



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DMAIC PARA LA REDUCCIÓN DE
MERMA EN LA PRODUCCIÓN DE ENVASES PET EN UNA EMPRESA DE
PRODUCCIÓN DE BOTELLAS (EPB)”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA ADMINISTRATIVA**

**PRESENTA:
ING. JORGE AGUILAR VÁZQUEZ**

**DIRECTOR:
DR. JORGE LUIS CASTAÑEDA GUTIÉRREZ**

**CO-DIRECTOR
M.C. CRISANTO TENOPALA HERNÁNDEZ**

APIZACO, TLAXCALA, DICIEMBRE DE 2014

"2014, Año de Octavio Paz"

Apizaco, Tlax., 04 de Agosto de 2014

ASUNTO: Aprobación del trabajo de Tesis de Maestría.

M.A.D. MA. A. ACELA DAVILA JIMENEZ
ENCARGADA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN.
PRESENTE.

Por este medio se le informa a usted, que los integrantes de la **Comisión Revisora** para el trabajo de tesis de maestría que presenta el: Ing. **JORGE AGUILAR VAZQUEZ**, con número de control **M07370324** candidato al grado de **Maestro en Ingeniería Administrativa** y egresado del **Instituto Tecnológico de Apizaco**, cuyo tema es: **"PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DMAIC, PARA LA REDUCCIÓN DE MERMA EN LA PRODUCCIÓN DE ENVASES PET, EN UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE BOTELLAS (EPB)"**, fue:

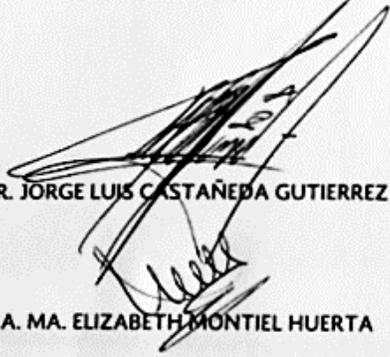
APROBADO

Lo anterior, al valorar el trabajo profesional presentado por el candidato y constatar que las observaciones que con anterioridad se le marcaron así como correcciones sugeridas para su mejora ya han sido realizadas.

Por lo que se avala se continúe con los trámites pertinentes para su titulación.

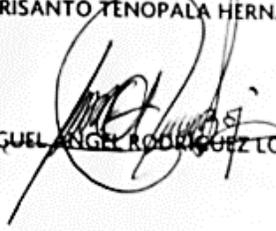
Sin otro particular por el momento, le envió un cordial saludo.

LA COMISIÓN REVISORA


DR. JORGE LUIS CASTAÑEDA GUTIERREZ


M.C. CRISANTO TENOPALA HERNANDEZ


M.A. MA. ELIZABETH MONTIEL HUERTA


M.I.A. MIGUEL ANGEL RODRIGUEZ LOZADA

C. p.- Interesado



Av. Instituto Tecnológico S.N. Apizaco, CP. 90300 Apizaco, Tlaxcala
Tels. 01 241 417 20 10, Contact. 101 Ext. 146.
e-mail posgrado@itapizaco.edu.mx www.itapizaco.edu.mx





"2014. Año de Octavio Paz"

Apizaco, Tlax., 04 de Diciembre de 2014

No. OFICIO: DEPI/252 /14

ASUNTO: Se Autoriza Impresión de Tesis de Grado.

ING. JORGE AGUILAR VAZQUEZ
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA ADMINISTRATIVA
No. de Control: **M07370324**
PRESENTE.

Por este medio me permito informar a usted, que por aprobación de la Comisión Revisora asignada para valorar el trabajo, mediante la Opción: **I Tesis de Grado por Proyecto de Investigación**, de la **Maestría en Ingeniería Administrativa**, que presenta con el tema: **"PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DMAIC, PARA LA REDUCCIÓN DE MERMA EN LA PRODUCCIÓN DE ENVASES PET, EN UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE BOTELLAS (EPB)"** y conforme a lo establecido en el Procedimiento para la Obtención del Grado de Maestría en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo le emite la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar un ejemplar del mismo debidamente encuadernado y seis copias en CD en formato PDF, para presentar su Acto de Recepción Profesional a la brevedad.

Sin otro particular por el momento, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE

PENSAR PARA SERVIR, SERVIR PARA TRIUNFAR®


M.A.D. MA. A. ACELA DAVILA JIMENEZ
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN.



Secretaría de Educación Pública
Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios de Posgrado
e Investigación

C.p.- Consecutivo.

MAADJ/mebr



Av. Instituto Tecnológico S/N. Apizaco, C.P. 90300 Apizaco, Tlaxcala
Tels. 01 241 417 20 10, Conmut. 101 Ext. 146.
e-mail. posgrado@itapizaco.edu.mx, www.itapizaco.edu.mx



Resumen

Se analizó el impacto y las causas de la merma presente en una Empresa de Producción de Botellas, la cual esta ubicada en la ciudad de Apizaco, Tlaxcala; realizando un estudio a profundidad por medio del modelo DMAIC en sus distintas etapas, encontrando la variable más crítica del proceso que es la temperatura ambiente, afectando así a todas las demás variables que determinan el nivel de calidad del producto.

El proyecto realizado es de tipo explicativo o causal asi como descriptivo, ya que orientan al desarrollo del presente proyecto.

El instrumento utilizado para poder llegar a identificar la solución a este problema es el modelo DMAIC, el cual a través de sus distintas fases podemos lograr la identificación de la causa raíz del problema.

El modelo ejemplificado en sus fases, permite desarrollar distintas herramientas de Seis Sigma, estas herramientas nos arrojan resultados estadísticos que facilmente son identificables, llevándonos a tomar distintos elementos conforme se avance en cada fase, posteriormente lograremos tener, en forma particular, información de las principales causas.

El impacto de la merma es de grandes dimensiones, ya que la empresa esta perdiendo mucho capital anualmente y esto puede ser facilmente utilizado de una manera mas eficiente, como por ejemplo en la implementación de este proyecto y así realizar mejoras a la empresa sin generar mayores gastos, comprometiendo a todo el personal a optar una actitud de calidad.

Agradecimientos

A Dios, por permitirme estar aquí, gozando de salud en todos los sentidos y terminar esta etapa profesional.

A mis padres y hermana, gracias por que son quienes estan en todos los momentos tanto buenos como malos de mi vida, su comprensión, cariño, apoyo y los valores que me han inculcado me han hecho como soy y permitiendome llegar a alcanzar una meta mas en mi vida profesional.

A mi novia Águeda, por demostrar su amor y un motor mas en mi vida.

Al Instituto Tecnológico de Apizaco, por cultivar en mi el deseo de triunfar en la vida y darme la oportunidad de estudiar y terminar mi licenciatura, y ahora, la maestria.

Al Ingeniero Vicente Hernández Lara, por su apoyo y proporcionarme información para la realización de este proyecto.

Al Ingeniero Desiderio Cuatecontzi Xochitiotzi, por su aportación y orientación en el desarrollo de la simulación en el programa Solidworks.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo brindado y permitirme lograr un estudio a nivel Posgrado.

A mi comité tutorial:

En primer lugar al Doctor Jorge Luis Castañeda Guierrez, por compartirme sus conocimientos, la guía y orientación necesaria para el presente proyecto.

Al Maestro Crisanto Tenopala Hernández, por su apoyo profesional, dandome consejos para el proyecto.

A la Maestra Elizabeth Montiel Huerta, por sus acertados comentarios profesionales y consejos para la redacción de este proyecto.

CONTENIDO

Introducción.....	1
i. Descripción del problema.....	4
ii. Hipótesis.....	5
iii. Objetivos.....	5
iv. Justificación.....	6
CAPITULO I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	10
1.1 Estado del arte.....	10
1.1.1 Aplicación de Seis Sigma.....	10
1.1.2 Aplicación del modelo DMAIC.....	15
1.1.3 Aplicación de la Manufactura Esbelta.....	17
1.2 Marco teórico.....	20
1.2.1 Seis Sigma.....	20
1.2.2 Modelo DMAIC.....	30
1.2.2.1 Primera fase Definir.....	30
1.2.2.1.1 SIPOC.....	31
1.2.2.1.2 Diagramas de Pareto.....	32
1.2.2.2 Segunda fase Medición.....	33
1.2.2.2.1 Mapa de la cadena de valores (VSM).....	33
1.2.2.2.2 Desarrollo de un mapeo de cadena de valor de estado actual.....	35
1.2.2.2.3 Mapeo del proceso.....	38
1.2.2.2.4 Orígenes de Seis Sigma.....	39
1.2.2.2.5 Significado de Seis Sigma.....	40
1.2.2.2.6 Límites de especificaciones y capacidad del proceso.....	43
1.2.2.3 Tercera fase Analizar.....	44
1.2.2.3.1 Correlación.....	44
1.2.2.3.2 Diagrama causa-efecto.....	47
1.2.2.5 Cuarta fase Mejora.....	53
1.2.2.5.1 Generación de alternativas de solución.....	53
1.2.2.5.2 Lean Manufacturing.....	54

1.3 Marco contextual	62
1.3.1 La empresa.....	62
1.3.1.1 Diagrama de flujo	64
1.3.1.2 Proceso de fabricación de botellas Pet (tereftalato de polietileno).....	64
1.3.1.2.1 Proceso de la rueda de carga	65
1.3.1.2.2 Proceso de los hornos de penetración.....	65
1.3.1.2.3 Proceso de los hornos de distribución	66
1.3.1.2.4 Proceso de la rueda de transferencia de preforma	66
1.3.1.2.5 Proceso de la rueda de soplado.....	67
1.3.1.2.6 Proceso de las pinzas de transferencia de botella	67
CAPITULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	69
2.2 Método de investigación.....	69
2.3 Tipo de investigación	69
2.4 Población y muestra	70
2.5 Fuentes y técnicas de obtención de información	71
2.6 Instrumento de investigación.....	72
CAPITULO III. RESULTADOS	75
3.1 Primera fase Definir.....	75
3.1.1 Diagrama SIPOC de la EPB	75
3.1.2 Obtención de datos de merma de las semanas fiscales de la 9 a la 22 en el área de producción de envases Pet.....	76
3.1.3 Diagrama de Pareto de la EPB	79
3.2 Segunda fase Medición.....	80
3.2.1 Cadena de valor	80
3.2.2 Cadena de valor analizada	82
3.2.3 Cadena de valor futura.....	83
3.2.4 Sigma de la EPB	85
3.2.5 Capacidad del proceso	86
3.3 Tercera fase Analizar.....	92
3.3.1 Correlación	92

3.3.2 Diagrama causa - efecto	94
3.4 Cuarta fase Mejora.....	95
3.4.1 Aplicación del mantenimiento productivo total	95
3.4.1.1 Mantenimiento productivo total TPM	96
3.4.1.2 Pasos para implementar el TPM.....	97
3.4.2 Aplicación del SMED.....	101
3.4.2.1 Metodología de aplicación de SMED.....	102
3.4.3 Análisis de transferencia de calor en horno de máquina SIDEL.....	109
3.4.3.1 Simulación de transferencia de calor con SolidWorks Flow Simulation	110
3.4.3.2 Fórmulas de transferencia de calor por convección	113
3.4.3.3 Propuesta de solución	115
CAPITULO IV. CONCLUSIONES.....	117
4.1 Trabajos futuros.....	119
Bibliografía.....	121

INDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
Tabla 1.1:	Porcentaje de mejora requerido para cambiar de un nivel sigma a otro mayor.....	25
Tabla 1.2:	Cantidad de defectos por cada nivel sigma.....	25
Tabla 1.3:	Mediciones y definiciones de Seis Sigma.....	29
Tabla 1.4:	Equivalencia entre niveles sigma y PPM.....	42
Tabla 1.5:	Significado de la calidad 6 sigma.....	43
Tabla 1.6:	Productos por sabor y presentación.....	63
Tabla 3.1:	Merma de cada sabor y presentación en semanas fiscales.....	76
Tabla 3.2:	Costo-merma de cada sabor y presentación en semanas fiscales.....	77
Tabla 3.3:	Conversión de capacidad del proceso.....	86
Tabla 3.4:	VARIABLES de la carta maestra de producción.....	87
Tabla 3.5:	Correlación mayor entre variables.....	92
Tabla 3.6:	VARIABLES controlables y no controlables.....	93
Tabla 3.7:	Actividades realizadas en los cambios de moldes.....	103
Tabla 3.8:	División de tareas y sus tiempos.....	104
Tabla 3.9:	Conversión de tareas internas a externas.....	106
Tabla 3.10:	Temperaturas de las lámparas de penetración.....	110

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
Figura 1.1:	Distribución normal que muestra los parámetros de los niveles de 3 sigma y 6 sigma.....	26
Figura 1.2:	Medición de Seis Sigma.....	26
Figura 1.3:	Desviación estándar.....	27
Figura 1.4:	Comparación de media corrida y no corrida en 3 sigma.....	27
Figura 1.5:	Comparación de media corrida y no corrida en 6 sigma.....	28
Figura 1.6:	Comparación entre 3 sigma y 6 sigma.....	28
Figura 1.7	Niveles sigma de un proceso.....	41
Figura 1.8:	Proceso 6 sigma descentrado.....	42
Figura 1.9:	Ejemplo de diagrama causa-efecto.....	47
Figura 1.10:	Ubicación de la empresa.....	63
Figura 1.11:	Rueda de carga.....	65
Figura 1.12:	Hornos de penetración.....	65
Figura 1.13:	Hornos de distribución.....	66
Figura 1.14:	Rueda de transferencia de preforma.....	66
Figura 1.15:	Rueda de soplado.....	67
Figura 1.16:	Pinzas de transferencia de botella.....	68
Figura 2.1:	Metodología de la investigación.....	74
Figura 3.1:	Mapa de cadena de valor actual, área de producción.....	81
Figura 3.2:	Mapa de cadena de valor analizada, área de producción.....	82
Figura 3.3:	Mapa de cadena de valor futura, área de producción.....	83
Figura 3.4:	Diagrama causa-efecto de la variable no controlada.....	94
Figura 3.5:	Segundo diagrama causa-efecto de la variable no controlada.....	95
Figura 3.6:	Fases para reducir el tiempo de cambio.....	108
Figura 3.7:	Horno de la máquina SIDEL.....	110
Figura 3.8:	Carta maestra de producción del producto agua natural 600 ml.....	112
Figura 3.9:	Temperatura del horno, barrido frontal.....	114
Figura 3.10:	Temperatura del horno, barrido lateral.....	114

Figura 3.11: Flujo de calor en el horno.....	115
Figura 3.12: Temperatura del horno con ventilación, barrido frontal.....	116
Figura 3.13: Temperatura del horno con ventilación, barrido lateral.....	116

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica	Descripción	Página
Gráfica 3.1:	Producto vs Merma.....	78
Gráfica 3.2:	Pareto de la línea 1.....	79
Gráfica 3.3:	Pareto de la línea 2.....	79
Gráfica 3.4:	Pareto de la línea 3.....	80
Gráfica 3.5:	Pareto general (L1, L2 y L3).....	80
Gráfica 3.6:	Prueba de normalidad temperatura.....	87
Gráfica 3.7:	Prueba de normalidad % arranque.....	87
Gráfica 3.8:	Prueba de normalidad % salida.....	88
Gráfica 3.9:	Prueba de normalidad temperatura de consigna.....	88
Gráfica 3.10:	Prueba de normalidad temperatura de molde.....	88
Gráfica 3.11:	Prueba de normalidad % de ventilación.....	88
Gráfica 3.12:	Prueba de normalidad temperatura ambiente.....	88
Gráfica 3.13:	Prueba de normalidad % CZ1.....	88
Gráfica 3.14:	Prueba de normalidad % CZ2.....	89
Gráfica 3.15:	Prueba de normalidad % CZ3.....	89
Gráfica 3.16:	Prueba de normalidad % CZ4.....	89
Gráfica 3.17:	Prueba de normalidad % CZ7.....	89
Gráfica 3.18:	Prueba de normalidad % CZ9.....	89
Gráfica 3.19:	Prueba de normalidad temperatura de carga.....	89
Gráfica 3.20:	Prueba de normalidad puesta en espera.....	90
Gráfica 3.21:	Prueba de normalidad temperatura de horno.....	90
Gráfica 3.22:	Capacidad de proceso de la variable % CZ4.....	90
Gráfica 3.23:	Capacidad de proceso de la variable % CZ7.....	91

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
Cuadro 1.1: Rendimientos.....		30
Cuadro 1.2: Calculo de sigma del proceso: Método 1.....		30
Cuadro 1.3: Diagrama SIPOC.....		31
Cuadro 3.1: Diagrama SIPOC de la máquina SIDEL y EPB.....		75

Introducción

La globalización y el desarrollo de estrategias que satisfagan los estándares de calidad de un producto para el gusto y aceptación del cliente requiere mecanismos de mejora continua, las empresas están contando con un sistema integral el cual se centra en los procesos mediante la eliminación de la variación utilizando modelo de calidad estructurados. Anteriormente se manejaban sistemas de producción robustos, los cuales orientaba a la elaboración de un producto o servicio, estos sistemas tenían muchos problemas a la hora de evaluar su calidad y las empresas eran poco competitivas.

Para alcanzar el objetivo de una alta calidad, las empresas empezaron a adoptar algunos métodos de manufactura que se desarrollaron en Japón y que ayudaron a sus empresas a competir en el mercado internacional, esto se conoce como Manufactura Esbelta (lean).

Se tiene que mejorar el sistema de producción actual de la industria por medio de la Manufactura Esbelta, donde las empresas están mejorando la calidad de sus productos que ofrecen a los clientes, con la disminución de costos de producción mediante la reducción de desperdicio o de merma.

Se detecta una cantidad alta de desperdicio en las líneas de elaboración de envases Pet, en una Empresa de Producción de Botellas (EPB), por lo que es de gran importancia lograr la reducción de merma a través del mejoramiento de calidad en el producto, para ello se opta por desarrollar el modelo DMAIC, el cual nos permitirá llegar al punto o causa raíz del problema y con ello resolverlo.

Con este modelo se estructura un proyecto con el cual a través de herramientas estadísticas podremos establecer un estudio donde el resultado será la identificación del problema que está generando desperdicio en las líneas de producción y así se podrá plantear soluciones en áreas de oportunidad o de mejora dentro de la empresa.

Esta tesis se estructura a partir de los siguientes capítulos:

En el Capítulo 1 se presentan los fundamentos teóricos, iniciando con el estado del arte, en el que se describen algunos estudios de investigadores que han contribuido con conocimientos en el tema que nos ocupa.

Por otro lado, se habla del marco teórico, donde se menciona la base metodológica a desarrollar, la información que sustenta la teoría desde un enfoque general, mencionando todo el estudio y origen de la misma, así como las fases en las cuales se divide ésta metodología y en la cual se basa la propuesta de solución.

Al final el marco contextual, donde encontramos toda la historia y el giro de la empresa, las áreas con las que cuenta, los productos que fabrican, layout de la misma junto con la descripción tanto del área donde se detecta el problema, así como del proceso de fabricación de los envases.

En el Capítulo 2 se muestra la metodología de trabajo, en donde se describe que tipo de investigación, población, muestra, metodología y la forma de cómo se recolectarán los datos para el proyecto

En el Capítulo 3 se mencionan los resultados que arrojó la aplicación del modelo DMAIC con sus respectivas herramientas estadísticas y de información, esto nos ayuda a detectar áreas de oportunidad que permiten desarrollar alternativas y/o propuestas de solución a través de herramientas de Manufactura Esbelta.

En el Capítulo 4 se dan las conclusiones generales del proyecto, se involucra la aseveración de la hipótesis, reconocimiento de los objetivos alcanzados y trabajos futuros.

Con ello se llegará a incrementar la eficiencia en producción, rentabilidad en la empresa y una reducción de merma que significará un ahorro monetario para la empresa.

Antecedentes del problema

Durante los últimos años, las empresas tienen un objetivo fundamental en cuanto a la calidad se refiere, tal es el ejemplo de Motorola el cual optó por crear y aplicar el modelo DMAIC como una forma de llegar, fase por fase, a la causa principal que detecta elementos negativos como baja calidad en el producto y por ende, gastos innecesarios.

Comenta Primitivo (2002), que actualmente las empresas manufactureras tienen problemas puesto que se ven presionadas por los requerimientos que los clientes desean como son rapidez de tiempos de entrega, desarrollo e innovación de nuevos productos, entrega de lotes pequeños más frecuentes y con cláusulas de penalización con cargos monetarios por incumplimiento en tiempo de entrega, cantidades, variedad del producto, calidad y confiabilidad, etc. Para ello tenemos la herramienta Seis Sigma que nos da un parámetro de calidad, siendo un valor que representa una alta calidad para la empresa de 3.4 defectos por millón.

Para una mejora aplicada en la manufactura, Xochicali (2010) comenta que uno de los requisitos previos para que la solución de problemas sea eficaz, es seguir disciplinadamente un proceso estructurado, para asegurar uniformidad se cuenta con el marco de trabajo de los cinco pasos del proceso DMAIC. Los pasos son: definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

Con este marco de trabajo se obtuvieron dos beneficios según Kuan-Tsae (2000), beneficios tangibles en donde la recolección de datos del problema, análisis y planeación de soluciones, en su búsqueda por lograr la competitividad de clase mundial, genera ideas que se transforman en mejoras y permiten aplicarse a todas las áreas clave como productividad, calidad, costo, seguridad y entrega. Mientras que los beneficios intangibles son a partir de que los trabajadores de línea se sientan potenciados y motivados al estar involucrados, todos comprenden mejor lo que cuesta una falla y el modo en que impacta en la empresa, los trabajadores adquieren habilidades de resolución de problemas que pueden aplicar en su vida diaria, proveer oportunidades para el crecimiento personal, estimular el trabajo en equipo, destraba el potencial humano y da impulso y creatividad al proceso de cambio.

i. Descripción del problema

Las industrias realizan gastos excesivos a partir de una mala forma de producción, como consecuencia se obtiene desperdicio o mejor conocido como merma. La merma se refiere al material que se evapora, se escoge, se contrae como consecuencia esperada y conocida del proceso productivo; por ejemplo: una determinada porción de los líquidos que pasan por la líneas de producción se evapora; el proceso de cocinado envuelve algunas pérdidas debido a la evaporación. Igualmente, ocurren otras pérdidas como parte normal del proceso productivo, algunos se refieren a esta forma de desaparición como desperdicio (Cuevas V., 2001).

La ley aduanera menciona que las mermas son los efectos que se consumen o pierden en el desarrollo de los procesos productivos y cuya integración al producto no pueda comprobarse, y con ello se proyecta una cadena de gastos que poco a poco podrían ser disminuidos por medio de una serie de pasos para el análisis, procedimiento y generación de resultados.

Por lo que la empresa de producción de botellas (EPB), busca mejorar en sus productos la calidad así como la forma con lo que son hechos. Además, es muy importante mantener su posición como proveedor de botellas a la empresa refresquera número uno a nivel internacional y convirtiéndose así en una de las empresas más representativas de su sector.

De igual forma, originado de una recolección de datos, diagnóstico y análisis de resultados en el área de producción de esta empresa, se determina que el porcentaje o cantidad de merma en la elaboración de botellas Pet, a través de la identificación de variables que establecen la calidad del producto, así como el trabajo, compromiso y profesionalización de los trabajadores de dicha área, ya que ven detenida la mejora continua que es parte del objetivo fundamental de la empresa y genera incrementos de merma en la producción y por ende, un balance negativo en relación con la demanda, aumentando los costos. El problema radica en la existencia de merma de 410,179 botellas, con una pérdida de \$ 377,996.30 pesos, por tres meses de producción.

Preguntas de investigación

¿Cuáles son las variables que intervienen en la reducción de merma en el área de producción de la EPB?

¿La materia prima es el factor que ocasiona merma en el área de producción?

¿Las maquinas que se tienen para la producción de botellas están en óptimas condiciones para producir?

¿Las variables de temperatura, presión y mantenimiento son las adecuadas para obtener una producción de alta calidad?

¿La mano de obra está capacitada para tener un proceso de producción de envases con la calidad requerida?

¿Implementando el modelo DMAIC para la reducción paulatina de la merma en la producción de envases Pet se obtiene una disminución de al menos 2% de desperdicio?

ii. Hipótesis

A través de la propuesta del modelo DMAIC y herramientas estadísticas de Seis Sigma, se logrará una reducción significativa de la merma en el área de producción de botellas Pet, solucionando los problemas que se presenten y garantizando mayor competitividad de la empresa.

iii. Objetivos

Objetivo general

A través del desarrollo de la metodología DMAIC, detectar oportunidades de mejora con el fin de reducir la merma en el área de producción del proceso de soplado de manera que se incremente la competitividad de la EPB.

Objetivos específicos

Identificar características del proceso, así como del producto, con el fin de encontrar el origen del problema y el impacto de cada una de las características al producto final a partir de la recolección de información.

Seleccionar las variables críticas para saber la influencia que tienen en el proceso a partir de herramientas estadística de Seis Sigma.

Desarrollar el modelo DMAIC con el fin de detectar áreas de oportunidad y, por medio de herramientas de Manufactura esbelta que apliquen, proponer mejoras a las áreas antes mencionadas.

iv. Justificación

Actualmente existen empresas que llevan a cabo un sistema de mejora continua, basándose en un modelo de calidad que permita una producción flexible donde se genere el menor desperdicio posible durante la misma, sin embargo, hay otras empresas que ya optaron por tomar medidas en cuanto a la calidad de la producción, teniendo como resultado mayores utilidades con el mínimo de recursos y sin desperdicios, compitiendo a nivel mundial y se les reconoce por el hecho de que se puede llegar a ser una empresa rentable y desarrollando una calidad competitiva y progresiva.

Al aplicar un modelo que nace de Seis Sigma, como es el DMAIC, se pueden llegar a obtener muchos resultados que no solo se refleja en el producto de la empresa, sino también en mejorar el trabajo que realiza cada persona para llegar al objetivo que en un inicio acordaron y adoptaron como principal meta.

Los resultados que han mostrado otras empresas al aplicar el modelo son las siguientes:

-
1. Mejora por medio de pequeños proyectos.
 2. Cero o mínima inversión de capital.
 3. Proyectos de rápida implementación (6 a 8 meses).
 4. Proceso disciplinado y con decisiones basadas en datos.

Esto llevará a la creación de una nueva cultura dentro de la empresa en donde no solamente el área involucrada en el estudio puede mejorar, sino que todas las áreas de la empresa también.

Según Pande, et. al. (2000), algunas de las razones por las que las organizaciones emplean este modelo son las siguientes:

- Fabrica un comienzo nuevo.
- Da un nuevo enfoque familiar con las herramientas.
- Crea un enfoque consistente.
- Ofrece ambos procesos: el de mejora continua y el de diseño/rediseño.
- Pone de prioridad al cliente y a la medición.

Por lo que si se llevan a cabo las fases de este modelo, tendremos la información y análisis profundo en cada una de ellas para detectar áreas de oportunidad y con ello, plantear herramientas de Manufactura Esbelta que permitan reducir en el área de producción de la empresa EPB la merma en al menos el 2%, pero lo más importante y que se caracterizan las empresas con este cambio, es la forma diferente de pensar de las personas involucradas en producción y con ello generar un camino hacia la mejora continua en donde la empresa alcanzará un nivel de excelencia, calidad y competitividad.

Tipo de investigación

Se toman en cuenta los siguientes tipos de investigación que ayuda a explorar los elementos que intervienen en la problemática, describirlos y explicar los resultados obtenidos los cuales son:

Investigación explicativa o causal:

Como describe Bernal (2006), la investigación explicativa tiene como fundamento la prueba de hipótesis y busca que las conclusiones lleven a la formulación o el contraste de leyes o principios científicos.

Cuando, en una investigación, el investigador se plantea como objetivos estudiar el porqué de las cosas, los hechos, los fenómenos o las situaciones a estas investigaciones se les denominan explicativas. En la investigación explicativa se analizan causas y efectos de la relación entre variables.

Investigación descriptiva:

Una de las funciones principales de esta investigación es la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y su descripción detallada de las partes, categorías o clases de dicho objeto.

Variables independientes

Modelo DMAIC.

Herramientas de Seis Sigma.

Variables dependientes

Merma.

Competitividad de la empresa.

Alcances

Desarrollo del modelo DMAIC a partir de la información recabada.

Determinar los factores así como el producto que representa el mayor impacto en la generación de desperdicio o merma.

Generación de ideas y procedimiento a seguir para reducir la merma a partir de un análisis detallado generado con el modelo, así como el planteamiento de las posibles soluciones a los problemas por medio de las herramientas que nos ofrece la Manufactura Esbelta.

Limitaciones

Esta investigación se desarrolla con base al área de producción abarcando materia prima, mano de obra y maquinaria o equipo.

El estudio se realiza en la EPB situada en la ciudad de Apizaco, Tlaxcala.

CAPITULO I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Estado del arte

El estado del arte tiene como punto de partida el reconocimiento de que se realiza una tarea desde un lugar de conocimiento, desde ciertas fuentes y supuestos, y desde un espacio institucional y social determinado (Blanco & Messina, 2000).

El estado del arte es una modalidad de la investigación documental que permite el estudio del conocimiento acumulado (escrito en textos) dentro de un área específica. Sus orígenes se remontan a los años ochenta, época en la que se utilizaba como herramienta para compilar y sistematizar información especialmente el área de ciencias sociales (Montoya, 2005).

A continuación se describen los siguientes estudios e investigaciones relacionados con Seis Sigma, modelo DMAIC y Manufactura Esbelta.

1.1.1 Aplicación de Seis Sigma

Torres & Monsalve (2008), aplicó la metodología Seis Sigma para disminuir las intervenciones en el proceso de fabricación de vidrios, por lo que un elemento necesario para el desarrollo de este proyecto es contar con el compromiso de Alta Gerencia, este proyecto se desarrolló en 6 meses.

Al inicio se describe todo el proceso de fabricación de vidrio, posteriormente se da una descripción detallada de la metodología Seis Sigma a través de diferentes bibliografías y autores; como primer fase se plantea definir el equipo o los equipos de trabajo los cuales van a implementar mejoras continuas a partir de proyectos así como establecer la problemática a enfrentar, posteriormente se pasa a la fase de medición donde se utilizan diferentes herramientas estadísticas para obtener datos. La herramienta que se desarrolló en esta parte fue la métrica llamada tiempo medio entre intervenciones “MTBT” por sus siglas en inglés, a

continuación se analizan los resultados encontrando la causa raíz por medio de un diagrama de Pareto simple y diagrama de Pareto estandarizado, análisis de varianza y graficas de control, con la siguiente fase que es mejorar se implementó un proceso con un conjunto de 16 preposiciones de mejora las cuales se priorizaron con la matriz de priorización y por último se desarrolló la última fase que es el proceso de control con el que se planteó una capacitación adicional, implementación de instructivos y procedimientos mejorados.

Los resultados alcanzados son los siguientes: tiempo medio en intervenciones “MTBT” 115 minutos con un logro del 47%, reducción de 842 a 326 intervenciones disminuyéndolas en un 50%, defectos por millón de oportunidades de 1809 a 623 siendo tres veces la reducción en este rubro y una escala de Sigma de 4.43 a 4.68.

Orozco (2009), utilizó la herramienta Seis Sigma con el fin de reducir el gasto energético en una empresa llamada Semicol, así como una cultura en cuanto a la preservación energética y uso eficiente de la misma, para tal solución a este problema se desarrolla un modelo de solución de problemas llamada DMAMC, que en sus siglas significa: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

Al desarrollar cada una de las fases de esta metodología se obtuvieron diferentes resultados para cada paso, sin embargo para llegar a tener una conclusión general, se permitió la optimización del gasto energético eléctrico por tonelada gracias a los trabajadores del parque industrial de Semicol en Sabaneta, la identificación de Paretos y “X” que impactaron considerablemente el consumo por tonelada en las etapas iniciales y esto permitió, orientar más fácilmente la obtención del logro de resultados del proyecto y los modelos de gestión energética deben ser complementados con herramientas de mejora tales como Seis Sigma con el fin de optimizar el consumo energético.

Se concluye que en el anterior artículo se da información sobre distintas herramientas necesarias en el desarrollo de un proyecto con Seis Sigma, un modelo a seguir llamado DMAMC es parte esencial para encontrar diversas soluciones a problemas detectados durante

cada fase del modelo antes mencionado teniendo resultados de optimización y disminución de costos a través de la reducción del consumo energético.

