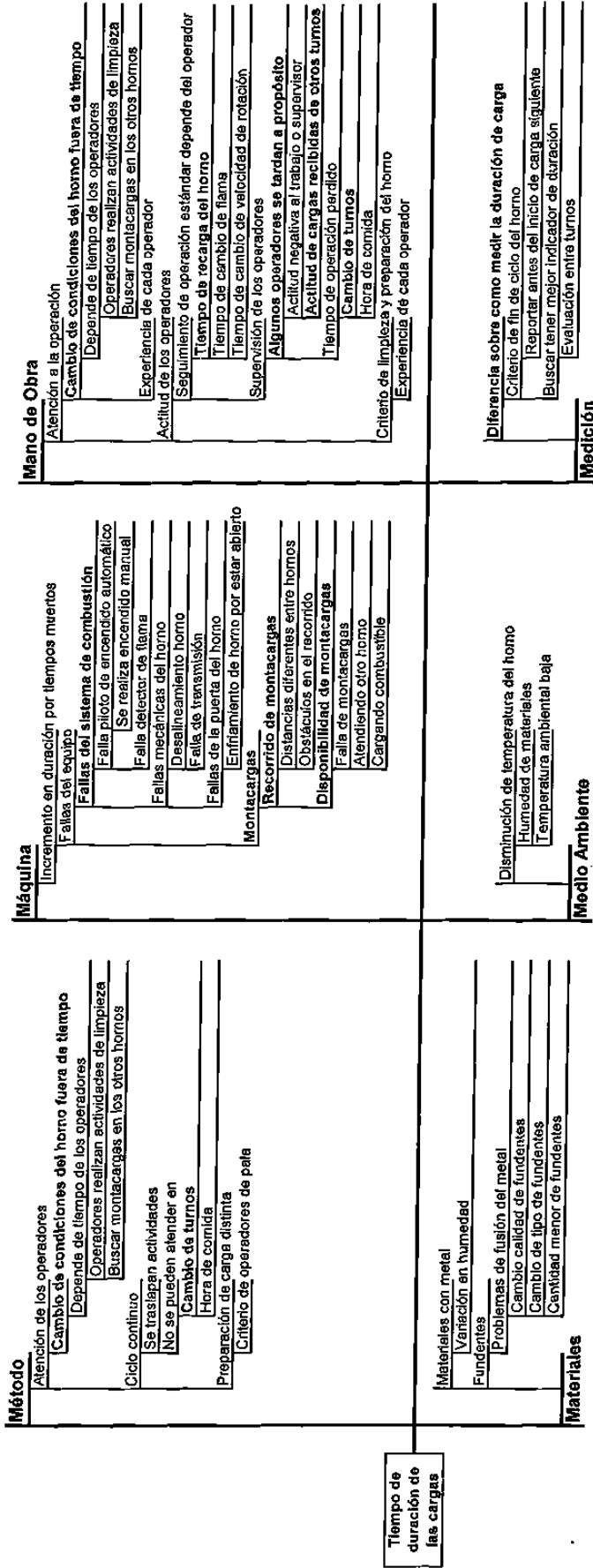


Figura 4.1 Diagrama causa-efecto

En la sección 4.2 es donde se buscará validar si en realidad las causas priorizadas por el equipo afectan a la variable que se está analizando, el tiempo de duración de las cargas.

Las causas que fueron priorizadas por el equipo de trabajo están listadas en la Tabla 4.1, donde se establece la selección que se realizó sobre todas las causas posibles identificadas por el equipo que pueden afectar el tiempo de duración de las cargas. Con esta reducción se logra priorizar aquellas causas que el equipo considera que son las más probables.

Al realizar el listado final se identificó que dos causas; la de cambio de condiciones del horno y la del tiempo perdido en cambios de turno, estaban repetidas en distintas categorías por lo que se procedió a listarla en la categoría que fuera más representativa. Aunque esto se puede realizar desde la generación del diagrama causa efecto, no es recomendable por la metodología dado que podría ocasionar que el equipo de trabajo se vea afectado en su disposición de aportar posibles causas.

<b>Método</b>	Cambio de condiciones del horno fuera de tiempo por falta de atención de los operadores, por que depende del tiempo disponible
<b>Máquina</b>	Fallas del sistema de combustión por que ocasionan tiempos muertos Montacargas, ocasionan tiempos muertos por disponibilidad de los mismos Montacargas, el recorrido de los montacargas hace que tome más tiempo entre el horno 6 que el horno 1
<b>Mano de Obra</b>	Tiempo de recarga del horno no se realiza a tiempo por el seguimiento de los operadores Algunos operadores se tardan a propósito por falta de supervisión En los Cambios de turnos se tiene tiempo de operación perdido por falta de supervisión de los operadores
<b>Medición</b>	Diferencia sobre cómo medir la duración de carga entre los operadores

Tabla 4.1 Causas priorizadas

La razón de la priorización de las potenciales causas es para poder tener la facilidad de seguir avanzando en el análisis de este proyecto aprovechando el conocimiento del equipo de trabajo.

## 4.2 Validación de las causas potenciales

Se procederá a analizar las causas priorizadas en la sección anterior, para validar su efecto sobre la característica crítica seleccionada (CTQ) con la cual se está trabajando, el tiempo de duración de las cargas.

Para realizar la validación de las causas se iniciará con una planeación del cómo podemos realizar esta verificación. Para lo anterior se reunió el equipo de trabajo para elaborar esta planeación.

El objetivo de esta planeación es tener una estrategia que conduzca a verificar si las causas priorizadas por el equipo de trabajo en la sección 4.1, en realidad están afectando. Por lo anterior se le planteó al equipo “¿cómo se puede verificar cada causa, usando datos y análisis de los mismos?”, el resultado de este trabajo en equipo está presentado en la Tabla 4.2.

El siguiente paso es llevar a cabo la planeación de la verificación de las causas probables priorizadas por el equipo de trabajo para comprobar si son significativas y llevar a una conclusión sobre cada una de ellas. Existen causas que tienen planes comunes de verificación, lo anterior se puede observar en la Tabla 4.2.

Para verificar la primera y sexta causas citadas en la Tabla 4.2 se decidió tomar información del horno #6, para lo cual se capturó la información de duración de carga y el turno que lo reportó.

<b>Causas Probables</b>	<b>¿Cómo se puede verificar?</b>
Cambio de condiciones del horno fuera de tiempo por falta de atención de los operadores, porque depende del tiempo disponible.	Capturar información de duración de cargas por turno. Analizar el tiempo de duración de cargas por turno. Investigar por entrevista con los operadores que tienen los mayores tiempos y los menores tiempos como se realizan los cambios de condiciones de los hornos.
Fallas del sistema de combustión ocasionan tiempos muertos.	Analizar la información de demoras reportadas para verificar las causas de fallas principales y trabajo con el equipo para identificar las causas de las fallas.
Montacargas, ocasionan tiempos muertos por disponibilidad de los mismos.	Analizar la información de demoras para verificar las causas de fallas principales y trabajo con el equipo para identificar las causas de las fallas.
Montacargas, el recorrido de los montacargas hace que tome más tiempo entre el horno 6 que el horno 1.	Analizar la información de duración de cargas promedio por horno, donde la hipótesis es que dado que el horno 6 duran más tiempo las cargas porque se recorre más distancia desde el almacén de materias primas, esto comparado contra el horno 1 que está más cercano al almacén.
Tiempo de recarga del horno no se realiza a tiempo por el seguimiento de los operadores.	Implementar la medición del tiempo de recarga de los hornos. Capturar la información de duración de cargas, tiempo de recarga, turno y horno. Analizar el tiempo de duración de carga contra el tiempo de recarga del horno.
Algunos operadores se tardan a propósito por falta de supervisión.	Capturar la información de duración de cargas por turno. Analizar el tiempo de duración de cargas por turno. Investigar por entrevista con los operadores que tienen los mayores tiempos y con sus supervisores para identificar posibles operadores que se tardan a propósito.
En los Cambios de turnos se tiene tiempo de operación perdido por falta de supervisión de los operadores.	Analizar la información de demoras para verificar las causas de fallas principales y trabajo con el equipo para identificar las causas de las fallas.
Diferencia sobre como medir la duración de carga entre los operadores.	Realizado en la fase de Medir. Validado con el estudio de validación del sistema de medición. Se le dará seguimiento.

Tabla 4.2 Planeación de la verificación de causas probables

Cabe mencionar que la planta cuenta con 4 turnos, dado el proceso continuo mencionado en 3.1. Cada turno tiene un operador asignado a cada horno, por lo que tener la información del turno que reporta cada carga, permite identificar a los operadores.



En la Figura 4.2 se presenta el resultado del promedio de los datos recolectados durante 3 semanas de la duración de carga por cada turno, donde se distingue la diferencia de desempeño entre los turnos. En la figura se puede apreciar que los turnos 1 y 4 presentan los menores promedios; mientras que los turnos 2 y 3 presentan los mayores promedios.

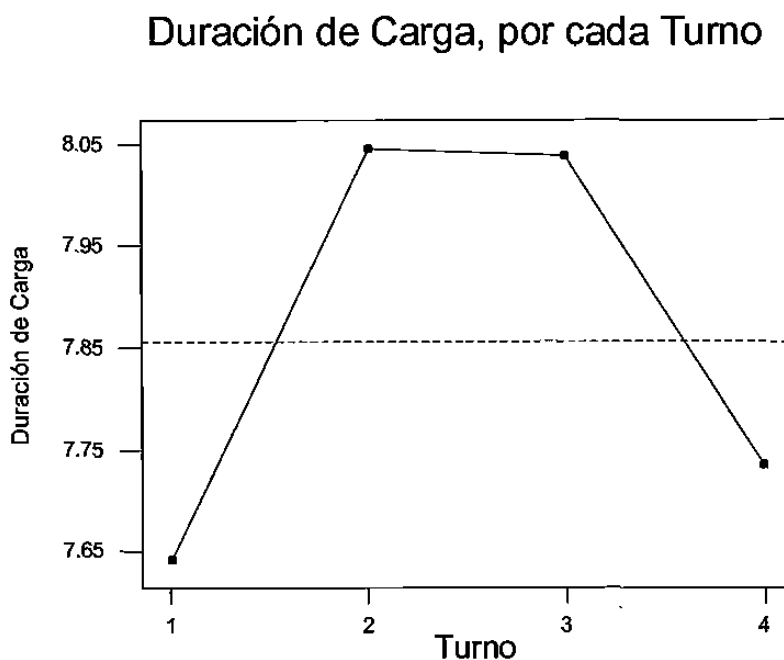


Figura 4.2 Duración de carga, por cada turno. Horno #6

Con la misma información se procedió a analizar con una prueba de hipótesis si la diferencia observada en la gráfica es estadísticamente significativa. Para lo anterior se realiza una prueba de ANOVA de un factor (“One-way ANOVA” en inglés).

La prueba confirma que las diferencias son estadísticamente significativas al ser menor al nivel establecido de 0.05, los resultados se presentan en la Tabla 4.3, dando el resultado de  $P=0.040$ , se concluye que alguno de los turnos tiene un promedio diferente.

Dado que se valida la diferencia de desempeño por operador, con lo cual se tiene la primer parte de la validación de causas de cambio de condiciones del horno por falta

de atención y la de que algunos operadores se tardan a propósito, primer y sexta causa citadas en la Tabla 4.2, se procedió a entrevistar a los operadores para tratar de validar por completo las causas.

One-way ANOVA: DuraciónCarga versus Turno					
Analysis of Variance for DuraciónCarga					
Source	DF	SS	MS	F	P
Turno	3	2.787	0.929	2.90	0.040
Error	80	25.647	0.321		
Total	83	28.433			

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev					
Level	N	Mean	StDev		
1	24	7.6429	0.5139	-----*-----	
2	26	8.0458	0.5750	-----*-----	
3	14	8.0393	0.4991	-----*-----	
4	20	7.7355	0.6517	-----*-----	

Pooled StDev =	0.5662	7.50	7.80	8.10	8.40
----------------	--------	------	------	------	------

Tabla 4.3 ANOVA Duración de carga, por turno

De las entrevistas directas llevadas a cabo con los operadores de este análisis y de otros operadores no incluidos en el mismo, no se puede concluir nada dado los conflictos y contrapuntos que genera este tipo de investigación.

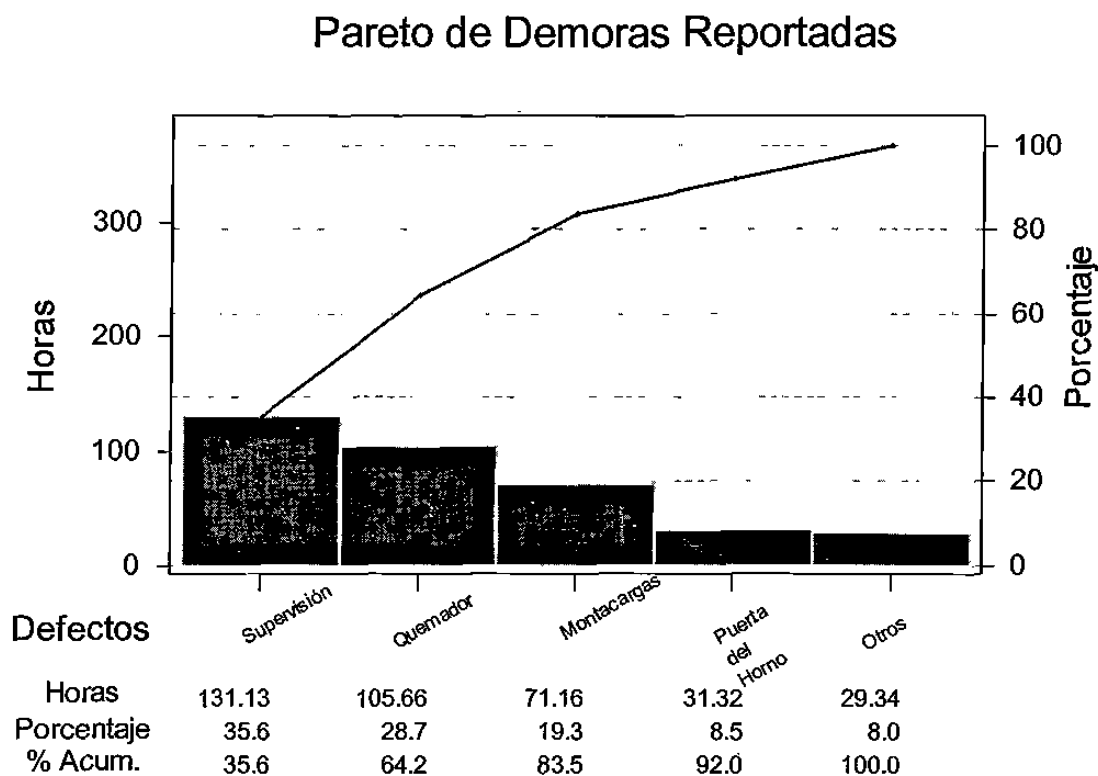
Se planteó una reunión con parte del equipo de trabajo, supervisores y jefe de área, para plantear cómo podríamos diferenciar el porqué de las diferencias en el desempeño de los operadores. El factor experiencia surgió en la reunión, pero fue desechado rápidamente por que se tienen operadores con mucha y poca experiencia entre los dos casos encontrados en el análisis, los de menor y mayor duración de carga.

Se decidió entonces seguir en la fase de mejora con solamente una causa, la diferencia de duración de carga por operador, para trabajar en buscar maneras de contrarrestar esta causa que ya fue verificada.

Para la validación de las causas de tiempo muerto por fallas del quemador, por falta de montacargas y la de tiempo muerto de operación en cambios de turno, respectivamente la segunda, tercera y séptima causas citadas en la Tabla 4.2, se recolectó la información de los reportes de demoras de los 6 hornos de un mes. Para

analizar esta información se decidió usar un Pareto<sup>9</sup>, donde se agruparon las fallas en categorías generales y tiempos muertos entre los operadores.

Figura 4.3 Pareto de demoras reportadas



En el Pareto presentado en la Figura 4.3 se muestra que las causas clasificadas como de supervisión ocupan el primer lugar aportando 35.6% del total de demoras reportadas. La siguiente clasificación fue las causas relacionadas al quemador con 28.7% de aportación, y la tercer clasificación es la de montacargas que aporta el 19.3%.

Con la suma de las tres primeras clasificaciones tenemos el 83.5% del total, con lo que el resto de las causas no se toman en cuenta siguiendo el principio de Pareto; es decir, el enfoque en las pocas vitales que ocasionan la mayor parte de los defectos. En este análisis el defecto analizado son “horas de demora reportada por los operadores”.

<sup>9</sup> Ver glosario.

Después se tomaron solamente las causas que habían sido clasificadas como supervisión para analizar y tratar de verificar las causas priorizadas anteriormente, especialmente la de tiempo muerto de operación por los cambios de turno que es la séptima causa de la Tabla 4.2.

