



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SEIS SIGMA EN EL
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA DENTAL PARA LA ELIMINACIÓN
DE TIEMPOS MUERTOS Y AUMENTO DE LA EFICIENCIA**

Luis Eduardo Estrada Elizondo

Asesorado por el Msc. Ing. Aurelio Reyes Meza

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SEIS SIGMA EN EL
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA DENTAL PARA LA ELIMINACIÓN
DE TIEMPOS MUERTOS Y AUMENTO DE LA EFICIENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS EDUARDO ESTRADA ELIZONDO
ASESORADO POR EL MSC. ING. AURELIO REYES MEZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA DENTAL PARA LA ELIMINACIÓN DE TIEMPOS MUERTOS Y AUMENTO DE LA EFICIENCIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha septiembre de 2013.


Luis Eduardo Estrada Elizondo



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

MOD-MGIPP-014-2014

000344

Guatemala, 03 de mayo de 2014.

Director
Victor Manuel Monzón Valdéz
Escuela de Ingeniería Química
Presente.

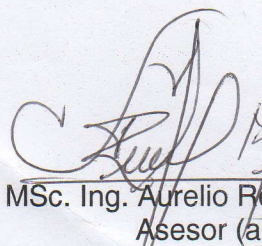
Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Luis Estuardo Estrada Elizondo** carné número **2002-21211**, quien optó la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Gestión Industrial**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

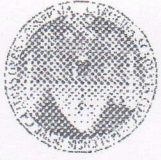

ING. AURELIO REYES M.
INGENIERO INDUSTRIAL
COL. 6950
MSc. Ing. Aurelio Reyes Meza
Asesor (a)


César Akú Castillo MSc.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 4
MSc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Coordinador de Área
Gestión y Servicios


Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE POST-GRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
DE GUATEMALA

Cc: archivo
/db



Ref.EIQ.TG.136.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante, **LUIS EDUARDO ESTRADA ELIZONDO**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en GESTIÓN INDUSTRIAL** titulado "**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA DENTAL PARA LA ELIMINACIÓN DE TIEMPOS MUERTOS Y AUMENTO DE LA EFICIENCIA**". Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, julio de 2014

Cc: Archivo
Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala
VMMV/ale





DTG. 383.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SEIS SIGMA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA DENTAL PARA LA ELIMINACIÓN DE TIEMPOS MUERTOS Y AUMENTO DE LA EFICIENCIA**, presentado por el estudiante universitario **Luis Eduardo Estrada Elizondo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 6 de agosto de 2014



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por brindarme la bendición de la ciencia y el conocimiento para entender cómo funciona el mundo y poder mejorarlo.

Mi madre

Por el amor que me ha dado todos los días de mi vida y por guiarme con sabiduría.

Mi hijo

Por ser el motor de mi motivación para darle el ejemplo de que los sueños si se pueden cumplir.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por forjar en mi persona los valores de templanza, tolerancia, compañerismo y paciencia.

Facultad de Ingeniería

Por darme el conocimiento, experiencia y amistades que hoy me acompañan a través de esta odisea.

Mis amistades

Por hacer de esta travesía sinuosa una experiencia inolvidables y llena de alegrías.

**Los dignísimos filósofos
Sócrates, Platón y
Aristóteles**

Por enseñarme que filósofo no es quien sabe demasiado, sino quien no desea dejar de saber.

Guadalupe Reyes

Por estar conmigo en todos los años de este duro camino, apoyándome y motivándome.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	01
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	05
3. JUSTIFICACIÓN	07
4. OBJETIVOS	11
5. ALCANCES	13
6. MARCO TEÓRICO	15
6.1. Composición de la crema dental	15
6.1.1. Agentes espesantes	15
6.1.2. Agentes abrasivos	16
6.1.3. Agentes humectantes	16
6.1.4. Surfactantes.....	17
6.1.5. Ingredientes activos.....	17
6.1.6. Aditivos	18

6.2.	Proceso de fabricación de crema dental	18
6.2.1.	Análisis general	18
6.2.1.1.	Etapa 1	19
6.2.1.2.	Etapa 2	20
6.2.1.3.	Etapa 3	20
6.2.1.4.	Variables de producción	21
6.3.	Historia de las estrategias de mejora continua	21
6.3.1.	Historia Seis Sigma	26
6.3.2.	Historia de <i>Lean Manufacturing</i>	28
6.4.	Fundamentos de estrategias de mejora	31
6.5.	Seis Sigma	32
6.5.1.	Definición de Seis Sigma	32
6.5.2.	Beneficios de Seis Sigma	40
6.5.3.	Áreas de aplicación de Seis Sigma	41
6.5.4.	Proceso DMAIC de Seis Sigma	41
6.5.4.1.	<i>Define</i> (definir)	43
6.5.4.2.	<i>Measure</i> (medir)	44
6.5.4.3.	<i>Analyze</i> (analizar)	44
6.5.4.4.	<i>Improve</i> (mejorar)	45
6.5.4.5.	<i>Control</i> (controlar)	46
6.5.5.	Consecuencias de tener baja calidad	46
6.5.5.1.	Costo por fallas internas	47
6.5.5.2.	Costo por fallas externas	47
6.5.5.3.	Costo por inspección	48
6.5.5.4.	Costo por prevención	48
6.6.	Definición de <i>Lean Manufacturing</i>	49
6.6.1.	Las tres M's de <i>Lean Manufacturing</i>	52
6.6.1.1.	Muda	52
6.6.1.2.	Mura	55

	6.6.1.3.	Muri.....	56
6.6.2.		Claves de <i>Lean Manufacturing</i>	56
6.6.3.		Pasos para una transformación <i>Lean Manufacturing</i>	58
	6.6.3.1.	Evaluación de la situación inicial	58
	6.6.3.2.	Preparar a la organización.....	58
	6.6.3.3.	Análisis del mapa de proceso (<i>Value Stream Mapping</i>).....	58
	6.6.3.4.	Medición y control.....	59
	6.6.3.5.	<i>Layout</i> de la planta, células de producción	59
	6.6.3.6.	Crear un sistema basado en el Sistema “ <i>Pull</i> ”	60
	6.6.3.7.	Reducción del <i>set-up</i> o tiempo de cambio	61
	6.6.3.8.	Eliminación de errores (<i>Poka Yoke</i>) ..	61
6.7.		Estrategia de <i>Lean Seis Sigma</i>	62
6.8.		Principios y herramientas de la estrategia de mejora	62
	6.8.1.	Herramientas para definir	62
	6.8.1.1.	<i>Balanced Scorecard</i> (BSC).....	63
	6.8.1.2.	Indicadores Globales (KPI´s).....	65
	6.8.1.3.	<i>Critical Tree To</i> (CTT).....	66
	6.8.1.4.	5W+2H (preguntas de análisis crítico).....	68
	6.8.1.5.	Criterios <i>Smart</i>	68
	6.8.2.	Herramientas para medir	69
	6.8.2.1.	Diagrama de flujo	69
	6.8.2.2.	Matriz Causa y Efecto.....	70