Es indispensable que el proceso así como el servicio al cliente se realicen con calidad y esta aplicación la enfoca Ortiz & Galleguillos (2011), al mejorar el servicio de calidad de galvanizado junto con un análisis de información. Existen en el servicio de galvanizado de una empresa de la ciudad de Talcahuano en Chile dos problemas por resolver, en primera un control total de los procesos y en segunda un servicio de calidad al cliente, por tal motivo se elabora un proceso de mejoramiento de galvanizado, esto con el fin de detectar los puntos esenciales que provocan estos problemas, su análisis y al final una propuesta de solución.

La metodología utilizada para el desarrollo de solución es la herramienta llamada Seis Sigma, esta herramienta permitirá la reducción de la variabilidad del espesor de los recubrimientos de zinc de los materiales galvanizados, junto con esta herramienta se opta por elegir un modelo DMAIC, este modelo permitirá a través de las fases de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar llegar a una solución con mayor certeza, está a unido con otro modelo llamado DMADV que en sus siglas significa Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar, lo que dará las bases necesarias para el desarrollo de un nuevo diseño del proceso.

Desarrollando cada fase de cada modelo y utilizando sus respectivas herramientas de análisis y medición como es el diagrama causa – efecto y el análisis de modo y efecto de falla (AMEF), se llegaron a las conclusiones pertinentes y una propuesta de solución que se generó como acciones resultantes que formaron parte del plan de mejoramiento planteado.

Los resultados alcanzados en este proyecto son: disminución del espesor de recubrimiento de zinc de los materiales galvanizados, análisis de regresión realizado a los tiempos de inmersión, estandarización de procesos y modificaciones a los actuales procedimientos de trabajo y todas las acciones y procedimientos implementados siguen una línea de actuación conforme a una metodología enfocada en el cliente.

En la aplicación de la herramienta Seis Sigma, se tiene un modelo que es de gran importancia para la aplicación y desarrollo del mismo que es DMAIC, como una aportación más de un ciclo muy completo de calidad, la investigación despliega cada una de las fases de este modelo integrándolo con un sistema efectivo dando solución a los problemas antes planteados.

Extrayendo una herramienta fundamental y medular llamada Seis Sigma se encuentra una investigación desarrollada por A. Báez *et al.* (2010), en el cual se detecta un problema que es la baja resistencia a la prueba de jalón de un diodo emisor de luz (LED), de una compañía electrónica del noroeste de México, el cual es utilizado en el ensamble de teléfonos celulares.

Aplicando la metodología DMAMC, se demostró a la empresa la importancia de emprender mejoras en sus procesos basándose en técnicas estadísticas siguiendo la metodología, anteriormente las mejoras se hacían a prueba y error o recolectando una gran cantidad de muestras, de las cuales solo se analizaban su media y desviación estándar a simple vista, sin ninguna prueba estadística, por lo que las conclusiones no eran adecuadas y además los costos de estas pruebas resultaban demasiado elevados debido a que utilizaban tamaños de muestra incluso hasta de dos mil unidades.

Otro aspecto importante es que para implementar la mejora, no fue necesaria ninguna inversión, sino solamente controlar el ajuste de cada uno de los factores en los niveles establecidos. Los resultados que se lograron fueron una mejora significativa al aumentar la capacidad del proceso de 0.56 a 1.45 y un impacto en la reducción de los costos, tan solo por eliminación de desperdicios, del orden de 130 mil dólares estadounidenses anuales.

Los modelos y conocimientos de calidad permiten evolucionar a una mejora, dejando atrás una forma poco eficiente de trabajar, dando paso a nuevas formas de llevar a cabo los procesos con herramientas más avanzadas, pero sobre todo y parte fundamental del desarrollo de un Seis Sigma, es que la decisión gerencial en la toma de decisiones sea lo más seguro y preciso con el que se puedan contar como es en este caso y además contribuye a la disminución de gastos excesivos por pruebas obsoletas y poco fiables teniendo como resultado ahorros significativos.

Otras de las áreas que involucra un estudio a través de Seis Sigma es la disminución de la variación que pueda existir en un proceso tal y como lo investigó Varela *et al.* (2010), el problema que se detecta es que en la fabricación o producción de muebles se genera una variabilidad, la cual surge con la separación de marcos de las uniones a 45° del mueble de madera bufete, para la solución de este problema se optó por llevar a cabo los pasos de la metodología DMAIC.

En el desarrollo de la aplicación del modelo DMAIC se especificó cada paso del mismo haciendo una referencia de todo el estudio empleado y demostrando que haciendo uso de esta herramienta y de la metodología se obtienen buenos resultados y así se aumenta la productividad y la competitividad de las empresas. La efectividad de esta aplicación del modelo se debió a varios factores como fueron:

- Fuerte capacidad de liderazgo del equipo.
- La efectiva utilización de métricas y herramientas de mejoramiento de la calidad.
- La disposición de la gerencia de la empresa para asignar los recursos que exigía el proyecto.

Los resultados que se obtuvieron a partir del análisis anterior fueron: la separación de los marcos de unión se eliminó por completo luego de estandarizar acciones de mejora durante tres meses, se volvieron a tomar datos de la espiga así como una gráfica donde se muestra que hay poca variación confirmando esto junto con la prueba de distribución normal que arroja un valor de 0.005, lo que indica que los datos tienen una distribución normal, la capacidad del proceso mejora de 0.35 a 1.31 representando un valor sigma de 5.2 a comparación de 2.2 sigma que se tenía anteriormente, se dejó de generar tiempo extra y retrabajos para corregir la falla, además, se eliminaron los gastos de traslado, ya que si el producto presentaba la falla con el distribuidor o el usuario final, la empresa debería asumir el gasto de transporte para corregirla y por último, la empresa empieza a utilizar las distintas herramientas de Seis Sigma para empezar a corregir fallas en otros productos y procesos.

1.1.2 Aplicación del modelo DMAIC

El modelo DMAIC, que otras empresas han optado llamar DMAMC para el significado de sus siglas en español, ha sido parte indispensable en el crecimiento de la calidad de un producto o servicio, L. & A. (2003), realizaron un estudio estadístico sobre problemas generales en un centro de soporte de informática, se detectó que se puede desarrollar un proyecto con el modelo DMAIC para reducir costos de soporte y reportar un beneficio significativo en los resultados económicos del negocio, así como buscar que la atención o el servicio que el cliente recibe fuera mejorado en el sentido de reducir los tiempos de espera y los tiempos de servicio por lo que incrementara los ingresos económicos.

Se utilizaron diferentes herramientas como son: SIPOC, mapa de proceso de alto nivel, árbol Y & X, matriz causa-efecto y diagrama de espina de pescado, al final de cada fase del modelo se obtuvieron resultados con los cuales se generó una solución piloto. La solución piloto comprendió el desarrollo de etapas para su implementación, mediciones para resultados y la concientización de las personas de este plan.

Por lo cual, las llamadas del personal nuevo tomaron 7 minutos más que del personal anterior, durante el segundo mes la diferencia bajo a 2.5 minutos y en el tercer mes la diferencia quedo cerca de 1 minuto, el tiempo de espera bajo en un 10%, el nuevo personal tuvo 1.5 veces más llamadas devueltas y la satisfacción del cliente aumentó y el cambio fue significativo, por lo que la prueba piloto fue un éxito y se recomendó su total implementación.

Para una efectiva implementación de Seis Sigma para llegar a la cumbre de la calidad dentro de una empresa, se plantean diferentes pasos que llevan de la mano a un proyecto al éxito, prueba de ello es lo que analizaron Mendoza & Mendoza (2005), en Colombia se presenta una opción nueva para implementar un modelo de calidad que llegue más allá de los resultados ya conocidos por otros modelos, se analizan las fortalezas y debilidades así como las ventajas competitivas del modelo Seis Sigma; la comparación se realiza entre el modelo llevado a cabo por muchos años en Colombia que es gestión de la calidad y seis sigma, las diferencias no son

radicales pero si son basadas en este modelo y mejoradas para las necesidades actuales de las empresas, se destacaron muchas de las ventajas que tiene este modelo no solamente frente a la gestión de calidad sino que también cómo este modelo se ha desarrollado e implementado en varias de las empresas de Europa, se hace mención que lo más importante es cumplir con los estándares de calidad y la satisfacción del cliente.

También se hace destacar el proceso que una empresa debe de llevar a cabo para poder pasar de un modelo a otro, esto con herramientas que se han desarrollado también y aplicando la metodología DMAIC, como apoyo para poder generar mayores avances en cuanto a calidad se refiere dentro de las empresas, algunas herramientas necesitan de inversión para su adquisición pero se puede adecuar a los recursos que se tengan y con ello ahorrar mucho dinero y aumentar la competitividad de la empresa.

Como resultados de lo anteriormente descrito, se fortalecerá la capacidad del modelo DMAIC como herramienta para crear valor en las empresas, ingrediente imaginativo que se necesita incorporar para aplicar en la etapa de analizar, con el fin de generar causas de los problemas y en la mejora (rediseñar) en el desarrollo de alternativas de solución de los mismos.

En la actualidad, ya se cuentan con software que permite simular todos los eventos que puedan pasar o lo que está pasando en el proceso y con ello corregir los fallos, Ocampo & Pavón (2012), complementaron este ciclo de mejora junto con un software de simulación de eventos discretos llamado Flexsim.

Actualmente se tiene el modelo Seis Sigma junto con la metodología DMAIC como la forma estándar de resolver problemas operacionales y de diseño tanto en la manufactura como en los sistemas de servicio, sin embargo, el problema que se plantea es que estas herramientas adolecen de otras herramientas complementarias de simulación y optimización que tomen con consideración la complejidad asociada con distribuciones estadísticas que no son normales, fallos aleatorios, etc.

Para asociar estas herramientas a un solo modelo, se hizo la contribución de analizar la metodología DMAIC en conjunto con un programa de simulación llamado Flexsim, en el desarrollo del análisis de cada una de las partes se pudo observar que las dos pueden trabajar en conjunto para obtener un resultado factible y más seguro, que si solo se aplicara una de las dos herramientas, por lo que la metodología nueva llevara el nombre de DMAIC – SIM con el cual se listan cinco pasos a seguir y coinciden con los pasos naturales del DMAIC.

Como resultado de esta metodología, se debería permitir que aquellas personas con entrenamiento de Seis Sigma (Green y Black Belts), puedan incorporar la simulación de eventos discretos de manera decidida a sus estudios de mejora y se pretende después que se publiquen los resultados al utilizar estas dos metodologías unidas para un proceso más completo de mejora.

1.1.3 Aplicación de la Manufactura Esbelta

Fortuny *et al.* (2008), comenta que actualmente las empresas tienen diferentes metodologías de calidad en busca de la mejora continua, sin embargo, algunas de ellas fracasan puesto que no tienen los pasos necesarios para su buena implantación. Por lo tanto, esta es una metodología la cual facilita este tipo de trabajo y además contribuye a complementar la gestión lean para su uso y aplicación.

Al respecto, existen diferentes herramientas como son Lean Thinking de Womack y Jones (1996), manual de lean aerospace initiative de Hines Taylor (2000) y Going Lean de Crabill et al., (2000), a partir de esto, se realizó una tabla o cuadro comparativo en donde se destacan las diferentes etapas que cada manual tiene para la implantación de la gestión lean Se destaca también el objetivo de la implantación dando una breve explicación de los puntos como por ejemplo eliminación de actividades que no aportan valor añadido e introducción de flexibilidad, por lo que con todas estas herramientas se propone un esquema de las fases de la metodología, entre ellas se encuentra recogida de datos, formación acerca de Lean Manufacturing, análisis de las operaciones y su flujo, trazado de value stream map actual, fase

central de estudio y diseño, trazado de value stream map futuro y por último fase de implantación final.

Teniendo ya una metodología acoplada a partir de las herramientas que se tenían de tres metodologías vistas anteriormente, se presentan tres casos. Al final se obtuvieron resultados favorables en cada uno de los casos, por lo que se concluye que se detallaron las siete fases de la transformación y se presentan los resultados que se han conseguido con su aplicación y se valida con esto que es la mejor forma de implantar la gestión lean en las empresas de forma eficaz y en periodos de tiempo relativamente cortos.

Se destaca que en esta investigación se realiza una comparación con los diferentes modelos y/o pensamientos de Manufactura Esbelta, donde se extrae lo mejor de cada uno de ellos implementándolo como pruebas en empresas y se concluye que este tipo de pensamiento da el éxito necesario a cualquier empresa posicionada en la competencia mundial que existe día con día.

En la investigación de Benchmarking sobre manufactura esbelta en el sector de la confección desarrollada por Posada, Herrera & Martínez (2010), mencionan la inquietud de aplicar un cuestionario de 40 preguntas a 30 empresas del sector de confección con el fin de evaluar la aplicación de diferentes técnicas de manufactura esbelta en varios sectores productivos de la industria colombiana. Al finalizar la aplicación de estos cuestionarios se realizó una tabla comparativa de las diferentes herramientas de manufactura esbelta en la cual se observa que herramientas como 5S, TPM, Fabrica Visual y Seis Sigma son las que más se usan en este sector de la confección. En los años 2008 y 2009 se tuvo una crisis que impacto y generó pérdidas económicas de US\$80 millones, por lo que a través de la metodología de cinco pasos propuesta por Spendolini (1994), los cuales se mencionan a continuación: Determinar a qué se le va hacer benchmarking, formar un equipo benchmarking, identificar los socios benchmarking, recopilar y analizar la información de benchmarking y actuar.

La conclusión fue que la calificación general promedio es de 61.17% el cual es un resultado por encima del nivel mínimo aceptado, sin embargo, es muy deficiente al compararlo con empresas de categoría mundial, mientras que la implementación de herramientas de manufactura esbelta se encuentra en un 62.28% de implementación, valor menor al nivel de categoría mundial, por lo que se hace la sugerencia de implantar planes de mejoramiento basados en técnicas de Manufactura Esbelta y es necesario que la alta gerencia decida incluir la filosofía Manufactura Esbelta como estrategia de competitividad.

Un aporte importante es que hacen resaltar las herramientas de Manufactura Esbelta, las cuales son importantes para el desarrollo de una mejora continua a través de Seis Sigma, esto en conjunto con los cinco pasos de Spendolini (1994), permiten generar una toma de decisiones confiable y así junto con el apoyo de alta gerencia se fortalezcan las relaciones dentro de la empresa y así llevarla a un nivel de excelencia.

Juárez *et al.* (2011), detectó un problema donde se presenta la necesidad de precisar las ideas sistémicas de la propuesta sobre generalización y complejidad en la aplicación del paradigma de la manufactura esbelta a empresas en México, por lo que la solución de este problema es tomar en cuenta la Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing). Se desarrollaron varios elementos como el paradigma de jalar donde se presentan las especificaciones, variantes del producto y las cantidades que establecen los clientes, justo a tiempo y por último el mantenimiento productivo total.

Por lo cual, al utilizar la manufactura esbelta como un enfoque de sistema, se obtuvieron resultados en donde se ha comprobado que este enfoque es ineludible para comprender los fenómenos que en él ocurren, por lo que se tiene un modelo de mejora de los procesos productivos para las empresas mexicanas, quedando en manifiesto que se necesita un sustento de enfoque de sistemas y del caso analizado se ha podido observar que no hay linealidades de las variables, la necesidad de precisar la medida de desempeño adecuada, la correcta interpretación estadística de los experimentos en función de los aspectos aleatorios y la selección de los parámetros por someter a propuestas de mejora.

1.2 Marco teórico

1.2.1 Seis Sigma

Para Morato (2009) Seis Sigma se utiliza para representar la medida estadística de desviación estándar, la cual es una medida de variación. Seis Sigma es una metodología estructurada de resolución de problemas, con un enfoque basado en el conocimiento para reducir variabilidad y crear valor.

El programa de desarrollo de los proyectos Seis Sigma se centran en usar una metodología de solución de problemas llamada DMAMC. El significado de cada una de estas letras es:

- **Definir:** definición del problema, requerimientos de los clientes, objetivos, métricas y meta.
- **Medir:** medición de defectos y documentación del proceso.
- **Analizar:** análisis de datos de proceso y encuentro de factores vitales que afectan la respuesta deseada del proceso y/o proyecto.
- **Mejorar:** implemento de mejoras de proceso y eliminación de las causas de los defectos y problemas.
- **Controlar:** control del desempeño del proceso y aseguramiento de que los defectos y problemas no ocurrirán de nuevo.

Por otro lado, Varela & Tolamatl (2010) comentan que Seis Sigma ha demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar la productividad y calidad en una amplia gama de procesos productivos y, por consiguiente, ha permitido generar impactos favorables desde el punto de vista económico. Una de sus principales características es la rapidez con que se obtienen resultados; aplicándolo de manera sistemática, se obtienen diversos beneficios como son: un éxito sostenido, ayuda a definir un objetivo de rendimiento, aumenta el valor para el cliente, acelera la tasa de mejora, propicia el aprendizaje y lleva a cabo un cambio estratégico.

La metodología Seis Sigma ofrece una forma de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de productos y servicios fuera de especificación; también significa mejorar continuamente y se considera una meta porque un nivel de calidad Seis Sigma significa estadísticamente tener 3.4 defectos por millón.

Seis Sigma también es según Varela & Tolamatl (2010), una estrategia gerencial, disciplinada y altamente cuantitativa, donde una de sus principales características es la necesidad de disponer de información cuantitativa y veraz respecto del desempeño de los procesos y productos.

Los orígenes y muchas de las herramientas de Seis Sigma se basan en las enseñanzas de pensadores influyentes en la calidad, como W. Edwards Deming y Joseph Juran; el enfoque al cliente, la toma de decisiones basada en hechos y datos, la necesidad de análisis, la filosofía de cero defectos, son algunos ejemplos. Estos orígenes han ocasionado que se confunda a Seis Sigma como algo similar a calidad total; sin embargo, Seis Sigma usa herramientas que emplean calidad total, así como una amplia gama de las mejores prácticas y habilidades empresariales.

Una de las características de Seis Sigma es que hace énfasis en el entrenamiento y capacitación eficaz del personal involucrado en el proyecto, para entender lo que significa el valor para los clientes, y no se refiere solo a la calidad del servicio y entrega, sino al acoplamiento entre los procesos y los beneficios financieros. Seis Sigma es un enfoque hacia la calidad total orientado a resultados a través de proyectos. Es una forma de medir y establecer metas para reducir los defectos en productos o servicios que se relacionan directamente con los requerimientos de los clientes. Representa una métrica y una filosofía de trabajo y meta. Como métrica, Seis Sigma representa una manera de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de productos o servicios fuera de especificación.

El personal que interviene en el proyecto debe recibir entrenamiento necesario sobre las herramientas de calidad y métodos estadísticos; por otro lado, la experiencia en la aplicación

de Seis Sigma permite reconocer niveles de conocimiento y destreza, denominándose cinturones negros, verdes o amarillos; dichos colores representan el nivel de intervención y responsabilidad en el proyecto. Para iniciar las actividades en un proyecto Seis Sigma se deben de considerar las características siguientes: el proyecto debe ser ligado a las prioridades del negocio y relacionado con algún parámetro importante para el cliente, debe ser entendible y alcanzable para la organización, contar con el apoyo de la administración y la alta gerencia, y tener un impacto financiero y el establecimiento de la métrica que puedan ser utilizadas para fijar metas al proyecto.

En un proceso industrial interactúan materiales, máquinas, mano de obra, mediciones, medio ambiente y métodos; estos elementos influyen en la variabilidad y calidad de la salida de un proceso, esta variabilidad se traduce en operaciones y productos fuera de especificación; por ello, es importante controlar estas variables. El alcanzar una calidad Seis Sigma significa que la variabilidad del proceso está controlada.

Mendoza & Mendoza (2005), determinan que los aspectos positivos de Seis Sigma se centran en su énfasis en llegar a cero defectos, es decir, 3.4 defectos por millón, o menos, esto es lo que le da identidad a esta herramienta, por lo cual puede ser considerada como el esfuerzo más grande realizado para llegar a la perfección, y esto lo hace sin perder de vista al cliente, por el contrario, se concentra en él. Para lograr esa meta, Seis Sigma apela al uso de herramientas que emplean intensamente el conocimiento, tales como el método científico, el proceso de solución de problemas, técnicas estadísticas y también utiliza recursos lógicos básicos como análisis de Pareto y diagramas causa-efecto, pero en su etapa desarrollada echa mano de estadística avanzada, usando prueba de hipótesis, regresión, análisis de varianza y diseño experimental. Eventualmente Seis Sigma incorpora herramientas de creatividad como la tormenta de ideas, pero esto es menos destacado. También exige el manejo de competencias de trabajo en grupo y liderazgo.

Eventualmente Seis Sigma busca la aplicación de la innovación en los procesos a través del rediseño de los mismos (Pande, Neuman y Cavanagh, 2002); sin embargo, este punto no es

claro, pues la insistencia en cero defectos se fundamenta en el trabajo de mejoramiento, tópico tradicional en los sistemas de calidad, el cual excluye la innovación radical. En esta última materia Seis Sigma, de todas maneras, debe tomar prestado de la reingeniería para poder operar con éxito.

El aspecto clave de la creación de valores es realmente la insistencia en el cliente, que es lo que da el toque la diferenciación a las empresas frente a los rivales, lo cual se inicia con el estudio de las necesidades y requerimientos del consumidor, los cuales se convierten en los puntos de mínimo y máximo a la hora de juzgar y controlar la capacidad de los procesos.

Para efectos de competitividad, Seis Sigma es también muy importante debido a su fundamentación en la eliminación de desperdicio y la reducción de los costos de la falta de calidad. Este tópico es fundamental porque permite a la empresa competir por la vía de los costos; pero de igual manera, la técnica ataca el problema de la calidad y la agilidad, tocando, de contera, el punto de aumento de la productividad, es decir, conjugando todos estos ingredientes hace una contribución fuerte a la competitividad. Esto permite también medir la importancia estratégica de ella, lo que apunta la atención que debe brindar la gerencia a su implantación.

Seis Sigma aporta así mismo un enfoque hacia la acción, no trata sólo de análisis y estudio, sino que se orienta a la práctica, y ello se logra a través del establecimiento de objetivos muy específicos (metas), concreción de las acciones que se van a llevar a cabo, establecimiento de métricas, desarrollo de cronogramas y su seguimiento y la mira puesta siempre en los resultados.

De la misma forma, fortalece la capacitación y el entrenamiento de la gente involucrada en el trabajo de mejoramiento y la dedicación de tiempo al desarrollo de los proyectos, todo encaminado al logro de resultados específicos. Estos se alcanzan también por la concentración que la técnica hace en los puntos críticos, los denominados pocos elementos vitales, que obviamente son los tributarios vigorosos a los resultados.

Un aspecto importante de Seis Sigma es la filosofía de cero defectos, la cual se puede condensar en el programa “fanáticos” de Crosby (1990). El programa ideado por este autor para premiar a las organizaciones que le dedican su mayor empeño a la calidad de sus productos, utiliza el nombre de fanáticos porque estas firmas (y sus ejecutivos) deben ser apasionados por la calidad. Comenta: “Los fanáticos se divierten más que quienes sólo trabajan a un ritmo normal”.

Para llegar a ser un fanático, las compañías deben cumplir ocho normas en el proceso de calidad:

- **Formule una estrategia de cero defectos:** la empresa debe aceptar que los productos y procesos pueden ser perfectos.
- **Anuncie una política de calidad clara y específica:** esta política no debe dejar espacio para dudas o malas interpretaciones. Además debe ser conocida y comprendida por todos los empleados.
- **Norme el compromiso de la dirección por medio de acciones:** los directivos deben mantenerse firmes con el compromiso de cero defectos. Los empleados siempre van a estar alertas con el mínimo detalle defectuoso, para derrocar la ambiciosa meta de calidad. Por lo tanto, la dirección no debe dejarse presionar por el tiempo o el dinero, para alcanzar altos márgenes de calidad.
- **Asegurarse de educar a todos en calidad:** los empleados deben aprender los principios y herramientas de la administración para la calidad.
- **Termine por eliminar cualquier requisito aceptable de calidad:** el propósito es eliminar todo aquello que está mal y evitar que se repita. Nunca se aprueba un incumplimiento de calidad.

- **Insista en que sus proveedores hagan lo mismo:** es necesario comprometer a los proveedores en el objetivo de cero defectos. Ellos deben convertirse en fanáticos de calidad.
- **Convenza a todos que dependen unos de otros:** la compañía debe actuar como un sistema integrado, los empleados deben responsabilizarse de hacer lo que les corresponde. Igualmente, necesitan de mediciones y retroalimentación constante.
- **Obtenga la satisfacción del cliente:** para tener éxitos hay que satisfacer totalmente al cliente.

Para Bahena & Reyes (2006), el nivel sigma es utilizado como medida dentro del Programa Seis Sigma, incluyendo los cambios o movimiento “típicos” de 1.5σ de σ la media como se ve en la tabla 1.1. Las relaciones de los diferentes niveles de calidad sigma no son lineales, ya que para pasar de un nivel de calidad a otro, el porcentaje de mejora del nivel de calidad que se tiene que realizar no es el mismo, cuando avanzamos a un nivel mayor el porcentaje de mejora será mas grande, esto lo podemos observar en la tabla 1.2.

Tabla 1.1 Porcentaje de mejora requerido para cambiar un nivel sigma a otro mayor.

Nivel actual	Cambio	Porcentaje de mejora requerido
3σ	4σ	10x
4σ	5σ	30x
5σ	6σ	40x

Fuente: Curso de Seis Sigma, Bahena & Reyes, 2006

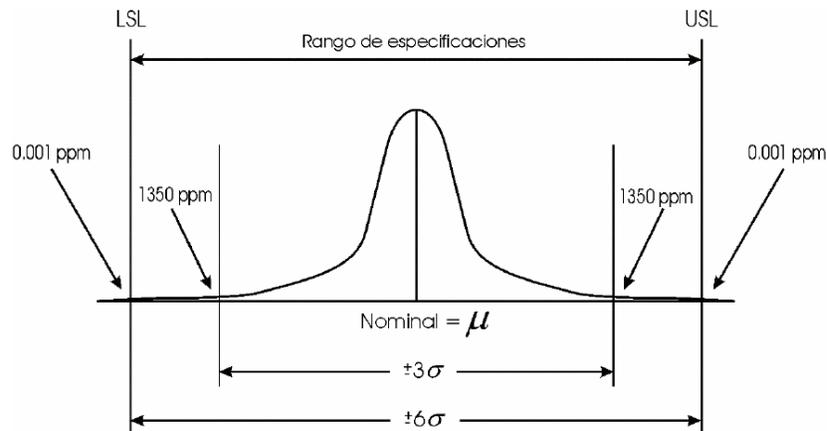
Tabla 1.2 Cantidad de defectos por cada nivel sigma.

Nivel en sigma	Defectos por millón de oportunidades
6	3.4
5	233.0
4	6,210.0
3	66,807.0
2	308,537.0
1	690,000.0

Fuente: Curso de Seis Sigma, Bahena & Reyes, 2006

Realizando un comparativo del nivel de calidad sigma de varias empresas se determinó que el promedio de estas se encuentra en el nivel de cuatro sigma. Las empresas con nivel 6σ son denominadas de “Clase Mundial” (World Class). El objetivo de la implementación Seis Sigma es precisamente convertirse en una empresa de Clase Mundial. En la siguiente figura se muestra el concepto básico de la métrica de Seis Sigma, en donde las partes deben de ser manufacturadas consistentemente y estar dentro del rango de especificaciones.

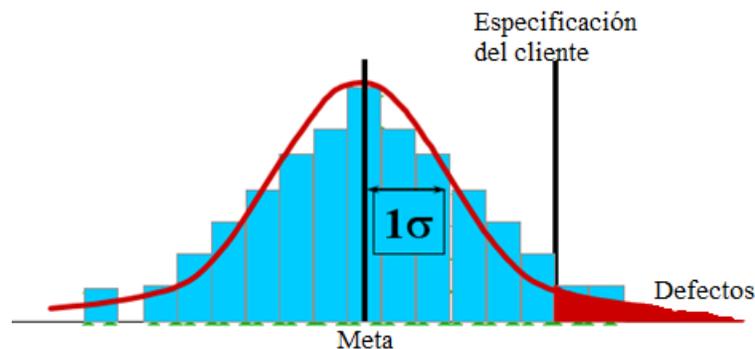
Figura 1.1 Distribución normal que muestra los parámetros de los niveles de 3 sigma y 6 sigma.



Fuente: Curso de seis sigma, Bahena & Reyes, 2006

Con la distribución normal centrada dentro de los límites de 6σ , se tendría únicamente una porción de 0.002 ppm. Complementando la información anterior, General Electric (1998) explica el concepto de Seis Sigma con las gráficas 1.2 a la 1.6:

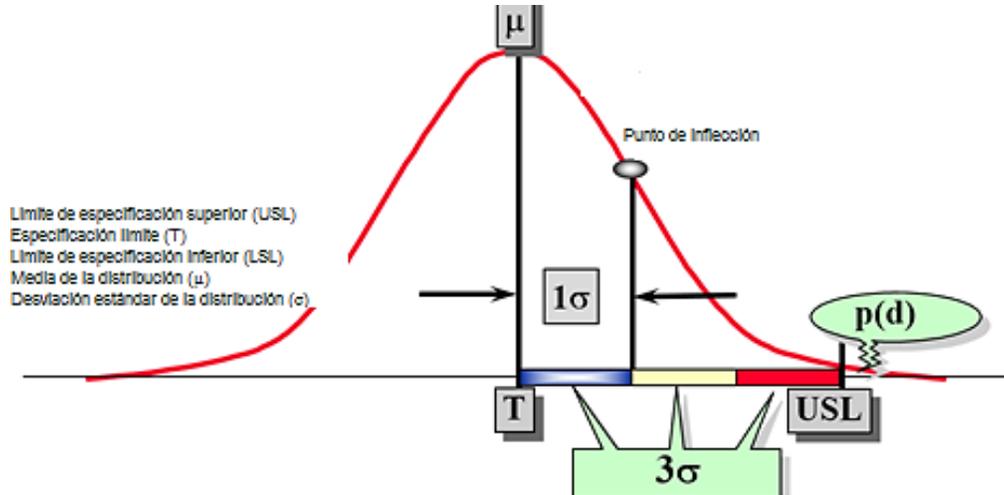
Figura 1.2 Medición de Seis Sigma.



Fuente: General Electric, 1998

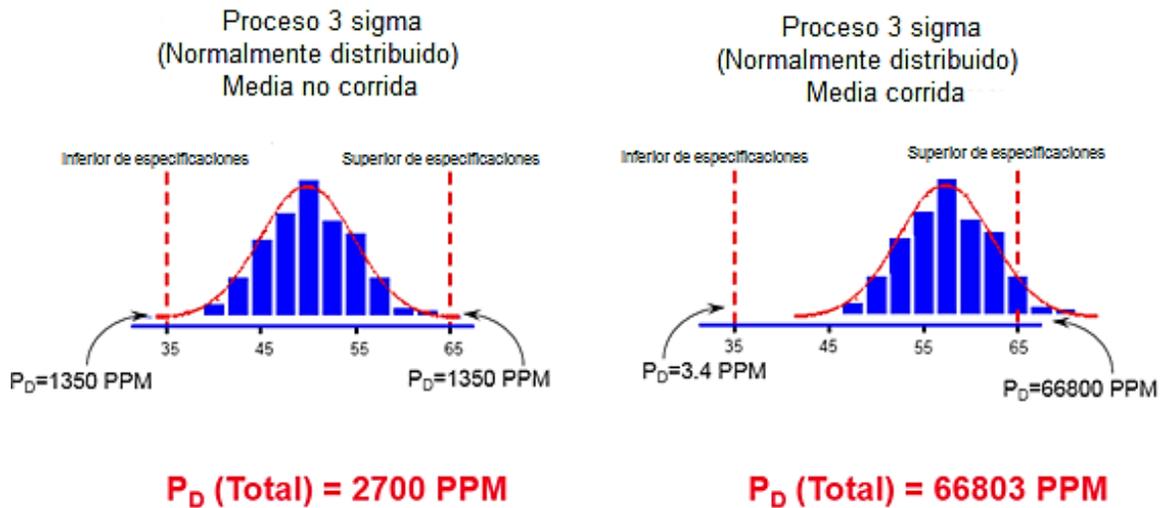
El término “sigma” se usa para designar la distribución o la dispersión respecto a la media (promedio) de cualquier proceso o procedimiento. Para una empresa o proceso de manufactura, el valor de sigma es una medida que indica que tan bien se comporta un proceso, un defecto es cualquier cosa que resulte en la insatisfacción del cliente.