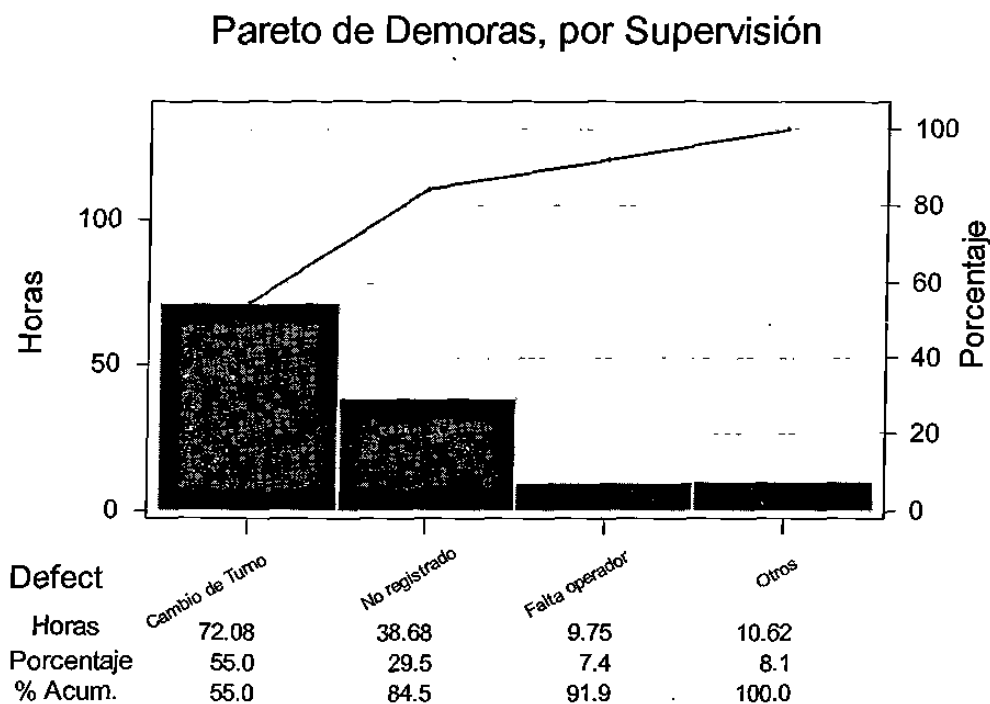


Figura 4.4 Pareto de demoras, por supervisión

En el Pareto de demoras, analizado solamente dentro de la clasificación realizada de supervisión, se presenta que la primera causa encontrada es cambio de turno con el 55% de la aportación en esta categoría, ver la Figura 4.4.

La segunda es tiempo no registrado con el 29.5%, esta no es en realidad una causa sino que es parte de la implementación de la validación del sistema de medición. Cuando existe diferencia entre el tiempo entre fin de una carga y el inicio de la siguiente se reporta bajo este concepto. Aunque no se pudo separar en el análisis, el equipo de trabajo reconoce por su experiencia que aproximadamente la mitad de los casos ocurren en los cambios de turno.

Con la información de los Paretos se verifica la validez de esta causa, tiempo perdido por cambio de turno, aunque se reconoce que se necesita un mejor medio de medición de la misma, dado que estos resultados son los reportados por los operadores y/o supervisores de turno.

De la segunda causa listada en la Tabla 4.2 de fallas del quemador se intentó hacer el mismo análisis, como en la causa anterior verificada, pero dado que en este punto en particular cada operador tiene una forma distinta de reportar las fallas no se pudo encontrar el principio de Pareto en la información. La razón de esto es que tenemos gran cantidad de causas con pequeñas aportaciones al total.

Por lo anterior se propuso al equipo de trabajo usar otra herramienta de análisis para estas causas, el análisis de modo y efecto de fallas (AMEF). Se realizó una reunión de trabajo donde se incluyó a personal de mantenimiento y operación para este análisis.

El resultado de este trabajo se presenta en la Tabla 4.4, donde se identificaron con la evaluación del número de prioridad de riesgo (NPR) las causas más significativas sobre las cuales hay que buscar la mejora en la siguiente fase del proyecto.

En el análisis el equipo identificó para el sub-proceso del encendido del quemador dos modos potenciales de falla dada su experiencia a los cuales se les asignó un grado de severidad (S). De cada modo potencial de falla se realizó una lluvia de ideas para detectar las causas potenciales de la falla, para las cuales se evaluó la frecuencia u ocurrencia de estas causas (O).

De las causas potenciales se evaluó también la efectividad de los controles del proceso actuales para contrarrestarlas, lo cual se denomina nivel de detección (D). La escala usada y el procedimiento utilizado es el propuesto en [1], donde el NPR es igual al producto de S, O y D.

Se continuará con el uso de la herramienta AMEF en la fase de Mejorar, donde se buscarán las acciones recomendadas para contrarrestar las causas a las cuales el equipo les dio una calificación mayor a 300 en este análisis. El valor de 300 fue establecido por el equipo al revisar los resultados obtenidos en este AMEF como valor crítico.

Descripción Proceso / Sub- Proceso	Modo Potencial de Falla	Efecto(s) Potencial(es) Falla	S	Causa(s) Potencial(es)	O	Controles de Proceso Actuales	D	NPR
Proceso: Fusión del metal  Sub-proceso: Encendido del quemador	Piloto del quemador no enciende	Demora al prender el quemador manualmente	7	Cable de la bujía dañado	10	Rutina MP	9	630
				Piloto obstruido o sucio	9	Rutina MP	6	378
				Alineación del piloto del quemador	8	Instalación	8	448
				Bujía dañada	5	Rutina MP	3	105
				Transformador de ignición dañado (fusible)	5	Rutina MP	3	105
				Válvula solenoide del piloto dañada	3	Rutina MP	6	126
				Protecto / relevador dañado	5	Rutina MP (general)	4	140
				Carro fuera no detectado	8	Rutina MP	6	336
				PLC en falla / alarma	5	Rutina MP (general)	6	210
				Presión de gas / oxígeno	3	No hay	10	210
				No detecta flama	Demora para prender el quemador	8	Sensor UV dañado	7
	Sensor desalineado (montaje)	8	MP / cambio de diseño de quemador				5	320
	Sensor con cables en corto	7	MP				3	168
	Sensor (interno) sucio u obstruido	6	MP				6	288
	Sensor con polaridad invertida	7	No hay				10	560
	Conducto de quemador de gas sucio / obstruido	9	MP mensual				7	504
	Conducto de quemador de gas fuera de std.	8	Dibujos vs. reparación				2	128
	Conducto de quemador de gas doblado	5	MP				3	120
	Fusible abierto	2	No hay	10	160			
No hay salida del PLC	2	No hay	10	160				

Tabla 4.4 AMEF, falla del quemador

La tercer clasificación de causa presentada en el Pareto de la Figura 4.3 son las relacionadas a los montacargas que es la tercer causa de la Tabla 4.2, de esta clasificación se realizó un segundo Pareto para presentar las causas que lo componen.

El resultado es presentado en la Figura 4.5, donde se encuentra que el 53.1% del tiempo de demora reportado fue debido a que estaba en el taller por alguna falla. Por estar ocupado el montacargas en otra actividad u horno representó el 35.6% del tiempo, lo cual también puede significar que está cubriendo la falta de algún otro montacargas que este en el taller.

Analizando esta información con el equipo de trabajo se llega a la conclusión que el estado actual del equipo, el cual es de deterioro por el tiempo de operación, es la principal barrera para lograr buscar una mejora en esta causa de demora.

Se comentó además que en un período menor a un año se tiene contemplado el cambio de los montacargas y el aumento del número de éstos en uno para tener un respaldo para sustituir a los que tengan que estar en el taller.

Por lo anterior, se decide en el equipo sólo buscar mejorar la calidad de la información de estas causas dado que la solución definitiva requiere inversión y tiempo mayor al enfoque de este proyecto de mejora.

Dado que la distancia entre el horno 6 y el almacén de materias primas es la mayor debido al trazado de la planta, ver Figura 3.1, la hipótesis planteada por el equipo fue que este horno es el que presenta la mayor duración de cargas, cuarta causa citada en la Tabla 4.2. Se utilizó las mismas pruebas de hipótesis usadas en la sección 3.5.

### Pareto de Demoras, por Montacargas

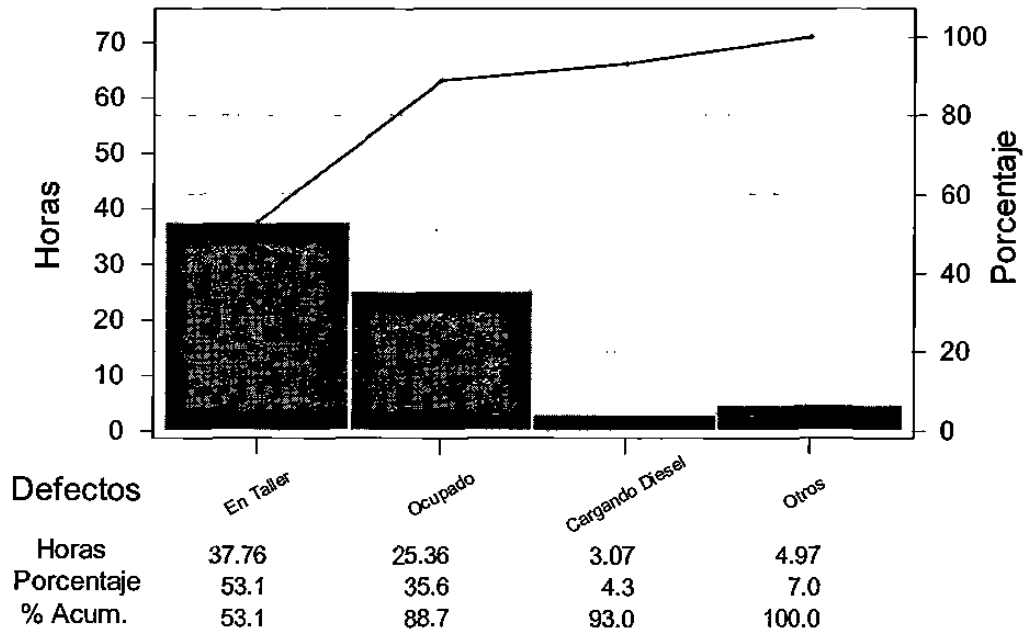


Figura 4.5 Pareto de demoras, por montacargas

### ANOM, Análisis de Medias Tiempo Duración Carga por Horno

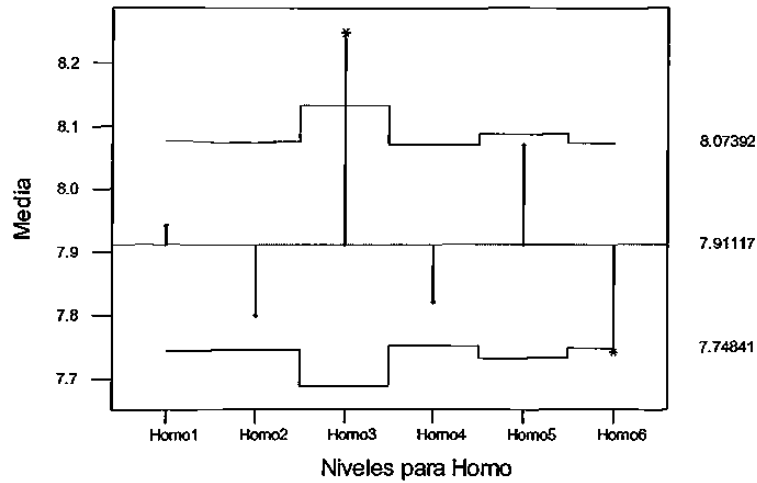


Figura 4.6 Duración de cargas por horno

En la prueba de hipótesis de análisis de medias, ANOM en la Figura 4.6, se muestra que al contrario de lo planteado por el equipo, el horno 6 es el que presenta el



menor tiempo de duración de cargas. El horno 3 presenta el mayor tiempo de duración de carga y está a menor distancia del almacén que el horno 6.

Por el análisis anterior se concluye que la causa de distancia no es significativa para afectar el tiempo de duración de carga, aunque se reconoce que es real. Lo anterior demuestra además que son otras las causas que mayormente afectan al tiempo de duración de la carga.

Para verificar la quinta causa probable citada en la Tabla 4.2, de que los operadores no recargan a tiempo los hornos por falta de seguimiento, se utilizó la misma recolección de información de la primer y séptima causas de la Tabla 4.2. Es decir, de las mismas cargas que se usaron para ver las causas de atención de los operadores por cambio de condiciones y de que tardaban deliberadamente.

Durante la recolección de información se incluyó el tiempo que se tardaban para recargar por turno. Los datos se presentan en la Figura 4.7, donde se observa un comportamiento similar al presentado en la Figura 4.2.

Se revisó si las diferencias en los tiempos para recargar por turnos son estadísticamente significativas, mediante la herramienta ANOVA. Los resultados son presentados en la Tabla 4.5, donde se comprueba la significancia estadística de las diferencias observadas en la Figura 4.7 dado que  $P=0.007$ .

### Tiempo para Recargar, por cada Turno

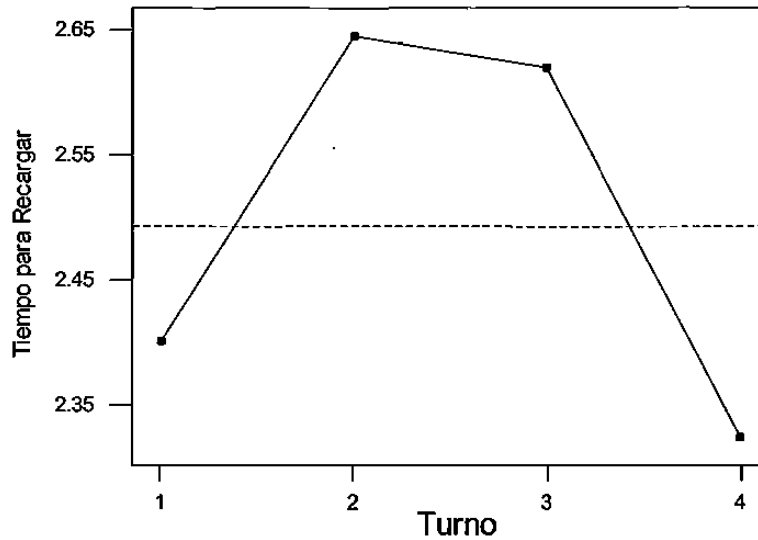


Figura 4.7 Tiempo para recargar, por cada turno

One-way ANOVA: TieRecarga versus Turno					
Analysis of Variance for TieRecarga					
Source	DF	SS	MS	F	P
Turno	3	1.665	0.555	4.34	0.007
Error	80	10.230	0.128		
Total	83	11.895			
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev					
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----	
1	24	2.4008	0.2890	(-----*-----)	
2	26	2.6462	0.3856	(-----*-----)	
3	14	2.6357	0.4272	(-----*-----)	
4	20	2.3245	0.3418	(-----*-----)	
-----+-----+-----+-----					
Pooled StDev =		0.3576		2.20	2.40 2.60 2.80

Tabla 4.5 ANOVA Tiempo para recargar por turno

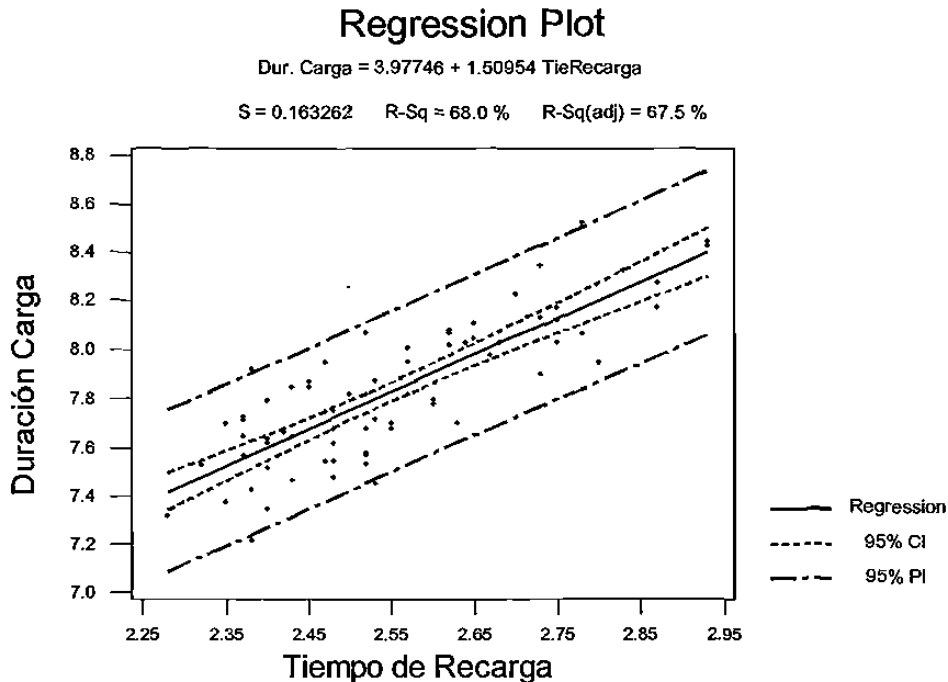


Figura 4.8 Regresión duración de carga vs. tiempo de recarga

Para validar que la causa del tiempo de la recarga afecta en el tiempo total de duración de la carga, se tomó información de 83 cargas, las cuales no presentaban fallas, de tres hornos 1,4 y 6, sin avisarle a los operadores de la toma de información para no afectar los resultados del estudio.