	6.8.2.3.	Análisis del sistema de medición (MSA)	72
6.8.3.		Herramientas para analizar	74
	6.8.3.1.	Diagrama de Causa y Efecto (Ishikawa)	74
	6.8.3.2.	Gráfico X-R	76
	6.8.3.3.	Histograma	78
6.8.4.		Herramientas para mejorar.....	79
	6.8.4.1.	Flujo continuo.....	79
	6.8.4.2.	<i>Single-Minute Exchange of Die</i> (SMED)	81
	6.8.4.3.	Balanceo de líneas.....	83
	6.8.4.4.	5´S.....	87
6.8.5.		Herramientas para controlar.....	89
	6.8.5.1.	Procedimientos operativos Estandarizados (SOP).....	89
7.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	93
8.		METODOLOGÍA	99
	8.1.	Variables e indicadores.....	99
	8.2.	Tipo de investigación.....	101
	8.3.	Universo de estudio y muestreo	102
9.		TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	105
	9.1.	Media	105
	9.2.	Desviación estándar	106
	9.3.	Gráficos de control	107
	9.4.	Metodología	109

9.4.1.	Primera fase: definir.....	110
9.4.2.	Segunda fase: medición	111
9.4.3.	Tercera fase: analizar	113
9.4.4.	Cuarta fase: mejorar	115
9.4.5.	Quinta fase: controlar	116
10.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	117
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	119
13.	BIBLIOGRAFÍA	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de flujo de la mezcla de ingredientes.....	19
2.	Curva distribución normal estándar.....	35
3.	Definición estadística de Seis Sigma	36
4.	Fases DMAIC.....	42
5.	Interrelación de áreas BSC	64
6.	CTT: relación entre producto y los procesos que lo conforman	67
7.	Ejemplo de una diagrama de flujo.....	70
8.	Propiedades estadísticas de medición.....	73
9.	Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa).....	76
10.	Gráfico de control (a)	77
11.	Histograma.....	78
12.	Generalización del balanceo de líneas múltiples	84
13.	Gráfico de control (b)	108
14.	Metodología DMAIC	109
15.	Cronograma de actividades	117

TABLAS

I.	Relación nivel Sigma y DPMO	39
II.	Ejemplo de Matriz Causa y Efecto	71
III.	VARIABLES e indicadores.....	100
IV.	Análisis de alcances.....	111
V.	Plan de colección de datos	113

VI. Presupuesto..... 119

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
pH	Concentración de iones de hidronio
ρ	Densidad
σ	Desviación estándar
μ	Media aritmética
Cpk	Medida de variación de causas comunes
Ppk	Medida de variación total
N	Número de datos analizados
Z	Probabilidad
%	Porcentaje

GLOSARIO

Abrasivo	Agente limpiador en las cremas dentales que funciona por medio de acción mecánica.
Crema dental	Solución de alta viscosidad para la eliminación de materia adherida a la superficie de la dentadura.
Diagrama de flujo	Representación gráfica de los pasos y secuencias de un proceso productivo.
Diagrama de Ishikawa	Representación gráfica de las causas que generan un problema en particular que facilita su análisis.
DMAIC	Metodología de resolución de problemas que consta de cinco etapas (definir, medir, analizar, implementar y controlar).
Espesante	Agente encargado de dar consistencia viscosa a las cremas dentales.
Flúor libre	Concentración de flúor presente en las cremas dentales con acción protectora.
Humectante	Agente presente en las cremas dentales encargado de prevenir el endurecimiento de las mismas.

Ingrediente activo	Compuestos presentes en las cremas dentales con funciones específicas de limpieza y protección.
<i>Lean Six Sigma</i>	Metodología de análisis y resolución de problemas enfocada en la reducción de la varianza de procesos y eliminación de desperdicios.
Muda	Actividades en cualquier proceso productivo que no agregan valor.
Mura	Paros en el flujo normal de trabajo de procesos productivos.
Muri	Sobrecarga a equipos y operadores en procesos productivos.
Surfactante	Agente presente en las cremas dentales encargado de la generación de espuma y suspensiones efectivas.
Viscosidad	Es la medida de la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.

RESUMEN

El proyecto de tesis que se efectuará se titula *Diseño de la metodología Lean Seis Sigma en el proceso de producción de crema dental para la eliminación de tiempos muertos y aumento de la eficiencia*, el cual consiste en el análisis del proceso, con el fin de encontrar los puntos de mejora que disminuirán los tiempos muertos y reducirán los insumos de producción que no son necesarios para llevar a cabo la operación.

El proceso de producción de crema dental debe realizarse bajo condiciones de temperatura y vacío específicas para lograr la consistencia y variables deseadas de la crema dental, se cuenta con rangos determinados en los cuales debe encontrarse para cumplir con las especificaciones técnicas y las regulaciones del país.

La metodología *Lean Seis Sigma* empieza definiendo el plan a seguir con base en el estatus actual del proceso, por medio de la utilización de herramientas de medición las cuales analizan el proceso tomando en cuenta las variables actuales.

Con base en el estudio preliminar, se procede a identificar las variables críticas que afectan de forma significativa el proceso y se realiza una medición estadística que establece las pautas a tomar en cuenta en la siguiente etapa.

Esta etapa denominada mejora consiste en establecer los lineamientos a seguir para la optimización del proceso, se compararán los datos iniciales y finales para verificar que la mejora sea significativa.

Luego de tener los planes de mejora establecidos se procede a implementarlos creando nuevos procedimientos a seguir; la última etapa del proceso corresponde al control de las variables para mantener el sistema dentro de la eficiencia esperada.

Se realizarán mediciones de las etapas del proceso de producción de fabricación de crema dental midiendo los valores de viscosidad, flúor libre y concentración de iones hidronio (pH), las cuales representan las variables de liberación de los lotes de crema dental. Los resultados se recopilarán para establecer la nueva metodología a seguir que disminuirá los tiempos muertos y aumentará la eficiencia.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio es un proyecto que integra la investigación, los conocimientos técnicos de la ingeniería química, el servicio técnico profesional, los conocimientos de la Maestría en Gestión Industrial y la enseñanza aprendizaje el cual es un proceso empírico relacionado con la profesión que se ha estudiado, en que se relaciona la formación académica y la experiencia práctica.

La implementación del proyecto se refiere a una estrategia de desarrollo de soluciones orientadas a eliminar la raíz de las causas de los problemas de rendimiento del proceso de producción de crema dental, lo que se busca es el control de las variables fisicoquímicas, la simplicidad, la agilidad y aumentar la velocidad en el proceso de fabricación.

La estrategia de mejora se basa en las características de eficiencia y eficacia en la organización en busca de excelencia, aumentando la satisfacción del cliente, la presencia en el mercado y las utilidades obtenidas.

A través del desarrollo de los métodos que propone el sistema *Lean Seis Sigma* se comprobará el rendimiento de la aplicación a través de los mecanismos para reducir rápidamente y de manera drástica los tiempos y el desperdicio en el proceso de crema dental obteniendo una mejora prolongada en objetivos clave relacionados con los clientes y consumidores finales de este producto al controlar las variables fisicoquímicas de la crema dental producida.

La importancia del estudio radica en la búsqueda constante de las empresas de mejorar los procesos para generar mayores utilidades y al mismo tiempo crecer, uno de los caminos para lograr este objetivo es el aumento de la eficiencia y eliminación de tiempos muertos, variables en las que la metodología *Lean Seis Sigma* se basa para encontrar la mejora continua.

Dentro de la investigación realizada para el trabajo de graduación se buscará recolectar la información relevante a los procesos de producción de crema dental, así como las variantes y desfases ya reportados en procesos anteriores como las soluciones propuestas con anterioridad, con el fin de tener un espectro amplio de criterio para la resolución de los problemas que puedan llegar a encontrarse en el proceso propuesto.