Figura 1.3 Desviación estándar.



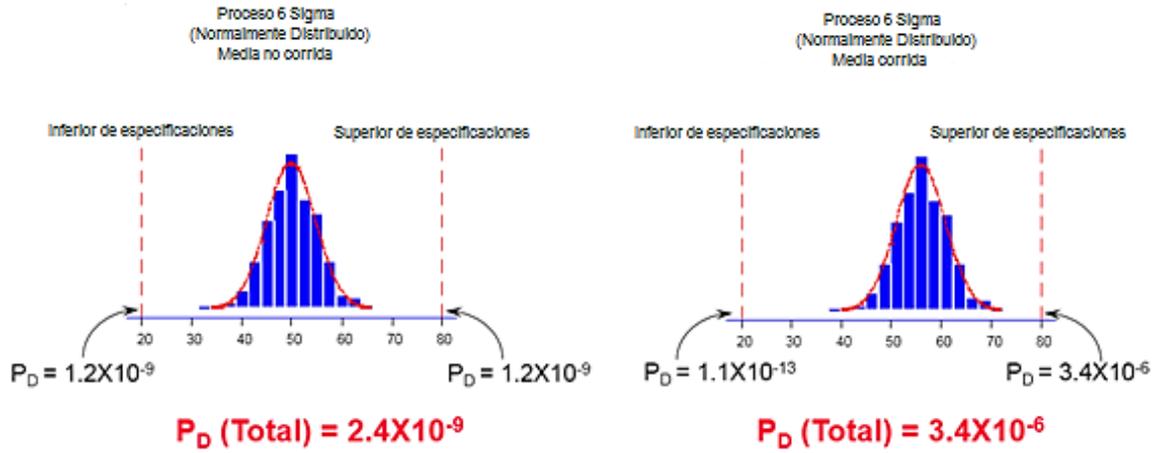
Fuente: Used With Permission, 6 Sigma Academy Inc., 1995

Figura 1.4 Comparación de media corrida y no corrida en 3 sigma.



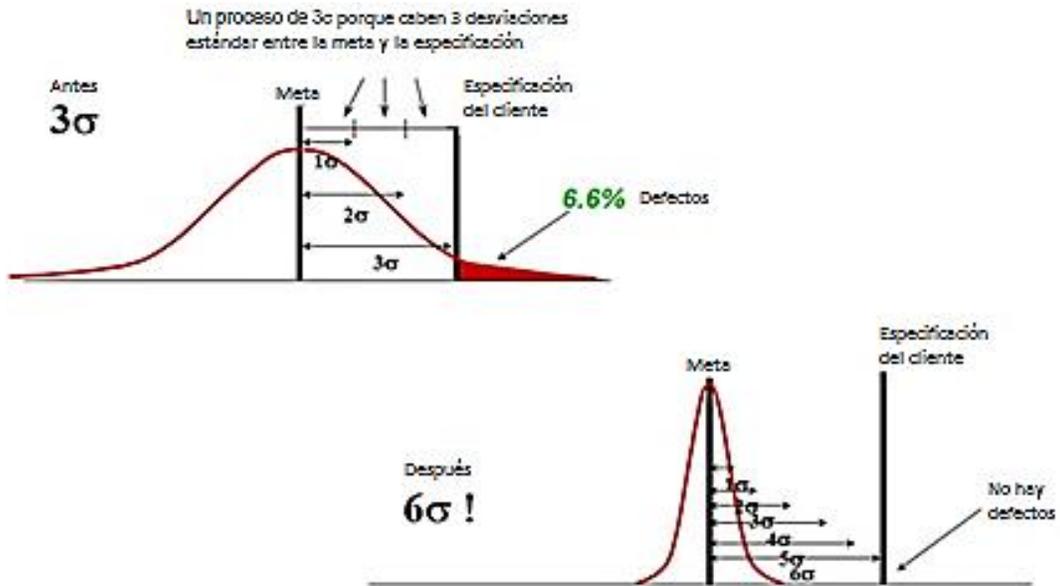
Fuente 6 Sigma Academy Inc., 1995

Figura 1.5 Comparación de media corrida y no corrida en 6 sigma.



Fuente 6 Sigma Academy Inc., 1995

Figura 1.6 Comparación entre 3 sigma y 6 sigma.



Fuente: 6 Sigma Academy Inc., 1995

Las mediciones de Seis Sigma por medio de las definiciones básicas mencionada por Bahena y Reyes (2006) son:

Tabla 1.3 Mediciones y definiciones de Seis Sigma.

Nombre	Descripción	Formula
Unidad (U)	Es un artículo producido o procesado	
Defecto (D)	Cualquier evento que no cumpla la especificación de un CTQ	
Defectuoso	Una unidad que tiene uno o más defectos	
Defectos por unidad (DPU)	Es la cantidad de defectos en un producto	$DPU: \frac{D}{U}$
Oportunidad de defectos (O)	Cualquier acontecimiento que pueda medirse y de una <i>oportunidad</i> de no satisfacer un requisito del cliente	
Defectos por oportunidad (DPO)		$\frac{D}{U \times O}$
Defectos por millón de oportunidades (DPMO)	Es el número de defectos encontrados en cada millón de unidades	DPMO: DPO x 1,000,000
Capacidad del proceso	Capacidad del proceso para cumplir especificaciones o requerimientos del cliente	
Rendimiento estándar o de primera pasada Y_{FT}	Es el porcentaje de producto sin defectos antes de realizar una revisión del trabajo efectuado	$Y_{FT}: (1-DPO) * 100$
Rendimiento al final o de la última pasada Y_{LT}	Es el porcentaje de producto sin defectos después de realizar la revisión del trabajo	
Rendimiento real o estándar (Y_{RT})	Mide la probabilidad de pasar por todos los subprocesos sin un defecto, se determina con el producto del resultado de cada paso, es un rendimiento sensible a pasos y defectos en los pasos	
Rendimiento Normal (Y_N)	El rendimiento normal mide el promedio de rendimiento por los pasos del proceso. Es el promedio exponencial basado en el número de pasos del proceso, no es un promedio aritmético	$Y_N: \sqrt[n]{Y_{RT}}$
n	Número de pasos en el proceso	

Fuente: Curso de Seis Sigma, Bahena & Reyes, 2006

Cuadro 1.1 Rendimientos.

Rendimiento real o estándar (Y_{RT})	Rendimiento al final (Y_{FT})
Rendimiento tomado en cada paso del proceso oportunidad	Rendimiento al final del proceso
Rendimiento antes de la inspección o la prueba	Es el rendimiento después de la inspección ó la prueba
Incluye retrabajo y desperdicio	Excluye el retrabajo y el desperdicio
Siempre < Y_{FT}	Siempre > Y_{RT}
Observa la calidad de todas las partes que conforman el producto terminado.	Sólo observa la calidad del producto terminado

Fuente: Curso de seis sigma, Bahena & Reyes, 2006

Cuadro 1.2: Calculo de sigma del proceso: Método 1.

Actividad	Símbolo
1. Determinar el número de oportunidad de defectos por unidad	O=
2. Determinar el número de unidades procesadas	N=
3. Determinar el total de numero de defectos hechos (incluir defectos hechos y después reparados)	D=
4. Calcular los defectos por oportunidad	(DPO): $\frac{D}{U \times O}$
5. Calcular Yield	$Y_{FT}: (1-DPO) * 100$
6. Buscar Sigma en la Tabla del Sigma del proceso	Sigma del proceso =

Fuente: Curso de seis sigma, Bahena & Reyes, 2006

1.2.2 Modelo DMAIC

A continuación se describen las etapas de este modelo, así como las herramientas a aplicar en cada una de ellas.

1.2.2.1 Primera fase Definir

En esta fase se define de manera precisa el problema, así como los objetivos y cómo será el impacto que tendrá el proyecto en la empresa.

Herramientas para su aplicación:

1.2.2.1.1 SIPOC

Se utiliza para dar visibilidad al alcance del problema al que nos enfrentamos, es decir, cuáles son los límites del proyecto, qué áreas participan en el proceso, dónde puedo encontrar los miembros de equipo más idóneos para entender el problema, etc.

Es una herramienta que consiste en un diagrama, que permite visualizar el proceso de manera sencilla y general. Este esquema puede ser aplicado a procesos de todos los tamaños y todos los niveles, incluso a una organización completa (Tovar & Mota, 2007).

Cuadro 1.3 Diagrama SIPOC.

Proveedor	Insumos	Proceso	Salidas	Cliente
S	I	P	O	C
Supplier	Input	Process	Output	Customer

Fuente: Tovar & Mota, 2007

Proveedores e insumos: Para poder identificar a los proveedores se comienza por definir en dónde inicia el proceso y los insumos que se necesitan.

Proceso: Esta parte del SIPOC se desarrollará con bloques que representan actividades o grupos de actividades principales (conocidas también como subprocesos), que transforman los insumos en salidas. Este esquema por bloques es solo una imagen global, un esqueleto y no una descripción detallada y completa del proceso.

Salidas y clientes: Se determinan los productos que se procesan los cuales son las salidas y los clientes a los que se les entregan estos mismos.

1.2.2.1.2 Diagramas de Pareto

La popular ley de Pareto se expresa en el dicho de que el 80% de los problemas de una empresa provienen tan sólo del 20% de las causas. Basándose en algo tan sencillo, los diagramas de Pareto identifican y eliminan ese 20% de causas que es responsable de casi todos los problemas. Simplemente es un gráfico en el que las causas identificadas son agrupadas conceptualmente hasta que respondan el 80% de los problemas (Montero, 2007).

Los pasos a seguir para la elaboración de este diagrama son los siguientes:

Paso 1.- Identificar el problema: Identificar el problema o área de mejora en la que se va a trabajar.

Paso 2.- Identificar los factores: Elaborar una lista de los factores que pueden estar incidiendo en el problema, por ejemplo, tipos de fallas, características de comportamiento, tiempos de entrega.

Paso 3.- Definir el periodo de recolección: Establecer el periodo de tiempo dentro del cual se recolectarán los datos: días, semanas, meses.

Paso 4.- Recolección de datos: Se describen cuáles son las causas y con qué frecuencia aparecen.

Paso 5.- Ordenar datos: Se ordenan los datos conforme a la frecuencia con que suceden.

Paso 6.- Cálculo de los porcentajes: Obtener el porcentaje relativo de cada causa o factor, con respecto a un total por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje relativo} = \frac{\text{Frecuencia de la causa}}{\text{Total de frecuencia}}$$

La suma de los porcentajes debe ser igual al 100%.

Paso 7.- Cálculo de los porcentajes acumulados: Se suma en forma consecutiva los porcentajes de cada factor. Con esta información se señala el porcentaje de veces que se presenta el problema y que se eliminará si se realizan acciones efectivas que supriman las causas principales del problema.

Paso 8.- Identificar los ejes: En el eje horizontal se anotan los factores de izquierda a derecha, en orden decreciente en cuanto a su frecuencia, el eje vertical izquierdo se gradúa de forma tal que sirva para mostrar el número de datos observados (la frecuencia de cada factor), el eje vertical derecho mostrara el porcentaje relativo acumulado.

- Dibujar las barras: Trazar las barras o rectángulos correspondientes a los distintos factores. La altura de las barras representa el número de veces que se presentó el factor, se dibujan con la misma amplitud, una tras otra.

- Graficar los porcentajes: Colocar los puntos que representan el porcentaje relativo acumulado, tomando en cuenta la graduación de la barra vertical derecha; los puntos se colocan partiendo desde el origen y después en la posición que corresponde al extremo derecho de cada barra, y se traza una curva que una dichos puntos. En esta forma queda graficada la curva del porcentaje relativo.

- Decidir los factores a considerar: Decidir si se va a atacar la barra de mayor tamaño, o bien trazar una línea hasta la curva que muestra los porcentajes acumulados, y de allí bajar una línea hasta el eje horizontal, para identificar los “pocos vitales”. (Montero, 2007)

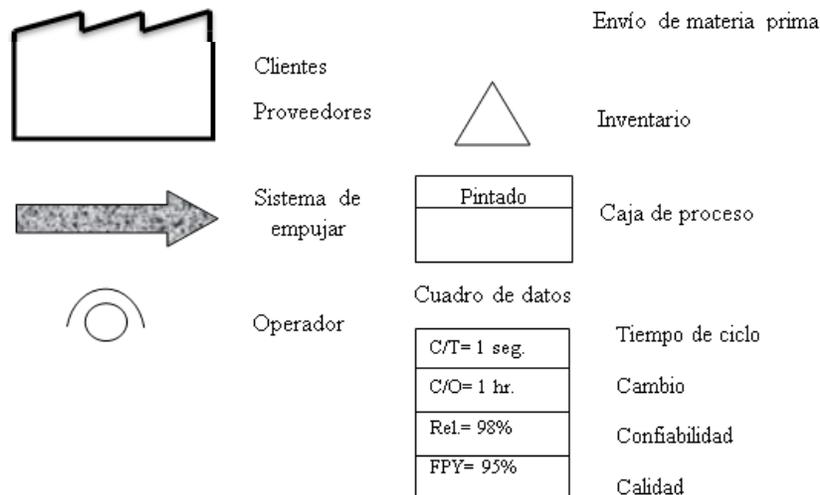
1.2.2.2 Segunda fase Medición

1.2.2.2.1 Mapa de la cadena de valores (VSM)

Un mapa de la cadena de valor es una representación gráfica que muestra todas las acciones que se llevan a cabo en un proceso. En el mapa se identifican cuáles de éstas agregan valor, o sea, las acciones necesarias para entregar lo que el cliente quiere. Además muestra los flujos de materiales y de información necesarios para transformar la materia prima en un producto para cumplir las órdenes que envía el cliente. Es una herramienta central del Sistema de Producción Toyota que es conocido como “Mapeo del flujo de materiales e información”.

En si el mapeo es una mejora continua que se hace, visualizando siempre de partida el estado actual de la empresa, analizar en qué partes se requiere mejorar, anotarlas en un programa de actividades llevarlas a cabo; con esto se está generando un mapeo de cadena de valor futuro. Se llama futuro, porque es como en un futuro se desea que este la empresa con los cambios aplicados (Rojas, 2005).

Simbología utilizada para la realización del mapa de cadena de valor



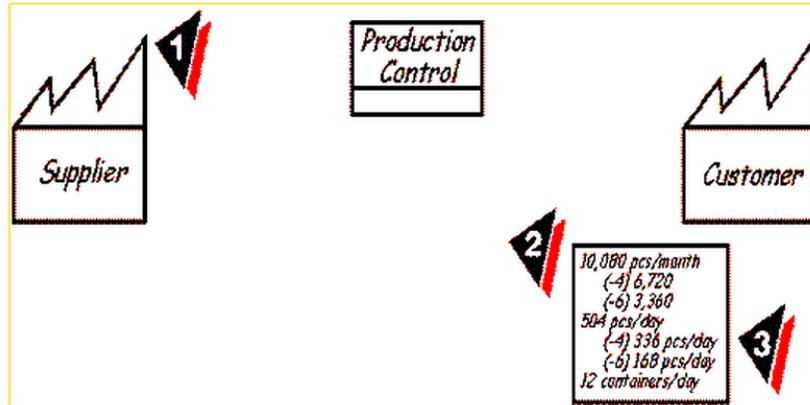
Tiempo de ciclo (C/T): Tiempo que transcurre entre la salida de dos partes consecutivas (tiempo que pasa entre la fabricación de una pieza o producto completo y la siguiente).

Tiempo de cambio o de preparación (C/O – para cambiar de un producto a otro)

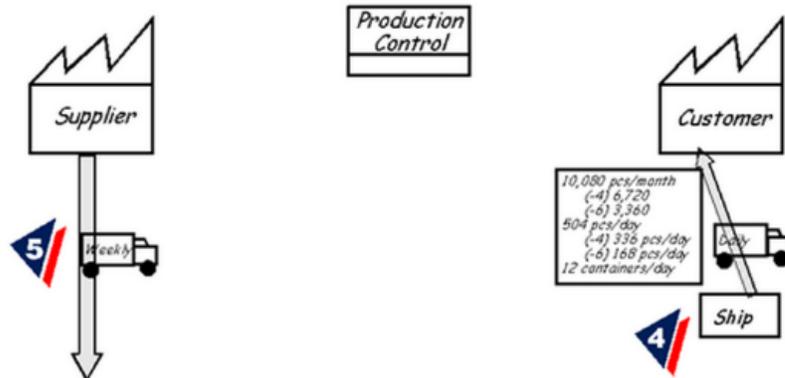
Tiempo disponible de la máquina (de acuerdo a la demanda)

Capacidad del equipo: (tiempo disponible/tiempo ciclo * porcentaje de disponibilidad del equipo), sin tiempos de cambio de tipo.

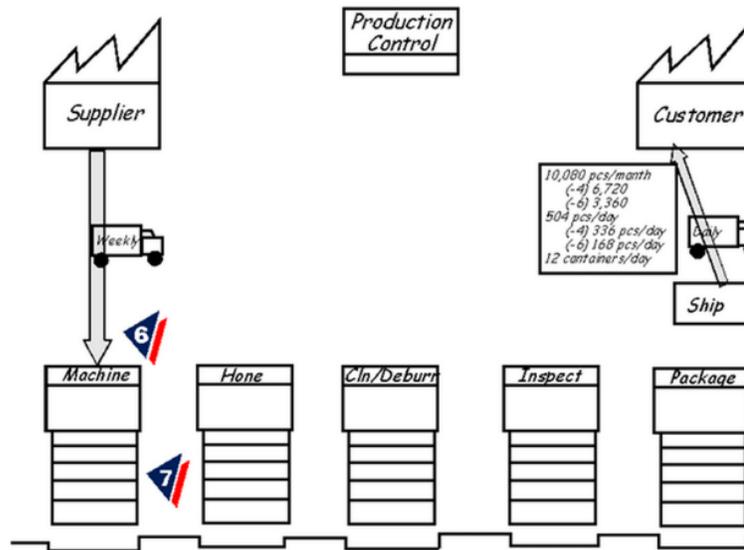
1.2.2.2.2 Desarrollo de un mapeo de cadena de valor de estado actual



- 1.- Dibuje el icono del proveedor, cliente y control de producción.
- 2.- Coloque los requerimientos por día y por mes.
- 3.- Colocar la producción diaria y sus requerimientos.

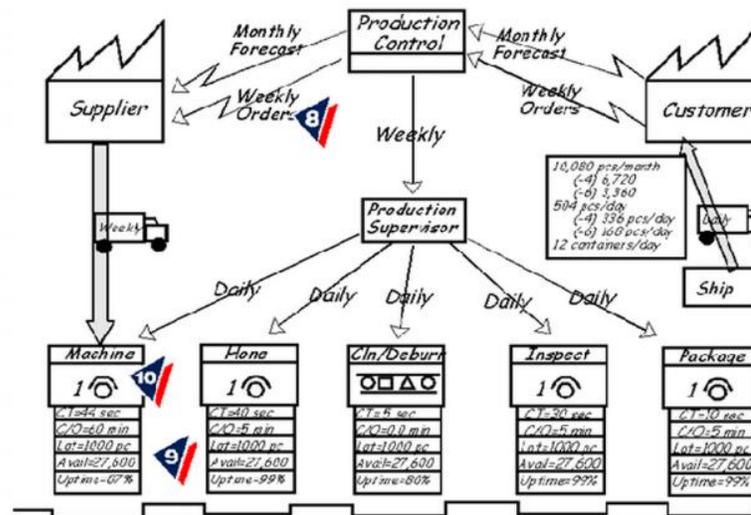


- 4.- Dibuje el icono del envío que sale al cliente y dentro la frecuencia de entregas.
- 5.- Dibuje el icono de la entrega al proveedor y dentro la frecuencia de entrega.



6.- Agregar los iconos del proceso en orden de izquierda a derecha.

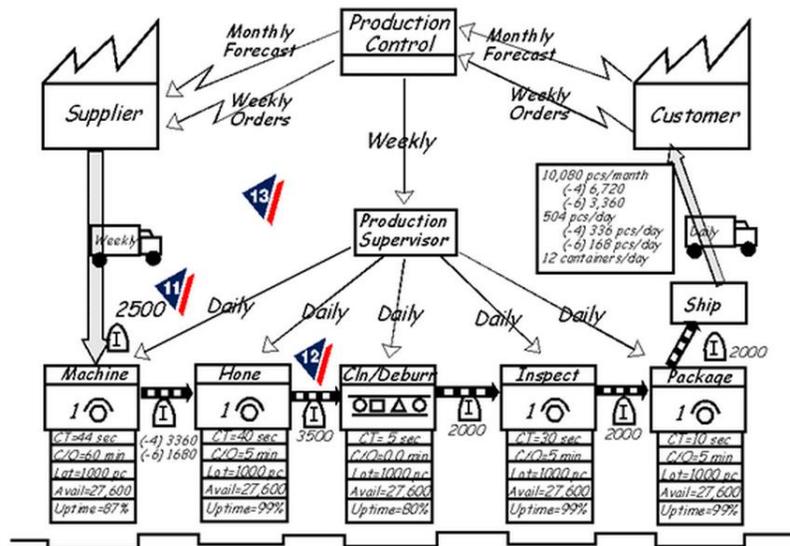
7.- Agregar los iconos de información debajo de cada proceso.



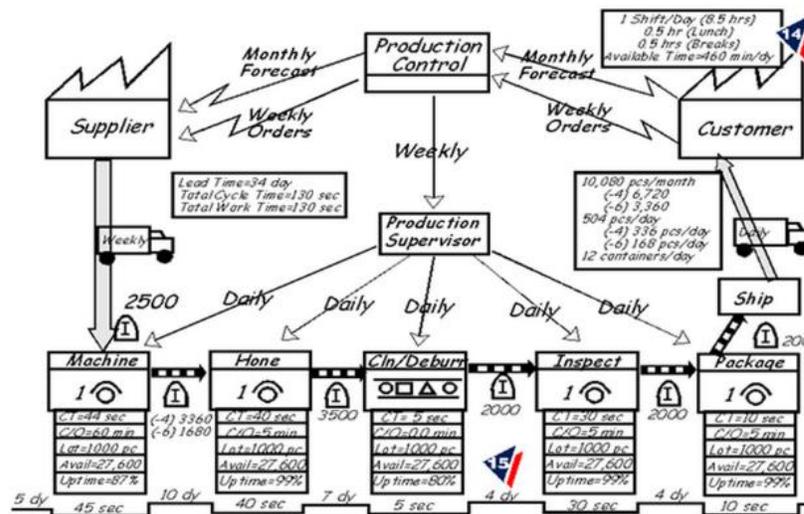
8.- Agregar los iconos de comunicación e información y frecuencia en que se ejecuta.

9.- Obtener la información del proceso y agregarla en la caja de texto correspondiente.

10.- Agregar iconos y cantidad de operadores.



- 11.- Agregar iconos de inventarios y días.
- 12.- Agregar iconos de empuje y PEPS (Primeras Entradas, Primeras Salidas).
- 13.- Agregar alguna otra información que se útil al proceso.



- 14.- Agregar las horas del proceso.
- 15.- Revisar los ciclos del proceso esbelto.
- 16.- Calcule el tiempo del ciclo total y los días requeridos.

1.2.2.2.3 Mapeo del proceso

Es una metodología que permite orientar y redefinir los principales elementos del proceso para la reinención del mismo de acuerdo a lo que el cliente considera de valor. Conocer el mapa del proceso permite planear e identificar los elementos de entrada y salida para mejorar su diseño y operación entre los aspectos más importantes, con el objetivo de establecer las estrategias necesarias para resolver las necesidades de nuestros clientes (interno / externo): además permite resaltar los principales obstáculos y oportunidades que se pueden presentar, por lo anterior, es la mejor forma de medir los avances en forma sistemática y de comunicar los requerimientos a toda la empresa (Miranda, 2006).

Beneficios:

- Elemento importante para satisfacer y dar valor superior al cliente.
- Casualidad sistemática entre procesos y resultados.
- Documentación de ciclos de madurez organizacional.
- Optimización de procesos al mejorar productividad y abatir desperdicios.

Para desarrollar el mapeo de procesos, será necesario definir algunos conceptos para su mejor comprensión, como los que se presentan a continuación:

- **Sistema:** A toda nuestra organización se le llamara sistema y se definirá como un conjunto de procesos relacionados ordenadamente entre sí para que contribuyan a cumplir un determinado propósito: satisfacer las necesidades del cliente de manera permanente.
- **Proceso:** Es el conjunto de etapas, eventos, pasos, actividades o tareas relacionadas entre sí que contribuyen a agregar valor a insumos para lograr productos que el cliente considera de valor y paga por ello. En los procesos participan personal, recursos monetarios y materiales y se desarrollan operaciones que transforman los insumos en productos terminados.

Hay procesos administrativos como: la compra de un bien, la capacitación, servicio a cliente, etc., y procesos operativos como: el troquelado, la evaporación, el mezclado, etc.

Todos y cada uno de los elementos que componen al proceso se despliegan a continuación:

- **Insumo.** Es la entrada del proceso y son materiales e información que se convierten o transforman a través de una operación, es importante asegurar que deben cumplir con ciertas especificaciones requeridas en el proceso.
- **Proveedor.** Ente físico que proporciona los insumos, pueden ser internos y externos. La negociación y desarrollo con los proveedores es un elemento clave para evitar y erradicar errores en el proceso. El lograr que el proveedor sea parte integral de nuestra cadena productiva, es decir que conozca a detalle nuestros procesos, se traducirá irremediabilmente en el cumplimiento de las especificaciones de los insumos.
- **Producto.** Resultado del proceso que se deriva en un bien o servicio que se proporciona al cliente. En un proceso puede haber más de un resultado, el producto debe de cumplir con las especificaciones requeridas por el cliente para asegurar su satisfacción.
- **Cliente.** Es la persona más importante de la compañía, dependemos de él, es el objetivo de nuestro trabajo, es el que trae sus requerimientos para satisfacerlos y al cumplir éstos, obtener una retribución económica. El cliente es el que decide si el producto es de calidad o no, existen internos que son todas aquellas etapas que tienen nuestros procesos dentro de la empresa y existe un área responsable que dictamina el cumplimiento de sus requerimientos y externos que son los que aprueban o no el producto terminado que ofrece la empresa (Miranda, 2006).

1.2.2.2.4 Orígenes de Seis Sigma

A mediados de los años 80, la compañía norteamericana Motorola comenzó a implantar una nueva metodología a la que bautizó con el nombre de Seis Sigma. Esta herramienta tenía una

fuerte base estadística y pretendía alcanzar unos niveles de calidad en los procesos y productos de la organización próximos a los cero defectos. En concreto, unos niveles de calidad de 3.4 defectos por millón de oportunidades. En general, los efectos de aquellas primeras iniciativas Seis Sigma fueron bastante limitados, si bien supusieron una importante popularización en Occidente de las mediciones estadísticas que ya eran ampliamente utilizadas por las empresas japonesas.

A finales de los años 80 y principios de los 90 comienzan a extenderse también en Estados Unidos y Europa los modelos de excelencia. El Malcolm Baldrige y el Modelo Europeo introducen en Occidente los conceptos de la Calidad Total y de la Excelencia en la Gestión.

A mediados de los años 90, Jack Welch, presidente de General Electric (GE), decidió implantar una estrategia Seis Sigma en GE con resultados espectaculares. Desde entonces, Seis Sigma se ha convertido en una de las herramientas de mejora más utilizadas en Estados Unidos, habiendo sido adoptada por compañías como Motorola, General Electric, Allied Signal, Honeywell o American Express. Más recientemente Seis Sigma ha llegado a Europa y a España, donde numerosas empresas están comenzando a implantarla.

1.2.2.2.5 Significado de Seis Sigma

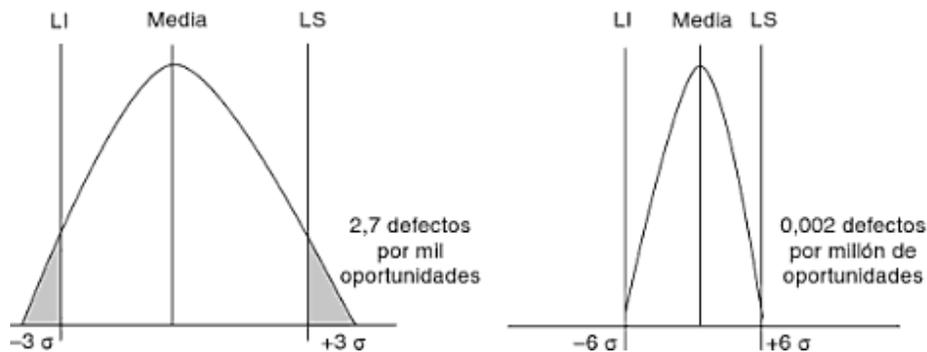
La expresión σ (sigma) se emplea para representar la desviación estándar de un conjunto de mediciones. Cuanto mayor es el valor de Sigma en un proceso, mayor es la variabilidad que presentan sus resultados.

Si representamos gráficamente la curva normal de distribución de los resultados de un proceso, junto con los límites inferior y superior de especificación (tolerancias o límites admisibles), el área que queda dentro de dichos límites indica el porcentaje de resultados que son correctos, mientras que el área que queda fuera de dichos límites indica el porcentaje de resultados defectuosos.

Se conoce como nivel sigma de un proceso la distancia entre el valor medio del proceso y los límites inferior y superior de especificaciones, medida en el número de veces que esta distancia es mayor que el valor sigma del proceso. Es evidente que cuanto mayor sea el nivel sigma de un proceso, menos será el porcentaje de resultados defectuosos.

Tradicionalmente se ha considerado suficiente que un proceso tenga una desviación de $\pm 3\sigma$. En este caso, y si el procesos está centrado, el 2.7 por mil de resultados del proceso serán defectuosos, como se observa en la figura 1.7.

Figura 1.7 Niveles sigma de un proceso.



Fuente: Membrado, 2007

Si por el contrario, el proceso tiene un nivel Seis Sigma y está centrado, tan sólo hay 0.002 defectos por cada millón de valores resultantes del proceso. No obstante, la mayor parte de los procesos están descentrados, es decir, la media de los resultados del proceso no coincide con el centro de las especificaciones. Si asumimos que un proceso de nivel Seis Sigma esta descentrado 1.5σ , su nivel de defectos será de 3.4 por cada millón de resultados (suele hablarse de 3.4 defectos por millón de oportunidades o de 3.4 PPM – partes por millón).

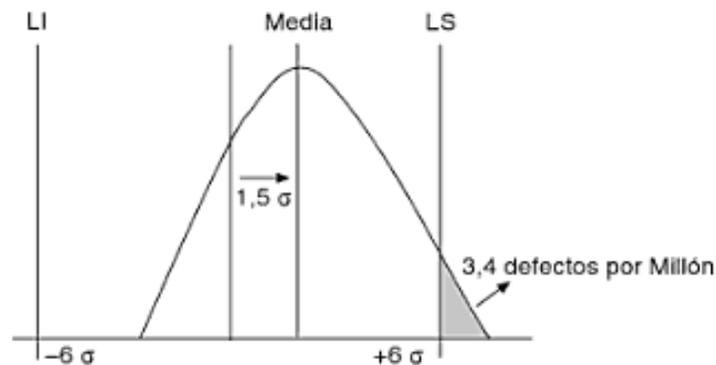
La diferencia entre la calidad tres sigma y seis sigma es mucho mejor si lo que analizamos es un proceso complejo formado por procesos simples cada uno de los cuales tiene una dispersión determinada. Si cada pieza de un coche ha sido producida con un proceso 3σ , la probabilidad de que el vehículo completo sea defectuoso es considerablemente mayor que la

indicada en la tabla anterior. La calidad de un producto / proceso complejo depende según la ley de Poisson de la calidad de los componentes individuales.

Los principales estadísticos antes descritos tienen una clara aplicación práctica. Imaginemos una empresa de mensajería que ofrece un servicio de entrega antes de las 10 a.m. del día siguiente. En realidad, y para asegurar que las empresas que reciben el paquete están abiertas, el horario de reparto es solo de 9:00 a 10:00 de la mañana (estos son los límites de especificación). Se considera que una entrega ha sido defectuosa si se realiza antes de las 9:00 o después de las 10:00.

Si la empresa en cuestión realiza un total de 5.000 entregas diarias, un nivel de 3σ (66803 PPM) supone que se realizan 334 entregas con retraso. Por el contrario, un nivel 6σ (3.4 PPM) supone que se realizarían sólo 0.0017 entregas con retraso (es decir, cero defectos).