Una vez capturada la información se decidió analizar, por medio de una regresión, la posible dependencia de esta causa en el desempeño. Este factor fue significativo de acuerdo al análisis de regresión, donde presenta una  $R^2$  ajustada ( $R\text{-Sq}(\text{adj})$ ) del 67.5%. Ver en Tabla 4.6.

El valor de la  $R^2$  ajustada representa el porcentaje que el modelo explica de la variabilidad de los datos de duración de carga en relación con el factor analizado, que es el tiempo de recarga. Dado que tenemos varias causas afectando al mismo tiempo, una  $R^2$  del 67.5% representa una validación del efecto de esta causa.

Se analizó la validez del modelo de regresión obtenido de este análisis por medio del análisis de los residuales, dando satisfactorias las pruebas. Se presenta en la Figura 4.9 un resumen de esta validación.

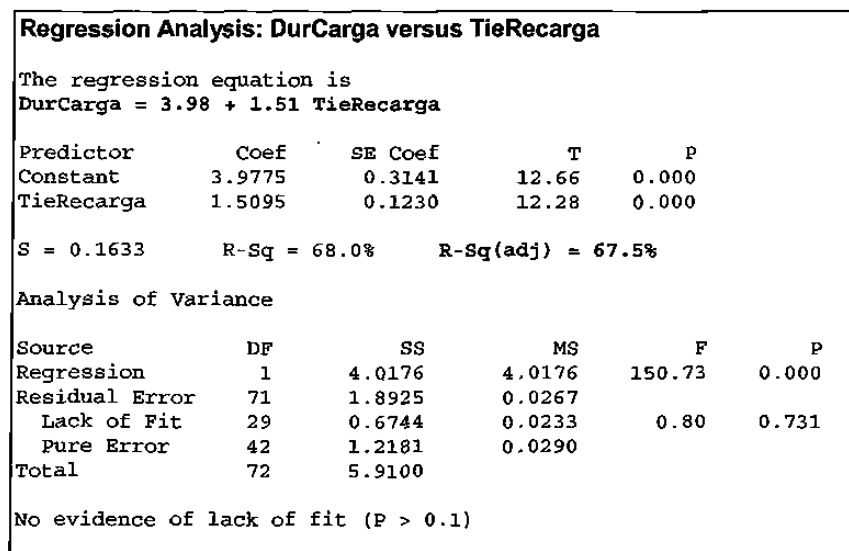


Tabla 4.6 Análisis de regresión, duración carga vs. tiempo de recarga

### Residual Model Diagnostics

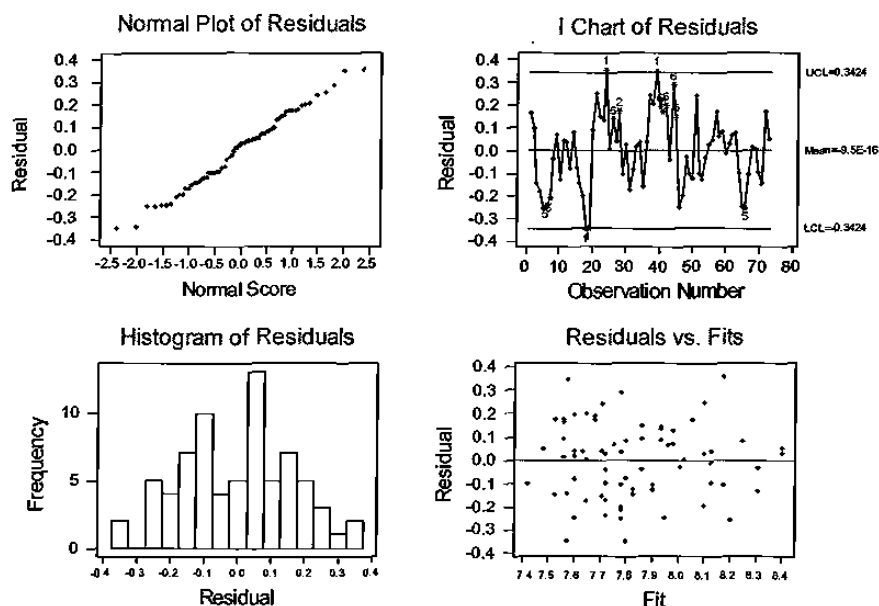


Figura 4.9 Análisis de residuales del modelo de regresión

El tiempo para recargar se afecta con una relación 1.51 veces al tiempo total como se muestra en el análisis de regresión, el cual es el coeficiente de este factor. Lo anterior es válido para el modelo analizado, ver Figura 4.8 y Tabla 4.6.

Con los resultados del análisis de regresión y del ANOVA se verifica que la causa de recarga a tiempo por los operadores es significativa, por lo que se trabajará en la siguiente fase para tener más información de todos los hornos.

### **4.3 Conclusiones del capítulo**

Se presenta un resumen en la Tabla 4.7 de las causas priorizadas como las más probables en la sección 4.1 y los resultados obtenidos en la verificación de las mismas en la sección 4.2.

Se presenta una columna en la Tabla 4.7 para indicar si la causa se concluyó como verificada en la sección 4.2, se agrega otra columna con comentarios sobre el proceso de verificación. También se agrega otra columna para indicar si se buscará mejorar la causa en la fase del mismo nombre.

Con el aprendizaje logrado en esta fase se procede a buscar la mejora en la siguiente fase de la metodología, donde para las causas verificadas se buscará tener una solución que la contrarreste.

Causas Probables	Verificada	Comentarios	Mejorar
Cambio de condiciones del horno fuera de tiempo por falta de atención de los operadores, por que depende del tiempo disponible	Sí	Se encontró como significativa esta causa, aunque de manera general; es decir, los operadores tienen diferente desempeño	Sí
Fallas del sistema de combustión ocasionan tiempos muertos	Sí	Se analizaron posibles causas de las fallas, de las cuales se analizarán usando el AMEF para buscar la mejora	Sí
Montacargas, ocasionan tiempos muertos por disponibilidad de los mismos	Sí	Aunque es real la causa, no se incluirá en el análisis de la mejora por estar fuera del alcance del proyecto al requerir inversión	No
Montacargas, el recorrido de los montacargas hace que tome más tiempo entre el horno 6 que el horno 1	No	Causa rechazada, aunque es un hecho las diferencias de distancia, en este momento no es significativa la causa.	No
Tiempo de recarga del horno no se realiza a tiempo por el seguimiento de los operadores	Sí	Causa verificada con de la diferencia entre los operadores, también se verificó el efecto de la recarga en la duración total	Sí
Algunos operadores se tardan a propósito por falta de supervisión	Sí	Se encontró como significativa esta causa, aunque de manera general; es decir, los operadores tienen diferente desempeño	No
En los cambios de turnos se tiene tiempo de operación perdido por falta de supervisión de los operadores	Sí	Es la principal causa de demora identificada en la clasificación de supervisión, se reconoce que no se tiene una medición que lleve a conocer el efecto real	Sí
Diferencia sobre cómo medir la duración de carga entre los operadores	Sí	Realizado en la fase de Medir. Aunque en realidad no afecta a la duración de la carga, sino a su medición. Se le dará seguimiento.	No

Tabla 4.7 Resumen de verificación de causas

## 5 MEJORAR

En la fase de mejorar se inicia la etapa de la optimización del proceso, para lo cual se buscarán las soluciones de las causas verificadas a mejorar seleccionadas en la fase de analizar.

Para tener las soluciones que se buscará implementar en el proceso, primero se trabajará con el equipo de mejora en identificar las posibles soluciones que ayudarán a contrarrestar las causas verificadas, esto se realizará en la sección 5.1.

Cuando se tengan identificadas las posibles soluciones, se buscará establecer cuáles son las condiciones en las cuales deben operar esas soluciones. Lo anterior puede requerir o no una validación estadística según el tipo de solución a implementar, este desarrollo estará en la sección 5.2.

De las soluciones se implementarán los controles que aseguren la permanencia de la mejora en la fase de controlar, capítulo 6, las conclusiones principales de este capítulo se presentan en la sección 5.3.

## 5.1 Soluciones que contrarrestan las causas verificadas

La primer parte es trabajar con el equipo para encontrar posibles soluciones que contrarresten las causas que fueron verificadas y seleccionadas para mejorar en el capítulo 4. Se realizaron reuniones con el equipo con el objeto de obtener una lluvia de ideas.

Las ideas son sobre todas las posibles formas de contrarrestar las causas, dado el aprendizaje que se tiene en el desarrollo de este proyecto. El resultado de este trabajo está presentado en la Tabla 5.1, donde se agrupa lo generado por la lluvia de ideas para cada una de las causas verificadas a mejorar.

Para las fallas del sistema de combustión se trabajó usando un AMEF, debido a que esta herramienta también conduce a este análisis para obtener la mejora a implementar. En este caso el avance se presentará directamente en la sección 5.2.

De las posibles soluciones proporcionadas por el equipo del proyecto, se realiza una evaluación para decidir sobre cuáles causas se probarán las soluciones a implementar y verificar que mejoran el tiempo total de duración de las cargas.

Para realizar esta evaluación se le pide al equipo hacer una votación por técnica de grupo nominal sobre tres categorías: fácil de implementar la solución, bajo costo de la implementación y efectividad esperada de la solución.

Las calificaciones posibles para la votación son: alto, medio y bajo, las cuales se representarán con A, M y B respectivamente. Cabe aclarar que en el caso de costo una calificación alta representará que tiene un bajo costo de implementación.



Causas verificadas a mejorar	Posibles Soluciones para Contrarrestar las Causas	Fácil	Costo	Efectiva	Seleccionar
Cambio de condiciones del horno fuera de tiempo por falta de atención de los operadores, por qué depende del tiempo disponible y/o por actitud de los operadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear el desempeño de los operadores para establecer acciones de comunicación con ellos</li> </ul>	A	A	M	S
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer las mejores prácticas de operación y transmitirlos a los operadores</li> </ul>	M	M	M	N
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir el número de actividades que realizan los operadores</li> </ul>	B	B	M	N
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programar, en el PLC, los cambios de condiciones de operación que son realizadas en el panel de control por los operadores</li> </ul>	A	M	A	S
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentar los resultados de la operación a los turnos en sus juntas de trabajo</li> </ul>	A	A	M	S
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer en el reporte de operación de los hornos, que se registren cada uno de los tiempos de proceso</li> </ul>	A	A	M	S
Fallas del sistema de combustión ocasionan tiempos muertos	Se revisaron cada uno de las posibles formas de falla usando un AMEF, donde se plantea las mejoras a implementar, esto se presentará directamente en la sección 5.2				
Tiempo de recarga del horno no se realiza a tiempo por el seguimiento de los operadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir y registrar el tiempo de recarga de cada operador, para establecer acciones de comunicación con ellos</li> </ul>	A	A	M	S
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer la mejor práctica y comunicársela a los operadores</li> </ul>	M	M	M	N
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer un rango de tiempo para la realización de la recarga, en base al análisis realizado</li> </ul>	A	A	A	S
En los Cambios de turnos se tiene tiempo de operación perdido por falta de supervisión de los operadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrega del turno en el área, revisado por los Supervisores</li> </ul>	B	A	M	N
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir el tiempo de duración de las cargas, para cada entrega y recepción de los turnos, para identificar cuando usan mayor tiempo total de duración</li> </ul>	A	A	M	S
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentar los resultados de tiempos perdidos por cambio de turno y duración total de carga cuando hay cambio de turno a los operadores en sus juntas de trabajo</li> </ul>	A	A	M	S

Tabla 5.1 Posibles soluciones para contrarrestar las causas

El resultado del análisis también se presenta en la Tabla 5.1. Con este análisis se seleccionan las posibles soluciones para verificar su impacto en el desempeño. El resultado de este análisis se presenta en la misma tabla mencionada, donde S significa que si fue seleccionada y N que no fue seleccionada la posible solución.

Ahora con esta selección de posibles soluciones se procede a verificar si en realidad afectan al desempeño. Esto se realizará en la sección 5.2, donde además de verificarlas se busca establecer el nivel óptimo de operación de las causas verificadas, según lo que indiquen las soluciones verificadas.

## **5.2 Establecimiento del ajuste de operación para las causas**

Para verificar las posibles soluciones planteadas en la Tabla 5.1, se tomaron los datos del mes en curso para todos los hornos con ayuda del equipo de trabajo, especialmente los del departamento de Ingeniería Industrial y se registró la información de los turnos que cargaban, recargan y descargaban los hornos.

Con esta información se inicia el análisis del mes en curso como mes anterior. Del mes siguiente se tomaron los datos para ver cómo afectaban los cambios propuestos. Para la primera causa citada en la Tabla 5.1 se analiza la duración de carga, según el turno que descargó el horno.

En la Figura 5.1 se observa que el turno número 1 es el que presenta el mayor tiempo promedio de duración de cargas en todos los hornos. Mientras que el turno número 3 presenta el menor tiempo promedio. Este análisis es similar al realizado en la sección 4.2, en la Figura 4.2, con la diferencia que en esta ocasión se incluye información de todos los hornos a diferencia en el capítulo anterior solamente se realizó para el horno #6.

Dado que se tenía información detallada de todos los hornos y los turnos, se procede a realizar un análisis del comportamiento de la variación de estos resultados. Se analiza además el horno al mismo tiempo, para entender mejor el comportamiento visto en la Figura 5.1.

Para lo anterior, se construye la gráfica Multi-Vari<sup>10</sup> en el Minitab y se presenta en la Figura 5.2. En la figura se observa en eje horizontal cómo se segmentan los resultados por horno y en eje vertical es la duración de cargas en horas. Dentro de la gráfica se presenta una línea punteada que une los promedios de duración de carga por cada horno y las líneas continuas en cada promedio de horno representan los promedios para cada turno en el horno que está ubicado.

Los turnos siempre están ordenados del 1 al 4 para todos los hornos. Se puede identificar los promedios de cada turno en cada horno, al contar de izquierda a derecha los puntos y relacionarlos con el turno.

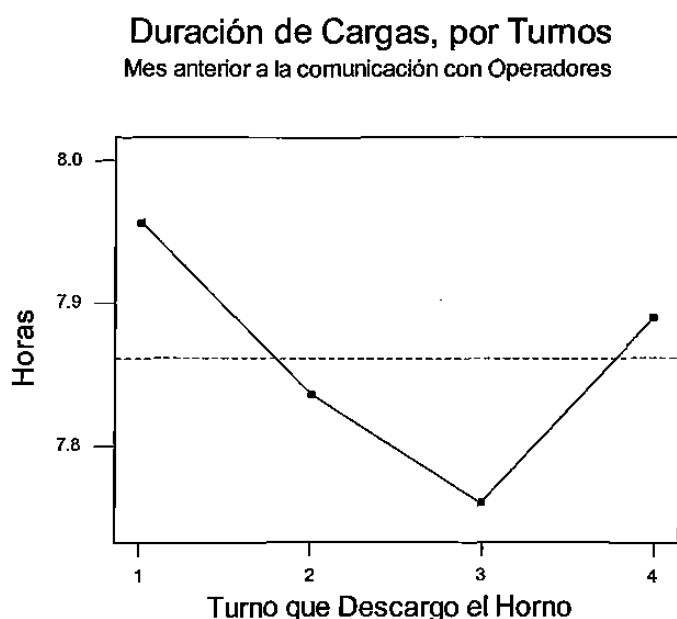


Figura 5.1 Duración de cargas, por turno, anterior a la comunicación

<sup>10</sup> Ver glosario.

## Duración de Cargas, por cada Horno y por Turno

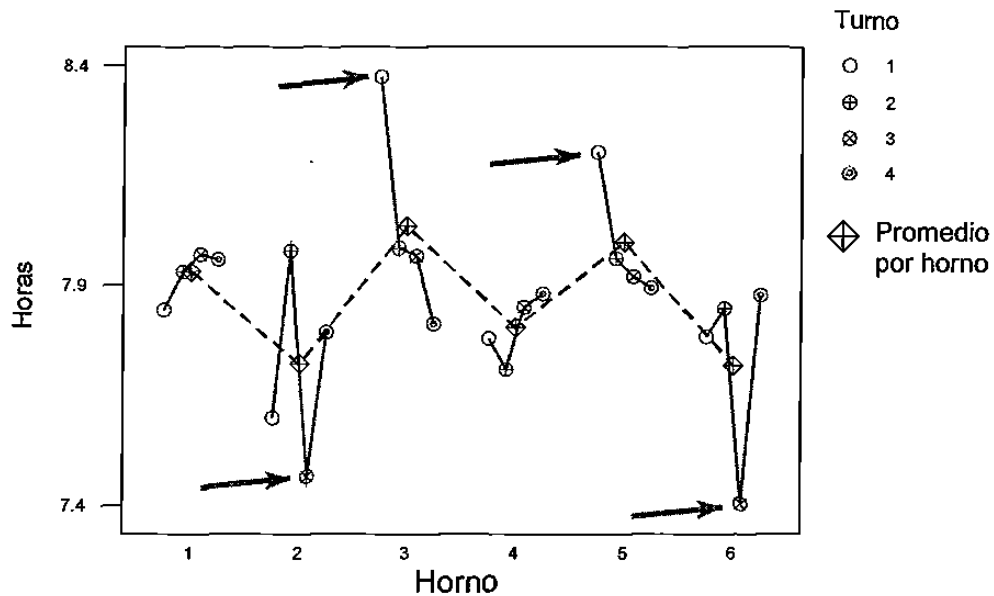


Figura 5.2 Gráfica Multi-Vari, antes de la comunicación

En la Figura 5.2 se resalta con unas flechas los resultados para el turno 1 en los hornos 3 y 5, dado que presentan los valores mayores en relación con los promedios presentados en esos hornos aún comparándose con todos los hornos.