La situación actual de la empresa es un factor determinante para la resolución de problemas porque muestra una fotografía de los problemas y buenas prácticas que se llevan a cabo, los problemas serán atacados e implementados nuevos procedimientos y las buenas prácticas serán copiadas y adaptadas a los diferentes procesos para replicar el buen desempeño del proceso.

El proceso de *Lean Seis Sigma* denota una metodología lógica a seguir para la resolución de estos problemas, a los cuales deberá darse seguimiento en forma de auditorías y hojas de control, para que el proceso permanezca implementado y no se den puntos bajos en un futuro por regresar a los mismos problemas.

Recomendaciones al proceso de producción deberán ser enviadas a los supervisores de la planta de crema dental a modo de detección de puntos importantes que deban darle seguimiento.

1. ANTECEDENTES

En la actualidad la mayoría de los directivos de las grandes organizaciones muestran preocupación por reducir los costos operativos de las plantas de producción de crema dental sin comprometer la calidad ni el servicio al cliente. Los nuevos consumidores, más moderados en sus compras, junto con unos clientes empresariales más pendientes que nunca del presupuesto están prestando más atención al precio, pero siguen planteando un nivel de exigencia muy alto a ciertas características o niveles de servicio de los productos de higiene bucal; por lo que el monitoreo y análisis de resultados de las variables fisicoquímicas de las etapas de cada proceso es un punto crítico para evitar desviaciones del resultado final.

En la compañía Karlee y Caterpillar se trabajó un modelo Lean Seis Sigma para mejorar la eficiencia en el proceso de producción de hojas metálicas y maquinados para las industrias de telecomunicaciones, semiconductores y equipo médico, Karlee emplea células de manufactura que pueden monitorearse por medio de la metodología DMAIC a través del seguimiento estadístico de resultados, logrando aumentos del 49 % en ventas anuales (Marlon Baldrige, 2012).

Los objetivos de la implementación en concreto fueron la reducción del tiempo de ensamble en un 50 % reduciendo costos y actividades sin valor a la cadena. Utilizando la metodología DMAIC lograron encontrar las actividades del proceso de fabricación de grifos que no agregaban valor, así como implementar nuevos procedimientos en el proceso (Olmedo, 2012).

Dentro de los esfuerzos realizados para hacer valer la metodología Lean Seis Sigma y llegar a los resultados bajo los cuales se planteó, se encuentra la utilización de diversas herramientas y metodologías de mejora continua junto con la misma Lean Seis Sigma, esto da lugar a que los puntos relevantes y de mayor impacto de cada herramienta se unan y se utilicen para generar un cambio mayor en los procesos.

En el informe presentado en el 2001 por Cathy Buck acerca de los errores médicos presentados en los hospitales, muestra la necesidad de llevar controles estadísticos de los resultados de los análisis llevados a cabo y los errores en los medicamentos contabilizados, tanto al brindar malos resultados a los pacientes como los medicamentos incorrectos lo cual genera consecuencias negativas para el personal y prestigio de los hospitales. El análisis estadístico de resultados y conteo de medicamentos permite reducir los errores al identificar las causas principales detectando y previniendo a tiempo antes de que estos lleguen al paciente y/o consumidor, el análisis estadístico empleado en Lean Seis Sigma conlleva a la reducción de estos errores (Buck, 2001).

La fabricación de semiconductores es uno de los procesos de manufactura que presentan dificultades altas en la trazabilidad de resultados desde la materia prima hasta los circuitos integrados en los procesos debido a que pequeñas variaciones pueden afectar de forma significativa los resultados. En un principio los directores no valoraron de forma significativa el proceso Lean Seis Sigma, sin embargo, con el tiempo y debido a las pérdidas se vieron obligados a implementarlo, mostrando resultados positivos, reduciendo los rangos de variabilidad de resultados y detectando las fallas más recurrentes (Dusharme, 2006).

Para el estudio se utilizaron las metodologías según las etapas del proyecto que se mejoró, se tomó *Lean Manufacturing* como eje de las implementaciones de mejora, pues se enfocó el estudio a reducir los tiempos que no agregaban valor.

En el estudio de la Organización Corona S. A., en México dedicada a la manufactura y comercialización de productos para el hogar y para la construcción se ha enfocado el esfuerzo realizado en mejorar la cadena de suministros y la satisfacción al cliente por medio de la metodología Lean Seis Sigma.

Las conclusiones del estudio giraron alrededor de la flexibilidad y conocimiento respecto a las metodologías de mejora que los directores de la operación puedan conocer, pues en la medida en que estos transfieran los valores a la empresa, así será el grado de mejora que puedan obtener (Depool, 2006).

En Guatemala la tendencia la han impuesto las transnacionales que operan en el país, incrementando la demanda de recurso humano o profesionales egresados que cuente con el conocimiento y formación en estas técnicas, por lo que se busca que la tesis propuesta sea de utilidad no solo para el estudiante de posgrado sino para quienes consulten el documento.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de producción de crema dental que se evaluará en el estudio presenta baja eficiencia y tiempos muertos durante el proceso que son provocados por el mal control y monitoreo de las variables fisicoquímicas de los subprocesos. Los bajos valores de eficiencia se pueden observar al comparar el desempeño de esta línea de producción contra los valores planeados basados en la capacidad instalada de los equipos porque ya contando con una meta específica de producción, la diferencia marca el porcentaje de fallo en el proceso.

Los registros proporcionados evidencian que en las etapas de realización de producto (producto en proceso) y el producto terminado, las variables fisicoquímicas no siempre cumplen con los requisitos o criterios para la aceptación del mismo, lo que conlleva a una inversión de tiempo y dinero en la corrección y/o desecho de estos.

Se plantea implementar la metodología Lean Seis Sigma en el proceso de producción de crema dental, que consta de cinco etapas las cuales son: la definición de la situación actual, la medición de las variables que impactan el proceso, el análisis de estas variables para encontrar las mejoras e implementarlas y finalmente, establecer un método de control para evitar que el proceso regrese a sus valores iniciales con productividades bajas y variables fisicoquímicas fuera de especificaciones.

La metodología Lean Seis Sigma se implementará debido a que el proceso actualmente no cuenta con las eficiencias esperadas ni las que corresponden a la capacidad instalada de la planta de producción de crema dental, el proceso debe mejorarse debido a que no se están generando las productividades planeadas y la calidad del producto se encuentra por debajo de los valores requeridos al ser evaluado por métodos físicos y químicos.

Al implementar la metodología Lean Seis Sigma se espera mejorar la eficiencia y reducir los tiempos muertos del proceso de fabricación de crema dental con el fin de controlar las variables fisicoquímicas y generar utilidades mayores, como reducir los insumos consumidos en el proceso.

La implementación de la metodología Lean Seis Sigma en el proceso de producción de crema dental tiene el objetivo de resolver las siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles deben ser los procedimientos a implementar basados en la metodología Lean Seis Sigma para el proceso de producción de crema dental para eliminar los tiempos muertos y aumentar la eficiencia?
- ¿Cuál es el estado actual de la línea de producción de crema dental?
- ¿Cuáles son las causas por las que se dan los paros no planeados en la línea de producción?
- ¿Cuál es la eficiencia al finalizar la implementación de la metodología Lean Seis Sigma?
- ¿Cuál es el comportamiento estadístico de las variables fisicoquímicas del proceso (viscosidad, flúor libre y pH)?