Figura 1.8 Proceso 6 sigma descentrado.



Fuente: Membrado, 2007

Tabla 1.4 Equivalencia entre niveles sigma y PPM.

Sigmas	Defectos proceso centrado	Defectos proceso desplazado 1.5σ
2	456000 PPM	308733 PPM
3	2700 PPM	66803 PPM
4	63 PPM	6200 PPM
5	0.57 PPM	233 PPM
6	0.002 PPM	3.4 PPM

Fuente: Membrado, 2007

En algunos procesos que afectan a la salud o seguridad de las personas, nivel 3σ son absolutamente inaceptables. ¿Le gustaría volar en un avión con un nivel de calidad 3σ ?

La Tabla 1.5 muestra algunos ejemplos del significado del nivel sigma de ciertos procesos muy conocidos.

Tabla 1.5 Significado de la calidad 6 sigma.

Calidad 3 sigma igual a	Calidad 6 sigma igual a
Por lo menos 54,000 prescripciones médicas erradas por año	Una prescripción médica errada en 25 años
27 minutos fuera del aire por canal de TV cada semana	2 segundos fuera del por canal de TV cada Semana
68 aterrizajes forzosos en un gran aeropuerto internacional cada mes	0.09 aterrizajes forzosos en un aeropuerto internacional cada mes

Fuente: Membrado, 2007

1.2.2.2.6 Límites de especificaciones y capacidad del proceso

Una de las medidas más comunes de la capacidad del proceso en relación con los límites de especificación es el índice de capacidad del proceso, Cp . La ecuación siguiente describe Cp , donde S e I son los límites de especificación superior e inferior y σ es una estimación de la desviación estándar de la distribución subyacente para la característica dada de la calidad:

$$Cp = \frac{(S-I)}{6\sigma}$$

Esta medida permite la evaluación de los procesos en relación con los límites de especificación requeridos. También hace posible el establecimiento de límites de especificación y ayuda a fijar requisitos en procesos. Un ejemplo del segundo propósito es requerir cierto valor de Cp de los proveedores de partes o productos. Los valores requeridos de pueden especificar en documentos de compra. Un valor común para un requisito es el de $Cp \geq 1.33$. Un examen de la ecuación (10.2) revela que ese requisito significaría que, en términos de la desviación estándar del proceso, los límites de especificación tendría que estar en $\pm 4\sigma$ o que $S - I = 8\sigma$. El productor vería esto desde una perspectiva diferente. Es decir, para los límites

de especificación requeridos, el proceso se tendría que diseñar y controlar con una desviación estándar que solo sea de $1/8$ del ancho de la tolerancia total especificada, $S - I$.

La ecuación anterior indica que valores mayores de C_p significan una situación mejor respecto a la capacidad del proceso para cumplir con los límites de especificación establecidos. Un valor de 1.0 para C_p indica que la difusión natural del proceso solo es igual al ancho de los límites de especificación, suponiendo una distribución normal. Cualquier desplazamiento en la media resultará en algún (más de lo esperado 0.00135 fuera 3σ de la media) producto fuera del límite de especificación en la dirección del desplazamiento. Los valores de $C_p < 1.0$ señalan un conflicto de especificación tipo 1. En cualquier situación particular la validez de los límites de especificación es importante, sin verificación de esta validez, el índice de capacidad del proceso no tiene sentido. Por ejemplo, un conflicto de especificación tipo III podría existir cuando se obtiene un valor C_p de 3.0 para el proceso. Adicionalmente, cuando el valor de C_p es grande, digamos 2.0 o mayor y las especificaciones son válidas, puede ser posible desarrollar un proceso menos costoso. También se puede justificar el uso de límites modificados de control o de gráficas de control de aceptación (M. Wadsworth, et al., 2005).

1.2.2.3 Tercera fase Analizar

1.2.2.3.1 Correlación

Es una medida numérica de la fuerza de la relación entre dos variables que representan datos cuantitativos. Utilizando datos muestrales apareados (que en ocasiones se llaman datos bivariados), calculamos el valor de r (generalmente con la ayuda de recursos tecnológicos) y luego utilizamos este valor para concluir que existe (o no) una relación entre las dos variables.

Iniciamos con la definición básica de *correlación*, un término que se utiliza comúnmente en el contexto de una relación entre dos variables.

Con frecuencia podemos encontrar una relación entre dos variables al construir un diagrama de dispersión. Cuando examinamos un diagrama de dispersión, debemos estudiar el patrón general de los puntos graficados. Si existe un patrón, es necesario observar su dirección. Si los datos van hacia arriba, esto sugiere que cuando una variable aumenta, la otra también lo hace. Si los datos van hacia abajo, esto sugiere que cuando una variable aumenta, la otra disminuye. Debemos buscar valores extremos, que son puntos que se ubican muy lejos del resto de los puntos.

1.- Coeficiente de correlación lineal

Puesto que el examen visual de los diagramas de dispersión es muy subjetivo, necesitamos medidas más precisas y objetivas. Empleamos el coeficiente de correlación lineal r , que sirve para detectar patrones lineales.

Mide la fuerza de la relación lineal entre los valores cuantitativos apareados x y y en una *muestra* su valor se calcula con la fórmula 10-1 (el coeficiente de correlación lineal también se conoce como **coeficiente de correlación producto momento de Pearson**, en honor de Karl Pearson (1857-1936), quien lo desarrolló originalmente).

Dado cualquier conjunto de datos muestrales apareados, siempre se puede calcular el coeficiente de correlación lineal r , pero se deben satisfacer los siguientes requisitos cuando se prueban hipótesis o cuando se hacen referencias acerca de r .

- 1.- La muestra de datos apareados (x, y) es una muestra *aleatoria* de datos cuantitativos. (Es importante que los datos muestrales no se hayan reunido por medio de algún método inapropiado, como una muestra de respuesta voluntaria).
- 2.- El examen visual del diagrama de dispersión debe confirmar que los puntos se acercan al patrón de una línea recta.

3.- Es necesario eliminar cualquier valor extremo, si se sabe que se trata de un error. Los efectos de cualquier otro valor extremo deben tomarse en cuenta calculando r con y sin el valor extremo incluido.

2.- Notación para el coeficiente de correlación lineal

n = representa el número de pares de datos presentes.

Σ = denota la suma de los elementos indicados.

Σx = denota la suma de todos los valores de x .

Σx^2 = indica que cada valor de x debe elevarse al cuadrado y después deben sumarse esos cuadrados.

(Σx^2) = indica que los valores de x deben sumarse y el total elevarse al cuadrado. Es sumamente importante evitar confundirse entre Σx^2 y $(\Sigma x)^2$.

Σxy = indica que cada valor de x debe multiplicarse primero por su valor y correspondiente.

Después de obtener todos estos productos, se calcula su suma.

r = representa el coeficiente de correlación lineal de una *muestra*.

ρ = la letra griega rho se usa para representar el coeficiente de correlación lineal de una *población*.

$$r = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \sqrt{n(\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2}}$$

3.- Interpretación del coeficiente de correlación lineal

El valor de r siempre debe estar entre -1 y +1, inclusive. Si r se acerca a 0, se concluye que no existe una correlación lineal entre x y y , pero si r se acerca -1 o +1 concluimos que hay una correlación lineal entre x y y . Interpretaciones tales como "cercano a" 0, a 1 o a -1 son vagas.

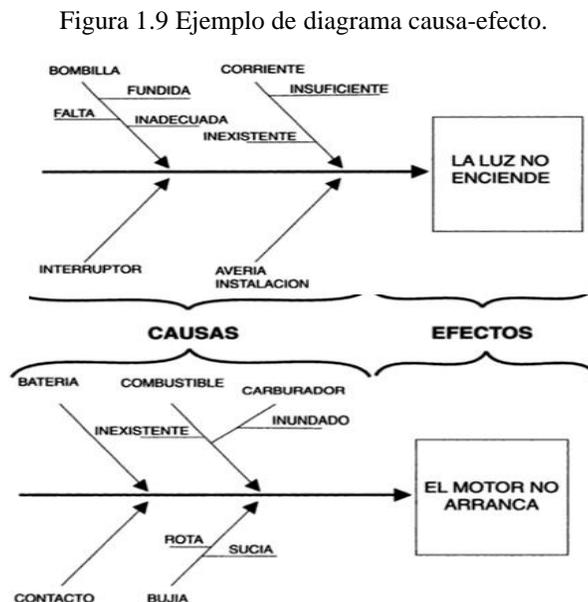
1.2.2.3.2 Diagrama causa-efecto

El diagrama causa efecto es un gráfico que muestra las relaciones entre una característica y sus factores o causas, es así la representación gráfica de todas las posibles causas de un fenómeno.

Todo tipo de problema, como el funcionamiento de un motor o una bombilla que no enciende, puede afrontarse con este tipo de análisis. Generalmente, el diagrama asume la forma de espina de pez, de donde toma el nombre alternativo de diagrama *de espina de pescado*.

Una vez elaborado, el *diagrama causa-efecto* representa de forma ordenada y completa todas las causas que pueden determinar cierto problema y constituye una utilísima base de trabajo para poner en marcha la búsqueda de sus verdaderas causas.

El análisis causa-efecto, en su significado más completo, es el proceso que parte de la definición precisa del efecto que deseamos estudiar, a través de la *fotografía* de la situación, obtenida mediante la construcción del diagrama, permite efectuar un análisis de las causas que influyen sobre el efecto estudiado.



Fuente: Galgano, 1992

El análisis causa-efecto puede así dividirse en tres grandes fases:

- Definición del efecto que se desea estudiar.
- Construcción del diagrama causa-efecto.
- Análisis causa-efecto del diagrama construido.

La definición del efecto que se desea estudiar (fase 1) representa la base de un eficaz análisis causa-efecto. Efectivamente, siempre es necesario efectuar una precisa definición del efecto objetivo de estudio. Cuanto más definido se encuentre éste, tanto más directo y eficaz podrá ser el análisis de las causas. Pongamos un ejemplo.

El motor de un coche no arranca. ¿Cuáles pueden ser las causas de la falta de arranque? Parece evidente que, a la luz de esa definición, las causas posibles son múltiples.

Si, en su lugar, se definiera el efecto como: el motor de mi coche no arranca cuando llueve y se encuentra aparcado al aire libre, en este caso, el análisis será más específico a la situación así definida. Invertiendo el razonamiento, se puede también decir que cuanto más genéricamente se encuentre expresado el efecto que se desea estudiar, tanto más genérico será el diagrama causa-efecto y, por lo tanto, tanto más vago y de escasa utilidad resultará el análisis consiguiente para la comprensión y la resolución del problema.

Cuando se define con precisión el efecto que se desea estudiar, se puede proceder a las dos fases sucesivas si tenemos la prudencia de separar la fase 2 (construcción del diagrama) de la fase 3 (análisis y valoración de las diversas causas). De ese modo es posible garantizar que la definición de las posibles causas sea innovadora y creativa, mientras que el análisis crítico de las causas debe ser lo más realista posible. En realidad, cuanto más rico de ideas y sugerencias sea el diagrama causa-efecto, tanto más eficaz será de cara al posterior estudio de sus verdaderas causas.

En los párrafos siguientes nos centraremos por ello en las fases 2 y 3, que se ocupan de la construcción y del análisis del diagrama.

1.- Construcción del diagrama causa-efecto

La construcción del diagrama causa-efecto se inicia escribiendo, en el lado derecho de una hoja de papel, el efecto que se desea estudiar. A ello debe seguir la búsqueda de todas las posibles causas que sobre él influyen.

Para esa búsqueda se pueden seguir tres métodos, que se diferencian por su forma de realización. Son los siguientes:

- Método de la clasificación de las causas.
- Método pro enumeración de las causas.

a) Método de la clasificación de las causas

Para analizar un problema se debe proceder a la definición de las *posibles* causas del propio problema. Generalmente, esa actividad se desarrolla en grupo. Para ello, se definen en primer lugar ciertas *categorías de causas*, evidentemente las principales, que servirán sucesivamente para desarrollar de forma ordenada el análisis de detalle. Un criterio de subdivisión muy utilizado es el de las *cuatro M*:

- Máquinas.
- Mano de obra.
- Métodos.
- Materiales.

La ventaja del método por fases del proceso radica en poder examinar por separado cada fase del trabajo.

b) Método por enumeración de las causas

Con este método, se parte de una simple enumeración de todas las posibles causas. La enumeración debe ser lo más amplia y completa posible, recogiendo las ideas de diversas personas mediante una verdadera actividad de *brainstorming* (tormenta de ideas). Es necesario que la lista de causas se encuentre perfectamente visible para todos los participantes. En una segunda fase, las causas deben estructurarse poniendo de relieve las relaciones recíprocas, entre sí y respecto del efecto, en forma de diagrama. Así, el resultado final es similar a los precedentes, pero se ha partido de una simple enumeración. Para que sea útil, este método debe implicar la enumeración del mayor número de causas detalladas y no limitarse a categorías generales de causas.

La ventaja de este método radica en el *libre* proceso de enumeración de las causas. Sin embargo, pueden presentarse dificultades en la construcción lógica de las relaciones recíprocas entre las diversas causas enumeradas, es decir, en su *organización* en el diagrama causa-efecto.

En cuanto se refiere al último método, por enumeración de las causas, el propio método exige expresamente el análisis no estructurado. La elección de un método con preferencia sobre otro depende de la situación concreta en la que nos encontremos, pues no resulta posible establecer a priori criterios fijos de elección.

1.- Análisis de las relaciones causa-efecto que derivan de la construcción del diagrama

Como ya hemos señalado, la construcción del diagrama causa-efecto da origen a un esquema, generalmente muy rico, de causas relacionadas con el efecto que se analizó.

El objetivo del análisis consistirá así en examinar críticamente las causas definidas con la finalidad de:

- Definir las causas más probables.

- Definir las causas más importantes
- Verificar si las causas más importantes ya definidas son realmente las que influyen sobre el efecto (causas verdaderas).

2.- Definición de las causas más probables

El paso siguiente a la construcción del diagrama y a la indagación de sus causas (con uno de los métodos descritos) consiste en definir las causas probables.

La definición de las causas *probables* se realiza mediante una valoración crítica. Si no se poseen datos específicos, se recurre a un debate que puede concluir en una votación. Las causas probables, cuyo número puede ser muy diverso de un caso a otro se señalan poniendo en el diagrama un círculo alrededor de cada una de ellas.

3.- Definición de las causas más importantes

Normalmente, la fase siguiente a la de definición de las causas *probables* consiste en la definición de las causas *más importantes*. Eso se consigue a través de una valoración de la influencia que cada una de las causas probables puede ejercer sobre el efecto, con la finalidad de definir su orden de importancia. Se trata tan solo de estimaciones, que serán no obstante útiles para aprovechar de forma más eficaz el tiempo destinado a la verificación práctica. También esta fase puede realizarse mediante debates y votaciones. Su resultado debe consistir en una relación, por orden de importancia, de las causas probables antes definidas. Ese orden de importancia se refleja en el diagrama poniendo un número al lado de las causas englobadas en un círculo.

4.- Verificación de las causas

En este punto se procede a la verificación de las hipótesis establecidas. Se somete a examen la causa 1 y se fijan las verificaciones que deben efectuarse.

El estudio de los posibles remedios y de su aplicación puede resultar simple o complejo según los casos. Cuando sea complejo, conviene en ocasiones implicar a otros departamentos de la empresa. Incluso cuando la causa definida proporcione buenos resultados, procede continuar la verificación de todas las causas importantes para tratar de obtener los mejores resultados posibles. El grupo o la persona aislada, deberán siempre obrar de forma tal que la causa desaparezca con carácter definitivo.

5.- Usos fundamentales del diagrama causa-efecto

El diagrama causa-efecto puede utilizarse:

- Para obtener la mejora:
 - De los procesos
 - De la calidad de los productos
 - De la eficiencia de las instalaciones
 - Del servicio.
- Para lograr una reducción de costes
- Par afrontar problemas contingentes tales como:
 - Las causas de las reclamaciones
 - Defectos
 - Anomalías.
- Para establecer procedimientos operativos normalizados tales como:
 - Nuevos procedimientos operativos
 - Puntos y procedimiento de control
 - Revisiones de procedimiento desactualizados.

En conclusión, conviene tener presente que la utilización del diagrama y del análisis causa-efecto puede resultar muy útil también en su aspecto *positivo*, es decir, no para definir las causas de un problema sino para comprender cuáles son los factores de fenómenos positivos que pueden aplicarse a otra situaciones análogas para obtener mejoras.

1.2.2.5 Cuarta fase Mejora

1.2.2.5.1 Generación de alternativas de solución

Se plantean alternativas de solución como parte de la cuarta fase, esto debido a que la empresa solo requiere alternativas para la mejora de su proceso. Conforme a lo ya visto en el transcurso de las anteriores fases del proyecto se tiene la necesidad de implementar dos herramientas fundamentales que la manufactura esbelta nos puede dar.

La primera herramienta que aplica para reducir el tiempo en los cambios de molde en la máquina Sidel es el SMED; SMED que en sus siglas en ingles significa Single Minute Exchange of Die, nace como un conjunto de conceptos y técnicas que pretenden reducir los tiempos de preparación que en este caso son de moldes, hasta poderlos expresar en minutos utilizando solo un dígito (es decir realizar la preparación de cualquier máquina en un tiempo inferior a los 10 minutos).

Otras de las herramientas que será complementaria para resolver problemas dentro de la máquina Sidel y con ello tener mayor eficiencia de la misma es implementando un TPM, que en sus siglas en ingles significa Total Productive Maintenance, nos garantizará una vida útil de nuestro equipo, asegurando con esto: cero averías, cero defectos en la producción, cero accidentes laborales, mejora de la producción y minimizar los costos.

Con estas dos herramientas implementadas en el desarrollo de este proyecto nos dará resultados eficientes, en donde los problemas y causas raíces detectados anteriormente, paulatinamente conforme la gente, así como los jefes y gerentes dentro de la empresa adopten otro tipo de ideología que se necesita para el cambio, se eliminaran y con ello se ofrecerá un mejor producto en donde el objetivo principal de este proyecto es al final aumentar la competitividad de esta empresa.

1.2.2.5.2 Lean Manufacturing

La producción esbelta se refiere a los enfoques desarrollados en un principio por Toyota Motor Corporation, que se concentran en la eliminación del desperdicio en todas sus formas, incluidos los defectos que requieren del reproceso, los pasos innecesarios en los procesos, el movimiento innecesario de materiales o personas, el tiempo de espera, el inventario en exceso y la sobreproducción. Una forma sencilla de definirla es hacer más con menos. Comprende la identificación y eliminación de actividades sin valor agregado en toda la cadena de valor para lograr una respuesta más rápida para el cliente, inventarios reducidos, mejor calidad y mejores recursos humanos. Como comenta un artículo acerca de Toyota, ver en acción el sistema de Toyota es contemplar algo muy bello.

La producción esbelta se basa en la medición y mejora continua, trabajadores capacitados para todas las funciones, equipo flexible y cada vez más automatizado, una distribución eficiente de la maquinaria, instalación y cambios de moldes rápidos, entrega y programación justo a tiempo, normas de trabajo realistas, empoderamiento de los trabajadores para realizar inspecciones y emprender acciones correctivas, asociaciones con los proveedores y mantenimiento preventivo. Entre algunos de los beneficios que ofrecen los defensores de la producción esbelta se incluyen los siguientes:

- Reducción de por lo menos 60 por ciento en los tiempos del ciclo.
- Mejora de 40 por ciento en el uso del espacio.
- Producción 25 por ciento más alta.
- Reducción de 50 por ciento en el trabajo en proceso y los inventarios de productos terminados.
- Mejora de 50 por ciento en la calidad.
- Mejoras de 20 por ciento en el capital de trabajo y la productividad de los empleados.

Sin embargo, como señala un experto industrial, es necesaria una cantidad increíble de planeación hasta el más mínimo detalle, disciplina, trabajo arduo y atención a los detalles (Evans & M. Lindsay, 2008).

Comenta Monden (1988) que después de la Primera Guerra Mundial, Henry Ford y Alfred Sloan (General Motors) cambiaron la manufactura artesanal utilizada por siglos y dirigida por las empresas europeas por manufactura en masa. En gran parte como resultado de ello, Estados Unidos pronto dominó la economía mundial ya que en 1950 Eiji Toyoda visitó por tres meses la planta de Rouge de Ford en Detroit, la había visitado en 1929. La Toyota Motor Company fue fundada en 1937. En 1950, después de 13 años de trabajo y esfuerzo producían 2,685 automóviles, comparados con los 7,000 que producían diariamente en Rouge.

Después de estudiar cuidadosamente cada centímetro de la planta Rouge, que era la más grande y eficiente del mundo, Eiji indicó a la sede que había encontrado algunas posibilidades para mejorar el sistema de producción. Se encontró que copiar y mejorar lo que había visto en Rouge sería muy difícil, por lo que Eiji Toyoda y Taiichi Ohno concluyeron que la producción en masa no iba a funcionar en Japón. De esta conclusión, nació lo que llamaron “Sistema de Producción Toyota”, a lo que actualmente se le conoce como Manufactura Ágil (Lean Manufacturing). El surgimiento de Japón a su preeminencia económica actual, rápidamente fue seguido por otras empresas, copiando este notable sistema.

La palabra “lean” en inglés significa “magra”, es decir, sin grasa. En español no combina mucho la definición de “manufactura magra”, por lo que se le ha llamado: Manufactura Esbelta o Manufactura Ágil, pero al igual que muchos otros términos en inglés, se prefiere dejarlo así. Se define como un conjunto de técnicas desarrolladas por la Compañía Toyota que sirven para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier compañía industrial, independientemente de su tamaño, el objetivo es minimizar el desperdicio. Este conjunto de técnicas incluye el Justo a Tiempo, pero se comercializó con otro concepto, con el de minimizar inventarios, y no es ese el objetivo, es una técnica de reducción de desperdicios, ya sea inventarios, tiempos, productos defectuosos, transporte, almacenajes, maquinaria y hasta

personas. Otras herramientas que utiliza el Lean Manufacturing son el Kaizen (mejoramiento continuo) y el PokaYoke (a prueba de fallos). Estas técnicas se están utilizando para la optimización de todas las operaciones, no solo inventarios, para obtener tiempos de reacción más cortos, mejor atención, servicio al cliente, mejor calidad y costos más bajos. Al disminuir los desperdicios, se incrementa la productividad (Monden, 1988).

Mientras que para Pineda (2011), la manufactura esbelta son varias herramientas que ayudarán a eliminar todas las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio y a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Reducir desperdicios y mejorar las operaciones, basándose siempre en el respeto al trabajador. La Manufactura Esbelta nació en Japón y fue concebida por los grandes gurús del Sistema de Producción Toyota: William Edward Deming, Taiichi Ohno, Shigeo Shingo, Eijy Toyoda entre algunos. El sistema de Manufactura Flexible o Manufactura Esbelta ha sido definida como una filosofía de excelencia de manufactura, basada en:

- La eliminación planeada de todo tipo de desperdicio.
- El respeto por el trabajador: Kaizen.
- La mejora consistente de productividad y calidad.

Por otro lado Baena (2012), considera que la Manufactura Esbelta es una filosofía de gestión enfocada a la reducción de los ocho tipos de "desperdicios" en productos manufacturados:

- Sobreproducción.
- Tiempo de espera.
- Transporte.
- Exceso de procesado.
- Inventario.
- Movimiento.
- Defectos.
- Potencial humano subutilizado.

Eliminando el despilfarro, mejora la calidad y se reducen el tiempo de producción y el costo. Las herramientas lean (en inglés, ‘ágil’, ‘esbelto’ o ‘sin grasa’) incluyen procesos continuos de análisis (llamadas kaizen en japonés), producción pull (‘disuasión e incentivo’, en el sentido del término japonés kanban), y elementos y procesos «a prueba de fallos» (poka yoke, en japonés).

Un aspecto crucial es que la mayoría de los costos se calculan en la etapa de diseño de un producto. A menudo un ingeniero especificará materiales y procesos conocidos y seguros a expensas de otros baratos y eficientes. Esto reduce los riesgos del proyecto, o lo que es lo mismo, el costo según el ingeniero, pero a base de aumentar los riesgos financieros y disminuir los beneficios. Las buenas organizaciones desarrollan y repasan listas de verificación para validar el diseño del producto.

Los principios clave del lean manufacturing son:

- **Calidad perfecta a la primera:** búsqueda de cero defectos, detección y solución de los problemas en su origen.
- **Minimización del despilfarro:** eliminación de todas las actividades que no son de valor añadido y redes de seguridad, optimización del uso de los recursos escasos (capital, gente y espacio).
- **Mejora continua:** reducción de costos, mejora de la calidad, aumento de la productividad y compartir la información.
- **Procesos "pull":** los productos son tirados (en el sentido de solicitados) por el cliente final, no empujados por el final de la producción.
- **Flexibilidad:** producir rápidamente diferentes mezclas de gran variedad de productos, sin sacrificar la eficiencia debido a volúmenes menores de producción.
- **Construcción y mantenimiento de una relación a largo plazo con los proveedores:** tomando acuerdos para compartir el riesgo, los costos y la información.

El inicio de la Manufactura esbelta lo expresa Galgano (2004), el cual comenta que en 1984, el Programa Internacional para los vehículos a motor del Massachusetts Institute of Technology, inició su estudio quinquenal de cinco millones de dólares, ahora famoso, sobre la industria automovilística mundial, cuyos descubrimientos se resumen en el bestseller “*La máquina que ha cambiado el mundo*”. Los investigadores han concluido que el sistema productivo ideado por Taiichi Ohno en Toyota se diferenciaba tan notablemente de la producción en serie como para asegurarse el reconocimiento como nuevo método de producción. No sólo era diferente, sino decididamente mejor respecto a la producción en serie.

Así la describen; “La Producción Lean se caracteriza por ser una producción que utiliza menos recursos en cada sector respecto a la producción en serie: utiliza la mitad de los trabajadores en la fábrica, la mitad de los espacios productivos, la mitad de las inversiones en instalaciones, la mitad de las horas en planificación para desarrollar un nuevo producto en la mitad de tiempo. Además, requiere un inventario inferior a la mitad, produce con muchos menos defectos y una variedad de productos más amplia siempre en aumento”. Desde la publicación del citado estudio, se produjo un extraordinario interés por parte de la industria, de la Universidad y del Gobierno, en la producción Lean, con un gran debate sobre el sistema de producción Toyota, contribuyendo muy poco en el proceso de definición del término Lean.

Comenta Galgano (2004) que se ha producido mucha confusión en el proceso de definir qué significa exactamente Lean (¿qué es y cuándo podemos decir que un sistema y una planta de producción son Lean o no?)

Masa y Lean son paradigmas que reflejan e informan sobre el modo de concebir la producción en culturas y épocas determinadas. Los sistemas de producción derivan de estos paradigmas. El sistema original de producción Ford, y todos los sistemas desarrollados posteriormente por los fabricantes de automóviles y de sus componentes e implícitamente por todos los sistemas de producción en la mayor parte de las industrias del mundo, han reproducido el paradigma de producción en serie durante la mayor parte del siglo veinte.

Se ha tenido dificultades en la comprensión conceptual del término de producción Lean y todavía más dificultades en el intento de implantarla. La mayor parte de los conceptos son bastantes simples, muchos son de sentido común y otros, en cambio, están contra la intuición.

La introducción de la producción Lean, si bien parece que en la última década ha hecho progresos, continúa su evolución muy lentamente. Cada una de las tres grandes casas de automóviles americanas, se ha centrado en grandes iniciativas para convertirse en productores lean, si bien su éxito está todavía lejos de alcanzarse.

La producción Lean incluye una serie de técnicas que se insertan en un sistema que deriva de un determinado modo de pensar. Los grandes beneficios prometidos por el paradigma Lean únicamente llegaran si las comprendemos y las implementamos.

Otro enfoque de pensamiento acerca de la manufactura esbelta que le da Peter (2006) a la manufactura esbelta es la medición del valor agregado, la cual se hace en función de las necesidades percibidas por el cliente y no en función de un concepto teórico. Este proceso de manufactura está relacionado con la utilización de *Activity Based Costing* que en su versión original buscó relacionar los costos con los valores que agregaba al cliente. La manufactura esbelta tiene como propósito orientarse a la comunidad externa e interna de la empresa y producir valor agregado para ella dentro de un marco organizacional adecuadamente establecido e institucionalizado.

El propósito de una manufactura esbelta es serle útil a la comunidad, el esfuerzo que implica la mejora continua está en el manejo de un estricto criterio de escasez. La pérdida de confort que ello les trae a los individuos se justifica en la orientación al mercado, y por ende a la comunidad, y se fundamenta en los manejos tecnológicos y humanos que se llevan a cabo para producir el resultado buscado. El valor agregado tiene siempre componentes objetivos y subjetivos. Como el hombre es centralmente subjetivo con los componentes de la naturaleza el fin último que se busca satisfacer cuando se habla de generar valor. Cuando incursionamos en

el mundo de los commodities los componentes subjetivos se hacen mínimos y cuando lo hacemos en el campo de los specialties se hacen máximos.

Una herramienta de la Manufactura Esbelta es el TPM (Total Productive Maintenance), la cual es una metodología de mejoramiento de planta, que permite la mejora continua de los procesos a través de la participación de los colaboradores de la planta y el control de gestión de los resultados.

La mejora continua es el propósito último del TPM y pretende trabajar “hoy mejor que ayer” siempre por encima de un umbral mínimo en función del cliente, la empresa y las características de la industria. La mejora continua implica compromiso y participación del personal, un contexto de beneficios e incentivos adecuados y un nivel de conocimiento mínimamente “causal” de los procesos de trabajo. Es el esfuerzo que se hace para mantener la funcionalidad de un bien. El TPM se materializa en acciones de mantenimiento que pueden tener a su vez diferentes modalidades: mantenimiento correctivo, preventivo, etc. La funcionalidad del mantenimiento es controlada a través de la información puntual objetiva que permite evaluar su calidad, costo y oportunidad. El mantenimiento mínimo de los equipos es realizado por los operadores de los mismos. Solo aparece un tercero en el mantenimiento para aquellas acciones que no puede hacer quien opera, por cuestiones de conocimiento, tiempo o riesgo (Belohlavek, 2006).

Para Juárez & Pérez (2011), en épocas más recientes, una de las tendencias en la fabricación de empujar, que a veces se establece como único paradigma, es la que se inclina por la automatización. En este tema es muy importante señalar que los sistemas altamente automatizados sólo pueden justificarse cuando la demanda es de cantidades muy grandes y no hay cambios de preparaciones, o sea, fabrican un solo tipo de producto.

Una de las maneras de explicar el funcionamiento en la práctica de los principios esbeltos se hace a través de su desglose en herramientas. Así, cada una se dedica a un aspecto particular

de eliminación del desperdicio en cada parte del proceso. Como ilustración, algunas de las citadas herramientas se describen en seguida:

- **Control autónomo de defectos:** Son técnicas que disminuyen las posibilidades de cometer errores en el proceso, controlan la calidad en el origen y no al final de la línea de producción y facultan al operario para detenerla en caso de problemas, frecuentemente con señalizaciones visuales y sonoras, evitando la propagación de fallas en la producción. En la terminología japonesa se identifica con jidoka, poka-yoke y andon.
- **Mantenimiento productivo total:** Abreviado como TPM (Total Productive Maintenance), se destina a eliminar las pérdidas del sistema por tiempos muertos en las máquinas y la generación de productos defectuosos por las máquinas.
- **Reducción de las preparaciones:** Conocido como SMED (Single Minute Exchange of Die), es el cambio de tiempos de preparación a un dígito en minutos, es decir, menos de 10.
- **Distribución de planta eficiente:** Bajo el término de shojinka, se refiere a la disposición física del proceso en que se origina el acortamiento de las distancias recorridas por el producto.
- **Mayor participación del elemento humano:** Es una de las expresiones del concepto soikufu, en que se motiva la acción humana para sugerir las mejoras al proceso y extenderlas a las de preparación, supervisión y mantenimiento, en vez de asignarlas a personal especializado.

Los cuatro últimos conceptos se eligen para llevar a cabo una prueba de impacto sobre el desempeño del sistema total, resultante de promover ajustes razonables en los parámetros del

proceso relacionados con ellos. Lo anterior proporcionará información sobre las interdependencias y la sinergia en el sistema de manufactura.