Al mismo tiempo se resaltan con flechas los resultados para el turno 3 en los hornos 2 y 6, que al contrario presentan los menores resultados de toda la información recopilada. Para el horno 6, el supervisor comentó que ya había trabajado con el operador dado los resultados encontrados en la fase de analizar y presentados en la sección 4.2, ver Figura 4.2.

Con esta información se decide con el equipo de trabajo centrar la atención en el turno 1 y tomar el plan de comunicación con ellos. Esto al presentarles en sus juntas de trabajo estos resultados y tener pláticas con ellos semanalmente para presentarles los

avances. Se pondrá especial atención con los operadores de los hornos 3 y 5 que presentan los mayores promedios de duración de carga.

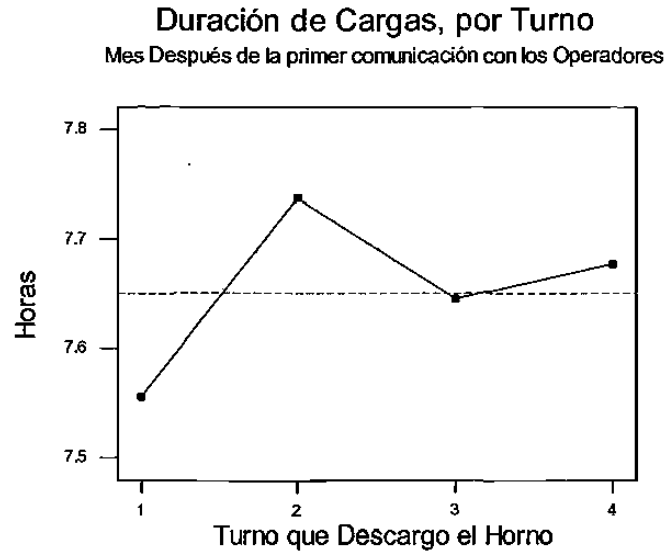


Figura 5.3 Duración de cargas, por turno, después de la comunicación

Este trabajo se realizó durante el mes siguiente, período en el cual también se registró la información sobre las cargas que permitiera analizar el desempeño de los turnos.

En la Figura 5.3 se observa que los resultados del turno 1 son ahora los que presentan el mejor desempeño. También se ve que el resto de los turnos disminuyó un poco su promedio, al enterarse del trabajo que se realizaba con el turno 1, pero sin cambios realmente significativos.

Se realiza el análisis Multi-Vari para analizar el comportamiento por operador. Estos resultados se presentan en la Figura 5.4, donde se observa que del turno 1 no se tienen resultados por encima del comportamiento promedio, especialmente se ve el cambio en los operadores de los hornos 3 y 5 comparado contra la Figura 5.2.

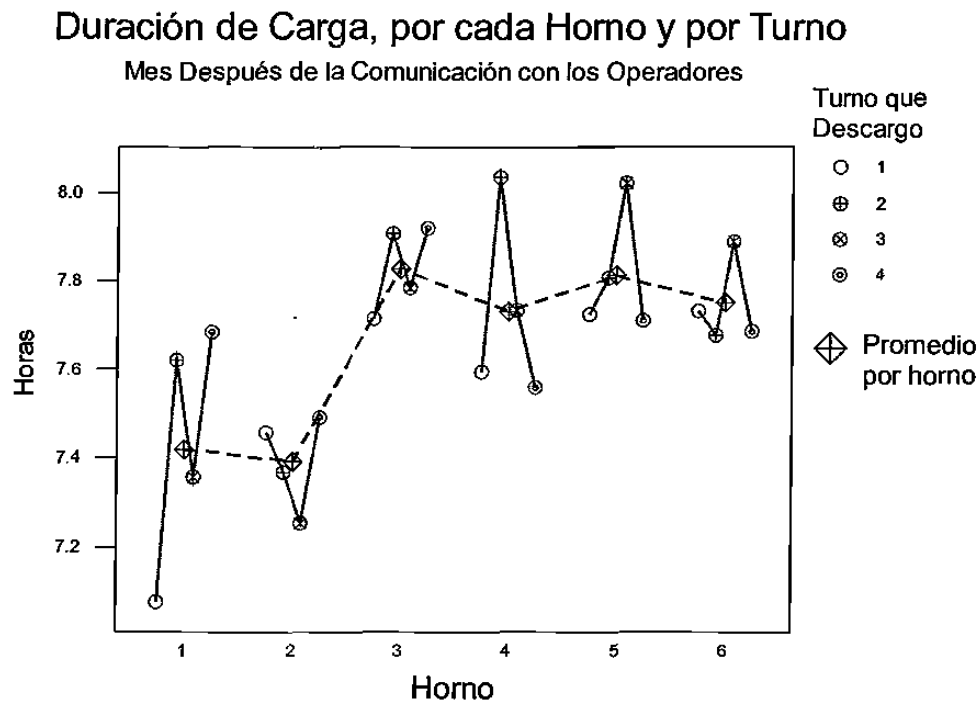


Figura 5.4 Gráfica Multi-Vari, después de la comunicación

Para tener la evidencia estadística del cambio se analizan los datos del mes antes y después de haber tomado las acciones de comunicación de los resultados, para el turno 1. Se analizaron los datos mediante un ANOVA de un factor, donde el factor es el antes y después de la comunicación con los operadores.

One-way ANOVA: Antes, Despues					
Analysis of Variance for DurCarga					
Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	10.690	10.690	22.21	0.000
Error	265	127.544	0.481		
Total	266	138.235			
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev					
Level	N	Mean	StDev		
Antes	121	7.9574	0.7832	-----+-----+-----	
Despues	146	7.5555	0.6099	(------*-----)	
-----+-----+-----					
Pooled StDev =		0.6938		7.60	7.80

Tabla 5.2 ANOVA, antes y después de la comunicación

Con los resultados del ANOVA, ver Tabla 5.2, se puede concluir que el cambio en la duración de carga fue significativo. El análisis presenta un p-value de 0.000, con lo

que se concluye que son distintos, al ser menor al nivel de significancia establecido de 0.05 para la prueba. Además en la gráfica de intervalo de confianza se observa que es menor el resultado de “después”.

Otra posible solución para esta primer causa a mejorar, es el de tener programados en el PLC, los cambios de condiciones de operación para que se realicen automáticamente cuando el operador no pueda estar en el panel de control, ver Tabla 5.1.

Para lo anterior se entrevistó a los operadores que presentaron el mejor resultado en la duración promedio de carga que se observaron en la Figura 5.2, para obtener los tiempos que usan para realizar los cambios de condiciones.

Para probar esta posible solución, esta información se establece como la mejor práctica de operación y después se documenta en el programa del PLC de los hornos 1 y 2. En la Tabla 5.3, se presenta en una gráfica de Gantt las condiciones y el tiempo transcurrido desde que se termina la carga o recarga y la activación de cada condición del horno.

Tiempo (minutos)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Flama baja	■	■								
Flama media			■	■		■	■		■	
Flama alta					■			■	■	■
Velocidad baja	■	■	■	■	■					
Velocidad media						■	■	■		
Velocidad alta									■	■
Cambio de giro	■									■

Tabla 5.3 Condiciones del Horno

Se realiza la comparación de los resultados del mes anterior con las 3 semanas en que se probó esta solución para validar su significancia.

One-way ANOVA: DurCarga versus Metodo					
Analysis of Variance for DurCarga					
Source	DF	SS	MS	F	P
Metodo	1	3.818	3.818	7.21	0.007
Error	504	266.943	0.530		
Total	505	270.762			
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev					
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----	
Manual	328	7.9533	0.7374	(-----*-----)	
Automa	178	7.7713	0.7096	(------*------)	
-----+-----+-----+-----+-----					
Pooled StDev =		0.7278		7.70	7.80 7.90 8.00

Tabla 5.4 ANOVA Método de cambio de condiciones

Se analizan los resultados según el método usado para el cambio de las condiciones del horno, donde se tiene el método manual y el método implementado a través de la secuencia programa en el PLC. El resultado obtenido en el ANOVA presentado en la Tabla 5.4, donde se presenta un valor de p igual a 0.007 que indica que son significativamente distintos. Además al observar la gráfica de intervalo de confianza se observa que el método automático (“Automa”), presenta un promedio menor al tener 7.7713 contra 7.9533 que presentó el método manual en este período analizado.

Para buscar la mejora y la validación de las soluciones implementadas, de la segunda causa listada en la Tabla 5.1, se da seguimiento al AMEF presentado en la sección 4.2.

En la Tabla 5.5 se presentan las acciones recomendadas por el equipo de trabajo para las causas que presentaron los valores mayores de NPR, donde se les asignó un responsable (“Resp.” en la Tabla 5.5) y fecha de terminación. La Tabla 5.5 es continuación de la Tabla 4.4, presentada en el capítulo 4.

Una vez implementadas las acciones recomendadas se documentan los resultados de las acciones, donde se especifica las acciones tomadas para implementar las acciones recomendadas. Parte de las acciones recomendadas están en cambiar la forma de realizar el mantenimiento preventivo (MP), lo cual está reportado en el AMEF.



Causa(s) Potencial(es)	NPR Antes	Acciones Recomendadas	Resp./ Fecha	Resultado de las Acciones				
				Acciones tomadas	S	O	D	NPR Después
Cable de la bujía dañado	630	Revisar frecuencia de la rutina de MP. Proteger instalación de posibles quemaduras del cable.	GB,AC 17/03	Cambio de frecuencia de MP a cada 3 días revisión y limpieza. Instalación de placa 1/4" para protección del cable.	7	2	2	28
Piloto obstruido o sucio	378	Revisar frecuencia de rutina limpieza y MP. Instalar prueba física para detectar fallas de operación del piloto.	AO,AC 12/03	Cambio de frecuencia de MP a cada 3 días, revisión y limpieza. Instalación de botón cerca del piloto para probar su funcionalidad, aunque esté operando el quemador.		1	1	7
Alineación del piloto del quemador	448	Instalación estable para el montaje del piloto.	GB 22/03	Se instaló una base con abrazaderas que permiten ajustar la alineación del piloto con el quemador y evitar que se mueva.		2	1	14
Carro fuera no detectado	336	MP realice una prueba física.	CS, AC 17/03	Cambio de frecuencia de MP a 15 días, revisión de detección de carro del quemador afuera y operación de secuencia de encendido.		3	3	63
Sensor UV dañado	336	Protección del sensor en su instalación. Investigar probador de sensor UV.	RP, HD 25/02	Instalar una placa alrededor del sensor para evitar que se dañe por quemaduras o golpes. Compra de probador de sensores UV con el proveedor de los mismos.	8	3	4	84
Sensor desalineado (montaje)	320	Cambio de diseño del montaje (tubo rosca).	GB 10/04	Cambio de los niples de conexión de los sensores para alineados y de la medida correcta para evitar la posibilidad de desalinarlos.		1	1	7
Sensor con polaridad invertida	560	Identificar Cables de conexión del sensor. Investigar Probador de sensor UV.	CS, AO 12/03	Se identificaron los cables de desde el registro hasta el quemador y se usan los mismos colores de tienen cables de los sensores. Utilizar el probador de sensores UV.		2	2	28
Conducto de quemador de gas sucio	504	Revisar frecuencia de MP. Investigar método para limpieza.	AC, CS 25/03	Cambio de frecuencia de MP a 1 semana. Fabricar cepillo de alambre largo para limpiar el conducto.		5	3	105
Fusible abierto	400	Revisar MP. Comunicar como identificarlo rápido.	AC,RP 25/11	Implementación en rutinas de MP la revisión de estados de los módulos del PLC por medio de un listado de revisión o "checklist". Checklist de revisión de estados.		3	2	42
No hay salida del PLC	400	Revisar MP. Capacitación del PLC y sus módulos.	AC 20/05	Implementación en rutinas de MP la revisión de estados de los módulos del PLC por medio de un checklist de revisión de estados en checklist.		3	2	42

Tabla 5.5 AMEF Acciones de mejora propuestas y validadas

Cuando se implementaron completamente se realiza de nuevo la evaluación del número de prioridad de riesgo (NPR), evaluando la ocurrencia (O) y la detección (D). La severidad (S) no se estima de nueva cuenta dado que no se afecta por las implementaciones.

De este análisis se concluyó que las acciones tomadas fueron significativas para resolver las causas planteadas para las fallas de quemador. En el siguiente mes se registraron 46.5 horas de demora por fallas del quemador contra 105.6 horas registradas en la sección 4.2, con lo cual se aprecia la mejora en este indicador.

Para la tercer causa verificada a mejorar en la Tabla 5.1, tiempo de recarga se propusieron dos soluciones, de las cuales una era establecer un rango de tiempo en el cual se debería realizar la recarga, esto basándose en el análisis de información presentada en la regresión mostrada en la sección 4.2.

Para lo anterior se reunió al equipo para analizar la gráfica de regresión, ver Figura 4.8, y establecer el tiempo de recarga adecuado según lo que indica el modelo de regresión calculado.

El equipo por su experiencia hace notar que difícilmente se podría realizar la recarga antes de 2 horas, dado que el horno no aceptaría el total de recarga, pero aceptan que en el rango mostrado en la gráfica de regresión es donde normalmente trabajan sin presentar ningún problema con la operación del horno.

Por lo anterior, se decide establecer un valor máximo de tiempo para recargar en 2.5 horas, lo cual se presenta en la Figura 5.5. Con este dato establecido por el equipo se busca ahora predecir la duración de carga que se esperaría con este tiempo de recarga máximo. Para esto se levó a cabo una regresión.

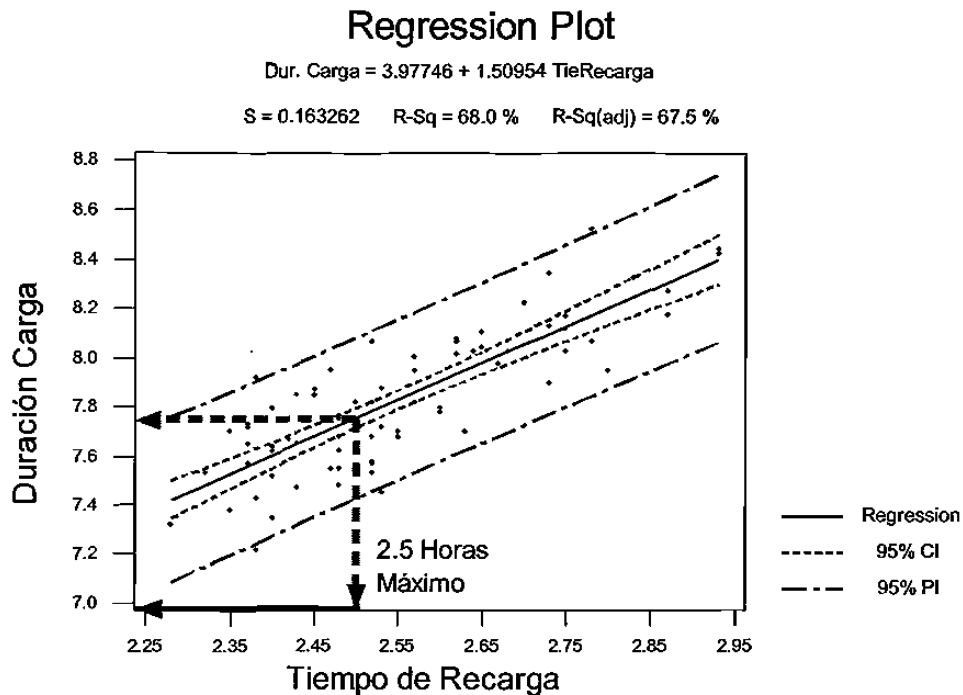


Figura 5.5 Tiempo para recargar máximo

En la Tabla 5.6 se presentan los resultados de este análisis de la forma que los ofrece Minitab, como la predicción de valores de observaciones nuevas (“New Obs”). Este análisis dice que se tendría un promedio esperado de duración máxima de la carga de 7.75 horas (columna “FIT”), cuando se tiene un tiempo para recargar de 2.5 horas máximo (columna “TieRecarga”).

Además en la misma tabla se presenta el intervalo de confianza para este valor promedio, donde indica que es de 7.7113 a 7.7913, con un nivel de confianza del 95% (columna “95.0% CI”). Las cargas de forma individual pueden estar entre 7.4233 y 8.0792 con un nivel de confianza del 95% (columna “95.0% PI”).

El tiempo de duración de carga que presenta para los datos individuales es menor al límite máximo de especificación planteado en el capítulo 3 de 8.25 horas, por lo que aplicar esta solución indica que estará por debajo de este límite máximo.