3. JUSTIFICACIÓN

Se tiene un proceso en el cual se elabora crema dental y, al analizar el historial de funcionamiento de esta línea productiva se ha determinado que el proceso no ha sido eficiente y que las variables fisicoquímicas del proceso se comportan por fuera de lo esperado.

El trabajo de graduación nace de la necesidad que tiene la empresa en la cual se produce la crema dental, de la implementación de las técnicas más modernas de gestión de la calidad como lo son Lean Seis Sigma para la mejora de la productividad y calidad.

El proceso requiere la aplicación de una metodología que se encargue de garantizar que sus productos cumplan con rangos y parámetros que aseguren la calidad de estos, la eficiencia y eficacia en el proceso, reduciendo tiempos muertos y desperdicios, asegurando que los productos elaborados cumplen con las normas y exigencias del mercado y especificaciones técnicas, obteniendo así mayores ingresos para la empresa, esto se resume en:

- Estándares de calidad a nivel mundial.
- Reducción de rechazos e incidencias en la producción o prestación del servicio.
- Aumento de la productividad.
- Mayor compromiso con los requisitos del cliente.
- Mejora continua.

La supervivencia de una empresa depende del crecimiento del negocio, el cual está bastante determinado por la satisfacción del cliente que está regida por la calidad, el precio y el resultado están controlados por la capacidad de proceso. Esta capacidad de proceso está muy limitada por la variación. La variación del proceso conduce a un incremento de los defectos, costo y ciclo de tiempo. Para eliminar la variación, se debe aplicar el conocimiento correcto.

Lean Seis Sigma es la combinación mejorada de las dos metodologías científicas llamadas *Lean Manufacturing* y Seis Sigma que, de forma separada, buscan la maximización de la productividad. Sin embargo, unidas bajo una misma metodología, no solo se orientan a reducir costos, sino también a maximizar la eficiencia en los procesos y, por lo tanto, a que las empresas que la implementen sean más competitivas en sus respectivos mercados. Seis Sigma ha demostrado ser una metodología sistemática y rigurosa para la mejora de procesos. La filosofía Lean logra eliminar los desperdicios y optimizar la cadena de valor.

Con estas bases se espera que a través de la aplicación de la metodología Lean Seis Sigma en el proceso de producción de la crema dental se eliminen los tiempos muertos y aumentar la eficiencia. El estudio será de beneficio a la empresa en la que se aplica mejorando las productividades, se eliminarán pasos que no agreguen valor al proceso disminuyendo la carga de trabajo de los empleados ya que se utilizarán solamente los recursos necesarios eliminando aquellos que impliquen gastos innecesarios.

La implementación de la metodología Lean Seis Sigma busca desarrollar un sistema de confiabilidad en el sistema de calidad del proceso, la baja calidad presentada provoca altos costos para alcanzar la producción planeada y requerida.

Por medio del análisis estadístico de las variables fisicoquímicas del proceso (viscosidad, flúor libre y pH) se implementará un modelo de calidad que aumentará la eficiencia del proceso, mejorando los lotes producidos y reduciendo los gastos de operación en los que se trabaja actualmente.

El trabajo de graduación está enfocado en la línea de investigación hacia los sistemas de control de calidad, específicamente en la implementación de sistemas de confiabilidad en sistemas de calidad, el análisis de regresión y correlación de Lean Seis Sigma al emplear herramientas informáticas estadísticas.

4. OBJETIVOS

General

Diseñar los procedimientos a implementar por medio de la metodología Lean Seis Sigma en el proceso de producción de crema dental para la eliminación de tiempos muertos y aumento de la eficiencia, con base en los resultados obtenidos de la evaluación de los primeros seis meses del 2014.

Específicos

1. Describir la situación del proceso de fabricación de crema dental al medir la eficiencia por medio del análisis estadístico de resultados.
2. Establecer el tiempo total muerto en segundos durante el proceso de fabricación de crema dental durante el inicio del 2014, por medio de la medición de los tiempos en cada paso del proceso.
3. Controlar las variables del producto terminado de crema dental (viscosidad, flúor libre y pH) en los rangos establecidos por las especificaciones técnicas durante toda la investigación, por medio de la metodología Lean Seis Sigma.

5. ALCANCES

El proyecto evaluará la línea de producción de la crema dental que consta de tres etapas las cuales son: el premezclado de ingredientes de agentes humectantes, el premezclado de surfactantes, abrasivos y espesantes y el mezclado de los ingredientes activos y aditivos en vacío junto con las premezclas anteriores, incluyendo los pasos de cada etapa y tiempos.

La metodología utilizada por los operarios será analizada y evaluada para determinar los puntos de mejora ya que existen intervenciones del factor humano y del equipo en cada etapa. Con esto se descubrirán las características y parámetros del producto terminado de los lotes producidos durante las evaluaciones.

La gerencia de la empresa será informada de los avances del estudio y resultados obtenidos en la implementación de la metodología Lean Seis Sigma. Tanto la empresa como el cliente serán beneficiados del estudio de Lean Seis Sigma en el proceso de fabricación de crema dental

La investigación cumple con las siguientes características:

- Investigación prospectiva: el estudio tomará los datos directamente por el investigador al momento de implementar la metodología y analizará los mismos para encontrar los puntos de mejora.

- Investigación longitudinal: se estudiarán las variables de eficiencia y del proceso y su comportamiento en tiempos determinados durante los primeros seis meses del 2014.
- Investigación analítica: se determinarán las causas por las que el proceso de fabricación de crema dental no se comporta de la forma esperada según los valores de eficiencia planeados y la capacidad instalada.
- Investigación aplicada: se definirá la mejora del proceso de fabricación de crema dental por medio de la aplicación de la metodología Lean Seis Sigma para el aumento de la eficiencia y eliminación de tiempos muertos.

El alcance del proyecto tendrá enfoque descriptivo, pues se basará en detallar la situación actual del proceso y los puntos de mejora en los que se deberá trabajar y de igual forma tendrán un enfoque correlacional basado en los análisis estadísticos realizados al proceso de producción de crema dental y detección de problemas.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Composición de la crema dental

La crema dental se compone de una serie de sustancias que en conjunto ayudan a limpiar y proteger los dientes de las diferentes enfermedades dentales. “La función principal de un dentífrico es eliminar la materia adherida sucia de una superficie dura con el mínimo daño a esa superficie” (Wilkinson & Moore, 1990, p. 345). Está compuesta por seis grupos de ingredientes, cada uno con funciones diferentes e interconectadas con la limpieza efectiva de la boca, así como la sensación de limpieza acompañada del cepillado.

6.1.1. Agentes espesantes

Los agentes espesantes se utilizan para dar la consistencia viscosa característica de la crema dental, a pesar de que la viscosidad no participa con la limpieza de los dientes, es más una percepción psicológica de los consumidores, de sentir que la crema dental ha sido efectiva o no.

De no contar con agentes espesantes, la crema perdería su consistencia y se denominaría líquido dental o líquido limpiador. Los principales agentes espesantes utilizados son los siguientes:

- Gomas vegetales
- Goma Xanthan
- Polímeros sintéticos (Wilkinson & Moore, 1990).