1.3 Marco contextual

A continuación se da una descripción a detalle del origen de la empresa en donde se detecta el problema, los distintos productos que se fabrican, el proceso del soplado biorientado desde la entrada de la materia prima hasta obtener el producto terminado y un diagrama para tener un panorama general sobre todos el proceso de producción.

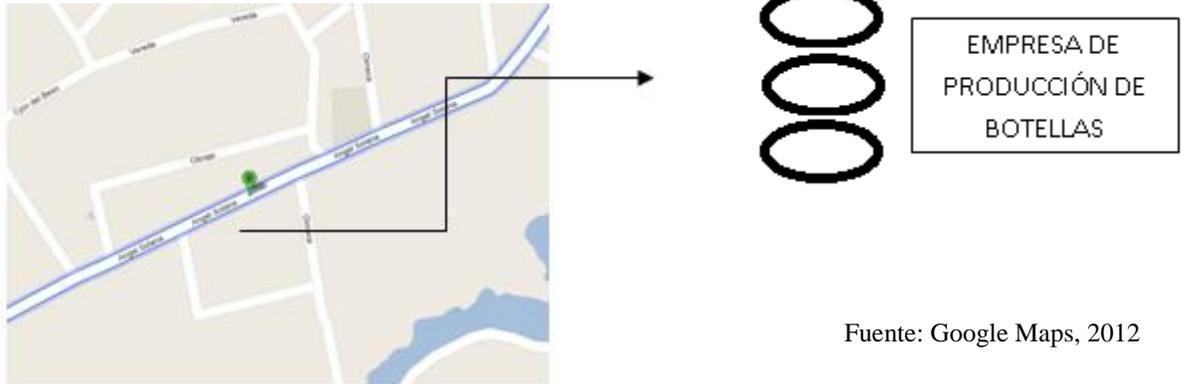
1.3.1 La empresa

La empresa EPB fue fundada en 1994 en la Ciudad de México principiando operaciones la división de aceros para producir envases de tres piezas para la industria alimenticia, botes de acero y polietileno para pinturas y químicos y cubetas de polietileno para la industria en general. Más tarde ese mismo año inició operaciones la planta de Mazatlán, Sinaloa, produciendo envases de tres y dos piezas para alimentos.

En 1998 comienza sus operaciones la división PET produciendo envases para la industria de bebidas y refrescos. Entre el año de 1998 y 2003 inician operaciones dos plantas más produciendo envases de PET. Una ubicada en Mazatlán, Sinaloa y otra en Apizaco, Tlaxcala. Actualmente se cuenta con 27 plantas y 6 centros de distribución de aproximadamente un millón de metros cuadrados, se tienen instalaciones estratégicas distribuidas en la República Mexicana, Guatemala, Colombia y Estados Unidos.

La empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Apizaco, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1.10 Ubicación de la empresa.



Fuente: Google Maps, 2012

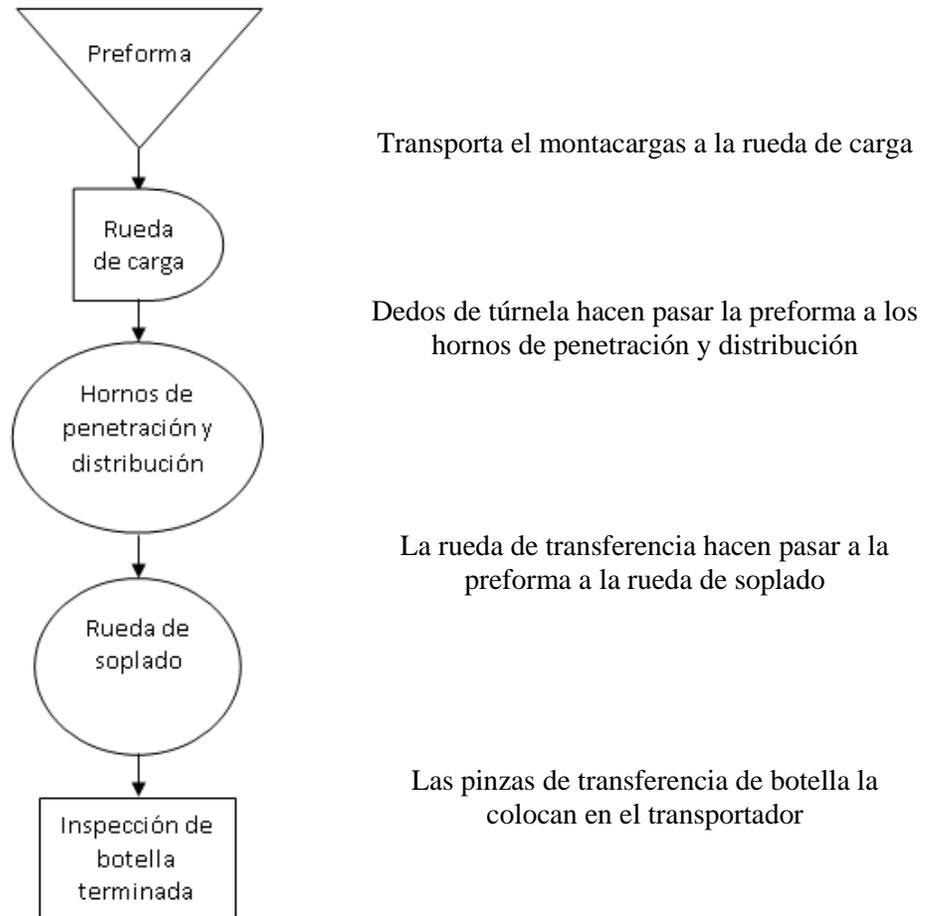
En la empresa se producen los siguientes envases:

Tabla 1.6 Productos por sabor y presentación.

Productos, contenido y peso	
Cola 600ml 20.5 grs.	Limón 2000ml 42.5 grs.
Cola 1500ml 38 grs.	Fresa 3000ml 54.5 grs.
Cola 2000ml 42.5 grs.	Naranja 3000ml 54.5 grs.
Cola 2500ml 50.5 grs.	Mandarina 3000ml 54.5 grs.
Natural 600ml 15.5 grs.	Piña 3000ml 54.5 grs.
Natural 1000ml 20.5 grs.	Cola 3000ml 54.5 grs.
Natural 1000ml 23.5 grs.	Manzana 3000ml 54.5 grs.
Natural 1500ml 29.5 grs.	Uva 3000ml 54.5 grs.
Mineral 600ml 23.5 grs.	Manzana 3000ml 54.5 grs.
Mineral 2000ml 50.5 grs.	Toronja 3000ml 54.5 grs.
Toronja 600ml 20.5 grs.	Limón 3000ml 54.5 grs.
Manzana 2000ml 42.5 grs.	Naranja 3000ml 54.5 grs.

Fuente: Elaboración propia, 2013

1.3.1.1 Diagrama de flujo



1.3.1.2 Proceso de fabricación de botellas Pet (tereftalato de polietileno)

El montacargas traslada un contenedor de preforma y lo deja en un volteador, posteriormente el volteador vierte la preforma en la tolva, dentro de ella se encuentra una banda elevadora para que tome la preforma a granel y la lleve a los rodillos posicionadores, los cuales están conectados al riel de carga y al final la preforma pasa a la rueda de carga.

1.3.1.2.1 Proceso de la rueda de carga

Posiciona las preformas en la nariz de turnela para que estos la sujeten, posteriormente el riel de túnelas avanza por medio de un rodamiento el cual pasa a través de una leva conocida como levas de volteo o helicoidal, con esto los dedos de túnela voltean la preforma quedando boca arriba para llegar así a los hornos de penetración.

Figura 1.11 Rueda de carga.



Fuente: Simulador EPB, 2001

1.3.1.2.2 Proceso de los hornos de penetración

Son aquellos que van a calentar la preforma que viene fría, para así poder pasar a los hornos de distribución, las lámparas están al 100% de su voltaje (IR: infra rojas) y al final la preforma pasa por una zona de estabilización de temperatura.

Figura 1.12 Hornos de penetración.



Fuente: Simulador EPB, 2001

1.3.1.2.3 Proceso de los hornos de distribución

Estos permiten darle a la preforma una uniformidad en los espesores, los espesores se determinan por zonas en la preforma y por medio de la maquina Magnamike se miden, lo anterior permite tener al final una botella de calidad sin defectos, al finalizar su calentamiento son tomadas por la rueda de transferencia de preforma.

Figura 1.13 Hornos de distribución.



Fuente: Simulador EPB, 2001

1.3.1.2.4 Proceso de la rueda de transferencia de preforma

Al salir las preformas de los hornos de distribución, las levas de volteo hacen que regresen hacia abajo y posteriormente sean tomadas por las pinzas de transferencia, lo anterior con el fin de transportar a la preforma hacia la rueda de soplado donde los moldes están abiertos y para que se realice el soplado biorientado.

Figura 1.14 Rueda de transferencia de preforma.

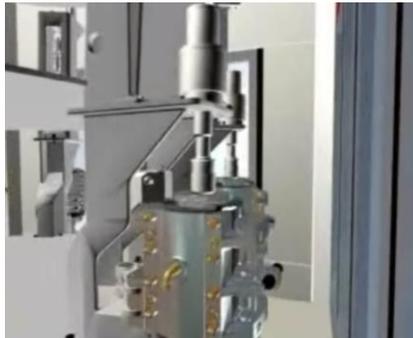


Fuente: Simulador EPB, 2001

1.3.1.2.5 Proceso de la rueda de soplado

En ella se encuentran los moldes donde se sopla la preforma para convertirla en botella. Se abre el molde para que ingrese la preforma posteriormente se cierra para que el pistón de tobera baje junto con su tope y pueda ingresar la varilla de soplado, al mismo tiempo se genera lo que se llama soplado biorientado teniendo 4 operaciones de gran importancia las cuales son estirado, presoplado, soplado y desfogue; se llama biorientado debido a que la varilla estira la preforma hasta el fondo de molde, enseguida el aire de soplado entra al molde para inflar y transformar la preforma en botella por lo que hace operaciones en forma vertical y horizontal. Otro elemento de gran importancia en éste proceso son las juntas de compensación junto con su electroválvula, la cual ejerce una presión contraria a la presión ejercida dentro del molde en el soplado con el fin de que los moldes no se abran.

Figura 1.15 Rueda de soplado.



Fuente: Simulador EPB, 2001

1.3.1.2.6 Proceso de las pinzas de transferencia de botella

La rueda de soplado a través de un rodamiento en la parte inferior del porta molde y pasando por una levas hacen que se abra el molde, por lo que la pinza de transferencia toma la botella y gira para que posicione la misma en una estrella la cual orienta las botellas en un riel que está conectado a un transportador llamado Zecchetti. Mientras la rueda de transferencia gira desde tomar la botella que sale del molde hacia la estrella existe una máquina llamada Pressco la cual monitorea por medio de una cámara las partes más sensibles y de mayor importancia en la

botella, como son los pétalos, el finish, entre otros, este monitoreo se presenta en la pantalla de la computadora con la cual se manejan diferentes vistas de la botella, este sistema ayuda a que si sale una botella con defectos la tire por medio de un eyector de botellas y llegue a un contenedor de merma.

Figura 1.16 Pinzas de transferencia de botella.



Fuente: Simulador EPB, 2001

CAPITULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los problemas más agudos y complejos que debe enfrentar en la actualidad cualquier individuo que quiera investigar es, sin lugar a dudas, la gran cantidad de métodos, técnicas e instrumentos que existen como opciones, los cuales, a la vez, forman parte de un número ilimitado de paradigmas, posturas epistemológicas y escuelas filosóficas, cuyo volumen y diversidad desconciertan (Cerdeza Hugo, 2000).

El método científico se entiende como el conjunto de postulados, reglas y normas para el estudio y la solución de los problemas de investigación, que son institucionalizados por la denominada comunidad científica reconocida (Bonilla y Rodríguez, 2000).

2.2 Método de investigación

El método de investigación incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “cómo” se realizará el estudio para responder al problema planteado.

Por lo cual y con fines de desarrollar este proyecto se tomaran en cuenta los siguientes métodos.

Método hipotético - deductivo:

El método consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos.

2.3 Tipo de investigación

Investigación explicativa o causal:

Tiene como fundamento la prueba de hipótesis y busca que las conclusiones lleven a la formulación o el contraste de leyes o principios científicos; el investigador se plantea como objetivos estudiar el porqué de las cosas, los hechos, los fenómenos o las situaciones, analizando causas y efectos de la relación entre variables.

Por lo que al desarrollar este tipo de investigación, podremos dar una explicación a detalle de las variables que se encuentran para su estudio, el problema existente en la mismas que provoca la existencia de merma, así como la comprobación de la hipótesis que se plantea, llegando a una conclusión en donde se acepta o rechaza dicha hipótesis.

2.4 Población y muestra

Para el desarrollo de este trabajo, se establece una investigación de campo en una Empresa de Producción de Botellas, con un tiempo de estancias de 6 meses, los cuales comprenden los meses de Febrero a Julio del año 2013, con un calendario de actividades que contemplan: conocimiento del layout de la empresa, saber el proceso de soplado de botellas Pet y el programa de mantenimiento aplicado a máquinas SIDEL.

Con lo anterior se obtienen los datos del control de merma que lleva a cabo la empresa durante tres meses, estos meses se eligen conforme a la alta tasa de demanda de producción que se tiene en la temporada que comprenden Marzo, Abril y Mayo del año 2013.

Para la elección de tamaño de muestra se elige un método de muestreo no probabilístico. En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no dependen de la probabilidad, sino causas relacionadas con las características del investigador o del que hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico, ni en base a fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de una persona o de un grupo de personas, y desde luego, las muestras seleccionadas por decisiones subjetivas tienden a estar sesgadas (Sampieri, 2006).

El tamaño de muestra que se requiere en este proyecto se toma a partir de los requerimientos para realizar la capacidad del proceso, ya que si tomamos en cuenta este cálculo, se necesitan de por lo menos 100 datos para cada factor a analizar.

Las variables que se toman en cuenta para su análisis son las siguientes

- Temperatura ambiente
- % Arranque de máquina
- % Salida
- Temperatura de consigna
- Temperatura de molde
- % Ventilación
- Peso de preforma
- %CZ1: Posición de la lámpara infrarroja en la zona 1
- %CZ2: Posición de la lámpara infrarroja en la zona 2
- %CZ3: Posición de la lámpara infrarroja en la zona 3
- %CZ4: Posición de la lámpara infrarroja en la zona 4
- %CZ7: Posición de la lámpara infrarroja en la zona 7
- %CZ9: Posición de la lámpara infrarroja en la zona 9
- Temperatura de carga
- % Puesta en espera
- Temperatura de horno

2.5 Fuentes y técnicas de obtención de información

Se establecen fuentes primarias y secundarias, las primarias representan todo aquello que se obtiene de forma directa o desde el lugar de los hechos, en este caso se observa cercanamente el proceso de soplado, preguntar e indagar a las personas que están encargadas de las líneas de producción, personal de mantenimiento así como los jefes de cada área y los procedimientos que se llevan a cabo dentro de la empresa.

Por otro lado tenemos las fuentes secundarias, en donde se reúne información sobre el área de estudio, en este caso los libros, manuales, material impreso del control de procesos de la empresa y medios electrónicos para la captura del comportamiento de los envases y todo lo que se vaya originando durante el tiempo ya estipulado.

2.6 Instrumento de investigación

Para el desarrollo de este proyecto se contempla el modelo DMAIC, (por sus siglas en inglés Define, Measure, Analyse, Improve, Control) lo que nos menciona es que debemos Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

En la primera fase se define de manera precisa el problema, así como los objetivos y cómo será el impacto que tendrá el proyecto en la empresa, para ello se lleva a cabo la aplicación de las herramientas tales como:

SIPOC: Se detecta el área donde se encuentra el problema a analizar.

Datos de control de merma: recabar la información que incluye el comportamiento de merma con un tiempo aproximado de tres meses, para saber el impacto del proyecto hacia la empresa.

Diagrama de Pareto: recolección de datos de las fallas que se presentan en la máquina principal de producción y con ello, desarrollar el diagrama de Pareto para conocer las causas con mayor impacto.

Para la segunda fase, se establecen las variables del producto que determinan su calidad y se recolectan datos del comportamiento de las mismas a través de gráficas, desarrollando:

VSM: Conocer la cadena de valor actual de la empresa, posteriormente, realizar un análisis de la misma y al final proyectar una cadena de valor futura, permitiendo ver las áreas de oportunidad.

Sigma de la empresa: Calcular el sigma por medio de fórmulas para conocer la capacidad del proceso.

Capacidad del proceso: Conocer las variables del producto, posteriormente, obtener datos durante tres meses del comportamiento de estas, realizar una prueba de normalidad a cada una de ellas y si es el caso, construir graficas de capacidad del proceso.

Tercera fase, a partir de los datos obtenidos en la fase anterior, se analiza el comportamiento que tienen las variables y con ello generar una idea de lo que está originando el problema, para ello se utilizan las siguientes herramientas:

Correlación: a partir de las variables obtenidas en la fase de medición, se realizan pruebas de correlación con el fin de saber la variable que tiene mayor relación con las demás.

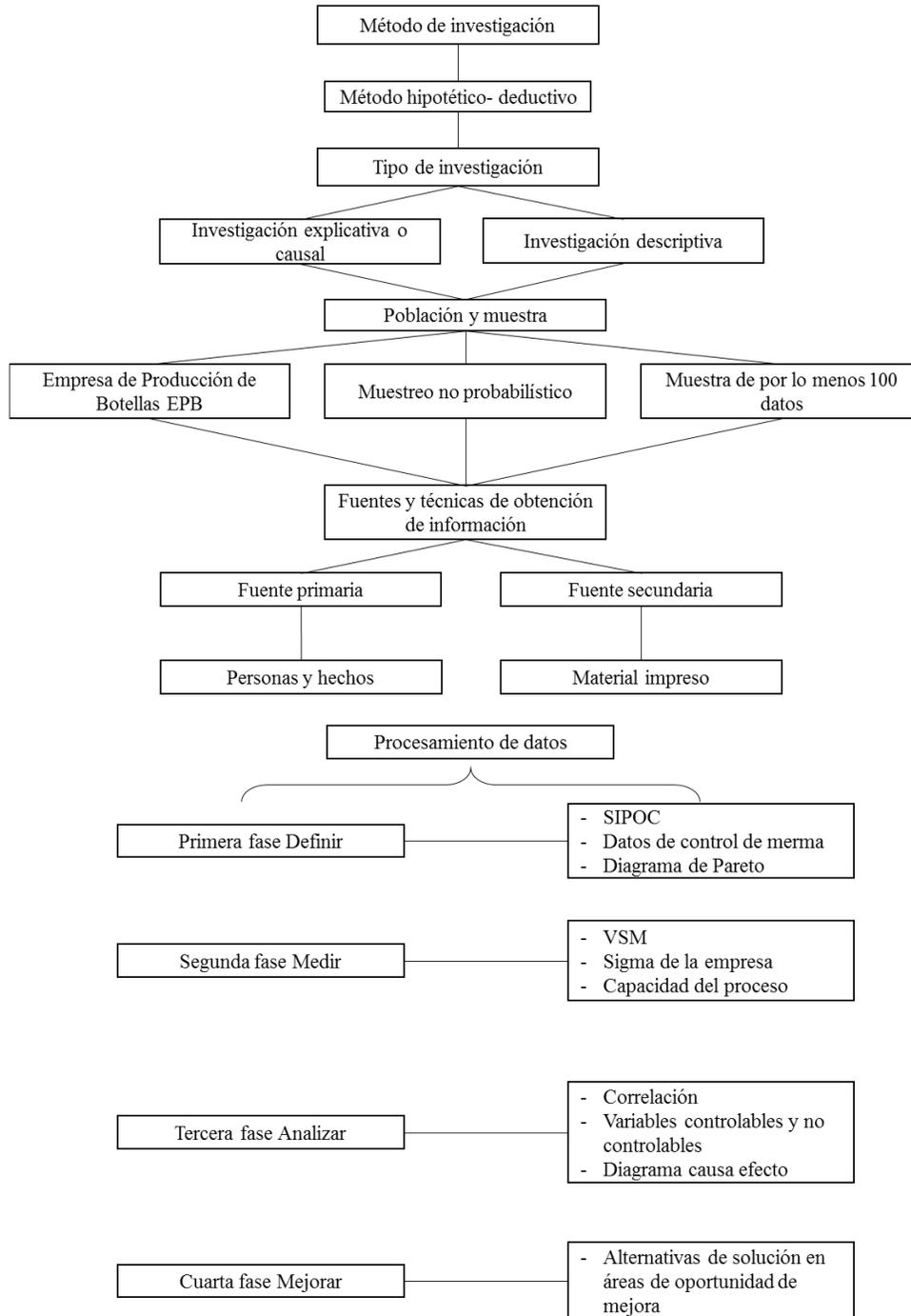
Determinación de variables controlables y no controlables: con los resultados de correlación, se analiza que variables son controlados y cuales no son controlados para deducir la variable o las variables que impactan más al proceso.

Diagrama causa – efecto: Teniendo las variables que no son controladas durante el proceso, se realiza el diagrama de causa – efecto con el fin de saber la causa raíz del problema, analizando cada rama del diagrama para encontrar la verdadera causa del problema y con ello generar propuestas de solución.

Con la cuarta fase, se plantean las mejoras que puede llevar a cabo la empresa como opción a una futura implementación, al desglosar las tres primeras fases del modelo, sabremos que se hizo un estudio de lo general a lo particular.

Toda la metodología se esquematiza en la figura 2.1.

Figura 2.1 Metodología de la investigación.



Fuente: Elaboración propia, 2013

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1 Primera fase Definir

3.1.1 Diagrama SIPOC de la EPB

A continuación se presenta el cuadro 3.1, donde se muestran cada uno de los elementos que conforman el diagrama SIPOC.

Cuadro 3.1 Diagrama SIPOC de máquina SIDEL y EPB.

Área de soplado (máquina Sidel)				
S	I	P	O	C
Planta León	- Preforma	Soplado	Botella	- Cliente inmediato:
Planta Cuautitlán	Pxx, Pxx, Pxx,	biorientado	Envase	Etiquetadora B&H
Planta Salto	Pxx, Pxx			- Cliente final:
Planta Morelia	- Invista			Empresa
	Splash			Embotelladora
	Voridian			
	M&G			
	- Preforma			
	Verde			
	Cristal			

Fuente: Elaboración propia, 2013

La información de este cuadro se obtuvo de la EPB de la planta Apizaco, el proceso se llama soplado biorientado, en donde la máquina sopladora SIDEL realiza esta acción, por lo cual, estos dos elementos conforma el área de producción, ya que es la que se identifica en el cuadro anterior con un ovalo rojo.

3.1.2 Obtención de datos de merma de las semanas fiscales de la 9 a la 22 en el área de producción de envases Pet

A través de la herramienta SIPOC, nos dimos cuenta que el área donde se encuentra el problema es la de producción, aquí se producen diferentes productos de botellas, sin embargo, el diseño y especificaciones de estas botellas son las mismas, por lo que el análisis o estudio es el mismo para todas, ahora, para el estudio de merma se requiere obtener los datos necesarios con el fin de comparar y determinar que botella es la que está generando mayor merma.

Se continua con la captura de datos que nos permiten saber que sabor y presentación están generando la mayor cantidad de merma, sin perder el hecho de saber cuánta merma tanto en botellas como en dinero está impactando y generando pérdidas en la empresa para justificar la importancia y relevancia de este proyecto, para ello se monitorio el comportamiento de producción de los diferentes sabores y presentaciones de botellas producidas en la empresa, esto se realizó a partir de estancias en la empresa en los meses de Marzo, Abril y Mayo.

Conforme se obtenían datos de los diferentes meses, se generó un concentrado en la tabla 3.1, en donde se muestra los sabores y presentaciones, así como la cantidad de merma que cada uno está generando.

Tabla 3.1 Merma de cada sabor y presentación en semanas fiscales.

Sabor y presentación	Semana 9-13	Semana 14-18	Semana 18-22	Total
Cola 600ml 20.5 grs.	20799	13927	13392	48118
Cola 1500ml 38 grs.	382	3810	3052	7244
Cola 2000ml 42.5 grs.	2907	2652	4132	9691
Cola 2500ml 50.5 grs.	9979	8406	6881	25266
Natural 600ml 15.5 grs.	39710	51597	40159	131466
Natural 1000ml 20.5 grs.	6924	1037	170	8131
Natural 1000ml 23.5 grs.	7150	4326	7294	18770
Natural 1500ml 29.5 grs.	10463	10276	4949	25688
Mineral 600ml 23.5 grs.	2319	3380	4221	9920
Mineral 2000ml 50.5 grs.	3822	4545	5026	13393
Toronja 600ml 20.5 grs.	10246	5757	4455	20458

Continuación de la tabla 3.1				
Manzana 2000ml 42.5 grs.	2565	1389	1458	5412
Naranja 2000ml 42.5 grs.	1342	1530	1475	4347
Toronja 2000ml 42.5 grs.	3260	1152	2765	7177
Limón 2000ml 42.5 grs.	317	2576	1354	4247
Fresa 3000ml 54.5 grs.	1292	2127	807	4226
Naranja 3000ml 54.5 grs.	3240	1944	642	5826
Mandarina 3000ml 54.5 grs.	1230	937	733	2900
Piña 3000ml 54.5 grs.	808	936	826	2570
Cola 3000ml 54.5 grs.	5073	6321	7632	19026
Manzana 3000ml 54.5 grs.	2266	1294	1266	4826
Uva 3000ml 54.5 grs.	1833	1201	844	3878
Manzana 3000ml 54.5 grs.	2669	791	4731	8191
Toronja 3000ml 54.5 grs.	2211	2616	1542	6369
Limón 3000ml 54.5 grs.	2954	2096	2099	7149
Naranja 3000ml 54.5 grs.	2404	1467	2019	5890
Total	148,165	138,090	123,924	410,179

Fuente: EPB, 2013

Como vemos, la cantidad de merma representada por todos los envases producidos es de 410,179 botellas.

Por lo que ahora, en la tabla 3.2, se muestran las pérdidas económicas en pesos por la merma.

Tabla 3.2 Costo-merma de cada sabor y presentación en semanas fiscales.

Sabor y presentación	Semana 9-13	Semana 14-18	Semana 18-22	Total
Cola 600ml 20.5 grs.	\$ 13,280.69	\$ 8,704.52	\$ 7,757.98	\$ 29,743.19
Cola 1500ml 38 grs.	\$ 421.27	\$ 4,201.63	\$ 3,390.77	\$ 8,013.67
Cola 2000ml 42.5 grs.	\$ 3,916.07	\$ 3,580.47	\$ 5,376.64	\$ 12,873.18
Cola 2500ml 50.5 grs.	\$ 15,497.59	\$ 12,774.51	\$ 9,682.05	\$ 37,954.15
Natural 600ml 15.5 grs.	\$ 19,765.27	\$ 25,154.06	\$ 18,190.00	\$ 63,109.33
Natural 1000ml 20.5 grs.	\$ 4,421.25	\$ 648.19	\$ 98.49	\$ 5,167.93
Natural 1000ml 23.5 grs.	\$ 5,042.31	\$ 2,983.67	\$ 4,648.56	\$ 12,674.54
Natural 1500ml 29.5 grs.	\$ 10,226.23	\$ 9,861.57	\$ 4,428.22	\$ 24,516.02
Mineral 2000ml 50.5 grs.	\$ 5,935.64	\$ 6,906.99	\$ 7,071.94	\$ 19,914.57
Toronja 600ml 20.5 grs.	\$ 6,542.48	\$ 3,598.18	\$ 2,580.78	\$ 12,721.44
Manzana 2000ml 42.5 grs.	\$ 3,455.37	\$ 1,875.29	\$ 1,897.18	\$ 7,227.84
Naranja 2000ml 42.5 grs.	\$ 1,807.83	\$ 2,065.66	\$ 1,919.30	\$ 5,792.79
Toronja 2000ml 42.5 grs.	\$ 4,391.62	\$ 1,555.32	\$ 3,597.87	\$ 9,544.81
Limón 2000ml 42.5 grs.	\$ 427.04	\$ 3,477.85	\$ 1,761.85	\$ 5,666.74
Fresa 3000ml 54.5 grs.	\$ 2,196.89	\$ 3,550.65	\$ 1,252.17	\$ 6,999.71
Naranja 3000ml 54.5 grs.	\$ 5,519.86	\$ 3,245.16	\$ 996.15	\$ 9,761.17

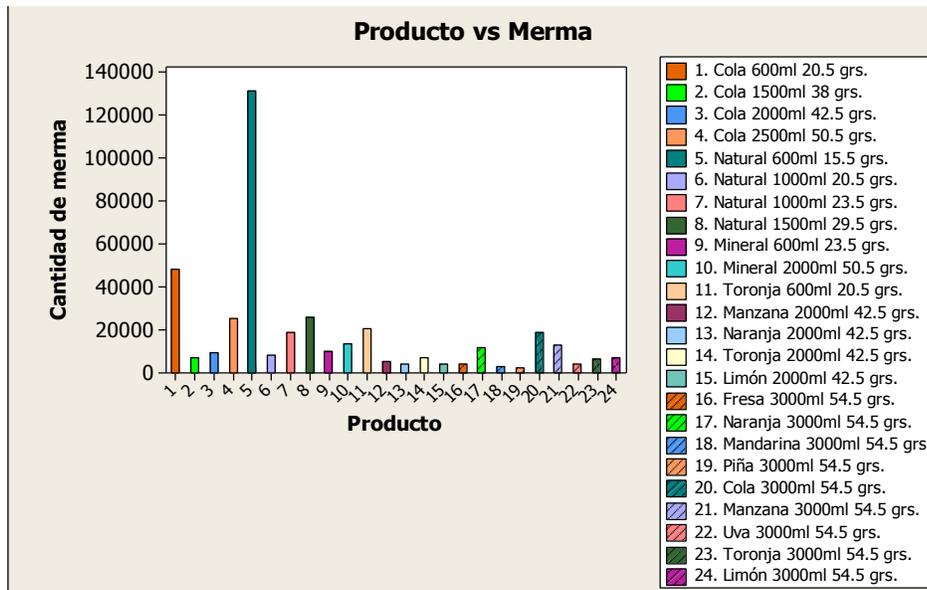
Continuación de la tabla 3.2				
Mandarina 3000ml 54.5 grs.	\$ 2,097.51	\$ 1,564.15	\$ 1,137.35	\$ 4,799.01
Piña 3000ml 54.5 grs.	\$ 1,389.51	\$ 1,562.49	\$ 1,281.65	\$ 4,233.65
Cola 3000ml 54.5 grs.	\$ 8,650.95	\$ 10,551.77	\$ 11,842.05	\$ 31,044.77
Manzana 3000ml 54.5 grs.	\$ 3,864.19	\$ 2,160.10	\$ 1,964.37	\$ 7,988.66
Uva 3000ml 54.5 grs.	\$ 3,125.80	\$ 2,004.86	\$ 1,309.58	\$ 6,440.24
Manzana 3000ml 54.5 grs.	\$ 4,551.42	\$ 1,320.43	\$ 7,340.75	\$ 13,212.60
Toronja 3000ml 54.5 grs.	\$ 3,770.40	\$ 4,365.95	\$ 2,392.62	\$ 10,528.97
Limón 3000ml 54.5 grs.	\$ 5,037.43	\$ 3,498.90	\$ 3,256.87	\$ 11,793.20
Naranja 3000ml 54.5 grs.	\$ 4,099.52	\$ 2,448.89	\$ 3,132.75	\$ 9,681.16
Total	\$ 141,069.53	\$ 125,992.48	\$ 110,934.29	\$ 377,996.30

Fuente: Elaborado con datos de la EPB, 2013

En resumen, los productos que están generando mayor cantidad de merma son Cola 600ml 20.5 grs. y Natural 600ml 15.5 grs, con un impacto de \$377,996.30 pesos.

En la gráfica 3.1 se muestra la comparación que existe entre el producto y la merma.

Gráfica 3.1 Producto vs Merma.



Fuente: Elaboración propia en programa Minitab, 2013

Se plasmó la cantidad de botellas que no pasaron calidad y el producto que representa cada una de esas cantidades respectivamente, con el fin de llegar a una conclusión y elegir el comportamiento del producto que esté generando mayor merma.