Regression Analysis: DurCarga versus TieRecarga				
Predicted Values for New Observations				
New Obs	Fit	SE Fit	95.0% CI	95.0% PI
1	7.7513	0.0201	( 7.7113, 7.7913)	( 7.4233, 8.0793)
Values of Predictors for New Observations				
New Obs	TieRecarga			
1	2.50			

Tabla 5.6 Predicción de duración de carga

Otra solución planteada para esta misma tercer causa, tiempo de recarga, es medir el tiempo de recarga de cada operador y comunicárselos para buscar la disciplina en el proceso. Para lo anterior se les solicitó el registro de esta información en el diario de producción.

Con esta información se elaboraron estadísticas y gráficas para presentárselas a los operadores y hacerles notar, especialmente a los que tienen un desempeño distinto al de la mayoría, sus oportunidades de mejora. También se les presentó la razón por la cual se debe realizar la recarga antes de las 2.5 horas planteadas anteriormente.

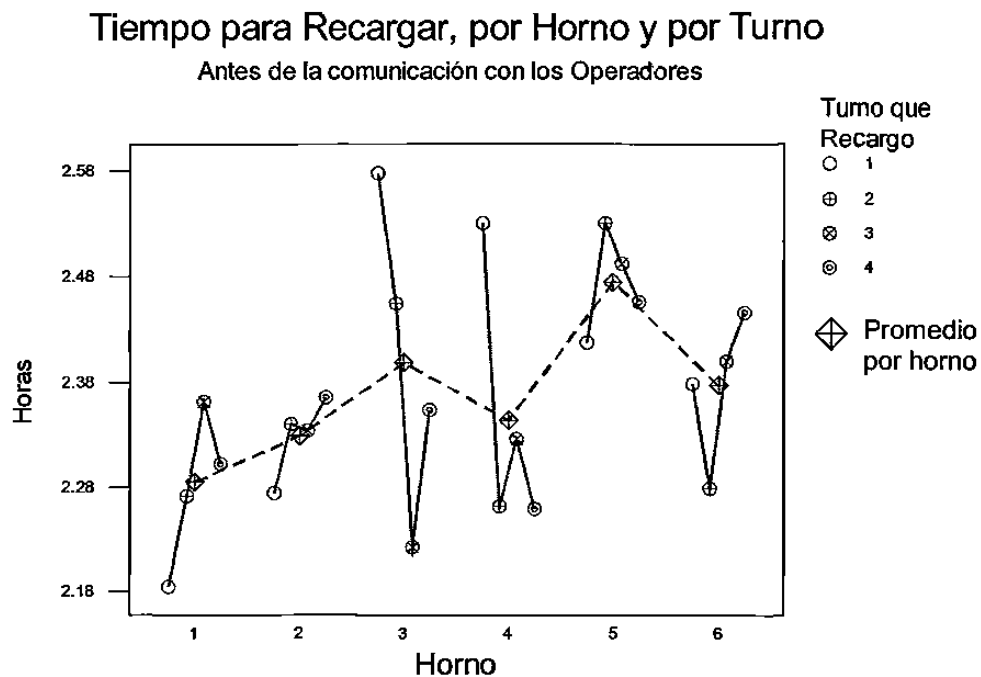


Figura 5.6 Tiempo para recargar, antes de la comunicación con los operadores

En la Figura 5.6 se presentan los resultados obtenidos antes de comunicarles a los operadores la medición y el tiempo establecido como máximo permitido para la recarga, el cual fue 2.5 horas. Se puede observar en la figura que hay dos operadores del turno 1 que presentan promedios por encima del comportamiento de los demás, en los hornos 3 y 4.

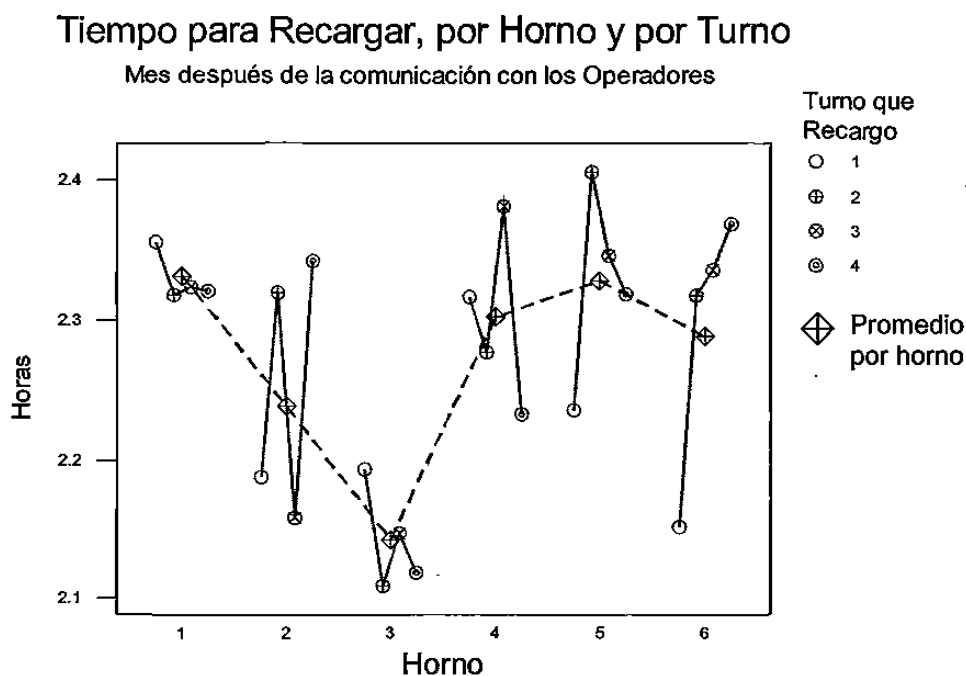


Figura 5.7 Tiempo para recargar, después de la comunicación con los operadores

Después de hablar con todos los operadores y de presentarles sus resultados, así como la razón por la cual deben tener tiempos para recargar máximos de 2.5 horas, se presentan los resultados en la Figura 5.7. Se observa el cambio en el comportamiento contra la Figura 5.6.

Para validar si el cambio fue significativo se toma la información de antes y después de establecer la comunicación con los operadores. Se realiza un análisis de ANOVA en el Minitab para verificar estadísticamente los resultados.

One-way ANOVA: Trecarga versus Comunicacion					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Comunica	1	2.743	2.743	20.56	0.000
Error	1021	136.200	0.133		
Total	1022	138.943			

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev					
Level	N	Mean	StDev		
Antes	488	2.3760	0.3588	(-----*-----)	
Despues	535	2.2724	0.3710	(------*-----)	
Pooled StDev =		0.3652		2.250	2.300 2.350 2.400

Tabla 5.7 ANOVA Tiempo para recargar

En la Tabla 5.7 se observa la tabla de resultados del ANOVA, donde se indica con un valor de  $p=0.000$  que se tiene una diferencia significativa antes y después de la comunicación con los operadores. Por lo anterior, se concluye que efectivamente se afectó el comportamiento de los operadores al conocer que eran medidos y comunicarles su valor meta.

Para la cuarta causa a mejorar listada en la Tabla 5.1, que se refiere al tiempo de operación perdido en los cambios de turno, se procede al análisis de la información que se tiene recolectada actualmente. Lo que se busca es analizar los tiempos de duración de carga cuando un turno carga y otro descarga el horno.

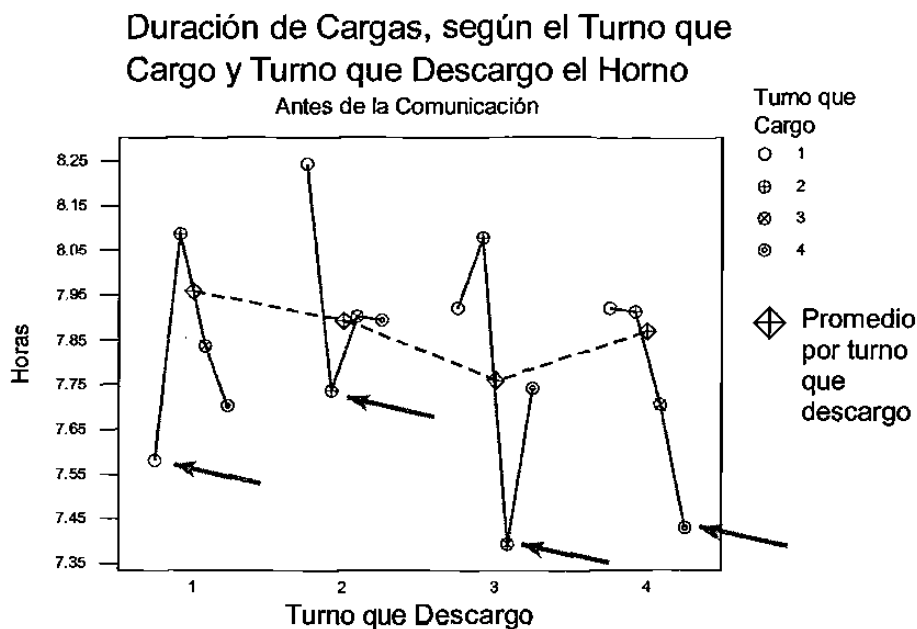


Figura 5.8 Duración de carga, contra turno que carga y turno que descarga

Se parte del supuesto que cuando se tiene que un turno cargó y otro turno distinto descargó el horno, se deba a que se realizó por medio de un cambio de turno. En el caso de que el mismo turno cargue y descargue el horno, significa que se realizó en el mismo turno.

Para analizar esta información se decide realizar una gráfica Multi-Vari, donde se tienen dos factores el turno que cargó el horno y el turno que lo descarga.

En la Figura 5.8 se observa el resultado de este análisis, en el eje horizontal están los turnos que descargan y el promedio para cada turno los cuales se unen con la línea punteada. Dentro del promedio de cada turno se agrega el promedio según el turno que cargo el horno, estos promedios se unen con la línea continua. De esta manera se puede ver la variación de los resultados por estos dos factores.

Se observa que cuando es el mismo turno el que carga y descarga al horno, se tienen los menores promedios de duración de carga, por lo que podemos inferir que la

diferencia de este promedio contra el promedio de entrega con los demás turnos es el tiempo perdido por la entrega de turno.

Esta información se presenta a los turnos en sus juntas de trabajo y se les solicita que eviten los tiempos muertos de operación por los cambios de turno, para evitar aumentar la duración de las cargas por esta causa.

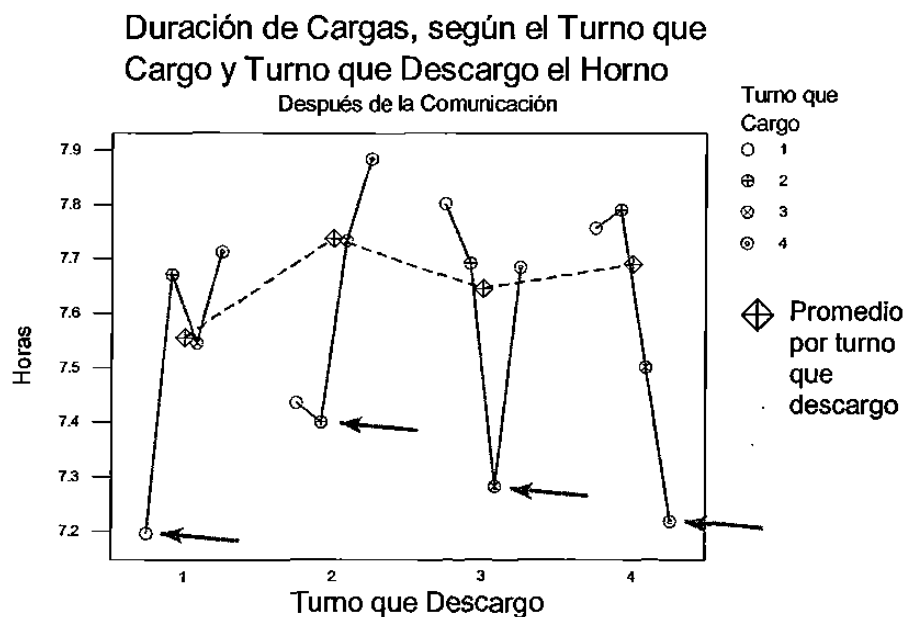


Figura 5.9 Duración de carga con entrega de turnos, después de la comunicación

Para el siguiente mes se analiza la información para ver si fue efectiva la solución de comunicación y los resultados se presentan en la Figura 5.9, donde se ve el mismo comportamiento observado en el análisis anterior de la Figura 5.8.

Revisando esta información con el equipo, se concluye que no se tiene diferencia en el comportamiento en este primer mes. Una posible causa planteada por el equipo es la dificultad de establecer este cambio de disciplina de trabajo tan rápido en el proceso.

Por lo anterior, se decidió continuar con la retroalimentación a los turnos sobre este indicador y buscar dar información más individualizada a los operadores, dado que



en esta etapa no fue posible distinguir el comportamiento de algún operador con el análisis realizado.

### **5.3 Conclusiones del capítulo**

Con el planteamiento de las posibles formas de contrarrestar las causas verificadas que se realiza en la sección 5.1, se inicia la validación de estas posibles soluciones en la sección 5.2.

En la Tabla 5.8 se presenta un resumen de lo encontrado en la fase de mejorar, donde se presentan las soluciones que fueron propuestas para contrarrestar las causas y un comentario sobre lo encontrado.

Con estas validaciones es posible tomar la decisión de buscar la implementación definitiva y de escala completa de las soluciones que fueron verificadas. Posteriormente se procederá a la implementación de los controles que aseguren la permanencia de las mejoras y la cuantificación de estas soluciones que se realiza la fase de controlar, capítulo 6.

<b>Causas verificadas a mejorar</b>	<b>Posibles Soluciones para Contrarrestar las Causas</b>	<b>Comentarios</b>
Cambio de condiciones del horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear el desempeño de los operadores para establecer acciones de comunicación con ellos.</li> <li>• Presentar los resultados de la operación a los turnos en sus juntas de trabajo.</li> <li>• Establecer en el reporte de operación de los hornos, que se registren cada uno de los tiempos de proceso.</li> </ul>	Esta solución fue verificada y demuestra que cambió el desempeño de los operadores al conocer su desempeño y establecer la comunicación con ellos.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programar en el PLC los cambios de condiciones de operación que son realizadas en el panel de control por los operadores.</li> </ul>	La solución fue verificada y ayuda a los operadores, es necesario implementar en todos los hornos.
Fallas del sistema de combustión	Se revisaron cada uno de las posibles formas de falla usando un AMEF, donde se plantea las mejoras a implementar, esto se presentará directamente en la sección 5.2.	Las soluciones propuestas fueron verificadas por la disminución del NPR en la nueva evaluación del AMEF.
Tiempo de recarga del horno no se realiza a tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir y registrar el tiempo de recarga de cada operador, para establecer acciones de comunicación con ellos.</li> </ul>	Solución verificada, estableciendo el tiempo máximo de recarga en 2.5 horas.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer un rango de tiempo para la realización de la recarga, en base al análisis realizado.</li> </ul>	La comunicación con operadores fue verificada como solución.
En los cambios de turnos se tiene tiempo de operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir el tiempo de duración de las cargas, para cada entrega y recepción de los turnos, para identificar cuándo usan mayor tiempo total de duración.</li> <li>• Presentar los resultados de tiempos perdidos por cambio de turno y duración total de carga cuando hay cambio de turno a los operadores en sus juntas de trabajo.</li> </ul>	Aunque esta solución se establece como una buena medición, no se logró tener cambios en el tiempo perdido en los cambios de turno. Se establecerá como indicador y se seguirá trabajando con los operadores.

Tabla 5.8 Conclusiones fase Mejorar

## **6 CONTROLAR**

En esta última fase de la metodología de Seis Sigma se busca terminar el proyecto de mejora del proceso, al lograr que las mejoras obtenidas permanezcan en el tiempo, o hasta que otra mejora se implemente.

En la sección 6.1 se establecerán los controles que se usarán para implementar las soluciones verificadas en la fase de mejorar, capítulo 5, que aseguren la permanencia de la mejora.

Para verificar el efecto obtenido sobre el desempeño de nuestro proceso, se validará la efectividad de las soluciones en la sección 6.2. Además se recalcula el nuevo nivel de desempeño en Nivel Sigma para compararlo contra el nivel de inicio del proyecto de mejora y contra el objetivo establecido en la sección 3.5.

Se mostrarán las conclusiones principales de este capítulo en la sección 6.3, para completar el proyecto de mejora.

### **6.1 Implementación de las soluciones en el proceso**

Se debe ahora establecer los controles que aseguren que las mejoras logradas en el capítulo 5, se mantengan a través del tiempo. Para lo anterior se le pide al equipo de trabajo que den ideas de cómo se puede establecer los controles para las soluciones que ya fueron verificadas.

Para las soluciones verificadas que son presentadas en la Tabla 5.8 se le pregunta al equipo “¿cómo se puede controlar esta solución?” y se registran las soluciones tomadas en consenso por el equipo usando técnica de grupo nominal. El resultado de este análisis se presenta en la Tabla 6.1.