6.1.2. Agentes abrasivos

Los agentes abrasivos tienen la función de limpieza mecánica en los dientes, debido a su tamaño y forma de partícula estos pueden pulir la superficie de los dientes eliminando la suciedad y otras sustancias adheridas.

Debe tenerse en cuenta que no cualquier tipo de abrasivo es útil en la limpieza de los dientes, pues no deben reaccionar con el esmalte característico de los dientes, interactuando solamente por medio de la abrasión. Los agentes abrasivos más comunes son los siguientes:

- Sílices (dióxido de silicio)
- Sales de fosfato (fosfato di cálcico di hidratado)
- Oxido de aluminio (Wilkinson & Moore, 1990).

6.1.3. Agentes humectantes

Los agentes humectantes son utilizados para prevenir la pérdida del agua y con ello el endurecimiento de la crema dental al ser expuesta al aire. Tienen un impacto alto en la percepción del sabor, además de que contribuyen a la formación de la consistencia de la crema dental, así como crear la base solvente que se es utilizada para soportar la mezcla de los demás ingredientes. Los agentes humectantes más utilizados son los siguientes:

- Glicerina
- Sorbitol
- Propilen glicol
- Agua (Wilkinson & Moore, 1990).

6.1.4. Surfactantes

Los surfactantes cumplen con dos funciones, la primera es producir la acción espumante y la segunda es generar una suspensión efectiva para los restos removidos en la limpieza de los dientes. Reducen la tensión superficial del agua lo que provoca la espuma, además de generar una emulsión efectiva para los ingredientes activos comúnmente utilizados. Los surfactantes más utilizados son los siguientes:

- LSL Lauril sulfato de sodio
- N-Lauril sarcosinato de sodio
- Coco betaina (Wilkinson & Moore, 1990).

6.1.5. Ingredientes activos

Los ingredientes activos varían según el tipo de crema dental y según el problema bajo el cual estén diseñadas “Dependiendo de los beneficios que la crema dental ofrezca, así será el listado de ingredientes activos que esta tendrá” (Wilkinson & Moore, 1990, p. 371). Existen dos ingredientes activos principales que se detallan a continuación:

- Sales de flúor: utilizadas para prevenir y controlar la caries, cuentan con una concentración mínima y máxima de acción; a bajas concentraciones el flúor no tendrá efecto sobre los dientes y a concentraciones altas puede provocar intoxicación. Las sales de flúor más utilizadas son las siguientes:
 - Fluoruro de sodio
 - Monofluorofosfato de sodio

- Fluoruro de Estaño (Wilkinson & Moore, 1990).
- Triclosan: brinda la protección antibacterial que la boca necesita; dentro de las enfermedades que previene están la placa bacteriana, la gingivitis y las caries. La molécula del triclosan es: 2, 4,4 Tricloro – 2 – éter hidroxifenílico (Wilkinson & Moore, 1990).

6.1.6. Aditivos

Los aditivos que pueden ser agregados a la crema dental cumplen funciones fuera de los tratamientos clínicos bajo los cuales están hechas las cremas dentales, entre ellos encontramos la adición de sabor y color que brindan los aspectos llamativos para su comercialización. Los preservantes se encuentran en este grupo, asimismo, “El más utilizado es el Benzoato de Potasio” (Wilkinson & Moore, 1990, p. 382).

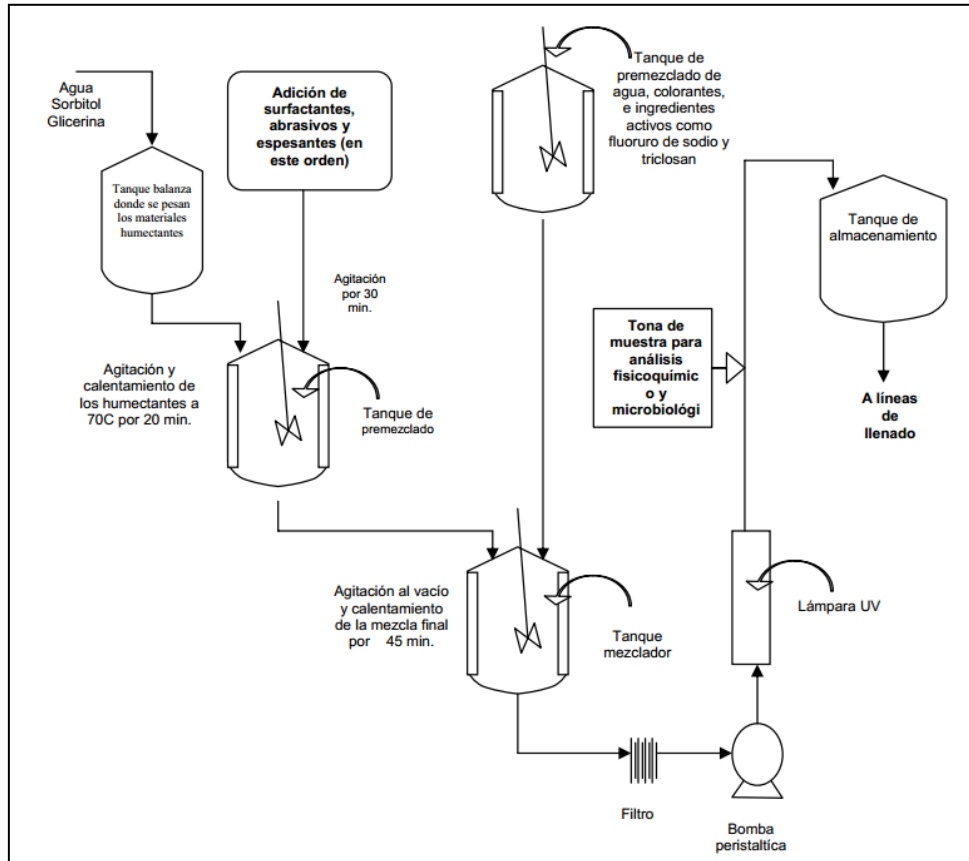
6.2. Proceso de fabricación de crema dental

Este proceso consiste en tres etapas las cuales una parte se realiza en serie y otra en paralelo, dependiendo de la mezcla y etapa en que se encuentre el proceso. Las pequeñas variaciones en las condiciones del proceso pueden echar a perder lotes completos de producción, debido a que la consistencia de la crema dental puede verse afectada.

6.2.1. Análisis general

La fabricación de crema dental consta de tres etapas o tres pasos de mezclado de ingredientes, a continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso:

Figura 1. Diagrama de flujo de la mezcla de ingredientes



Fuente: Wilkinson & Moore (1990).

6.2.1.1. Etapa 1

La etapa 1 del proceso de fabricación de crema dental está formada por dos subetapas, las cuales consisten en: el premezclado de los agentes humectantes y el premezclado de los aditivos e ingredientes activos.

Los pasos se detallan a continuación:

- Se pesan y mezclan los agentes humectantes a una temperatura de 70 °C en un tanque de pesado por 20 minutos, la función de la temperatura es la reducción de los agentes bacteriológicos y para favorecer una mejor mezcla.
- Iniciando en paralelo se produce la premezcla de los aditivos e ingredientes activos, es importante cuidar una mezcla homogénea de todas las materias primas adicionadas en este punto para que la mezcla final emulsione correctamente.