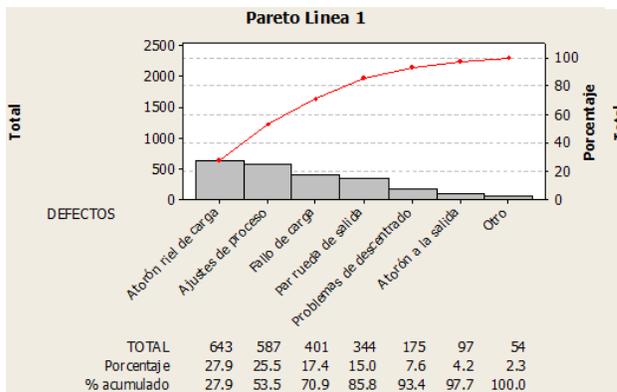
Todos los productos que se producen en esta empresa contribuyen con la merma, sin embargo para fines de estudio y análisis de las siguientes fases del modelo, tomaremos en cuenta el producto que presenta mayor aportación de merma durante estos tres meses, que en este caso es agua natural 600ml de 15.5 gr., el cual genera 131,466 botellas de merma, esto transformado en dinero tenemos la cantidad de \$63,109.33.

Se elige este producto no solo por contribuir con la mayor cantidad de merma en comparación con los demás productos, sino también porque representa el 32% del total de merma.

3.1.3 Diagrama de Pareto de la EPB

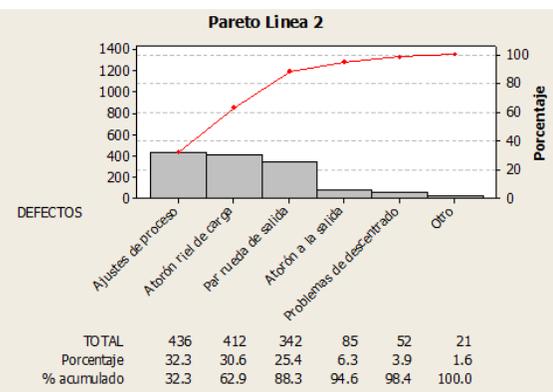
Tomando datos durante los meses de Marzo, Abril y Mayo de los tipos de fallas que se presentan en el área de producción de botellas, la cual comprende tres líneas, así como la cantidad de merma generada en cada una de ellas, se desarrolla un diagrama de Pareto con el fin de detectar los factores que conllevan a problemas y con ello merma.

Gráfica 3.2 Pareto de la línea 1.



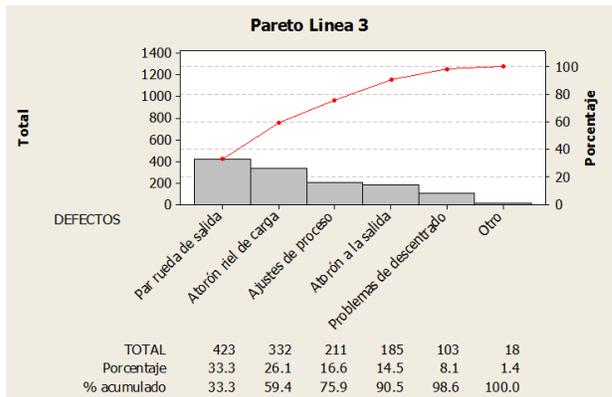
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.3 Pareto de la línea 2.



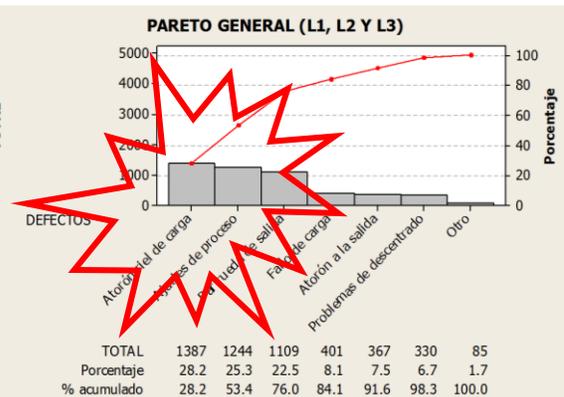
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.4 Pareto de la línea 3.



Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.5 Pareto general (L1, L2 Y L3).



Fuente: Minitab, 2013

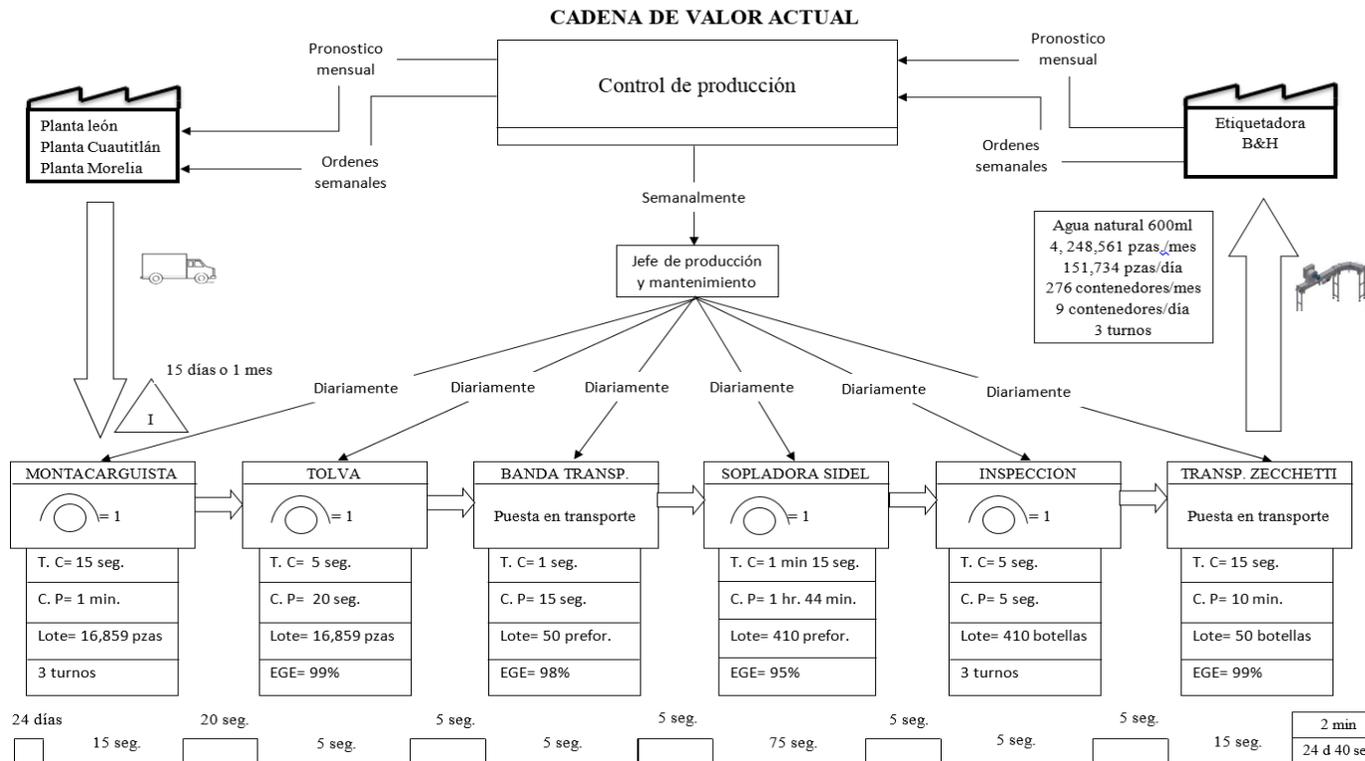
Al ver el Pareto general se observa que las tres primeras causas con mayor impacto es atorón riel de carga, ajustes de proceso y par rueda de salida, por lo que se desarrollarán alternativas de solución en la cuarta fase por medio de herramientas de Manufactura Esbelta.

3.2 Segunda fase Medición

3.2.1 Cadena de valor

En la figura 3.1 se muestra la cadena de valor actual de la empresa.

Figura 3.1 Mapa de cadena de valor actual, área de producción.

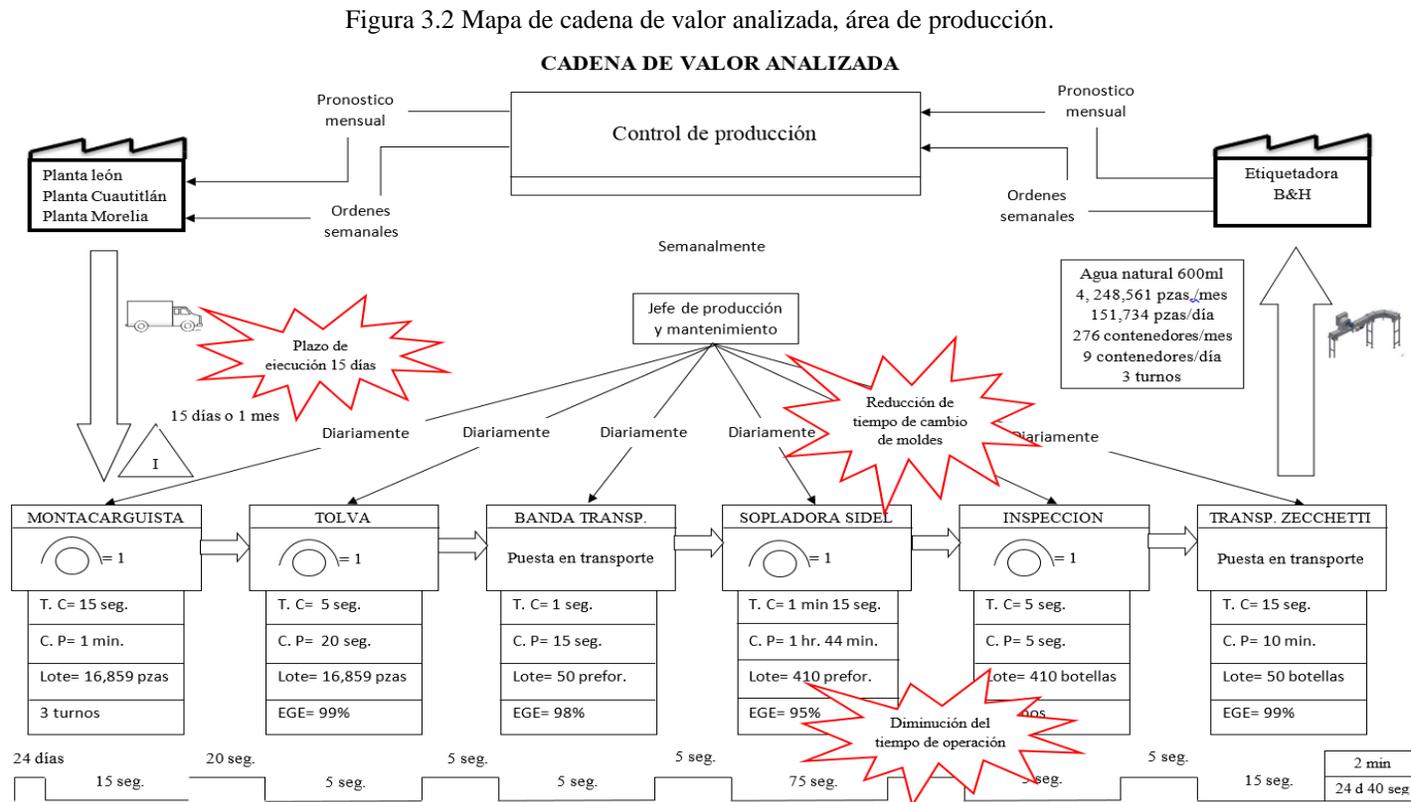


Fuente: Elaboración propia, 2013

Como podemos ver en la figura, los días en los que esta almacenada la materia prima son de 15 días a 1 mes, los cambios de producto en la máquina sopladora se llevan a cabo en 1 hora 44 minutos y el tiempo entre la fabricación de un envase completo y el siguiente es de 1 minuto y 15 segundos. Todo esto tomando en cuenta el producto que representa mayor desperdicio.

3.2.2 Cadena de valor analizada

Ahora bien, la figura 3.2 es la cadena de valor analizada.



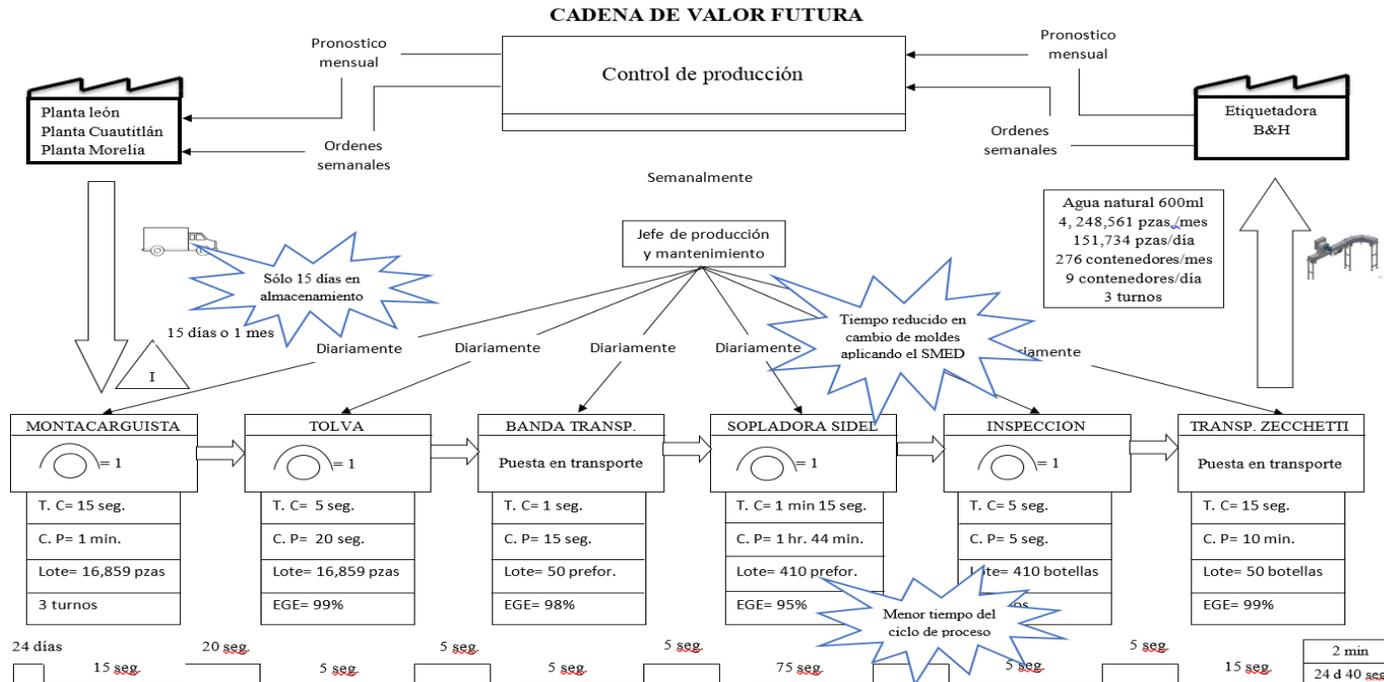
Fuente: Elaboración propia, 2013

El tiempo en que la materia prima se almacena puede llegar a afectar sus condiciones de entrada al proceso, ya que son varios días los que está expuesta a cambios de temperatura, por otro lado, los tiempos de cambio de moldes son largos, donde se puede realizar una reducción del mismo y el tiempo total de operación de máquina disminuirá.

3.2.3 Cadena de valor futura

Por último, en la siguiente figura se muestra la cadena de valor futura

Figura 3.3 Mapa de cadena de valor futura, área de producción.



Fuente: Elaboración propia, 2013

Se observa en la figura anterior que si realizamos las mejoras pertinentes en las áreas antes mencionadas, se tendrá menos tiempo de almacenaje en cuanto a la materia prima, los tiempos de cambios de molde se reducirán y el tiempo de ciclo de producción disminuirá para que así se tenga una mayor eficiencia tanto en el proceso como en la máquina se soplado, pilar del área de producción.

3.2.4 Sigma de la EPB

Para determinar el sigma de la empresa EPB se obtienen los siguientes datos:

Unidades (U): 410 botellas (Máquina Sidel)

Defectos (D):

Aperlado de pétalos	}	12
Aperlado en cuerpo del envase		
Pétalos doblados		
Puntos descentrados		
Exceso de material en punto descentrado		
Estrangulamiento en cuello		
Mal soplado		
Mal estirado		
Ruptura por varilla de estirado		
Cuello		
Sello		
Base		

Cantidad de defectos en un producto: $DPU: \frac{D}{U} = \frac{12}{410} = 0.0292$

Oportunidad de defectos (O):

Envases doblado			
Mal etiquetado	Defectos	=	16
Inocuidad en el producto	+ establecidos		
Descuadre			

Defectos por oportunidad (DPO): $\frac{12}{410 \times 4} = 7.317 \times 10^{-3} = 0.007317$

Probabilidad de concretar una oportunidad de defecto

Defectos por millón de oportunidades (DPMO): $0.007317 \times 1,000,000 = 7,317.073$

Tabla 3.3 Conversión de capacidad del proceso.

Sigma	DPMO	YIELD
3.9	8,198	99.18%

Fuente: Bahena y Reyes, 2006

3.9 ≈ 4 SIGMA

Yield: $(1 - 0.007317) \times 100 = 99.26\%$

El rendimiento de esta etapa (Sidel soplado biorientado) es de:

$$100\% - 0.73\% = 99.26\%$$

Podemos concluir que el nivel sigma de la empresa puede llegar a incrementar con las mejoras que en la cuarta fase se plantean, con ello disminuirémos los defectos por millón de botellas.

3.2.5 Capacidad del proceso

A partir del análisis anterior, ahora requerimos determinar las variables que son parte fundamental para que el producto final que es la botella, satisfaga las especificaciones del proceso, para ello tenemos una lista de diferentes variables con las cuales vamos a ver su comportamiento a lo largo de tres meses por medio de su medición.

En la tabla 3.4 se muestran las variables que se toman en cuenta para la realización del producto, esto a partir de la herramienta en la que se basa la empresa llamada carta maestra de producción, cabe mencionar que el nombre de las variables viene a partir de dicha carta.

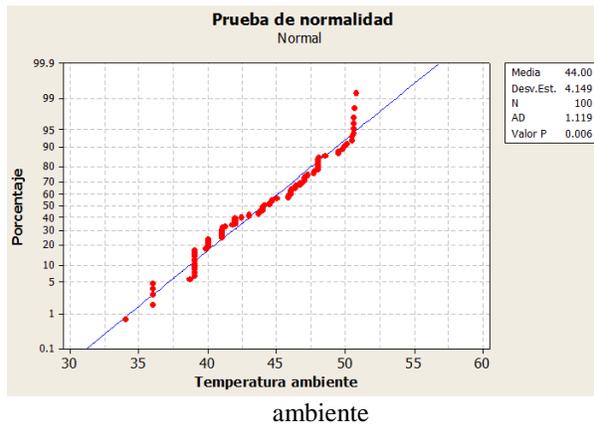
Tabla 3.4 Variables de la carta maestra de producción.

Variables	
Temperatura ambiente	% CZ2
% Arranque de máquina	% CZ3
% Salida	% CZ4
Temperatura de consigna	% CZ7
Temperatura de molde	% CZ9
% Ventilación	Temperatura de carga
Peso de preforma	% Puesta en espera
% CZ1	Temperatura de horno

Fuente: Elaboración propia, 2013

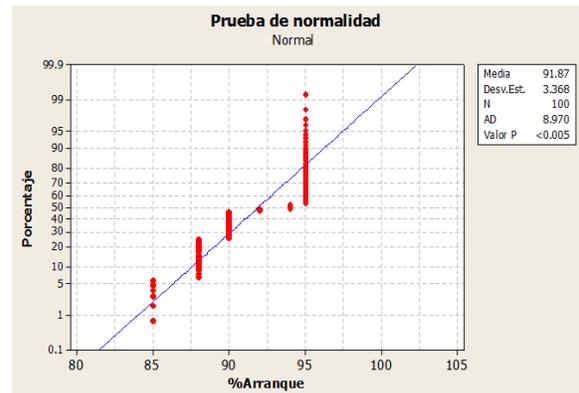
Posteriormente se obtuvieron los datos de cada una de las variables para tener la información concentrada en una tabla, para iniciar el camino de análisis de capacidad de proceso se realiza una prueba de normalidad, esta prueba de normalidad se desarrolla a partir del método Anderson Darling o Ryan Joines, si el valor de probabilidad P de la prueba es mayor a 0.05, se considera que los datos son normales, de lo contrario no hay normalidad y no se realiza un estudio de capacidad de proceso.

Gráfica 3.6 Prueba de normalidad temperatura.



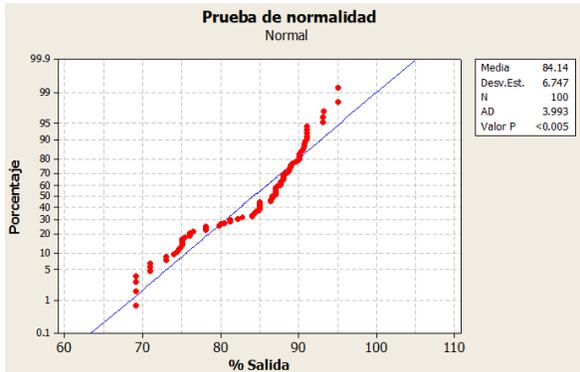
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.7 Prueba de normalidad % arranque.



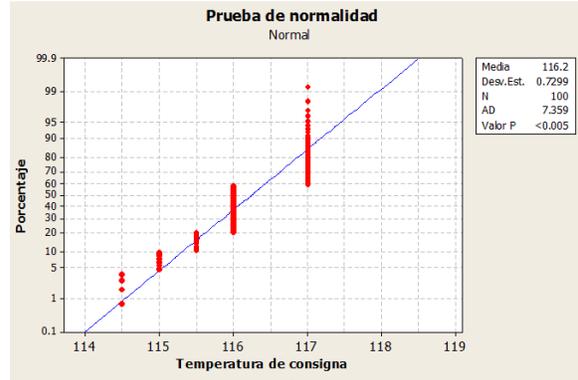
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.8 Prueba de normalidad % salida.



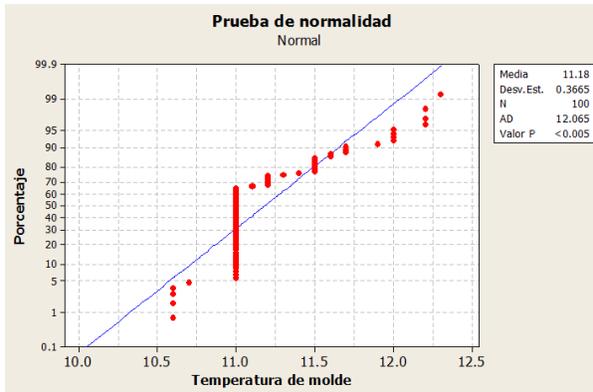
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.9 Prueba de normalidad temperatura de consigna.



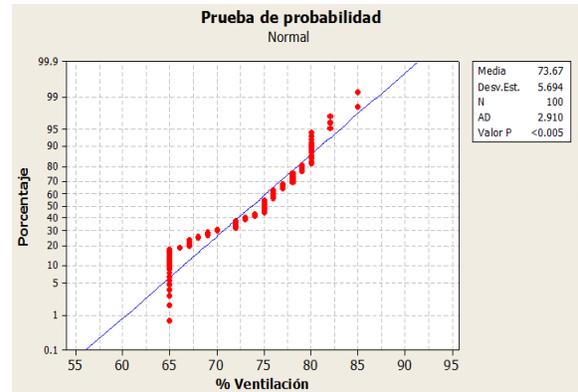
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.10 Prueba de normalidad temperatura de molde.



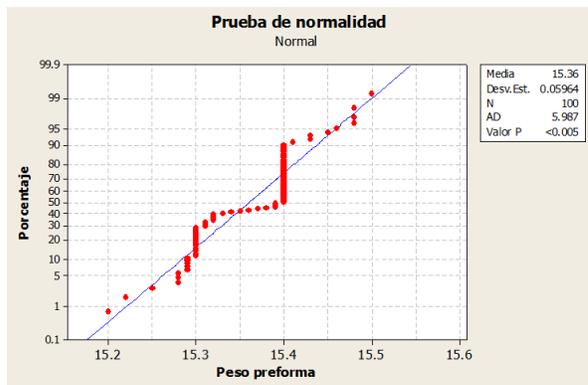
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.11 Prueba de normalidad % ventilación.



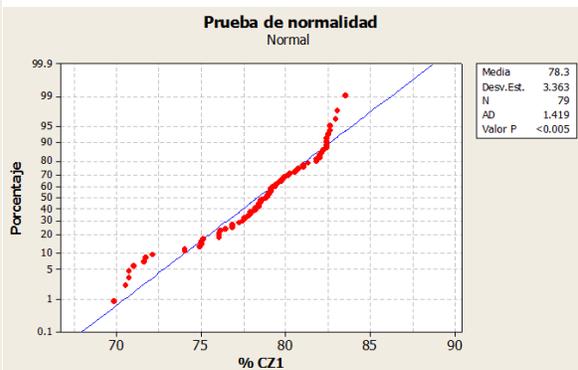
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.12 Prueba de normalidad temperatura ambiente.



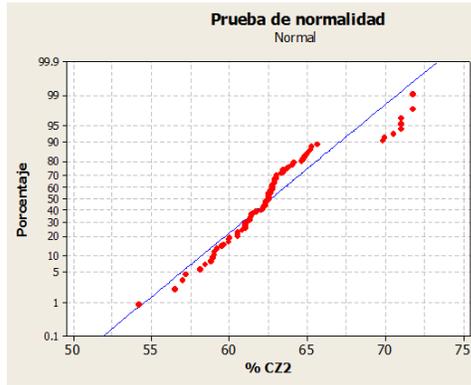
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.13 Prueba de normalidad % CZ1.



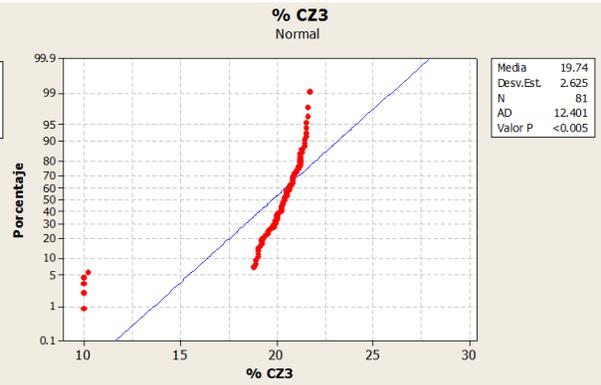
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.14 Prueba de normalidad % CZ2.



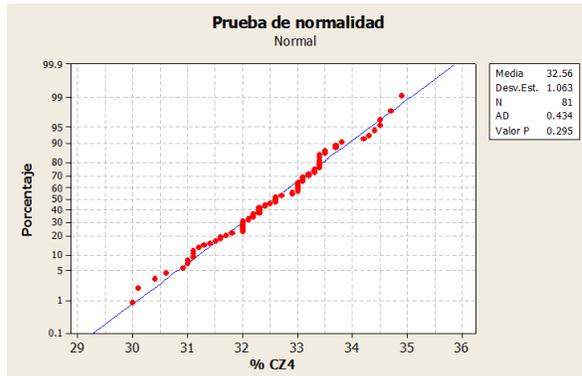
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.15 Prueba de normalidad % CZ3.



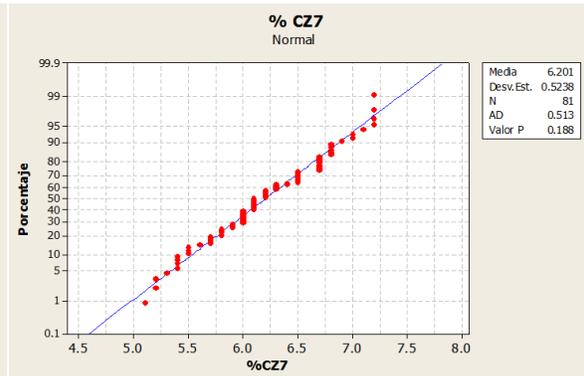
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.16 Prueba de normalidad % CZ4.



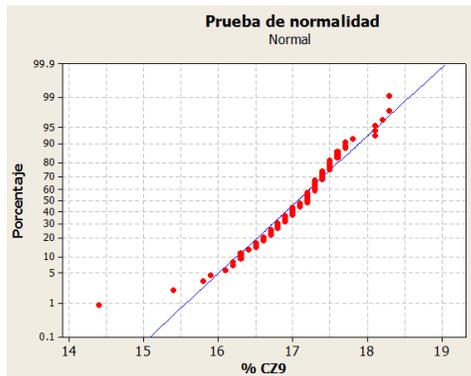
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.17 Prueba de normalidad % CZ7.



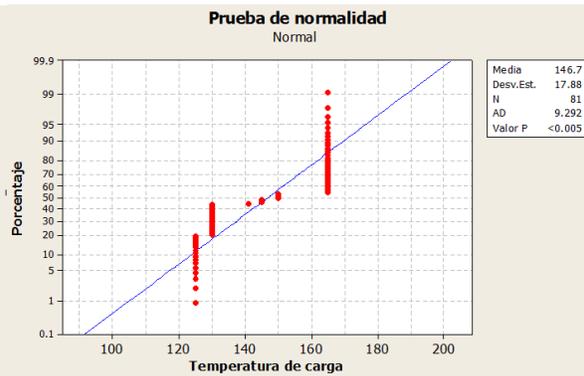
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.18 Prueba de normalidad % CZ9.



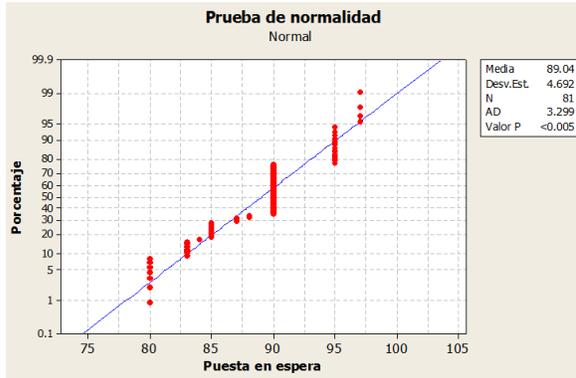
Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.19 Prueba de normalidad temperatura de carga.

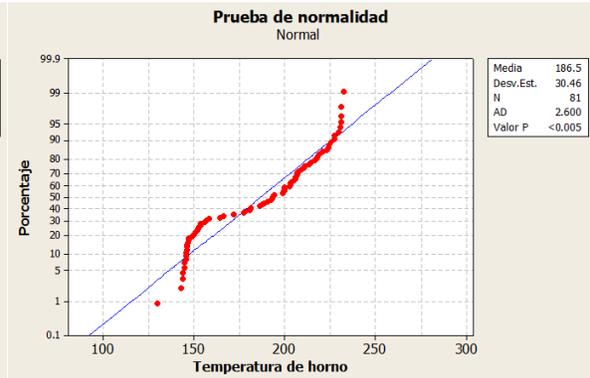


Fuente: Minitab, 2013

Gráfica 3.20 Prueba de normalidad puesta en espera.



Gráfica 3.21 Prueba de normalidad temperatura de horno.

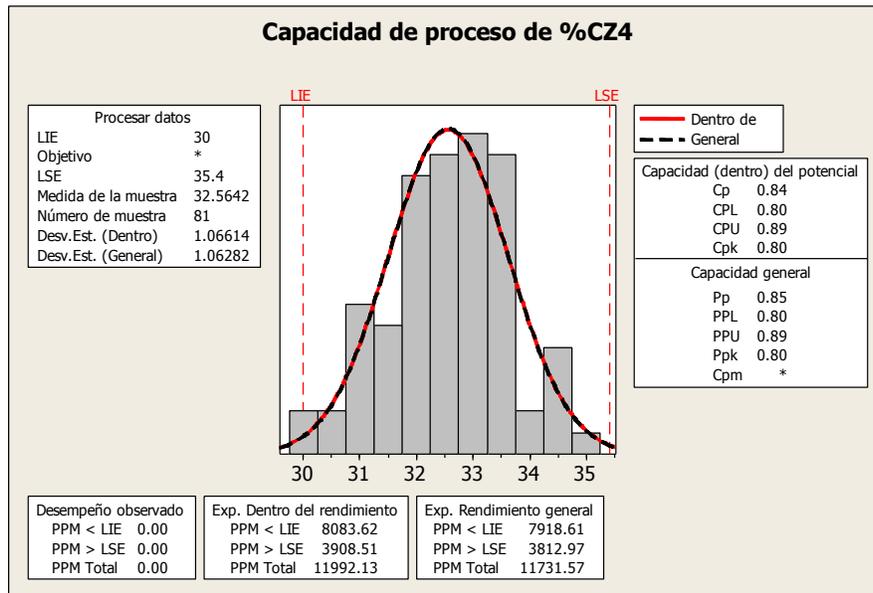


Fuente: Minitab, 2013

Fuente: Minitab, 2013

Concluimos que las únicas variables que tienen un comportamiento normal de proceso son % CZ4 y % CZ7, ya que obtuvieron un valor de $p > 0.05$, sin embargo, las otras variables se tomaran en cuenta para la siguiente fase a partir de un análisis de correlación que tienen entre ellas, por lo que ahora se prosigue a realizar el análisis de capacidad de proceso de estas dos variables.