<b>Soluciones Verificadas</b>	<b>¿Cómo podemos controlar esta solución?</b>
Monitorear el desempeño de los operadores para establecer acciones de comunicación con ellos.	Registrar los tiempos de operación en un reporte por carga, capturar la información y analizar por operador usando las gráficas Multi-Vari usadas en el capítulo 5, para establecer comunicación con los operadores fuera de los estándares de operación. Establecer estándares máximos de operación.
Presentar los resultados de la operación a los turnos en sus juntas de trabajo.	Establecer dentro de las actividades del supervisor presentar los resultados, auditado por el jefe de área. Usar las gráficas Multi-Vari para la presentación de resultados.
Establecer en el reporte de operación de los hornos, que se registren cada uno de los tiempos de proceso.	Implementar el reporte de operación de los hornos, de manera inmediata y explicar a los operadores y supervisores. En este reporte se debe incluir los tiempos de operación y debe ser clara la forma de cálculo. Documentar como método de trabajo el registro en este reporte.
Programar en el PLC los cambios de condiciones de operación que son realizadas en el panel de control por los operadores.	Implementar inmediatamente en todos los hornos, cambiando el programa cargado en los PLCs. Explicar los cambios a todos los operadores. Documentar el programa en el disco de respaldo de los PLCs.
Se revisaron cada una de las posibles formas de falla usando un AMEF, donde se plantea las mejoras a implementar, esto se presentó en la sección 5.2, ver Tabla 5.5.	Dado que fueron varias acciones se planteará sobre parte del AMEF la forma de controlar la solución.
Medir y registrar el tiempo de recarga de cada operador para establecer acciones de comunicación con ellos.	Registro de este tiempo en el reporte de operación, capturar con el resto de la información y presentárselos en las juntas de trabajo usando gráficas Multi-Vari.
Establecer un rango de tiempo para la realización de la recarga, sobre la base del análisis realizado.	Documentar en los métodos de trabajo de los operadores. Explicar en las juntas de trabajo este cambio.
Diferencia sobre como medir la duración de carga entre los operadores.	En el reporte de operación de los hornos se les recuerda que deben verificar que la hora de inicio de la carga sea igual a la hora de finalización de la carga anterior. Además de auditar por Ingeniero Industrial.

Tabla 6.1 Controles para la soluciones

Se procede ahora a implementar los controles propuestos para las soluciones.

REPORTE DE OPERACIÓN DE HORNOS						
FECHA: _____		HORNO No. _____		CARGA # _____		
CONDICIONES DE OPERACIÓN						
	INICIO	FIN	HRS.	TURNO	OPERADOR (FIRMA)	
CARGA DE	_____ A _____	_____	_____	_____	_____	
RECARGA DE	_____ A _____	_____	_____	_____	_____	
DESCARGA DE	_____ A _____	_____	_____	_____	_____	
NOTA: VERIFICAR QUE LA HORA INICIO DE CARGA SEA IGUAL A LA HORA DE FIN DE LA DESCARGA DEL # CARGA ANTERIOR						
REPORTE DE TIEMPOS DE OPERACIÓN			FÓRMULA DE CÁLCULO			
CARGA	_____ HRS.	HORA DE FIN - INICIO DE CARGA				
RECARGA	_____ HRS.	HORA DE FIN - INICIO DE RECARGA				
PARA RECARGAR	_____ HRS.	HORA DE INICIO DE RECARGA - INICIO DE CARGA				
DESCARGA	_____ HRS.	HORA DE FIN - INICIO DE DESCARGA				
DURACIÓN TOTAL	_____ HRS.	HORA DE FIN DE DESCARGA - INICIO DE CARGA				
DEMORAS REPORTADAS						
	INICIO	FIN	HRS.	CAUSA DETECTADA		
DE	_____ A _____	_____	_____	_____		
DE	_____ A _____	_____	_____	_____		
DE	_____ A _____	_____	_____	_____		
DE	_____ A _____	_____	_____	_____		
OBSERVACIONES						
_____						
_____						
_____						

Figura 6.1 Reporte de operación de hornos

Dentro de los controles propuestos para varias soluciones está el reporte de operación de los hornos, donde se registrará la información que se encontró importante para su análisis.

El reporte propuesto está en la Figura 6.1 donde se incluye información de identificación de la carga; tal como, fecha, horno y un número consecutivo de identificación de las cargas para mantener la rastreabilidad. En la parte de condiciones de operación el formato requiere el registro de la hora en que se inicio y finalizó la carga inicial, la recarga y la descarga.

También se solicita el turno y la firma del operador para tener control sobre el operador y turno que realizó esta actividad, aunque es poco común el cambio de

operadores entre los turnos se decide tener doble la información para detectar estos casos.

Con la información registrada se calculan los tiempos de operación, para lo cual se agrega en el formato del reporte cuál debe ser la fórmula de cálculo para que sirva como un Poka-Yoke<sup>11</sup> visual para evitar posibles confusiones en estas operaciones.

Se incluye espacio para registrar las demoras presentes durante la carga, para su posterior análisis y evitar tener dos documentos de registro. Por último se deja espacio para observaciones varias sobre la operación del horno.

Para tener un control de los tiempos principales que se llevan se decide tomar tiempos máximos de operación y establecerlos como estándares máximos. Lo anterior para obligar a los operadores que cuando tengan tiempos de esa actividad por encima de los especificado lo reporten en la sección de demoras e identifiquen la causa detectada en el momento.

Los tiempos estándares máximos se presentan en la Tabla 6.2, y se obtuvieron de acuerdo con lo observado por el equipo. Se hace diferencia para los tiempos de carga y recarga según los hornos, para tener compensada la diferencia de distancia recorrida por el material.

Para asegurar cumplir con estos estándares se agrega el plan de acción a revisar por los operadores y supervisores durante el desarrollo de las cargas. Esta información generada por el equipo de trabajo se presentó a los turnos en sus juntas semanales.

Para analizar, después de concentrada la información sobre las demoras reportadas se procede al análisis de la misma, para lo cual se propone al equipo algunas herramientas básicas de análisis para mejorar la calidad de éstos.

---

<sup>11</sup> Ver glosario.

Actividad	Estándar máximo (Horas:Minutos)	Plan de Acción
<b>Cargado de hornos</b>		
Hornos 1 y 2	00:25	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de disponibilidad de equipo móvil.</li> <li>• Revisión del estado del equipo para evitar fallas.</li> <li>• Programación de trabajo del operador del cargador frontal.</li> </ul>
Hornos 3 y 4	00:30	
Hornos 5 y 6	00:35	
<b>Recargado de hornos</b>		
Hornos 1 y 2	00:20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de disponibilidad de equipo móvil.</li> <li>• Revisión del estado del equipo para evitar fallas.</li> <li>• Programación de trabajo del operador del cargador frontal.</li> </ul>
Hornos 3 y 4	00:25	
Hornos 5 y 6	00:30	
Tiempo para recargar	02:30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios de flujos y velocidades realizadas oportunamente.</li> </ul>
Colada del horno ( incluye tapar el horno )	01:10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de disponibilidad de equipo móvil.</li> <li>• Revisión de disponibilidad de canales, lingoteras, etc.</li> <li>• Evitar que afecte el cambio de turno.</li> </ul>
Tiempo total de duración de carga	07:45	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios de flujos y velocidades realizadas oportunamente.</li> </ul>

Tabla 6.2 Estándares máximos de tiempos

Para lo anterior, se les pide que realicen primero un Pareto de las principales demoras reportadas por su defecto o causa aparente, para después realizar un análisis de causa-efecto con el fin de encontrar las causas raíz. También se les propone trabajar en equipo para la generación de acciones correctivas y contenedoras para las causas verificadas.

Para documentar el análisis de causas o de búsqueda de soluciones se propone el formato presentado en la Figura 6.2, donde se plantea realizar una lluvia de ideas y hacer

una priorización por técnica de grupo nominal. Después completar el análisis con un diagrama causa-efecto y presentar los resultados.

TECNICA DE GRUPO NOMINAL												FORMA			
Fecha: _____				Equipo: _____				Hoja				/			
Area: _____				Defecto (Causa Raíz): _____											
LLUVIA DE IDEAS						EVALUACION						PROMEDIO			
#						1	2	3	4	5	6	7	SUMA		
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															

**Diagrama Causa-Efecto**

Resultado del Análisis  
Causa(s) Raíz / Posible(s) Solución (Contenedora/Correctiva) □ :

Figura 6.2 Análisis de causas raíz de demoras y acciones

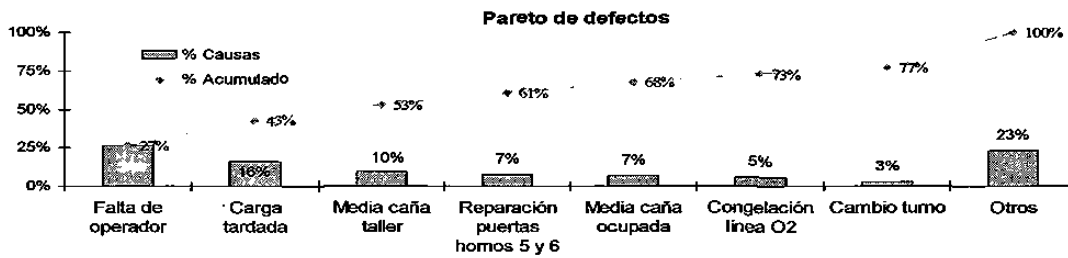
El formato de reporte de operación de los hornos, ver Figura 6.1, fue implementado inmediatamente y se sustituyeron los registros anteriores donde solamente se registraba el tiempo total por día de las cargas de todos los hornos.

Se elaboran formatos para presentar este análisis, donde en la Figura 6.3 se presenta el Pareto y se reportan las causas raíz encontradas y las acciones contenedoras y correctivas para contrarrestarlas. Además se agrega el responsable y la forma de verificar su efectividad.



Análisis y Seguimiento Demoras  
 Área : Hornos  
 Mes: Junio

FO-IIN-002



Ref	Causa Raíz	Acción Contenedora	Acción Correctiva	Implementación		Seguimiento	
				Fecha	Resp.	% Avance	Verificación
1	Demoras comunes no reportadas	Ninguna	Proyecto 6 sigma, identificación de demoras de operación y equipo no reportadas	Oct	RP	20%	Disminución de los tiempos
1	Falta de operador / Tiempo por cambio de turno	Ninguna	Hablar con el personal para que lleguen/salgan a la hora debida y sobre las faltas	Continuo	Supervisores / HDV	-	Tiempo muerto por este motivo
2,3,5	Equipo móvil con alto deterioro	Checkar el equipo en cada turno, trabajar con el volteador y reparar el piso de preparación de cargas	Cambiar el equipo móvil	Feb	Resp. Area	75%	Tiempo muerto por este motivo
2	Carga pastosa / Causas raíz no identificadas	Ninguna	Proyecto 6 sigma, identificación de demoras de operación y equipo no reportadas	Nov	RP	20%	Disminución de los tiempos
4	Demora en reparaciones de puerta en hornos 5 y 6	Se habló a mantenimiento para que corrigiera la falla	Implementación de procedimiento de mantenimiento de HR durante paro	Mar	ACM	50%	Tiempo muerto por esta falla
3	Mal funcionamiento de hornos debido a cremallera en mal estado	Ninguna	Cambio de horno 5	Jun	GBZ, ACM	5%	Seguimiento plan de cambio

Figura 6.3 Reporte de acciones tomadas para las demoras reportadas

HORNO # 1											
# Carga	Duración de la Carga	Tiempo de Carga	Tiempo de Recarga	Tiempo para Recargar	Tiempo de Descarga	Turno Cargo	Turno Recargo	Turno Descargo	Fecha		
679	7.17	0.33	0.17	2.08	1.00	4	4	2	30-Mar		
680	6.50	0.33	0.33	1.83	1.00	2	2	1	31-Mar		
681	6.75	0.33	0.33	1.83	1.00	1	1	1	31-Mar		
682	7.17	0.33	0.17	1.83	1.00	1	3	3	31-Mar		
683	7.92	0.17	0.33	1.75	1.00	3	2	2	01-Abr		
684	7.50	0.33	0.33	2.08	1.00	2	4	4	01-Abr		
685	8.33	0.25	0.17	2.25	1.17	4	3	3	01-Abr		
686	7.50	0.25	0.33	2.00	0.83	3	2	2	02-Abr		
687	6.83	0.33	0.33	1.83	1.00	2	4	4	02-Abr		
688	7.17	0.25	0.25	2.08	1.00	4	4	3	02-Abr		
689	6.17	0.25	0.17	2.08	1.00	3	3	1	03-Abr		
690	6.00	0.33	0.25	1.83	1.00	1	1	4	03-Abr		
691	6.25	0.25	0.25	2.00	1.25	4	4	4	03-Abr		
692	6.58	0.25	0.33	2.08	1.17	4	2	2	03-Abr		
693	6.83	0.33	0.33	2.00	1.33	2	2	1	04-Abr		

Figura 6.4 Hoja de cálculo electrónica

Una vez que se está usando este reporte en todos los hornos y en todos los operadores, se captura la información en una hoja de cálculo electrónica para después poder analizarla. En esta hoja de cálculo se incluye toda la información registrada sobre tiempos y los turnos, además de la información de identificación de las cargas, ver ejemplo en la Figura 6.4.

Los análisis gráficos son generados cada dos semanas por el Black Belt para presentárselos a los operadores en las juntas de trabajo por parte de los supervisores. Las gráficas son iguales a las presentadas en el capítulo 5, sección 5.2, para todos los análisis realizados, ver Figura 6.5.

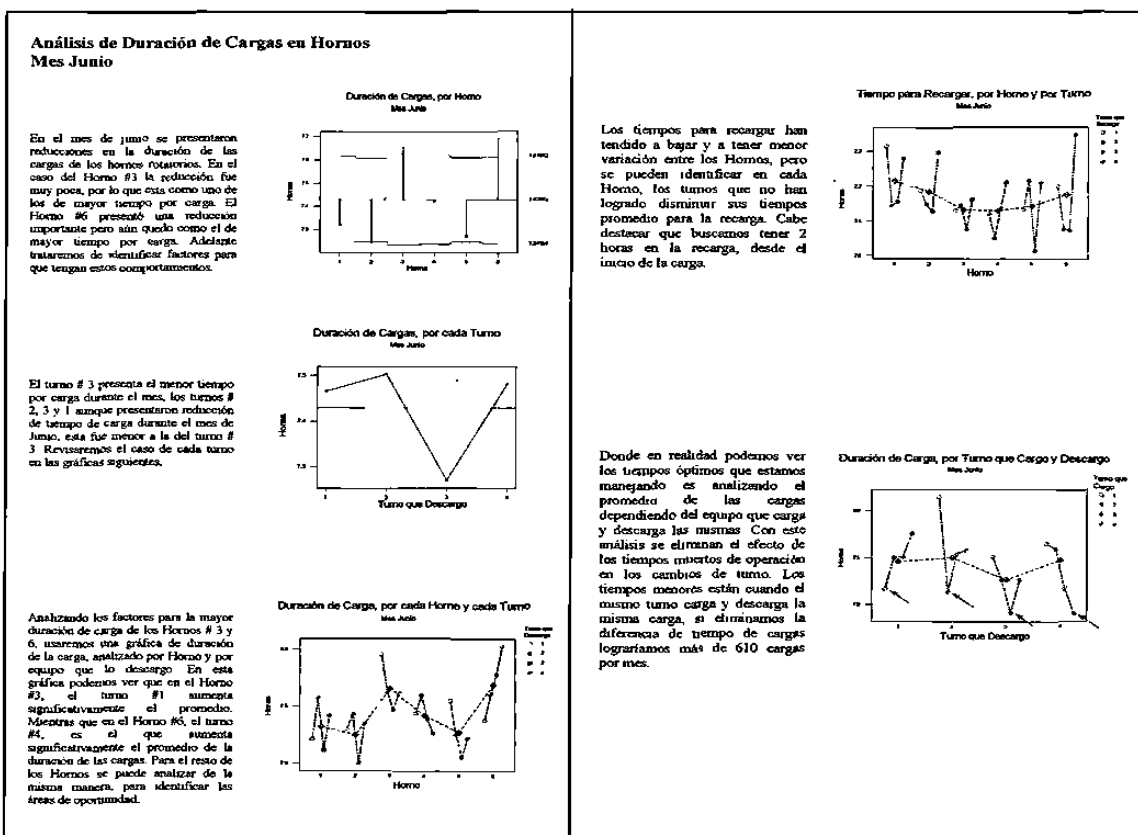


Figura 6.5 Reporte para presentar a operadores

El cambio de programa del PLC es un control efectivo de la práctica operativa para contrarrestar la causa de diferencia de cambios de condiciones de horno, dado que no se puede modificar fácilmente por los operadores o supervisores, por lo que queda

implementado en todos los hornos. Además se asegura que permanece al cambiar el programa que estaba en el disco de respaldo por el nuevo programa con los cambios implementados.

En el método de trabajo de los operadores se modifica para documentar que la recarga debe ser realizada antes de 2.5 horas después del inicio de la carga. Además se les solicita que registren las horas en que se realiza la carga, recarga y descarga del horno. Esto se realiza modificando el método de trabajo documentado en el sistema de calidad, ver Tabla 6.3.