6.2.1.2. Etapa 2

La etapa 2 comienza cuando se tienen las premezclas de los agentes humectantes, estos son transportados a una mezcladora a la cual se le adicionan los materiales surfactantes, abrasivos y espesantes en ese orden, para evitar grumos y aglomeraciones de materiales en la mezcla. La solución debe mezclarse por 30 minutos manteniendo la temperatura de 70 °C, luego de esto se procede a la etapa 3 del proceso.

6.2.2.3. Etapa 3

Luego de transcurrido el tiempo de mezclado a temperatura constante se procede a transportar la crema a un siguiente tanque de mezclado en vacío. A este tanque debe ser adicionada la mezcla de aditivos e ingredientes activos y trabajarse al vacío para eliminar el exceso de aire de la mezcla y permitir que la densidad y viscosidad adquieran los valores deseados; el proceso de mezclado tiene una duración de 45 minutos.

La crema dental se circula a través de una lámpara UV para eliminar contaminaciones microbianas y luego es transportada a un tanque de almacenamiento.

6.2.1.4. Variables de producción

Las variables de operación para la producción de crema dental son las siguientes:

- pH: es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio presentes en determinadas sustancias (Laidler & Meiser, 2003).
- Viscosidad: es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal, en realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones, la viscosidad solo se manifiesta en líquidos en movimiento (Laidler & Meiser, 2003).
- Flúor libre: se refiere a la concentración de los compuestos de fluoruro capaces de reaccionar con los agentes que dañan los dientes, el flúor libre se utiliza para eliminar las caries (Wilkinson & Moore, 1990).

6.3. Historia de las estrategias de mejora continua

A lo largo de la historia, las personas han desarrollado métodos e instrumentos para establecer y mejorar las normas de actuación de sus

organizaciones e individuos. Desde los antiguos egipcios se desarrollaron métodos con el deseo de mejorar sus sistemas.

Al inicio de la revolución industrial, la creación de procesos productivos que requieren ser mejorados debido al auge de los productos, por un lado se requiere que cumpla con los lineamientos de la calidad y por el otro de productividad. El primer indicio de esto se observó con el desarrollo del estudio de tiempos y movimientos de Taylor y la búsqueda de la fabricación estándar de Whitney.

Henry Ford aplica la cadena de montaje por primera vez. Esta aplicación tiene efectos trascendentes sobre la vida del hombre, ya que el consiguiente aumento de la productividad permite a la industria producir bienes a precios cada vez más bajos, con lo que esos bienes se pusieron a disposición de estratos de la población cada vez más amplios.

Los primeros estudios sobre la calidad se hicieron en los años 30 antes de la Segunda Guerra Mundial, la calidad no mejoró sustancialmente, pero se hicieron los primeros experimentos para lograr que esta se elevara, los primeros estudios sobre calidad se hicieron en Estados Unidos (Eckes, 2005).

Uno de los principales interesados en elevar la calidad y el efecto productivo de esta fue el gobierno norteamericano y especialmente la industria militar de Estados Unidos, para ellos era fundamental el evitar que tantos jóvenes norteamericanos permanecieran simple y sencillamente porque sus paracaídas no se abrían.

“A partir de 1943 se intensificó la búsqueda para establecer los estándares de calidad a través de una visión de aseguramiento de la calidad para evitar

aquella tragedia, no solamente podríamos echar la culpa a los paracaídas sino que también hubo una gran cantidad de fallas en el armamento de Estados Unidos proporcionaban a sus aliados o a sus propias tropas, las fallas principales estaban esencialmente en el equipo pesado” (Eckes, 2005, p. 137).

El doctor Edwards Deming entre 1940-1943 fue uno de los grandes estadistas, discípulos Sheward, que había trabajado en el célebre Western Electric Company de la ciudad de Chicago, Illinois, fue ahí donde tuvieron lugar los primeros experimentos serios sobre productividad por Elton Mayor.

Entre 1942 y 1945 Edwards Deming contribuyó precisamente a mejorar la calidad de la industria norteamericana dedicada a la guerra, al final de esta Deming fue a Japón invitado por el comando militar de ocupación de Estados Unidos, ahí tendría un papel fundamental en cuanto a la elevación de la calidad.

De los muchos principios y procedimientos de los que se pueden mencionar es importante señalar que la calidad tuvo un papel esencial, entre enero de 1951 y julio del mismo, año los japoneses aplicaron los conceptos de mejora continua de Deming en 45 plantas.

“Estas plantas tuvieron éxito en cuanto a la implementación de sistemas que permitieron elevar la calidad y es por eso que a partir del verano de 1951 los japoneses quedaron muy reconocidos a Deming y esto llevó a la creación del Premio Nacional de Calidad de los japoneses denominados precisamente así Premio Deming a la Calidad y a partir de noviembre de 1951 aplicado a ser entregado a una empresa o una institución” (Eckes, 2005, p. 234).

Sería importante decir que otro hombre muy importante además de los ya mencionados fue el doctor Armand V. Feigenbaum quien creó el concepto de

gestión de la calidad o de gestionar la calidad, él también introdujo un programa de calidad de la General Electric que aplicó por primera vez el Total Quality Control en Estados Unidos, que aparece en 1951 su libro "*Total Quality Control*" que es exitoso en Europa a partir de 1961.

"Feigenbaum es nombrado director de todas las unidades de producción del mundo de la General Electric y así difunde en esta compañía sus conocimientos acerca de calidad, recordemos que Feigenbaum también va a Japón en el año 1956 y lo hace posteriormente en repetidas ocasiones, a estos tres nombres Edwards Deming, Joseph Juran y Armand V. Feigenbaum debemos la gran explosión de la calidad en Japón que a través del Doctor Ishikawa tuvo consolidación a partir de 1955" (Eckes, 2005, p. 247).

"De esta manera Japón, durante la década de los 50 comprendió que para no vender productos defectuosos era necesario producir artículos correctos desde el principio" (Tarí, 2000, p. 128). En todo el mundo la calidad se convirtió en una verdadera revolución principalmente en Japón, en Estados Unidos y Alemania, posteriormente en Francia y por supuesto también en Inglaterra en donde se podría buscar la cuna de la globalización de la calidad. Viniendo de estos orígenes la calidad empezó a circular por todo el mundo, sobre todo a partir de 1960.

Entre 1960 y 1970 surgió el éxito fundamental de la calidad como estrategia competitiva de las organizaciones y empresas. En octubre de 1961 Phillip B. Crosby lanza su concepto de cero defectos, se había demostrado que los fallos provienen casi exclusivamente de errores humanos, así pues hay que concentrar los esfuerzos en el hombre.

“A partir de 1970, el concepto “norma de calidad” se ha convertido en una constante en la historia industrial del mundo moderno, la calidad es ya una mega tendencia y se ha globalizado a prácticamente todos los países industriales del mundo, pero también se ha globalizado a muchas organizaciones” (Eckes, 2005, p. 256).

Paralelamente en la década de los 70, los experimentos de Shigeo Shingo en Toyota, lo conducen al desarrollo de dispositivos a prueba de errores, y a la generación de toda una metodología, que aunque no vuelve obsoleto al control estadístico del proceso, hace palidecer sus originales contribuciones. Nace el justo a tiempo como el cumplimiento puntual en las entregas sin sacrificar los costos de inventario, significa producir las unidades necesarias en la cantidad necesaria y en el tiempo preciso, que se conoce como el Sistema Toyota.