Gráfica 3.22 Capacidad de proceso de la variable % CZ4.

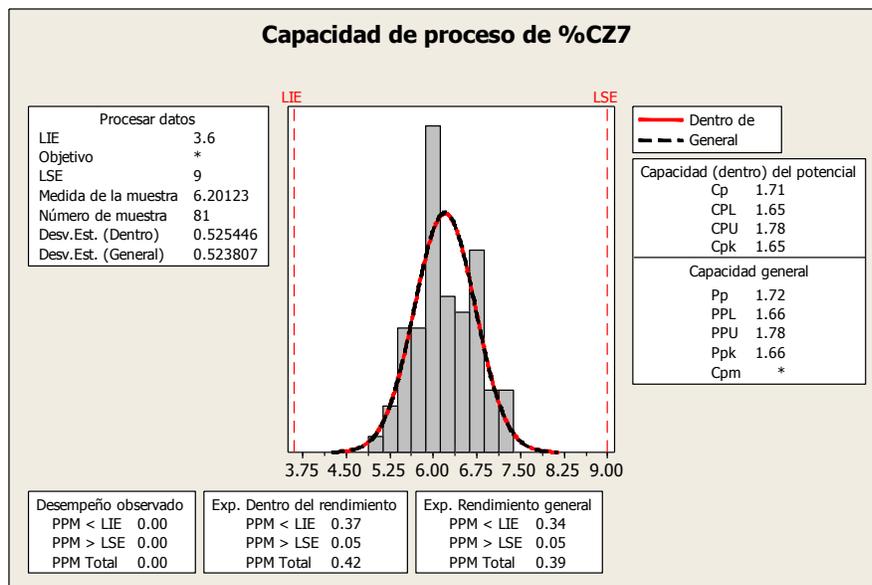


Fuente: Elaboración propia en programa Minitab, 2013

Explicando la gráfica anterior, podemos observar que la media es de 32.5642 y la cola izquierda de la distribución cae fuera del límite inferior de especificaciones (LIE en el gráfico). Esto significa que veremos ocasionalmente que la variable no cumple las especificaciones inferiores de 30.

El valor $Cpk = 0.80$, por lo que significa que a esta variable se le debe de reducir la variación, llevando a cabo un ajuste en su control y así se mejorará el proceso.

Gráfica 3.23 Capacidad de proceso de la variable % CZ7.



Fuente: Elaboración propia en programa Minitab, 2013

Mientras que en la gráfica de la variable % CZ7, podemos observar que la media es de 6.201 y los valores entran dentro de las especificaciones tanto del lado izquierdo como del lado derecho. Esto significa que cumple con las especificaciones por lo que se debe seguir por el mismo proceso.

El valor $Cpk = 1.65$, por lo que significa que satisface las necesidades para la elaboración del producto.

3.3 Tercera fase Analizar

3.3.1 Correlación

Retomando las variables que no obtuvieron una distribución normal, se procede a realizar la correlación de Pearson para saber el impacto de una variable con otra, utilizando el programa Minitab, y en la siguiente tabla se muestra el concentrado de cada correlación para que así se determine la más fuerte y posteriormente graficarla.

Tabla 3.5 Correlación mayor entre variables.

Correlación Temperatura ambiente vs variables		Correlación % CZ1 vs variables		Correlación % CZ2 vs variables	
% Arranque	0.714	Temperatura ambiente	0.73	Temperatura ambiente	0.825
% Salida	0.55	% Arranque	0.469	% Arranque	0.661
Temperatura de consigna	0.857	% Salida	0.357	% Salida	0.504
Temperatura de molde	0.675	Temperatura de consigna	0.593	Temperatura de consigna	0.769
% Ventilación	0.946	Temperatura de molde	0.557	Temperatura de molde	0.501
% CZ1	0.73	% Ventilación	0.651	% Ventilación	0.791
% CZ2	0.825	% CZ2	0.916	% CZ1	0.916
% CZ3	0.788	% CZ3	0.913	% CZ3	0.984
% CZ4	0.066	% CZ4	0.098	% CZ4	0.244
% CZ7	0.603	% CZ7	0.875	% CZ7	0.753
% CZ9	0.724	% CZ9	-0.556	% CZ9	-0.843
Puesta en espera	-0.791	Puesta en espera	0.903	Puesta en espera	0.985
Temperatura de horno	0.53	Temperatura de horno	0.903	Temperatura de horno	0.742
Σ	7.351	Σ	7.409	Σ	7.832

Correlación % CZ3 vs variables		Correlación Puesta en espera vs variables	
Temperatura ambiente	0.788	Temperatura ambiente	0.791
% Arranque	0.663	% Arranque	0.673
% Salida	0.536	% Salida	0.543
Temperatura de consigna	0.763	Temperatura de consigna	0.771
Temperatura de molde	0.467	Temperatura de molde	0.462
% Ventilación	0.764	% Ventilación	0.77
%CZ1	0.913	%CZ1	0.903
%CZ2	0.984	%CZ2	0.985
%CZ4	0.339	%CZ3	1
%CZ7	0.8	%CZ4	0.345
%CZ9	-0.822	%CZ7	0.788
Puesta en espera	1	%CZ9	-0.837
Temperatura de horno	0.812	Temperatura de horno	0.796
Σ	8.007	Σ	7.99

Fuente: Elaboración propia, 2013

Concluimos que las variables con mayor correlación, por orden de mayor a menor son: % CZ3, Puesta en espera, % CZ2, % CZ1 y Temperatura ambiente, sin embargo, estas variables no son todas controlables, por lo que ahora, en la siguiente tabla, se determinan las variables controlables y no controlables.

Tabla 3.6 Variables controlables y no controlables.

VARIABLES	
CONTROLABLES	NO CONTROLABLES
% CZ3	Temperatura ambiente
% CZ2	
% CZ1	
Puesta en espera	

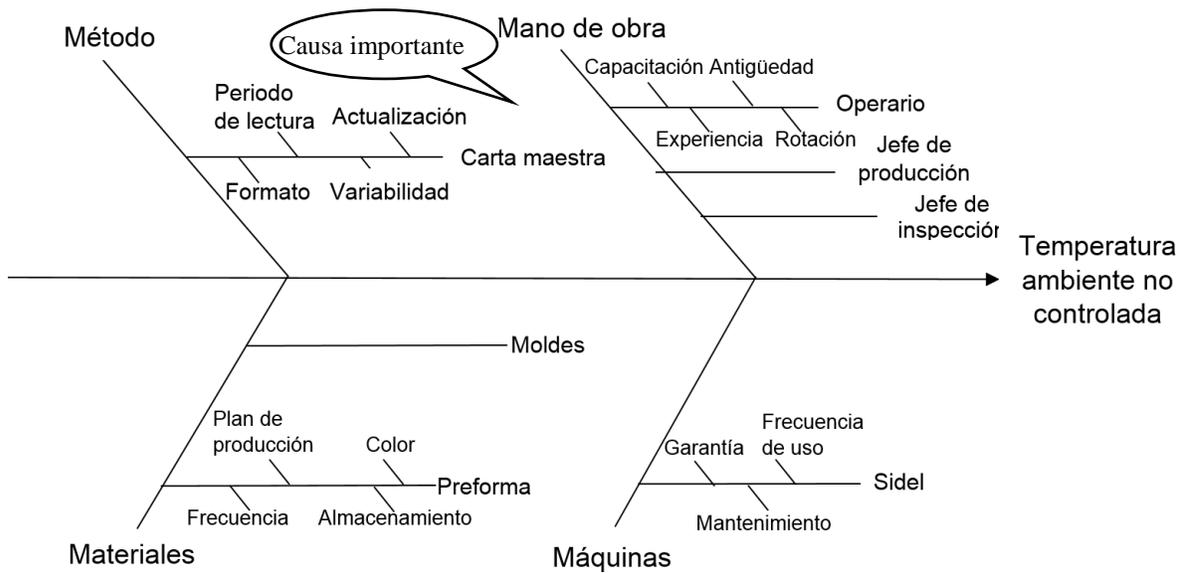
Fuente: Elaboración propia, 2013

Concluimos que la variable no controlable es Temperatura ambiente, en cuanto a las variables controlables, se descarta realizar un análisis más a profundidad, ya que en estas se puede regular el comportamiento de su valor, si sus valores se presentan por debajo o arriba de los límites de control establecidos en la carta maestra de producción, por medio de los mandos digitales de la máquina sopladora SIDEL se pueden controlar.

3.3.2 Diagrama causa - efecto

Retomando el resultado anterior de la variable no controlable que es Temperatura ambiente, se continúa con su análisis a partir de un diagrama causa-efecto que se representa en la siguiente figura, en donde ahora se busca la causa o causas raíces del porque esta variable no es controlada durante el proceso.

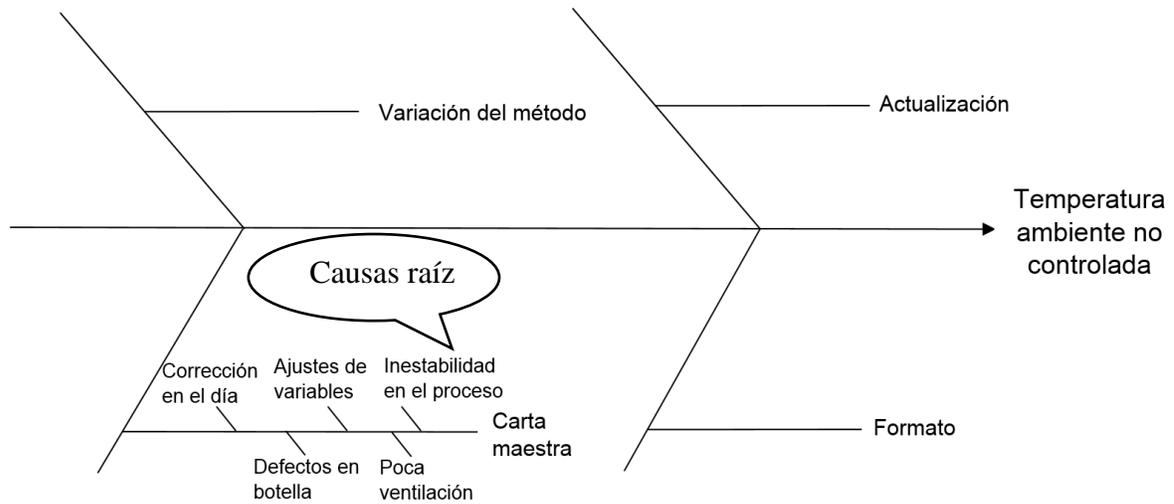
Figura 3.4 Diagrama causa-efecto de la variable no controlada.



Fuente: Elaboración propia, 2013

Se detecta que las causas raíz se encuentran en el método, en donde el elemento que lo integra es la Carta maestra de producción. Por lo que ahora se continúa con otro Diagrama causa-efecto para determinar las causas más importantes.

Figura 3.5 Segundo diagrama causa-efecto de la variable no controlada.



Fuente: Elaboración propia, 2013

Se concluye que las causa raíz detectada en el diagrama causa-efecto anterior, se tomarán en cuenta para desarrollar las alternativas de solución en la cuarta fase.

3.4 Cuarta fase Mejora

Tomando en cuenta que la empresa analizará los resultados de esta investigación y posteriormente implementará lo que en esta fase se desarrolla como propuestas o alternativas de solución, en donde se explican las herramientas así como los pasos a seguir para su futura aplicación, estas herramientas extraídas de manufactura esbelta ayudaran a mejorar el proceso de producción de botellas Pet, esto a partir de los resultados que se tienen en cada fase del modelo DMAIC, por lo cual, se relacionara el problema o área de mejora detectados en cada fase con una herramienta, las cuales son descritas a continuación.

3.4.1 Aplicación del mantenimiento productivo total

Retomando los resultados de la primera fase que es Definir, un área a mejorar que se detecta es la de mantenimiento al equipo utilizado para el soplado biorientado de botellas llamado

SIDEL, los resultados que se obtuvieron arrojan que existen tres problemas de vital importancia que son: atorón en el riel de carga, ajustes del proceso y par rueda de salida.

El atorón ejercido por la preforma en el riel de carga se origina a partir del mantenimiento de los rieles tanto de entrada, como de salida de la botella, son acciones que la misma gente de mantenimiento hace y provoca el movimiento del riel, se tienen medidas específicas del espacio entre pared y pared del riel que no se toman en cuenta al realizar las actividades de mantenimiento respectivo, por otro lado, los ajustes del proceso se presentan ya que la botella se llega a atorar durante el proceso de la misma, existen explosiones en algunos moldes debido a erróneas configuraciones de máquina al darle mantenimiento y no se tienen cuidado de ello o simplemente la botella no pasa las medidas de calidad que se le apliquen para la liberación de proceso, causando con ello retrasos en el mismo, y por último, el par rueda de salida se presenta ya que la limpieza de las pinzas de la misma no se les aplica un correcto mantenimiento y ajuste, lo que provoca de igual manera a los anteriores problemas, retrasos en la producción y que la máquina constantemente se detenga.

Ante esto, se deduce que el mantenimiento que se le da a la máquina no es el adecuado, por lo cual, se describirán los pasos que se llevan a cabo para implementar una herramienta representativa de la Manufactura Esbelta que es el Mantenimiento Productivo Total.

3.4.1.1 Mantenimiento productivo total TPM

Su finalidad es garantizar una vida útil en los equipos, asegurando con esto: cero averías en los mismos, cero defectos en la producción, cero accidentes laborales, mejorar la producción y minimizar los costos.

Implementando esta metodología se tendrán beneficios en:

Seguridad:

- Mejorar las condiciones ambientales.
- Incremento de la capacidad de identificación de problemas potenciales y de búsqueda de acciones correctivas.
- Prevención y eliminación de causas potenciales de accidentes.

Productividad:

- Eliminar pérdidas que afecten la productividad de la planta.
- Mejora de la fiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- Reducción de los costos de mantenimiento.
- Aumento de la capacidad de respuesta a los movimientos del mercado.
- Mejora de la calidad del producto final.

Organizativa:

- Mejorar la calidad del ambiente de trabajo.
- Mejorar el control de las operaciones.
- Creación de una cultura de responsabilidad, disciplina y respeto por las normas.
- Creación de un ambiente donde la participación, colaboración y creatividad sea una realidad.
- Dimensionamiento adecuado de las plantillas de personal.
- El implementar esta metodología se garantiza un desarrollo más eficiente y eficaz del personal, de nuestro equipo y evitando los paros en las líneas de producción.

3.4.1.2 Pasos para implementar el TPM

La meta del TPM es efectuar mejoras sustanciales dentro de la empresa optimizando la utilización de sus recursos físicos y humanos. Para eliminar las pérdidas debemos cambiar primero las actitudes del personal e incrementar sus capacidades; aumentar su motivación y

competencia, mejora la efectividad del mantenimiento y operación de los equipos. Los doce pasos de implementación y desarrollo del TPM, recomendados por Seiichi Nakajima en su libro *Introducción al TPM*, se resumen a continuación.

1. Anuncio de la alta dirección de la introducción del TPM

La alta dirección debe informar a sus empleados de su decisión, e infundir entusiasmo por el proyecto. La preparación para la implantación implica crear un entorno propicio para un cambio efectivo. Se requiere, el persistente apoyo y el firme liderazgo de la alta dirección, aunque el programa dependa de la participación total de los miembros de la organización.

2. Lanzamiento de una campaña educacional

El segundo paso es el entrenamiento y promoción del programa, que debe empezar tan pronto como sea posible, después de introducir el proyecto. El objetivo no es solamente explicar el TPM, sino elevar la moral y romper la resistencia al cambio. Los operarios de producción creen que el TPM incrementa la carga de trabajo, mientras el personal de mantenimiento es escéptico sobre la capacidad de los operarios para practicar las actividades preventivas. Un buen sistema logrado en Japón es organizar jornadas de entrenamiento por niveles jerárquicos.

3. Crear organizaciones para promover el TPM

La estructura promocional del TPM se basa en una matriz organizacional, conformada por grupos horizontales, tales como comités y grupos de proyectos en cada nivel de la organización. Se recomienda formar círculos de participación en los niveles táctico y estratégico, establecer una oficina central y asignar el personal necesario. Aunque tradicionalmente los comités de mejoramiento se organizan aparte, pueden utilizarse eficientemente para promover las actividades de desarrollo del TPM.

4. Establecer políticas y metas para el TPM

Aunque las políticas estén constituidas por proposiciones verbales o escritas abstractas, las metas deben ser claras, cuantitativas y precisas, especificando el objetivo (qué), la cantidad (cuánto), y el lapso de tiempo (cuándo). Para fijar una meta alcanzable debe medirse y comprenderse el nivel actual, las características de las averías, y las tasas de defectos del proceso por pieza o equipo. El análisis de las condiciones reales existentes y el establecimiento de metas razonables permiten predecir el éxito del proceso.

5. Formular un plan maestro para desarrollo del TPM

Este plan maestro debe incluir el programa diario de promoción del TPM, empezando por la fase de preparación anterior a la implementación y el programa de capacitación el plan se debe basar en las cinco actividades básicas del TPM:

- Mejoramiento de la Efectividad del Equipo.
- Establecimiento del Mantenimiento Autónomo,
- Aseguramiento de la Calidad de los Productos.
- Programa de Mantenimiento Planificado.
- Plan de Entrenamiento y Capacitación.

6. El disparo de salida de TPM

Este es el primer paso para la implantación propiamente dicha. A partir de este punto, los trabajadores deben cambiar sus ritmos de trabajo diarias tradicionales y empezar a practicar el TPM. El “Disparo de Salida” debe ayudar a cultivar una atmósfera que incremente la moral y dedicaciones de los trabajadores.

7. Mejorar la efectividad del equipo

Los ingenieros de producción, división técnica y mantenimiento, los supervisores de línea y los miembros de pequeños grupos, se organizan en equipos de proyectos que implementen mejoras para eliminar las pérdidas. La determinación de la efectividad global de los equipos y el análisis de las causas de baja efectividad permiten proponer estrategias para su mejoramiento.

8. Establecer el programa de mantenimiento autónomo

El Mantenimiento Autónomo por los operarios es una característica única del TPM. En la promoción del TPM, cada persona desde la dirección hasta el último operario, debe creer que es factible que los operarios realicen el mantenimiento y que los trabajadores deben ser responsables de su propio equipo.

9. Establecer un programa de auto-mantenimiento

El volumen de trabajo de mantenimiento disminuye cuando al inspección general pasa a ser parte de la rutina de los operarios. El número de averías decrece ampliamente y también se reducen las actividades globales de mantenimiento. En esta etapa del proceso, el departamento de mantenimiento debe centrarse en su propia organización y establecer un programa de auto-mantenimiento.

10. Conducir el entrenamiento para mejorar las habilidades

La educación técnica y el entrenamiento para la formación de habilidades de operación y mantenimiento, deben ajustarse a los requerimientos particulares de la planta. La capacitación es una inversión en el personal que rinde múltiples beneficios. La empresa que implanta el TPM debe invertir en entrenamiento para permitir a sus trabajadores gestionar apropiadamente sus equipos y afirmar sus habilidades en operación normal.

11. Desarrollo temprano de un programa de gestión de equipos

Cuando se instala un equipo nuevo, a menudo aparecen problemas durante el arranque, aunque en las etapas de diseño, fabricación y montaje todo parezca marchar bien. Se necesitan inspecciones y revisiones en el periodo inicial; ajustes, reparaciones, limpieza y lubricación para evitar el deterioro. La Gestión Temprana de equipos se debe realizar por el personal de mantenimiento y producción como parte de un enfoque de prevención de mantenimiento y diseño libre de manteniendo.

12. Implantación plena del TPM

El paso final en el programa de desarrollo del TPM es perfeccionar la implantación y fijar metas futuras más elevadas. Durante este período de estabilización, cada uno trabaja continuamente para mejorar los resultados, lo cual marca el comienzo real del programa de mejoramiento continuo empresarial (Nakajima, 1991).

A través de estos pasos la empresa puede tomar una iniciativa de desarrollo y reducir la presencia de fallas no solo en una máquina, sino realizarlo en todas las máquinas de la empresa, teniendo en cuenta siempre el apoyo de la gerencia que es la cabeza de todo el cuerpo de la empresa.

3.4.2 Aplicación del SMED

En la etapa de medir, los resultados arrojados por el mapa de cadena de valor, presentan dos áreas de oportunidad, una es la reducción de tiempo de cambios de moldes y la otra es la reducción de tiempo de operación, para ello se plantea la utilización de una herramienta proveniente de la Manufactura Esbelta que es el SMED (Single Minute Exchange of Die).

3.4.2.1 Metodología de aplicación de SMED

1.- Etapa preliminar

Lo que no se conoce no se puede mejorar, si se puede filmar el procedimiento, hacerlo y darse cuenta del sinnúmero de movimientos inútiles, paseos, distracciones, etcétera, en que incurren los operarios.

Se puede tomar hasta 40 minutos buscando por toda la planta una llave Allen, otro tanto localizando los tornillos en el almacén o hasta un troquel en los racks, afilando las piezas necesarias o llenando formatos de calidad y producción. Todo esto mientras el equipo permanece detenido esperando a que el operador se decida a empezar el desmontaje de las herramientas usadas por el artículo anterior y el acoplamiento de las que se necesitan para el que viene. Por ello en esta etapa se realiza un análisis detallado del proceso inicial de cambio con las siguientes actividades:

- Registrar los tiempos de cambio:
 - Conocer la media y la variabilidad.
 - Escribir las causas de la variabilidad y estudiarlas.

- Estudiar las condiciones actuales del cambio:
 - Análisis con cronómetro.
 - Entrevistas con operario (y con el preparador).
 - Grabar en video.
 - Mostrarlo después a los trabajadores.
 - Sacar fotografías.

Esta etapa es más útil de lo que se cree, y el tiempo que se invierte en su estudio puede evitar posteriores modificaciones del método al no haber descrito la dinámica de cambio inicial de forma correcta.

En la tabla 3.7 se describen las actividades que se realizan desde la salida de los moldes del producto que se deja de producir, hasta la salida del nuevo producto a realizar con liberación de calidad.

Tabla 3.7 Actividades realizadas en los cambios de moldes.

Nombre de la actividad	Tiempo en segundos
Tomar contadores	45
Resetear contadores	35
Llenar formatos y registros en programa SAP	1220
Parar la máquina	48
Habilitar extensión de mando	65
Ajustar altura de horno	135
Ajuste de rodillos y guías de orientador	405
Limpieza de volteador de preforma	38
Verificar que la preforma sea correcta	25
Vaciar el contenedor en tolva	237
Producir envase para liberación	345
Ejecutar liberación	1455
Posicionar máquina	18
Retirar conexiones de agua	13
Retirar fondos	22
Conectar desarmador neumático con conector neumático	5
Quitar mitades cavidades	31
Colocar mitades	42
Colocar fondo y conectar mangueras de agua	18
Cambiar topes de estirado	38
Giro de la máquina	10
Cambio de varillas	48
Ajuste de caudales	23
Posicionar puesto en marca	11
Verificar ajuste de sillines	25
Colocar calzas en sillines	248
Cambio de estrella de salida	380
Cambio y ajuste de guía lateral	310

Continuación de la tabla 3.7	
Ajuste de cabezal de video jet	510
Carga de la receta en computadora de máquina	135
Cargar receta en equipo Pressco	75
Producir envase y validar ajustes	465
Tiempo total	6435

Fuente: Elaboración propia, 2013

En esta etapa, al establecer las actividades para el cambio de molde, se tiene un tiempo total de 1 hora 47 minutos, por lo que, en la siguiente etapa, se separarán todas estas actividades en tareas internas y externas.

2.- Primera etapa: Separar las tareas internas y externas.

En la tabla 3.8 se muestra la separación de las actividades anteriormente establecidas en tareas internas y externas.

Tabla 3.8 División de tareas y sus tiempos.

Tareas internas	Tiempo (seg)	Tareas externas	Tiempo (seg)
Cambio de moldes y topes de estirado	197	Corte de producción	1413
- Posicionar máquina (18).		- Tomar contadores (45).	
- Retirar conexiones de agua (13).		- Resetear contadores	
- Retirar fondos (22).		(35).	
- Conectar desarmador neumático con conector neumático (5).		- Llenar formatos y registros en programa SAP (1220).	
- Quitar mitades cavidades (31).		- Parar la máquina (48).	
- Colocar mitades (42).		- Habilitar extensión de mando (65).	
- Colocar fondo y conectar mangueras de agua (18).			
- Cambiar topes de estirado (38).			
- Giro de la máquina (10).			

Continuación de la tabla 3.8

Cambio de varillas y ajuste de caudales	71	Ajuste de horno y orientador	540
- Cambio de varillas (48).		- Ajustar altura de horno (135).	
- Ajuste de caudales (23).		- Ajuste de rodillos y guías de orientador (405).	
Ajuste de sillines	284	Preparar preforma	300
- Posicionar puesto en marca (11).		- Limpieza de volteador de preforma (38).	
- Verificar ajuste de sillines (25).		- Verificar que la preforma sea correcta (25).	
- Colocar calzas en sillines (248).		- Vaciar el contenedor en tolva (237).	
Ajuste de rueda de salida	1200	Liberación	1800
- Cambio de estrella de salida (380).		- Producir envase para liberación (345).	
- Cambio y ajuste de guía lateral (310).		- Ejecutar liberación (1455).	
- Ajuste de cabezal de video jet (510).		Habilitar máquina de inspección Pressco	75
Cargar receta y ajuste de proceso	600	- Cargar receta en equipo Pressco (75).	
- Carga de la receta en computadora de máquina (135).			
- Procesar envase y ajustar (465).			
		Tiempo de tareas internas	
		2316 segundos	
		Tiempo de tareas externas	
		4128 segundos	

Fuente: Elaboración propia, 2013

La división de actividades entre internas y externas nos da como resultado una reducción en comparación con el tiempo total de 4128 segundos, que representa el 35%; por lo que ahora, en la siguiente etapa se convertirán las tareas que sean pertinentes de internas a externas para reducir más el tiempo del cambio de molde.

3.- Segunda etapa: Convertir tareas internas en externas.

En la tabla 3.9 se muestra con letras resaltadas en negro las actividades que se convirtieron de internas a externas para reducir el tiempo de las tareas internas.

Tabla 3.9 Conversión de tareas internas a externas.

Tareas internas	Tiempo (seg)	Tareas externas	Tiempo (seg)
Cambio de moldes y topes de estirado	192	Corte de producción	1418
- Posicionar máquina (18).		- Tomar contadores (45).	
- Retirar conexiones de agua (13).		- Resetear contadores (35).	
- Retirar fondos (22).		- Llenar formatos y registros en programa SAP (1220).	
- Quitar mitades cavidades (31).		- Parar la máquina (48).	
- Colocar mitades (42).		- Conectar desarmador neumático con conector neumático (5).	
- Colocar fondo y conectar mangueras de agua (18).		- Habilitar extensión de mando (45).	
- Cambiar topes de estirado (20).			
- Giro de la máquina (10).			
Cambio de varillas y ajuste de caudales	71	Ajuste de horno y orientador	540
- Cambio de varillas (25).		- Ajustar altura de horno (135).	
- Ajuste de caudales (15).		- Ajuste de rodillos y guías de orientador (405).	

Continuación de la tabla 3.9			
Ajuste de sillines	284	Preparar preforma	300
- Posicionar puesto en marca (11).		- Limpieza de volteador de preforma (38).	
- Verificar ajuste de sillines (25).		- Verificar que la preforma sea correcta (25).	
- Colocar calzas en sillines (248).		- Vaciar el contenedor en tolva (237).	
Ajuste de rueda de salida	1200	Habilitar máquina de inspección Pressco	75
- Cambio de estrella de salida (380).		- Cargar receta en equipo Pressco (45).	
- Cambio y ajuste de guía lateral (310).			
- Ajuste de cabezal de video jet (510).		Liberación	
		- Producir envase para liberación (345).	1800
		- Ejecutar liberación (1455).	
Cargar receta y ajuste de proceso	600		
- Carga de la receta en computadora de máquina (135).		Tiempo de tareas internas	
- Procesar envase y ajustar (465).		2373 segundos	
		Tiempo de tareas externas	
		4083 segundos	

Fuente: Elaboración propia, 2013

En esta etapa solo se pudo cambiar de una actividad interna en una externa, lo que se redujo solo 5 segundos las tareas internas.

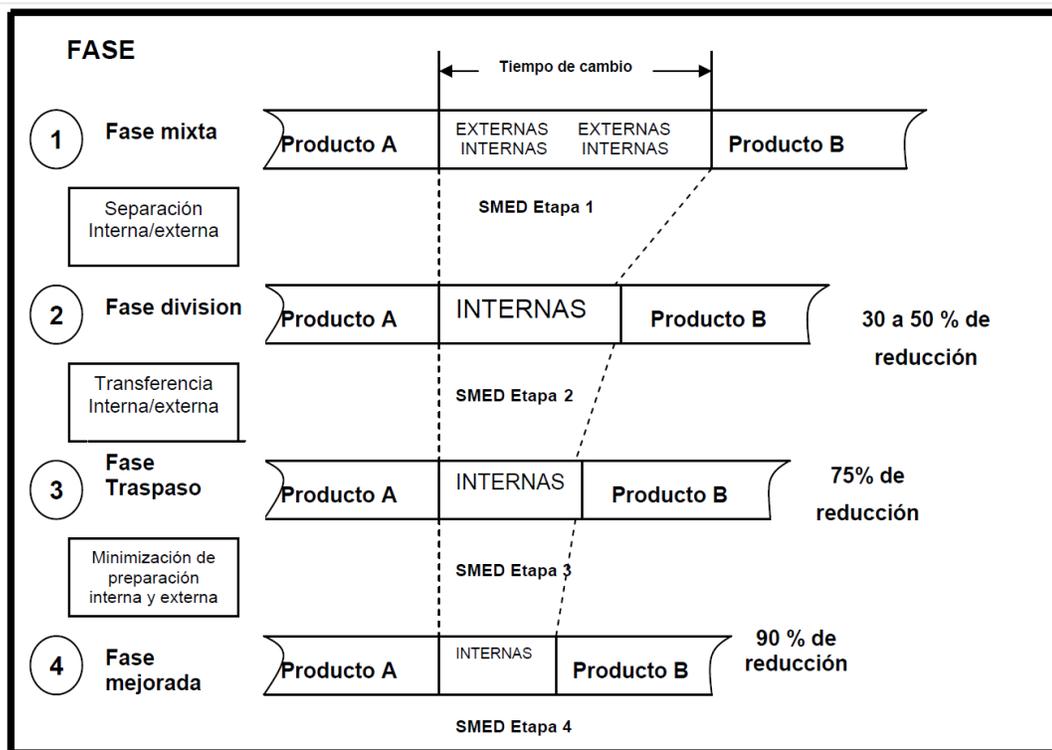
4.- Tercera etapa: perfeccionar las tareas internas y externas

El objetivo de esta etapa es perfeccionar los aspectos de la operación de preparación, incluyendo todas y cada una de las operaciones elementales (tareas externas e internas).

La optimización de las operaciones internas y externas restantes, aún las reducciones obtenidas en las etapas previas pueden ser mejoradas. Esta labor es de alto nivel de detalle, aunque también requiere de mucha imaginación y del diseño de dispositivos y elementos de sujeción novedosos. De hecho, la mayor parte de los equipos con los que se logra esta mejora se encuentran estandarizados en el mercado (Paredes R., 2011).

Esta última etapa, la empresa tendrá que tener mucho cuidado a la hora de ejecutarla, ya que a través de implementar acciones de mejora, que permitan desarrollar tanto las tareas internas como externas de forma más rápida y eficiente.