#### METODO DE TRABAJO

FUSIÓN DE CARGA	CLAVE: MTR-HOR-01	PAG 1 DE 2
	FECHA EMISION: 25/MAY/02	FECHA VALIDEZ: 10/JUN/02
	FECHA DISTRIBUCION: 8/JUN/02	No. CAMBIO: 00

DESARROLLO	RESPONSABLES
1. Una vez cargado o recargado el horno, cambiar de flama baja a media o alta y el aumentar a velocidad media o alta el giro del horno de acuerdo con los requerimientos del horno. 1.1. Se puede utilizar el botón de secuencia automática en caso de tener que desatender el horno para realizar otras actividades.	Operador de Horno
2. Durante la carga y recarga se levantará el reporte de los tiempos de operación; para lo cual se llenará el formato FO-HOR-012.	Operador de Horno
3. Después de un tiempo de entre 2 - 2 ½ horas y de acuerdo a la carga, bajar la flama "Llama baja", abrir la puerta del horno y proceder a recargar el material faltante. 3.1 En caso de que la carga llegue a tener más de 3 horas antes de la recarga, no se recargará el Horno para no incrementar la duración de la carga y se reportará en el formato FO-HOR-012 la causa.	Operador de Horno  Operador de Preparación de Cargas
4. Después de recargar el horno, cerrar la puerta del horno. El cambio de flama baja a media o alta y el aumentar a velocidad media o alta el giro del horno se hace de acuerdo a las reacciones y emisiones de humo del horno. Nota: Si la campana no capta bien las emisiones hay que bajarle a la flama.	Operador de Horno

Tabla 6.3 Método de trabajo en hornos

Para las acciones tomadas en el AMEF, ver Tabla 6.4, se documentaron las acciones en las rutinas de mantenimiento preventivo y en el sistema de mantenimiento lo

referente a las frecuencias de la realización de estas rutinas, para asegurar que permanezcan como un control de estas causas.

Los cambios que representaban modificaciones al equipo instalado, aunque en esta metodología de mejora se supone que no tendrán cambios, se documentaron en los dibujos de ingeniería. Lo anterior pensando que en el futuro pueda existir la referencia de estos cambios ante una reconstrucción o fabricación de un nuevo horno.

Acciones tomadas	Controles Documentados
Cambio de frecuencia de MP a cada 3 días revisión y limpieza.	Documentar en rutina de MP y en el sistema de mantenimiento.
Instalación de placa 1/4" para protección del cable.	Documentar el cambio en los dibujos de ingeniería.
Cambio de frecuencia de MP a cada 3 días, revisión y limpieza.	Documentar en rutina de MP y en el sistema de mantenimiento.
Instalación de botón cerca del piloto para probar su funcionalidad, aunque esté operando el quemador.	Documentar el cambio en los dibujos de ingeniería.
Se instaló una base con abrazaderas que permiten ajustar la alineación del piloto con el quemador y evitar que se mueva.	Documentar el cambio en los dibujos de ingeniería.
Cambio de frecuencia de MP a 15 días, revisión de detección de carro del quemador afuera y operación de secuencia de encendido.	Documentar en rutina de MP y en el sistema de mantenimiento.
Instalar una placa alrededor del sensor para evitar que se dañe por quemaduras o golpes.	Documentar el cambio en los dibujos de ingeniería.
Compra de probador de sensores UV con el proveedor de los mismos.	Documentar en rutina de MP y en el sistema de mantenimiento.
Cambio de los niples de conexión de los sensores para alineados y de la medida correcta para evitar la posibilidad de desalinearlos.	Documentar el cambio en los dibujos de ingeniería.
Se identificaron los cables de desde el registro hasta el quemador y se usan los mismos colores de tienen cables de los sensores.	Documentar el cambio en los dibujos de ingeniería.
Utilizar el probador de sensores UV.	Documentar en rutina de MP y en el sistema de mantenimiento.
Cambio de frecuencia de MP a 1 semana.	Documentar en rutina de MP y en el sistema de mantenimiento.
Fabricar cepillo de alambre largo para limpiar el conducto.	Documentar el cambio en los dibujos de ingeniería.
Implementación en rutinas de MP la revisión de estados de los módulos del PLC por medio de un checklist de revisión de estados.	Documentar en rutina de MP en el sistema de mantenimiento.

Tabla 6.4 Controles tomados para las acciones del AMEF

Para los controles que se llevarán a cabo en las rutinas de mantenimiento preventivo (MP) se documenta en las rutinas que se llevan en el sistema de mantenimiento documentado en el sistema de calidad. Ver ejemplo en la Tabla 6.5.

Rutinas de Mantenimiento Preventivo Revisión del Piloto de Encendido		
Actividad	Frecuencia	Equipo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar prueba física (botón encendido manual)</li> <li>• Comprobar si prende el piloto</li> </ul>	Diario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hornos (1 al 6)               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sistema de combustión                   <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Piloto de encendido</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza del piloto de bujía</li> <li>• Inspección física de cable de la bujía</li> <li>• Inspección y limpieza de la tubería del piloto</li> </ul>	3 días	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar estados del modulo del PLC, según las condiciones presentes ("Checklist" de estados)</li> <li>• Revisar funcionamiento de sensores</li> <li>• Hacer prueba física de carro dentro / fuera</li> <li>• Hacer prueba física de cerrar el agua para sensor flujo</li> <li>• Hacer prueba física de mover temperatura del sensor hasta que se apague</li> <li>• Hacer prueba física, cerrar válvulas de gas y oxígeno</li> </ul> <p>Nota: realizar la rutina de mantenimiento preventivo cuando este cargando o recargando el horno.</p>	15 días	

Tabla 6.5 Planeación de rutinas de mantenimiento preventivo

Estos controles fueron implementados y se revisó y auditó su implementación durante el período de seguimiento del proyecto. Los controles se espera sean efectivos y esto se evaluará junto con la efectividad de las soluciones al mantener las mejoras en el período analizado.

## 6.2 Validación de la efectividad de las soluciones

El objetivo en esta sección es ver la diferencia del desempeño actual contra el observado al inicio el proyecto reportado en la sección 3.4, además comparar contra el objetivo planteado inicialmente en la sección 3.5.

Para lo anterior, se toman los datos de los 6 hornos para calcular la capacidad del proceso representado por el Nivel Sigma. La información se toma del último mes recolectado, el cual viene a ser el tercer mes desde la implementación de las mejoras y controles propuestos en el desarrollo de este proyecto de mejora.

El resultado de este análisis se presenta en la gráfica de capacidad de proceso, ver Figura 6.6, donde se puede ver que presenta 44157 DPMO o PPM, bajo el título de “Exp. ‘Overall’ Performance” en el renglón PPM Total.

Este desempeño equivale a tener 1.70 de Nivel Sigma, lo cual se presenta para el título de “Overall Capability”, en el renglón “ZBench” en la Figura 6.6.

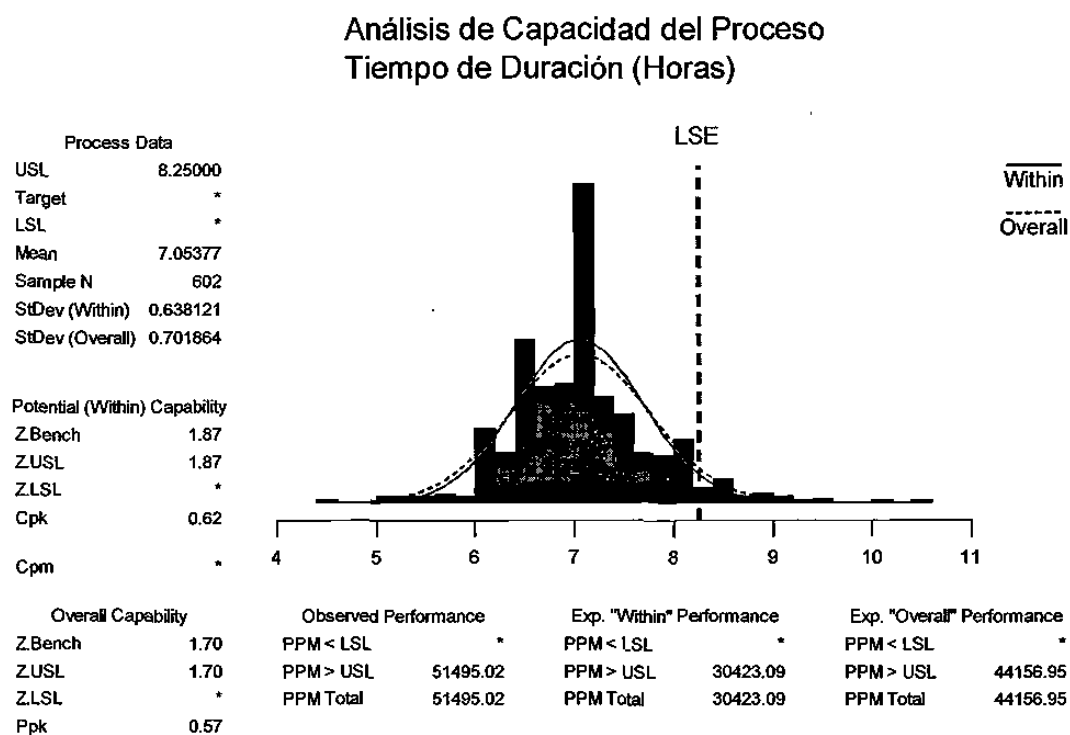


Figura 6.6 Capacidad nueva del proceso

Estos resultados se comparan contra el desempeño inicial observado en la sección 3.4, el cual era 383126 DPMO que representa un Nivel Sigma de 0.30. Además se

compara el resultado nuevo con el objetivo planteado en la sección 3.5, que eran 119453 DPMO y 1.18 Nivel Sigma.

Los resultados observados en el nuevo desempeño representa una reducción contra el desempeño inicial de 88.5% en DPMO. Se sobrepasó el objetivo de mejora del proceso, un resumen de estos resultados se presenta en la Tabla 6.6.

$DPMO_{INICIAL}$	$\xrightarrow{88.5\% REDUCCIÓN}$	$DPMO_{NUEVO}$
383126	$\xrightarrow{88.5\% REDUCCIÓN}$	44157
$Nivel\ Sigma_{INICIAL} = 0.30$		
$Nivel\ Sigma_{NUEVO} = 1.70$		
$DPMO_{OBJETIVO} = 119453$		
$Nivel\ Sigma_{OBJETIVO} = 1.18$		

Tabla 6.6 Nivel Sigma nuevo

Se realizó además el análisis de Nivel Sigma para cada uno de los hornos y los resultados se presentan en la Tabla 6.7, donde se puede observar que todos los hornos están con nivel de desempeño mayor al objetivo inicial.

Horno	Nivel Sigma $\sigma$	DPMO	Media	Desviación estándar
1	1.83	33431	6.866	0.755
2	1.83	33736	7.062	0.650
3	1.52	64360	7.188	0.699
4	2.27	11752	6.877	0.606
5	1.59	55439	7.056	0.749
6	1.47	70229	7.294	0.648

Tabla 6.7 Nivel Sigma nuevo de los hornos

Para ver el efecto del cambio durante el desarrollo de este proyecto de mejora se presentan los resultados en la Figura 6.7, donde se observa que a partir del mes tomado

como desempeño inicial, mes 0 en la gráfica. Analizando esta misma gráfica se puede concluir que en los últimos meses la mejora se mantiene.

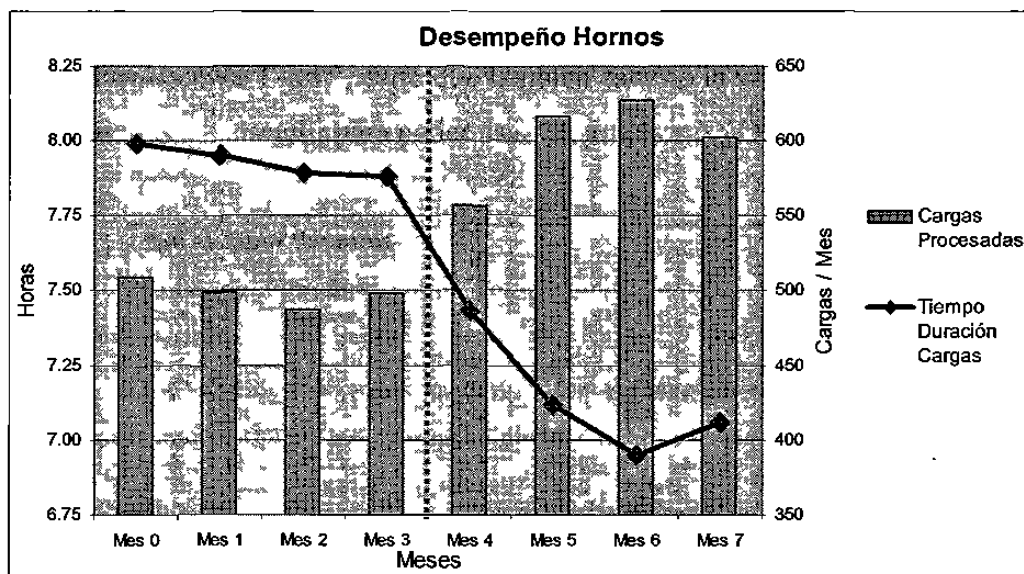


Figura 6.7 Desempeño histórico de Hornos

Se presenta el resultado para las variables de medición seleccionadas en la sección 3.2, las cargas procesadas por mes y el tiempo de duración de las cargas. En la gráfica se agrega una línea punteada vertical para separar el desempeño antes y después de la implementación de las mejoras y controles al proceso.

En la Figura 6.7 se observa como el número de cargas procesadas por mes cambia de tener alrededor de 500 cargas a un número superior a las 600 cargas, esto representa un aumento aproximado del 20% en la producción total.

Two-Sample T-Test and CI: Duracion, Desempeño				
Two-sample T for Duracion				
Desempe	N	Mean	StDev	SE Mean
Inicial	509	7.995	0.858	0.038
Nuevo	602	7.054	0.702	0.029
Difference = $\mu$ (Inicial) - $\mu$ (Nuevo)				
Estimate for difference: 0.9411				
95% CI for difference: (0.8478, 1.0345)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 19.78 P-Value = 0.000				
DF = 980				

Tabla 6.8 Prueba de hipótesis, desempeño inicial vs. nuevo



Se revisa por medio de una prueba de hipótesis, ver Tabla 6.8 si la diferencia observada entre el primer y último mes es significativa estadísticamente, lo cual se concluye dado que presenta un valor de P igual a 0.000. Se usa la prueba T de dos muestras “Two-sample T-test”, dado que también cambió la varianza de los resultados y esto es un supuesto a cumplir para poder usar las pruebas ANOVA.

Test for Equal Variances				
Response	Duracion			
Factors	Desempeno			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
0.801258	0.857716	0.922397	509	Inicial
0.658895	0.701572	0.749932	602	Nuevo
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 1.495				
P-Value : 0.000				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test Statistic: 8.942				
P-Value : 0.003				

Tabla 6.9 Prueba de igualdad de varianzas, desempeño inicial vs nuevo

En la Tabla 6.9 se presenta el resultado sobre la prueba de igualdad de varianzas, donde se rechaza la igualdad de varianza dado que el valor de  $P=0.003$ , menor al nivel de significancia estadística de 0.05 establecida para aceptar la prueba.

Lo anterior muestra que la variación del proceso se redujo, dado que se tiene 0.8577 y 0.7015 de desviación estándar en el desempeño inicial y nuevo respectivamente. Esto está reportado en la Tabla 6.9 donde dice “Sigma”, que es la desviación estándar.

Con esto se valida que no solamente disminuyó la media de duración de carga con una mejora por encima del objetivo, sino que también el proceso es más consistente en su varianza.

### **6.3 Conclusiones del capítulo**

Según resultados observados en la sección 6.2 se concluye que el nuevo desempeño dado por el proceso supera los objetivos inicialmente planteados en la sección 3.5. Por lo anterior, se ha logrado la mejora esperada.

Los controles instalados han mantenido la mejora observada en el período analizado, dado que se ha mantenido en los últimos tres meses. De cualquier forma se recomienda al equipo de trabajo seguir revisando los controles y monitoreando las CTQs del proceso por un período de un año completo.

El desempeño nuevo observado muestra una reducción de 88% en los defectos, que se estableció como las cargas con duración por encima del límite máximo de especificación en el capítulo 3.

La reducción de defectos reportada representa un aumento de 20% en el número de cargas procesadas por mes, lo cual significa directamente un aumento en el volumen de producción, tal como está planteado en la sección 3.2.

Con la validación de la efectividad de las soluciones se termina el proceso del proyecto de mejora, dado que los resultados alcanzan y superan los objetivos inicialmente planteados.

## **7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Terminado el desarrollo de la metodología Seis Sigma, para la resolución del problema planteado en el capítulo 1, se presentan en este capítulo las conclusiones generales sobre el desarrollo de este trabajo de tesis con relación a la hipótesis planteada en la sección 1.3.

En la sección 7.1 se presenta las conclusiones de este trabajo y en la sección 7.2 se proponen algunas recomendaciones para trabajos futuros sobre la aplicación de la metodología Seis Sigma en trabajos de reducción de tiempos muertos de operación.

### **7.1 Conclusiones**

Se concluye que se acepta la hipótesis planteada en la sección 1.3, debido a que los resultados mostrados en la sección 6.2 dan evidencia de que el uso de las herramientas y metodología de mejora que propone Seis Sigma fue capaz de disminuir los tiempos muertos de operación al usar las etapas de medir, analizar, mejorar y controlar los factores significativos.