En 1979 Ryuji Fukada, profesor de la Universidad de Kobe y consultor, desarrolla el sistema CEDAC (Diagrama Causa Efecto con tarjetas añadidas), metodología para encuadrar, gestionar y realizar mejoras de la empresa en forma extremadamente eficaz y ágil.

En la década de los 80, Japón sigue desarrollando y volviendo más eficaces sus sistemas productivos resultando cada vez más competitivo en calidad, costo, diversidad y cumplimiento en las entregas. Tanto Europa como los Estados Unidos en base a lo aprendido de los modernos sistemas de manufactura japoneses, comienzan a desarrollar modelos adaptados a sus respectivos países y a sus posibilidades con la intención de interceptar y sobrepasar a la industria japonesa en un período de tiempo lo más corto posible.

“Este proceso de mejora continua a través de la fabricación en línea de Ford y el control estadístico del proceso de Juaran y Deming llegando a niveles de excelencia con Seis Sigma en general Electric y Sistema de producción Toyota hasta lo que conocemos como Lean Seis Sigma” (Eckes, 2005, p. 265).

6.3.1. Historia Seis Sigma

Sus orígenes se remontan a 1985, cuando un ingeniero de Motorola llamado Bill Smith presentó una investigación, enfocada en los conceptos de Deming en la que concluía que “Si un producto defectuoso era corregido durante su fabricación, otros artículos con anomalías no serían detectados hasta que el cliente final los recibiera” (Alonso, 2005, p. 239).

Por otro lado, si una mercancía era elaborada libre de errores, rara vez le fallaría al cliente. El impacto de esta investigación hizo de los directivos de dicha firma le solicitará a Smith que desarrollara de una manera práctica la aplicación de su teoría.

Convencido del trabajo que había desarrollado este ingeniero, el Dr. Mikael Harry “propuso estudiar las variaciones de los diversos procesos de Motorola.” Pronto descubrió que “Las variaciones excesivas en un proceso causaba poca satisfacción de los clientes y falta de efectividad para satisfacer sus requisitos” (Alonso, 2005, p. 253).

Creó una estrategia para implementar el Seis Sigma en las organizaciones, lo cual fue difundido en la publicación: “*The Strategic Vision for Accelerating Six Sigma within Motorola*”. Esta nota contribuyó a conseguir el apoyo financiero de otras compañías como IBM, Texas Instruments, ABB y Kodak, para la creación del Six Sigma Research Institute. Después de 10 años

de trabajo, implementando y mejorando la estrategia de Seis Sigma, el instituto se transformó en la Academia Seis Sigma.

Los procesos productivos están compuestos principalmente por materiales, personas, medio ambiente, maquinaria e instrumentos de medición. Aunque el proceso fuera ideal, donde el comportamiento de estas partes no tuviera fluctuación, ningún producto fabricado sería 100 % igual al otro, siempre existe una pequeña variación, estas se clasifican en dos tipos:

- Variación asignable o especial: es una variación extraordinaria y específica que cambia con el tiempo y no es aleatoria.
- Variación aleatoria o común: es una variación común que es estable y se mantiene a través del tiempo.

“El Dr. Harry desarrolló tanto la estrategia de la implementación de Seis Sigma, la cual se basa en su filosofía, como una metodología denominada DMAIC por sus siglas en inglés (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*) y que significan definir, medir, analizar, mejorar y controlar, que a través del uso ordenado de diferentes herramientas, la mayoría estadísticas, se logra reducir la variación y mejorar la rentabilidad de las empresas que la utilizan” (Alonso, 2005, p. 266).

La implementación *de Six Sigma* en GE a mediados de los años 90, junto con el éxito fenomenal de la empresa al utilizar el programa para ahorrar dinero y aumentar las ganancias, contribuyó a hacer de *Six Sigma* un programa altamente visible y ampliamente adoptado. Desde entonces, las empresas de todo el mundo han ahorrado miles de millones de dólares al *implementar Six Sigma*.

Los resultados obtenidos por algunas compañías fueron:

- Motorola logró aproximadamente 1 000 millones de dólares en ahorros durante tres años y el premio a la calidad Malcom Baldrige en 1988.
- Allied Signal logró más de 2 000 millones de dólares en ahorros entre 1994 y 1999.
- GE alcanzó más de 2 250 millos de dólares en ahorros en dos años de 1998 a 1999.

6.3.2. Historia de *Lean Manufacturing*

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. La metodología de mejora de la eficiencia en manufacturas fue concebida en Japón por Taiichi Ohno, director y consultor de la empresa Toyota, ingresado en 1937, observó que la productividad japonesa era muy inferior a la estadounidense.

Después de la guerra en 1950, Taiichi Ohno y Eiji Toyoda visitaron Estados Unidos, donde estudió los principales pioneros de productividad y reducción de desperdicio del país como Frederick Taylor y Henry Ford. Durante tres meses estuvieron en la planta de Rouge de Ford en Detroit. La Toyota Motor Company fue fundada en 1937, “después de 13 años de trabajo y esfuerzo producían 2 685 automóviles, comparados con los 7 000 que producían diariamente en Rouge” (Padilla, 2010, p. 65).

Ohno se mostró impresionado por el énfasis excesivo que los estadounidenses ponían en la producción en masa de grandes volúmenes en perjuicio de la variedad, y el nivel de desperdicio que generaban las industrias en el país más rico de la posguerra.

Cuando visitó los supermercados tuvo un efecto inspirador inmediato; Ohno encontró en ellos un ejemplo perfecto de su idea de manejar inventarios reducidos, eliminar pasos innecesarios y controlar las actividades primarias y dar control al que hace el trabajo (en este caso el cliente) como apoyo a la cadena de valor. La palabra japonesa *muda* significa desperdicio y se refiere en específico, a cualquier actividad humana que consume recursos y no crea valor.

Después de estudiar 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*), y fue así que empezaron a utilizar este concepto” (Depool, Amendola, Crespo, & Zona, 2006, p. 87).

Por el surgimiento de Japón a su preeminencia económica actual, otras empresas, siguieron su esquema copiando este notable sistema. El origen de la propia palabra Lean se atribuye al equipo de JP Womack, y Daniel Jones, actualmente en la Lean Global Network (leanglobal.org). Estos investigadores no fueron los únicos pioneros en la materia, pero si los que consiguieron hacer llegar la filosofía lean a través de dos libros: "*La máquina que cambió el mundo*"

y "*Lean Thinking*". El sistema Manufactura Ágil o *Lean Manufacturing*, está basado en su totalidad en el Sistema de Fabricación de Toyota (TPS).

El TPS se fundamenta en la optimización de los procesos productivos mediante la identificación y eliminación de despilfarros (*muda* en japonés, o *waste* en inglés), y el análisis de la cadena de valor, para finalmente conseguir un flujo de material estable y constante, en la cantidad adecuada, con la calidad asegurada y en el momento en que sea necesario. Es decir, tener la flexibilidad y fiabilidad necesarias para fabricar en cada momento lo que pide el cliente, ni más, ni menos.

Toyota llegó a la conclusión de que: adaptando los equipos de fabricación a las necesidades de capacidad reales, introduciendo sistemas de calidad integrados en los procesos (*poka-yokes*), teniendo la disposición de equipos siguiendo la secuencia de fabricación e innovando para conseguir cambios rápidos de modelo para que cada equipo pudiera fabricar muchos lotes pequeños de distintas piezas, y haciendo que cada máquina avisará a la máquina anterior cuando necesitaba material (sistema *pull*); haría posible el fabricar con bajos costos, con una amplia variedad, alta calidad y con tiempos de proceso (*lead times*) muy rápidos para responder de manera efectiva y eficaz a las variaciones en las demandas de los clientes.