Figura 3.6 Fases para reducir el tiempo de cambio.



Fuente: Predes, SMED, www.cdi.org.pe/gifs/temas/smed.jpg-micro, 2013

Se concluye que el tiempo reducido en todas las actividades para el cambio de molde, al separar estas tareas en internas y externas es de 1 hora 7 minutos, ahora bien, si sabemos que

la máquina soplado SIDEL produce 466 botellas por minuto, multiplicados por los 67 minutos ahorrados, tendremos 31,222 botellas que se pueden fabricar en este tiempo, o un ahorro de 15,611 pesos, magnificando entonces la eficiencia de la máquina así como la eliminación de tiempo muerto, por lo cual se demuestra que esta herramienta ayudará a reducir la presencia de merma.

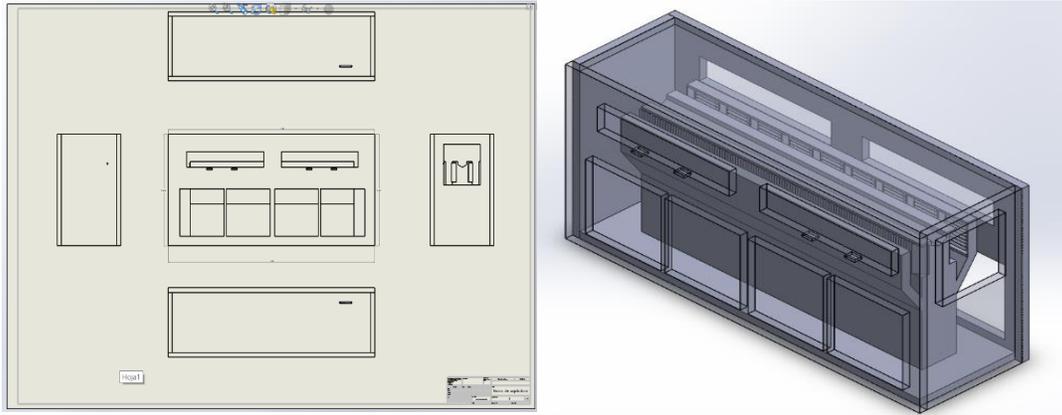
3.4.3 Análisis de transferencia de calor en horno de máquina SIDEL

Dentro del proceso de producción de botellas, el primer elemento donde las preformas pasan dentro de la máquina de soplado son los hornos de penetración y distribución, estos hornos permiten que la preforma se someta a tal grado de temperatura que posteriormente puedan ser maleables y se les realice el soplado pertinente, sin embargo, como se determinó en los resultados del Ishikawa la temperatura es el principal elemento y factor que produce alteraciones en la producción y por ende merma.

Por lo que para hacer un análisis profundo de este problema se optó por realizar una simulación de la cabina donde se encuentran los hornos de la máquina soplado SIDEL, para ello dentro de la empresa se pidió permiso para tomar las medidas de las paredes, lámparas, reflectores y base, elementos que componen el horno, estas medidas se hicieron con un flexómetro, unidades en cm. y para simular todos estos elementos se eligió el programa de dibujo SolidWorks.

Las partes que conforman todo el horno se desarrollaron en dos semanas, mientras que el ensamble final se realizó en una semana, obteniendo así el horno que se muestra en la figura 3.7.

Figura 3.7 Horno de la máquina SIDEL.



Fuente: SolidWorks, 2014

3.4.3.1 Simulación de transferencia de calor con SolidWorks Flow Simulation

Ahora dentro del software antes mencionado donde se realizó la simulación del horno, se tiene un apartado como paquete que se llama SolidWorks Flow Simulation, este paquete permite realizar la simulación de transferencia de calor que existe entre las lámparas y los elementos internos del horno con el fin de saber el comportamiento del calor que está generando problemas en las preformas.

Para ello se tomaron las temperaturas de la superficie de las paredes del horno, las temperaturas que alcanza el horno en el primer y segundo turno durante siete días y la humedad del ambiente, todo esto por medio de un termómetro termopar y un higrómetro para la velocidad y humedad del medio.

Tabla 3.10 Temperaturas de las lámparas de penetración.

Lámparas del horno	Temperatura mayor	Promedio	Temperatura menor
TURNO 1	línea 1	46.9	45.1
	línea 2	41.8	36.3
	línea 3	40.3	38.6
TURNO 2	línea 1	37.8	32.2
	línea 2	37.3	36.6
	línea 3	38.9	37.9

Continuación de la tabla 3.10				
TURNO 1	línea 1	43.8	38.7	33.6
	línea 2	43.2	39.1	35
	línea 3	51	47.4	43.8
TURNO 2	línea 1	33.8	33.4	33
	línea 2	41.5	37.7	33.9
	línea 3	39.6	38.55	37.5
TURNO 1	línea 1	42.3	39.6	36.9
	línea 2	42.6	40.55	38.5
	línea 3	46.1	41.05	36
TURNO 2	línea 1	41.3	38.1	34.9
	línea 2	43.8	41.65	39.5
	línea 3	43.7	40.2	36.7
TURNO 1	línea 1	34.3	32.95	31.6
	línea 2	41.9	38.3	34.7
	línea 3	45.1	41.9	38.7
TURNO 2	línea 1	32.1	31.05	30
	línea 2	42.4	41.15	39.9
	línea 3	49.5	43.55	37.6
TURNO 1	línea 1	41.3	39.5	37.7
	línea 2	39.6	36.55	33.5
	línea 3	36.7	33.9	31.1
TURNO 2	línea 1	38.4	36.05	33.7
	línea 2	37.7	34.8	31.9
	línea 3	39.9	38.35	36.8
TURNO 1	línea 1	41.8	40.8	39.8
	línea 2	40.6	38.6	36.6
	línea 3	44.3	42.55	40.8
TURNO 2	línea 1	39.8	38.2	36.6
	línea 2	36.8	34	31.2
	línea 3	37.9	34.9	31.9

Fuente: Elaboración propia, 2013

Por otro lado se investigaron los materiales con los que están hechas las partes internas del horno así como las paredes del mismo, esto a partir de un manual de descripción de la máquina SIDEL, encontrando que los materiales internos a excepción de las lámparas infrarrojas, están hechos de acero inoxidable, los reflectores de aluminio y las puertas tienen un aislante térmico para su protección con lo cual se les llaman puertas industriales.

A continuación se explican las teorías y fórmulas utilizadas por el software para la solución de este problema de transferencia de calor.

3.4.3.2 Fórmulas de transferencia de calor por convección

Ley de enfriamiento de Newton: $q'' = h(T_s - T_\infty)$; $q = \bar{h}A(T_s - T_\infty)$.

Coefficiente de transferencia de calor por convección local, h o promedio, \bar{h} [W/m²·K].

Relación entre los coeficientes de convección local y promedio:

$$q = \int_{A_s} q'' dA_s = (T_s - T_\infty) \int_{A_s} h dA_s = \bar{h} A_s (T_s - T_\infty) \Rightarrow \bar{h} = \frac{1}{A_s} \int_{A_s} h dA_s . \text{ Para flujo sobre una}$$

placa plana: $\bar{h} = \frac{1}{L} \int_0^L h dx$.

Espesor de la capa límite de velocidad, $\delta(x)$: la y para la que $u(y) = 0,99 \cdot u_\infty$.

Espesor de la capa límite térmica, $\delta_t(x)$: la y para la que $(T_s - T(y))/(T_s - T_\infty) = 0,99$.

Relación del coeficiente de convección en la capa límite: $h = \frac{-k_f \partial T / \partial y|_{y=0}}{T_s - T_\infty}$.

Número de Reynolds: $Re_x = \frac{\rho u_\infty x}{\mu} = \frac{u_\infty x}{\nu}$.

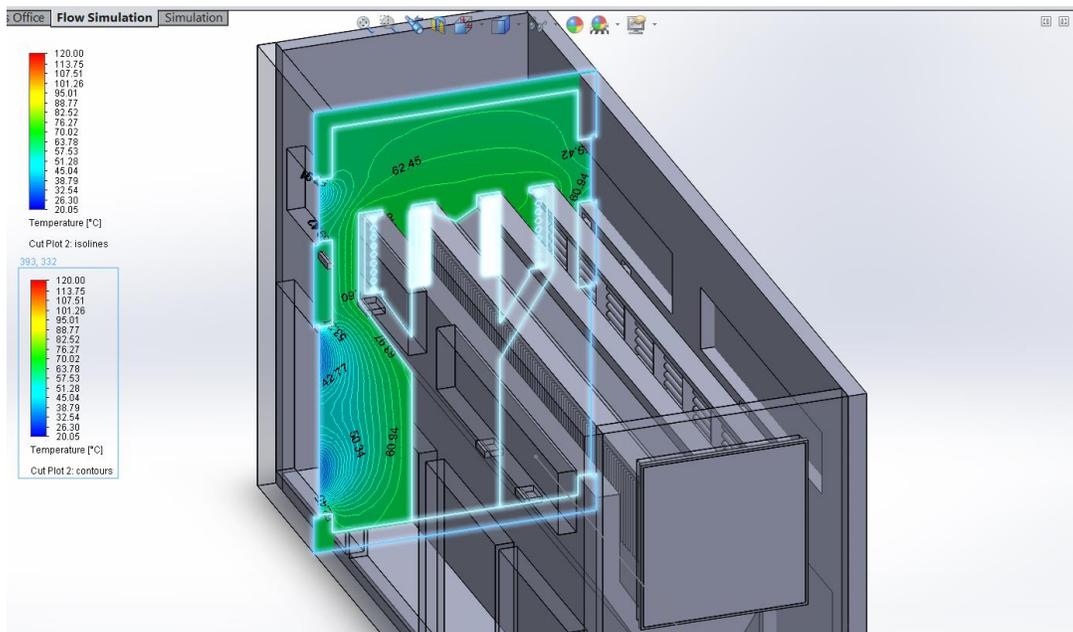
Número de Reynolds crítico para el inicio de la turbulencia en flujo externo: $Re_{x,c} = 5 \cdot 10^5$.

Expresión diferencial de la ecuación de conservación de la energía térmica para fluido incompresible en flujo estacionario:

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \mu \Phi + \dot{q} .$$

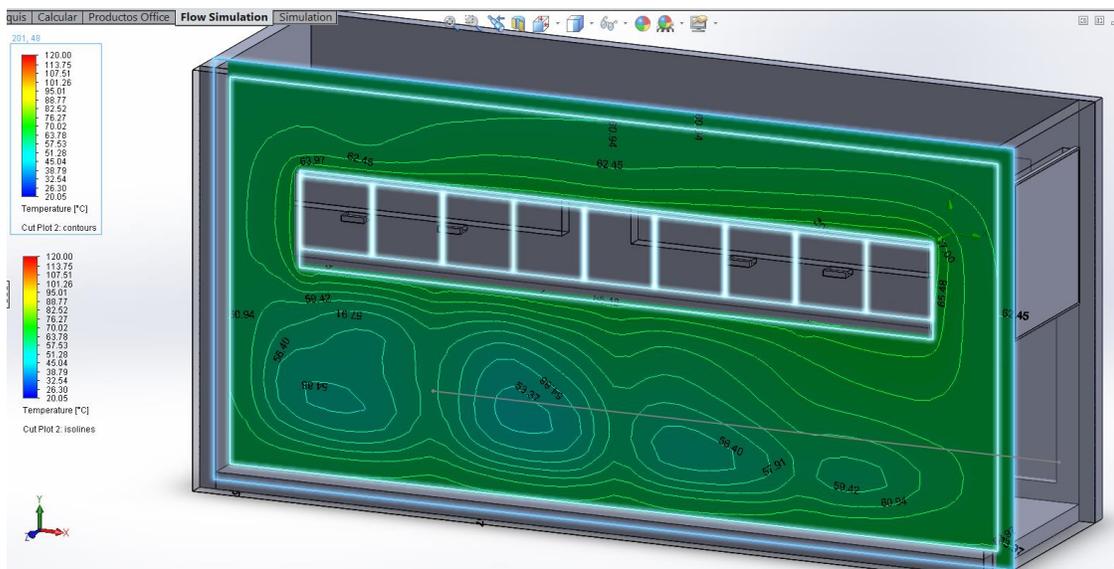
A través de las formulas antes mencionadas obtuvimos los siguientes resultados de temperatura en distintos puntos del modelo.

Figura 3.9 Temperatura del horno, barrido frontal.



Fuente: SolidWorks, 2014

Figura 3.10 Temperatura del horno, barrido lateral.



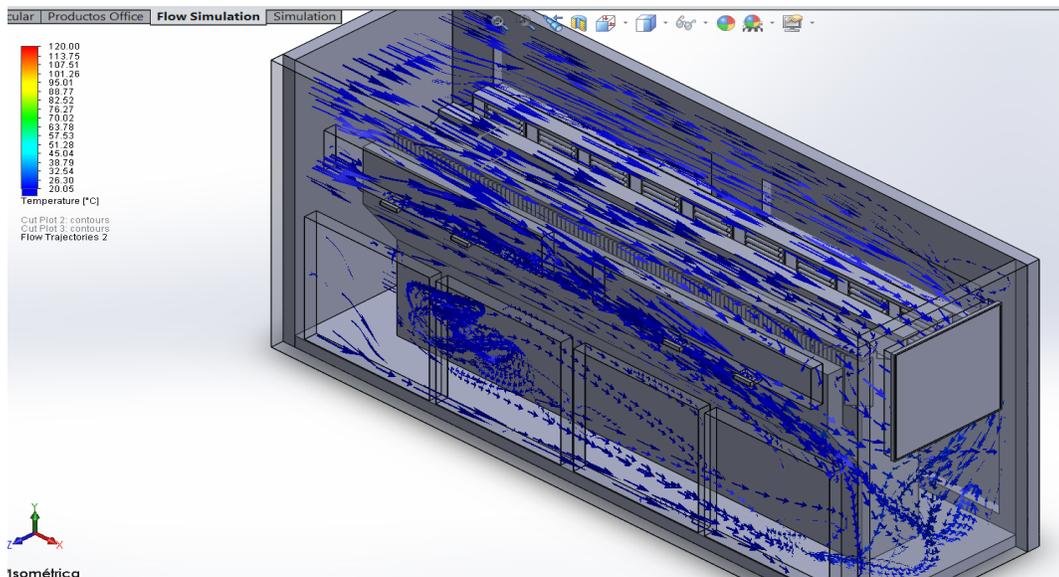
Fuente: SolidWorks, 2014

Concluimos que existe en la región superior central de la cabina del horno una temperatura superior a los 60 °C, esto es provocado porque el aire del medio ambiente al estar en contacto con el calentamiento de las preformas también se calienta y su tendencia es subir, por lo que la acumulación de aire caliente en esta región al paso del tiempo y conforme a la temperatura del medio ambiente, ocasiona que las preformas al ser sopladas salgan con defectos, lo que marca al inicio de producción el departamento de calidad como rechazo y se necesitan modificar parámetros de operación enfocados principalmente a las temperaturas que maneja el horno.

3.4.3.3 Propuesta de solución

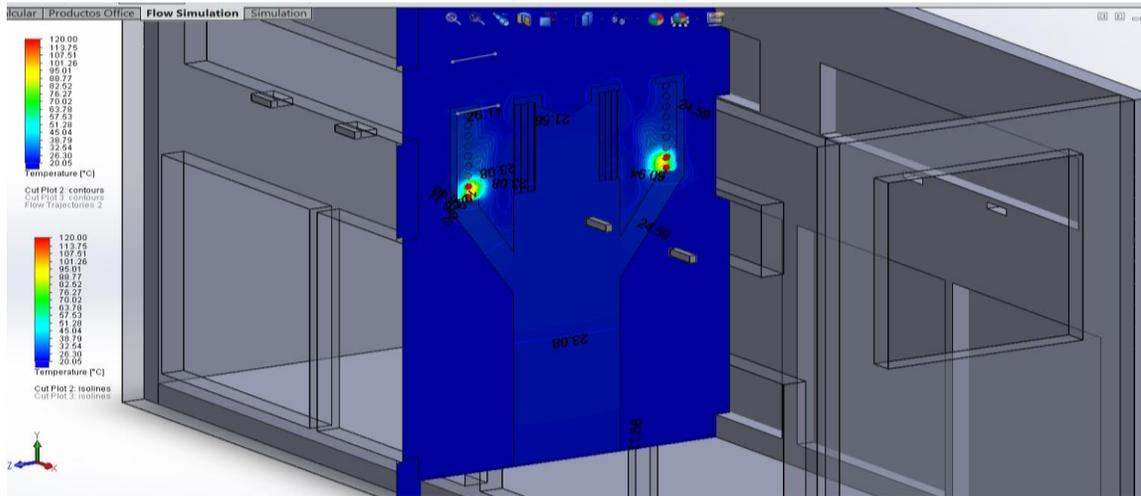
Al tener aire caliente en la parte superior por tendencia natural del proceso, se opta por un ventilador que recircule este aire, lo cual va a permitir que se reduzca la temperatura acumulada durante cada corrida de preformas y por ende le dará mayor estabilidad al proceso, por lo que en el modelo antes mostrado se incluyó en la simulación una ventilación en la parte izquierda, esta es provocada por tres ventiladores industriales axiales de 1/4 de caballos de fuerza y los resultados que nos arrojó el modelo se muestran en las siguientes figuras.

Figura 3.11 Flujo de calor en el horno.



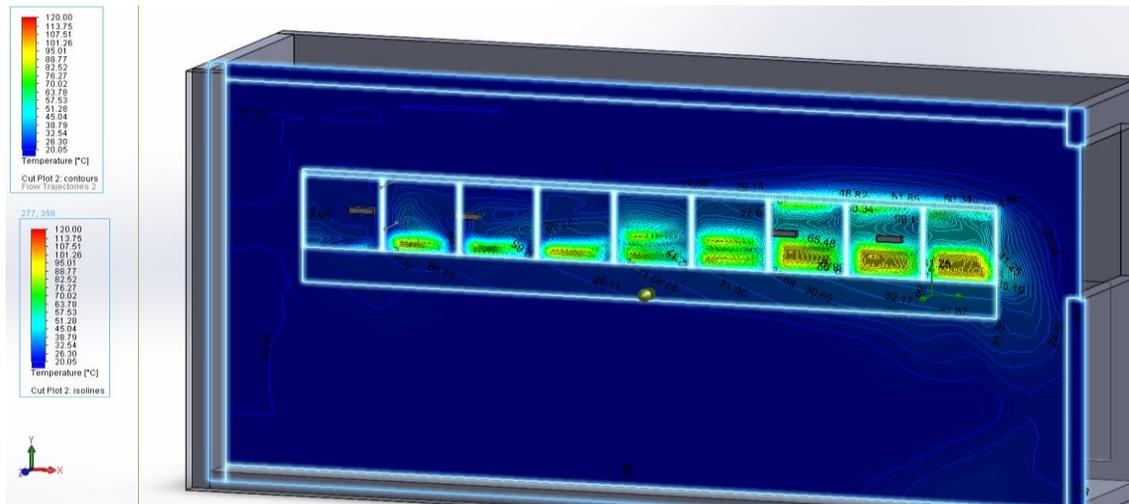
Fuente: SolidWork, 2014

Figura 3.12 Temperatura del horno con ventilación, barrido frontal.



Fuente: SolidWorks, 2014

Figura 3.13 Temperatura del horno con ventilación, barrido lateral.



Fuente: SolidWorks, 2014

Con la simulación de esta propuesta, podemos demostrar a los ingenieros de la Empresa de Producción de Botellas que conforme al diseño y características de operación, se puede reducir la temperatura del aire caliente acumulado en la parte superior dentro del horno, lo que esto provocara un mayor control para el operario en la operación tanto en el día, como en la tarde y noche, así no tendrá retraso al inicio de producción por rechazo de botellas por parte del departamento de calidad.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones del proyecto se realizan a partir de los objetivos así como de la hipótesis planteada en el mismo.

Objetivo general: Se detectaron oportunidades de mejora para reducir la merma en el área de producción del proceso de soplado, las tres áreas principales de mejora fueron en la máquina de soplado biorientado SIDEL, los cambios de molde en la máquina y en la parte de calentamiento de preforma que son los hornos.

Se logra este objetivo debido a que en la máquina se establecen los pasos necesarios para llevar a cabo un mantenimiento productivo total, no solo en la parte de realizar actividades involucra este tipo de herramienta, sino al compromiso de todos empezando por la gerencia hasta llegar a la forma en como los trabajadores realizan su trabajo, optando por un cambio organizacional.

Los cambios rápidos de molde se pueden llegar a realizar de una forma eficaz por medio de la herramienta SMED, el resultado que se obtuvo es que hasta la segunda etapa, el tiempo de cambio de moldes tanto en actividades internas como externas se redujo en un 31%, todavía faltan desarrollar las siguientes dos fases que son perfeccionamientos al realizar dichas actividades de cambio.

Por último, la simulación de la cabina donde se encuentran los hornos, es un área que si no se llega a controlar la temperatura, que es una de las razones críticas por las cuales existe una cantidad grande de merma, no se puede confiar al 100% de la carta maestra de producción y es por ello que la cambian constantemente y con la implementación futura de una ventilación adecuada como propuesta se puede reducir considerablemente la generación de merma en el área de producción.

Objetivos específicos: Se logró identificar las características del proceso, como fueron la función de la rueda de transferencia de preforma, la cual lleva la preforma en primera instancia desde el riel de carga hasta el horno y del horno a la rueda de soplado, los hornos de penetración y distribución, quienes se encargan de precalentar y calentar las preformas a temperaturas deseables para el proceso, la rueda de soplado donde se desarrolla la actividad principal del proceso que es el soplado biorientado y al final las pinzas de transferencia de botella que llevan el producto final hasta la salida de la máquina sopladora para su transporte.

Saber del soplado biorientado fue importante, puesto que dejando a tras el ver cómo realizan una botella, es saber y darse cuenta del trabajo, horas hombre y las máquinas necesarias para realizarlo. Fue de gran relevancia, el hecho de que el Ingeniero Vicente me dio la oportunidad de adentrarme y realizar algunas actividades para entender el proceso del producto, así como la obtención de los datos necesarios para analizarlos y arrojar resultados positivos.

Detectar las variables críticas del proceso por medio de la Carta maestra de producción, las cuales fueron: Temperatura ambiente, % arranque de máquina, % salida, temperatura de consigna, temperatura de molde, % de ventilación, peso de preforma, % CZ1, %CZ2, %CZ3, %CZ4, %CZ7, %CZ9, temperatura de carga, % puesta en espera y temperatura de horno. Ver el comportamiento que tienen durante el proceso, llevar a cabo el análisis de estas conforme a una correlación entre ellas, selección de la variable con mayor relación con las demás y un diagrama de causa-efecto.

Llevar a cabo las distintas fases del modelo DMAIC, este modelo a través de sus etapas permitió desglosar toda la información recabada durante los meses de estancia dentro de la empresa, aquí se da la importancia a todo lo teóricamente difundido por Seis Sigma, que arrojó resultados positivos a través de la búsqueda de la causa raíz del problema.

Ya teniendo los resultados por cada fase del modelo se utilizan herramientas de Manufactura Esbelta, otro pilar en la calidad para llevar a cabo el planteamiento de las soluciones a estos problemas, describiendo los pasos que necesita realizar la empresa para llegar a mejorar su

nivel Sigma y con esto, alcanzar un nivel mayor de competitividad y de excelencia en el servicio dentro de su ramo.

Hipótesis: A través del desarrollo del modelo DMAIC y herramientas estadísticas de Seis Sigma, se logrará una reducción significativa de la merma en el área de producción de botellas Pet, por medio de la propuesta de uso de elementos de Manufactura Esbelta, solucionando los problemas que se presenten y garantizando mayor competitividad de la empresa.

Las tres áreas de oportunidad antes mencionadas nos llevarán a afirmar dicha hipótesis, en primera instancia, tenemos el mantenimiento productivo total, el cual nos garantizará la disposición y buen funcionamiento de la máquina durante la producción, posteriormente la herramienta SMED donde tenemos una reducción de tiempo del 35%, lo que significa que se convertirá ese tiempo muerto en tiempo productivo y por último los resultados de transferencia de calor que indican, al desarrollar la mejora mencionada, una estabilización de temperatura que ayudará a no tener piezas defectuosas; todo esto llevará a la empresa a una reducción de merma de por lo menos el 2%, donde el planteamiento de implementación de este proyecto dentro de la misma se llevará a cabo en un futuro.

Por eso, es de vital importancia contar con el apoyo gerencial en la implementación de este tipo de proyectos, que su único fin, es alcanzar un nivel alto en los productos a fabricar, no hay mayor ahorro que hacer las cosas de forma eficiente y eficaz, en conjunto para alcanzar un objetivo en común y al final todos los involucrados en la planta serán beneficiados.

4.1 Trabajos futuros

Este proyecto da cabida no solo a implementarse en una sola área, sino a realizar un mismo estudio en las diferentes áreas de la empresa, aunado a esto, mejorar los procesos en la cadena de empresas del mismo ramo es de gran importancia, ya que la empresa estando a nivel internacional, puede cubrir gran parte de clientes y dar servicio como hasta ahora, a la empresa

refresquera más importante a nivel mundial generando así mayores fuentes de empleos en nuestro país.

Bibliografía

- A. Báez , Y., Limón , J., A. Tlapa, D., & A. Rodríguez , M. (2010). Aplicación de Seis Sigma y los Métodos de Taguchi para el Incremento de la Resistencia a la Prueba de Jalón de un Diodo Emisor de Luz. *Información tecnológica*, 63-76.
- A. Ruffa, S. (2008). *Going Lean*. New York: AMACOM Div American Mgmt Assn.
- Arrieta Posada, J. G., Botero Herrera, V., & Romano Martínez , M. J. (2010). Benchmarking sobre Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) en el sector de la confección en la ciudad de Medellín, Colombia. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 141-170.
- Baena Sanchez , C., Entrambasaguas Garrido, G., Guilloto de Barrasa, F., Gutiérrez del Pozo, L., & Trujillo Mena, M. (2012). *Guía Lean Manufacturing*. Sevilla, España: Instituto Andaluz de Tecnología.
- Bahena , M., & Reyes Aguilar , P. (2006). *Curso de Seis Sigma*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.
- Belohlavek, P. (2011). *OEE Overall Equipment Effectiveness*. Blue Eagle Group.
- Bernal Torres, C. (2006). *Metodología de la investigación*. Estado de México: Pearson Educación.
- Commerce, O. o. (2010). *Mejora continua del servicio*. The Stationery Office.
- Cuevas Villegas, C. (2001). *Contabilidad de costos*. Bogotá: Pearson Educación.
- Escalante Vázquez, E. J. (2003). *Seis Sigma: metodología y técnicas*. Limusa.
- Escalante, E., & Escalante Vázquez, E. J. (s.f.). *Análisis y mejoramiento de la calidad*.
- Evans , J., & M. Linsay, W. (2008). *Administración y control de la calidad*. Cengage Learning Latin America.

F. Triola, M. (2009). *Estadística*. Pearson Educación.

Fernández , J. C. (19 de Noviembre de 2008). *Slideshare*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/jcfdezmx2/curso-mapeo-cadena-de-valor-presentation>

Fortuny Santos, J., Cuatrecasas Arbós , L., Cuatrecasas Castellsques, O., & Olivella Nadal, J. (2008). Metodología de implantación de la gestión lean en plantas industriales. *Universa Business Review*, 28-41.

Galgano, A. (1995). *Los siete instrumentos de la calidad total*. Díaz de Santos.

Galgano, A. (2004). *Las tres revoluciones* . Diaz de Santos.

García , N., & Gómez , A. (2006). *Organización de la producción en Ingenierías*. Textos universitarios ediuno.

García Palencia , O. (2004). El mantenimiento productivo total y su aplicabilidad industrial. *Segundo Congreso Internacional de Ingeniería en Mantenimiento*, 1-19.

Gómez Dacal, G. (2004). *K sigma: teoría de las organizaciones y contro de la calidad (de la enseñanza)*. Ediciones Universidad Salamanca.

Hernández Ordoñez, E., & Cano Medina, J. R. (2010). Propuesta de reducción de merma en la producción de una empresa de productos lácteos bajo la metdología DMAIC. Estado de México, Toluca, México: Instituto Politécnico Nacional.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado , C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

J. Spear, S. (2006). *Learning to Lead at Toyota*. Harvard Business Press.

Júarez López , Y., Rojas Ramírez, J., Median Marín , J., & Pérez Rojas , A. (2011). El enfoque de sistemas para la aplicación de la manufactura esbelta. *Redalyc*, 35-42.

-
- L. Hallowell, D., & A. Gack, G. (2003). Caso de estudio de un proyecto de Seis Sigma en un centro de soporte de informática.
- L. Hansen, B., & M. Ghare, P. (1989). *Control de calidad*. Madrid: Díaz de Santos.
- Lopez Ortega , B. (Noviembre de 2007). Aplicación del SMED para la solución de problemas en el proceso de fabricación por termocompresión. Hidalgo, México: Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.
- Manivannan, S. (2007). Introducción a seis sigma . *Metforming*, 48-53.
- Membrado Martínez, J. (2007). *Metodologías avanzadas para la planificación y mejora: planificación estrategica, BSC*. Díaz de Santos.
- Mendoza, J. M., & Mendoza, J. J. (2005). Seis sigmas: hacia la cumbre de la calidad. *Pensamiento y Gestión*, 101-117.
- Miranda Rivera, L. N. (2006). *Seis Sigma guía para principiantes*. Panorama Editorial.
- Montaudon Tomas, C. (2004). *Historia de la calidad mundial*. Puebla: Coordinación editorial.
- Montero Lorenzo, J. M. (2007). *Estadística descriptiva*. Paraninfo.
- Morato Orozco, J. (6 de Noviembre de 2009). Reducción de gasto energetico eléctrico usando seis sigma. 91-103. Producción+Limpia.
- Mota, A., & Tovar , A. (2007). *CPIMC Un modelo de administración por procesos*. Distrito Federal: Panorama Editorial.
- Ortiz Herrera, H. (24 de Mayo de 2011). *Sistemas y calidad total*. Obtenido de <http://www.sistemasycalidadtotal.com/calidad-total/sistemas-de-gestion-de-la-calidad-%E2%94%82-historia-y-definicion/>

-
- Ortiz Lara, R. A., & Galleguillos Peralta, L. (2012). Meramiento del servicio de galvanizado mediante seis sigma y el analisis de la información. *Ingeniería Industrial*, 81-102.
- Padilla, L. (2010). Lean Manufacturing Manufactura Esbelta/Ágil. *Ingeniero Primero*, 64-69.
- Pander, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2000). *The Six Sigma way: How GE, Motorola, and other top companies are honing their performance*. McGraw Hill.
- Pascual Calderón , E. (Marzo de 2009). Mejora de procesos de una imprenta que realiza trabajos de impresión ofset empleando Six Sigma. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Pineda Mandujó, K. (13 de Mayo de 2011). *Scribd*. Recuperado el 23 de Marzo de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/55366956/manufactura-esbelta>
- R. Ocampo, J., & E. Pavón, A. (2012). Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim. *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology* , 1-10.
- Reyes Aguilar, P. (2002). Manufactura delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas; experiencias y reflexiones. *Redalyc*, 51-69.
- Rojas Flores, J. F. (23 de Noviembre de 2005). *GestioPolis*. Obtenido de <http://www.gestiopolis.com/recursos5/docs/ger/mapeoca.htm>
- Sanguesa , M., Mateo, R., & Ilzarde, L. (2006). *Teoría y práctica de la calidad*. Madrid: Thonsom Ediciones Paraninfo.
- Sarango Martínez , F., & Abad Morán , J. (2001). Implantación del sistema SMED en un proceso de impresión flexográfica.

-
- Torres Navarro, C., & Monsalve Ochoa, O. A. (2009). Aplicación de metodología Seis Sigma para disminuir intervenciones en proceso de fabricación de vidrios. *Ingeniería Industrial*, 93-105.
- Valdez, R. (30 de Enero de 2007). *Slideshare*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/rafaeltic/diagrama-de-pareto>
- Varela Loyola, J., Flores Ávila, E., & Tolamatl Michcol, J. (2010). Disminución de la Variación de un Proceso de Producción de Muebles con Seis Sigma. *Redalyc*, 35-41.
- Xochicali Sánchez, E., Sánchez Sánchez, A., Méndez Flores, A. R., Sánchez López, A., & Cruz García, M. G. (2010). Mejora enfocada aplicada en la manufactura. *La nueva gestión organizacional*, 41-62.