Bajo los enfoques de mejora que se estaban realizando en la empresa, el enfoque fundamental era entender los tiempos muertos de operación como las fallas de máquina principalmente, pero en este proceso de mejora no se dejó que el equipo de trabajo se dejara llevar con el análisis acostumbrado.

El planteamiento que propone Seis Sigma para la resolución de los problemas llevó a medir el desempeño del proceso, analizar las causas que ocasionan este desempeño, buscar la mejora para las causas verificadas y establecer los controles necesarios para mantener la mejora.

La reducción del 88% de los defectos planteados en el desempeño inicial, lo cual contribuye a un aumento del 20% del volumen de producción da el beneficio real del análisis.

Con la validación de la efectividad de las soluciones se termina el proceso del proyecto de mejora, dado que los resultados alcanzan y superan los objetivos inicialmente planteados.

## **7.2 Recomendaciones**

Uno de los principales factores de éxito de este trabajo fue haber logrado el involucramiento y compromiso del equipo de trabajo, lo cual es esencial para reducir la resistencia al cambio. Tener en mente este factor desde el inicio del trabajo fue fundamental, por lo que debe ser colocado como parte de las actividades o metas que se debe establecer quien lleve a cabo un trabajo similar.

La implementación de mediciones en el proceso para los operadores es otro factor clave, el establecimiento de objetivos de desempeño e indicadores que sean entendidos y retroalimentados a los operadores, supervisores y jefe de área ayuda en la resolución de problemas y eliminación de barreras de comunicación o actitud que se puedan presentar en la operación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]** AIAG, Automotive Industry Action Group. FMEA, Failure Mode and Effect Analysis. Ed. AIAG, ASQC, 1990.
- [2]** AIAG, Automotive Industry Action Group. MSA, Measurement System Analysis. Ed. AIAG, ASQC, 1990.
- [3]** Baim, William C. III. Six Sigma compounding study. Proceedings of the 1997 55<sup>th</sup> Annual Technical Conference, ANTEC, Soc. of Plastics Engineers, 1997, pp. 3389-93.
- [4]** Breyfogle, Forrest W. III. Implementing Six Sigma. Ed. Wiley-Interscience, 1999.
- [5]** Durand Jr., Richard R., Freeman, Dale. Towards an optimized process for directory printing using statistical methods. 54<sup>th</sup> Annual Technical Conference of the Technical Association of the Graphics Arts (TAGA), Proceedings of the TAGA, 2002, pp. 508-21.
- [6]** Eckes, George. Making Six Sigma Last. Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [7]** Harry, Mikel PhD; Schroeder, Richard. Six Sigma, The Breakthrough Management Strategy. Ed. Doubleday, 2000.
- [8]** Pyzdek, Thomas. The Six Sigma Handbook. Ed. Mc Graw Hill, 2001.
- [9]** Meeks, S. Jr. The effect of a 2% high volume SMT manufacturing solderability problem on six sigma processing. Surface Mount International Conference and Exposition, Proceedings of the Technical Program, 1992, pp. 644-57, vol. 2.
- [10]** Minitab Inc. Minitab 13.3, User's Manual. Ed. Minitab Inc., 2000.
- [11]** Murugappan, M.; Keeni, G. Quality improvement- the Six Sigma way. Proceedings First Asia-Pacific Conference on Quality Software, 2000, pp. 248-57.

## LISTADO DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
2.1	Área bajo la curva de la distribución normal	14
2.2	Nivel Sigma corto y largo plazo vs DPMO	15
2.3	Niveles de conocimiento	18
2.4	Entradas y salidas de las fases de la metodología	19
2.5	Análisis de los involucrados	28
3.1	Diagrama SIPOC	35
3.2	Cascada de la demanda	36
3.3	VARIABLES de medición	37
3.4	Estadística descriptiva de los tiempos de duración de la carga	38
3.5	Cálculo de %GR&R	40
3.6	Nivel Sigma de los Hornos	43
3.7	ANOVA. Tiempo duración contra horno	46
3.8	Intervalo de confianza para el nivel sigma del proceso	48
3.9	Nivel Sigma objetivo	49
4.1	Causas priorizadas	54
4.2	Planeación de la verificación de causas probables	56
4.3	ANOVA Duración de carga, por turno	58
4.4	AMEF, falla del quemador	62
4.5	ANOVA Tiempo para recargar por turno	66
4.6	Análisis de regresión, duración carga vs. tiempo de recarga	68
4.7	Resumen de verificación de causas	70
5.1	Posibles soluciones para contrarrestar las causas	73
5.2	ANOVA, antes y después de la comunicación	78
5.3	Condiciones del Horno	79

5.4	ANOVA Método de cambio de condiciones	80
5.5	AMEF Acciones de mejora propuestas y validadas	81
5.6	Predicción de duración de carga	84
5.7	ANOVA Tiempo para recargar	86
5.8	Conclusiones fase Mejorar	90
6.1	Controles para la soluciones	92
6.2	Estándares máximos de tiempos	95
6.3	Método de trabajo en hornos	99
6.4	Controles tomados para las acciones del AMEF	100
6.5	Planeación de rutinas de mantenimiento preventivo	101
6.6	Nivel Sigma nuevo	103
6.7	Nivel Sigma nuevo de los hornos	103
6.8	Prueba de hipótesis, desempeño inicial vs. nuevo	104
6.9	Prueba de igualdad de varianzas, desempeño inicial vs nuevo	105

## LISTADO DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
2.1	Curva de distribución normal	13
2.2	Corrimiento del proceso entre el corto y largo plazo	14
2.3	Fases del proceso de mejora Seis Sigma	18
3.1	Trazado general de la planta	32
3.2	Mapa del proceso de Hornos	33
3.3	Histograma del tiempo de duración de la cargas	38
3.4	Capacidad del proceso	42
3.5	Gráfica de control	44
3.6	Gráfica de control, causas comunes	45
3.7	Homogeneidad de varianzas	46
3.8	Análisis de medias	47
3.9	Intervalo de confianza del desempeño actual	48
3.10	Análisis de capacidad del proceso, Horno 6	49
4.1	Diagrama causa-efecto	53
4.2	Duración de carga, por cada turno. Horno #6	57
4.3	Pareto de demoras reportadas	59
4.4	Pareto de demoras, por supervisión	60
4.5	Pareto de demoras, por montacargas	64
4.6	Duración de cargas por horno	64
4.7	Tiempo para recargar, por cada turno	66
4.8	Regresión duración de carga vs. tiempo de recarga	67
4.9	Análisis de residuales del modelo de regresión	68
5.1	Duración de cargas, por turno, anterior a la comunicación	75
5.2	Gráfica Multi-Vari, antes de la comunicación	76



5.3	Duración de cargas, por turno, después de la comunicación	77
5.4	Gráfica Multi-Vari, después de la comunicación	78
5.5	Tiempo para recargar máximo	83
5.6	Tiempo para recargar, antes de la comunicación con los operadores	84
5.7	Tiempo para recargar, después de la comunicación con los operadores	85
5.8	Duración de carga, contra turno que carga y turno que descarga	87
5.9	Duración de carga con entrega de turnos, después de la comunicación	88
6.1	Reporte de operación de hornos	93
6.2	Análisis de causas raíz de demoras y acciones	96
6.3	Reporte de acciones tomadas para las demoras reportadas	97
6.4	Hoja de cálculo electrónica	97
6.5	Reporte para presentar a operadores	98
6.6	Capacidad nueva del proceso	102
6.7	Desempeño histórico de Hornos	104

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación.....	Página
( 2.1 ).....	15
( 2.2 ).....	15
( 2.3 ).....	16
( 3.1 ).....	39
( 3.2 ).....	40
( 3.3 ).....	40

## APÉNDICE A: TABLA ANOVA

En este apéndice se explica brevemente la tabla de resultados que presenta para el análisis de ANOVA el software estadístico Minitab, para mayores referencias ver [9].

### Renglón Tabla ANOVA

1	<b>One-way ANOVA: DuraciónCarga versus Turno</b>					
2	Analysis of Variance for DuraciónCarga					
3	Source	DF	SS	MS	F	P
4	Turno	3	2.787	0.929	2.90	0.040
5	Error	80	25.647	0.321		
6	Total	83	28.433			
7	Individual 95% CIs For Mean					
8	Based on Pooled StDev					
9	Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----	
10	1	24	7.6429	0.5139	(-----*-----)	
11	2	26	8.0458	0.5750	(-----*-----)	
12	3	14	8.0393	0.4991	(-----*-----)	
13	4	20	7.7355	0.6517	(-----*-----)	
14	Pooled StDev =		0.5662		7.50	7.80 8.10 8.40

Renglón 1: One-way ANOVA, Análisis de varianzas de una vía, se refiere al análisis que busca la igualdad de medias para un solo factor.

Renglón 2: Analysis of Variance for ..., Análisis de Varianza para...

Renglón 3: Source, Columna de identificación de la fuente de variación a presentar. DF, Degrees of Freedom, grados de libertad. SS, Sum of Squares, suma de cuadrados. MS, Mean of squares, media de cuadrados. F, Estadístico F. P, valor de probabilidad para el estadístico F en la distribución de Fisher.

Renglón 3..6: Resultados para los indicado en el renglón 3.

Renglón 7: Individual 95% CI For Mean, Intervalo de Confianza individual al 95% para la media

Renglón 8: Based on Pooled StDev, basado en una desviación estándar unificada

Renglón 9: Level, nivel del factor. N, número de datos en la muestra. Mean, promedio o media de la muestra. StDev, desviación estándar de la muestra.

Renglón 10..13: Resultados para lo indicado en los renglones 7 al 9.

Renglón 14: Pooled StDev, desviación estándar rolada.

## APÉNDICE B: TABLA REGRESIÓN

En este apéndice se explica brevemente la tabla de resultados que presenta para el análisis de regresión el software estadístico Minitab, para mayores referencias ver [9].

Renglón

Tabla Regresión

1	<b>Regression Analysis: DurCarga versus TieRecarga</b>					
2	The regression equation is					
3	DurCarga = 3.98 + 1.51 TieRecarga					
4	Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
5	Constant	3.9775	0.3141	12.66	0.000	
6	TieRecarga	1.5095	0.1230	12.28	0.000	
7	S = 0.1633	R-Sq = 68.0%	R-Sq(adj) = 67.5%			
8						
9	Analysis of Variance					
10	Source	DF	SS	MS	F	P
11	Regression	1	4.0176	4.0176	150.73	0.000
12	Residual Error	71	1.8925	0.0267		
13	Lack of Fit	29	0.6744	0.0233	0.80	0.731
14	Pure Error	42	1.2181	0.0290		
15	Total	72	5.9100			
16						
17	No evidence of lack of fit (P > 0.1)					

Renglón 1: Regression Análisis, análisis de regresión. Análisis que busca la evaluar la dependencia entre variables de datos continuas.

Renglón 2: The regression equation is, la ecuación de regresión es.

Renglón 3: En este renglón se presenta la ecuación de regresión a la que se refiere en el renglón 2.

Renglón 4: Predictor, son las fuentes de variación o factores que son incluidos en el análisis de regresión. Coef, el valor numérico calculado para el coeficiente de cada factor. SE Coef, Standard Errors for coefficients, error estándar

para los coeficientes. T, Estadístico T. P, valor de probabilidad para el estadístico T.

Renglón 5: Constant, constante. Resultados para lo descrito en el renglón 4.

Renglón 6: TieRecarga, es el factor usado en este análisis de regresión. Resultados para lo descrito en el renglón 4 para el factor analizado.

Renglón 7: S, desviación estándar observada en los datos. R-Sq, R cuadrada, estadístico que representa la explicación del modelo sobre la variación total de los datos. R-Sq(adj), R cuadrada ajustada, estadístico similar a la R-Sq y que toma en cuenta el número de factores.

Renglón 9: Analysis of Variance, Análisis de Varianza.

Renglón 10: Source, Columna de identificación de la fuente de variación a presentar. DF, Degrees of Freedom, grados de libertad. SS, Sum of Squares, suma de cuadrados. MS, Mean of squares, media de cuadrados. F, Estadístico F. P, valor de probabilidad para el estadístico F en la distribución de Fisher.

Renglón 11: Regression, regresión, análisis de varianza para el modelo de regresión. Resultados para lo descrito en el renglón 10.

Renglón 12: Residual error, error residual. Resultados para lo descrito en el renglón 10.

Renglón 13: Lack of Fit, falta de ajuste, análisis de falta de ajuste del modelo de regresión. Resultados para lo descrito en el renglón 10.

Renglón 14: Pure Error, error puro. Resultados para lo descrito en el renglón 10.

Renglón 15: Total, total de grados de libertad y suma de cuadrados.

Renglón 17. No evidence of lack of fit, no hay evidencia de falta de ajuste, prueba estadística alterna a la presentada en el renglón 13 que presenta como resultado solamente si el valor P es mayor o menor que 0.1.

## GLOSARIO

- AMEF. Análisis de Modo y Efecto de Falla, herramienta de análisis de los modos de falla de un proceso o producto y sus efectos que guía en la priorización y evaluación de soluciones. Este trabajo de análisis debe ser realizado por un grupo de trabajo multifuncional.
- ANOM. Análisis de medias, herramienta estadística que prueba la igualdad de medias contra la media global.
- ANOVA. Análisis de Varianzas, herramienta estadística que prueba la igualdad de medias.
- “Benchmark”. Proceso de comparación entre resultados de diversas operaciones, con la finalidad de establecer las mejores prácticas de operación.
- “Black Belt”. Persona entrenada en la metodología Seis Sigma y en uso de herramientas de mejora y estadística que está dedicado a coordinar equipos de mejora de procesos. Este término está registrado por Sigma Consultants, L.L.C. (Six Sigma Academy) para fines comerciales.
- “Checklist”. Lista de verificación, es una herramienta para la verificación del cumplimiento de una lista de tareas o puntos de revisión.
- CTQ: (Critical To Quality, Crítico para la Calidad) Son las salidas de un proceso que son críticas para la satisfacción del clientes. Aunque el nombre habla de calidad, puede ser relativas al costo (CTC), entrega (CTD) o calidad (CTQ).
- DPMO. Defectos Por Millón de Oportunidad, representa la probabilidad de generación de salidas del proceso fuera de las especificaciones del cliente.

- Gage R&R. Repetibilidad y reproducibilidad del medidor, estudio realizado para conocer la variación causada por el sistema de medición.
- Gráfica Multi-Vari. Gráfica que se construye para observar las diferencias de la respuesta dentro y entre los factores analizados, puede realizarse con dos o más factores para la misma respuesta analizada.
- “p-value”. Valor de probabilidad, representa la probabilidad que encuentra un análisis estadístico de probar la hipótesis nula que tiene planteada la prueba. También se presenta como “P” por algunas pruebas.
- Pareto. Herramienta estadística que presenta gráficamente el porcentaje de aportación de distintos defectos sobre una causa, sirve para identificar las pocas vitales de las muchas triviales, es decir el enfoque del principio de Pareto del 80/20, donde dice que el 80% de los efectos es causado por el 20% de las causas.
- “Poka-Yoke”. A prueba de errores. Metodología japonesa de búsqueda de medios para evitar los errores, los cuáles pueden utilizar medios visuales, y dispositivos de control o detección.
- PPM. Partes por Millón, representa lo mismo que DPMO, ver DPMO.
- SIPOC. (“Suppliers –Inputs –Process –Outputs –Customers”, Proveedores –Entradas – Proceso –Salidas –Clientes). Herramienta que presenta las partes que incluyen en el proceso, la idea es para generar el conocimiento del proceso y entenderlo.
- Sigma,  $\sigma$ , símbolo griego que se utiliza para representar la desviación estándar, la cual es una de las medidas de variación más utilizadas.
- Software. Programa o sistema computacional instalado en algún equipo de computo para realizar funciones.



## RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Ricardo Francisco Pérez Benavides, nacido en Guadalupe, Nuevo León el 13 de marzo de 1970 siendo el segundo hijo del matrimonio formado por Ricardo Pérez García y Mirthala Guadalupe Benavides Sánchez.

Obtuve el grado de licenciatura en 1992, cursando la carrera de Ingeniero en Control y Computación por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Después de graduarme, trabajé por aproximadamente 4 años en una dependencia del Gobierno del Estado de Nuevo León en el departamento de Monitoreo Ambiental, donde me desarrollé en la operación y mantenimiento de equipo electrónico para la medición de contaminantes ambientales.

Mi siguiente trabajo fue en una empresa metal-mecánica de la localidad en el área de mantenimiento como jefe de este departamento. El objetivo de este trabajo fue el de implementar el mantenimiento y supervisar la instalación de nuevo equipo en la planta, lo cual desarrollé por cerca de 3 años.

Al entrar esta compañía, como parte de la empresa global a la que pertenece, a la implementación de Seis Sigma me invitan a participar como Black Belt. En este rol desarrollé 3 proyectos de mejora en un año, para después ser promovido a la posición de Master Black Belt que ahora desarrollo.

Este último puesto su función principal es entrenamiento, asesoría y supervisión a los Black Belts en el desarrollo de sus proyecto de mejora en la organización. Esta función alcanza las áreas de operaciones, comercial, logística y recursos humanos.

Presento el presente trabajo de Tesis, con el título “Reducción de tiempos muertos de operación usando Seis Sigma”, como crédito parcial en opción para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería de Manufactura con Especialidad en Automatización.

R.F.P.B.