Igualmente, con todo lo anterior expuesto la gestión de la información se facilitaría y se haría más precisa.

El objetivo es encontrar herramientas que ayuden a eliminar todos los desperdicios y todas las operaciones que no le agregan valor al producto o a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Este proceso de manufactura está relacionado con la utilización

del *activity-based costing* (generación de costos basado en la actividad) el cual de acuerdo a su versión original, busca relacionar los costos con todos los valores que el cliente percibe en el producto.

Por otro lado, sirve para implantar una filosofía de mejora continua que le permita a las compañías reducir sus costos, mejorar los procesos y eliminar los desperdicios para aumentar la satisfacción de los clientes y mantener el margen de utilidad. El propósito de la manufactura esbelta es serle útil a la comunidad lo cual implica estar en busca de la mejora continua.

6.4. Fundamentos de estrategias de mejora

La expresión mejora de procesos se refiere a una estrategia de desarrollo de soluciones orientadas a eliminar las causas raíz de los problemas de rendimiento de las empresas. “La evolución de las estrategias de mejora en las empresas, han transformado la forma de producir y la manera de organizar la producción en un contexto global guiado por la tecnología” (Cora et al., 2007, p. 8), incorporando el pensamiento creativo e innovador de todos los colaboradores de la empresa, orientada a la modificación continua del valor al cliente.

La estrategia de mejora se basa en las características de eficiencia y eficacia en la organización en busca de excelencia, aumentando la satisfacción del cliente, la presencia en el mercado y las utilidades obtenidas. El mejoramiento continuo más que un enfoque o concepto es una estrategia, y como tal, constituye una serie de programas generales de acción y despliegue de recursos para lograr objetivos completos, pues el proceso debe ser progresivo. En la actualidad el sistema empresarial se encuentra en un proceso de perfeccionamiento que en sí constituye un programa de mejora, pero en la

medida en que este se apoye en enfoques utilizados en la práctica mundial se obtendrán mejores resultados.

La expresión mejora de procesos tiene como sinónimos mejora continua, Sistemas de Gestión de Calidad, entre otros. El mejoramiento continuo es un proceso que describe muy bien lo que es la esencia de la calidad y refleja lo que las empresas necesitan hacer si quieren ser competitivas a lo largo del tiempo.

La mejora continua implica por lo tanto, la lista de todos los miembros de la empresa en una estrategia destinada a mejorar de manera sistemática los niveles de calidad y productividad, reduciendo los costos y tiempos de respuesta, mejorando los índices de satisfacción de los clientes y consumidores, así como los rendimientos sobre la inversión y la participación de la empresa en el mercado.

6.5. Seis Sigma

Sigma es una letra del alfabeto griego (σ), es utilizada en estadística para denominar la desviación estándar. Mientras más alto sea el sigma y consecuentemente menor la desviación estándar, el proceso es mejor, más preciso y menos variable.

6.5.1. Definición de Seis Sigma

Sigma es una letra del alfabeto griego (σ) que es utilizada en estadística para denominar la desviación estándar (medida de dispersión de los datos respecto al valor medio). Mientras más alto sea el Sigma y consecuentemente

menor la desviación estándar, el proceso es mejor, más preciso y menos variable.

El concepto de Seis Sigma se le atribuye al Ingeniero de Calidad de Motorola Bill Smith, quien consideró que los problemas de calidad y bajo desempeño en los procesos se deben a la variabilidad que estos presentan, una pieza defectuosa no es más que fruto de la variación, luego entonces si se minimiza la variación se tiene mayores probabilidades de obtener productos y servicios libres de defectos. Es una metodología de mejora de procesos, centrada en la reducción de la variabilidad de los mismos, consiguiendo reducir o eliminar los defectos o fallas en la entrega de un producto o servicio al cliente.

La meta de Seis Sigma es llegar a un máximo de 3,4 defectos por millón de eventos u oportunidades (DPMO), entendiéndose como defecto cualquier evento en que un producto o servicio no logra cumplir los requisitos del cliente.

Seis Sigma utiliza herramientas estadísticas para la caracterización y el estudio de los procesos, de ahí el nombre de la herramienta, ya que Sigma es la desviación típica que da una idea de la variabilidad en un proceso y el objetivo de la metodología Seis Sigma es reducir esta de modo que el proceso se encuentre siempre dentro de los límites establecidos por los requisitos del cliente.

“Seis Sigma es también una estrategia de mejora continua que busca identificar las causa de los errores, defectos y retrasos en los diferentes proceso de negocios, enfocándose en los aspectos que son críticos para el cliente” (Gutiérrez y de la Vera, 2004, p. 548).

La estrategia Seis Sigma se basa en métodos estadísticos rigurosos que emplean herramientas de calidad y análisis matemáticos, ya sea para diseñar productos y procesos o para mejorar los ya existentes. Esta estrategia requiere que se optimice las salidas del proceso mediante un enfoque en las entradas y procesos involucrados, matemáticamente eso se describe mediante la siguiente ecuación:

$$Y = f(x)$$

En donde:

Y = resultados

x = variables que afectan el resultado

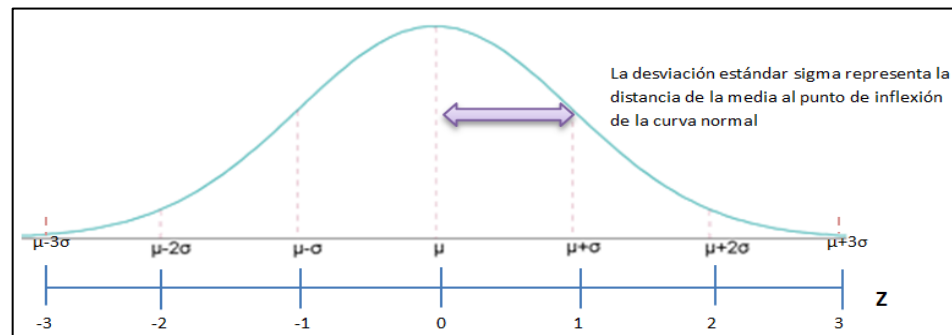
Esto se expresa como Y en función de x, donde Y es una variable dependiente de una salida del proceso, un efecto o síntomas que hay que monitorear y, x son las variables independientes de entradas o del proceso que representan las causas o problemas que hay que controlar o que de hecho son controlables.

La meta de Seis Sigma, que le da su nombre, es lograr que los procesos tengan una calidad Seis Sigma. Cuantitativamente esto quiere decir tener 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), o en otras palabras estar bien el 99,9997 % de las veces a la primera. Culturalmente esto significa que se deben ejecutar los procesos claves casi a la perfección. Se puede observar este comportamiento a través de la curva normal.

La distribución normal es una distribución de probabilidad que tiene media y desviación estándar de 1. El área bajo la curva o la probabilidad desde menos infinito a más infinito vale 1, la distribución normal es simétrica, es decir

cada mitad de curva tiene un área de 0,5. La escala horizontal de la curva de mide en desviaciones estándar, su número de describe con Z, para cada valor Z se asigna una probabilidad o área bajo la curva.

Figura 2. **Curva distribución normal estándar**



Fuente: elaboración propia.

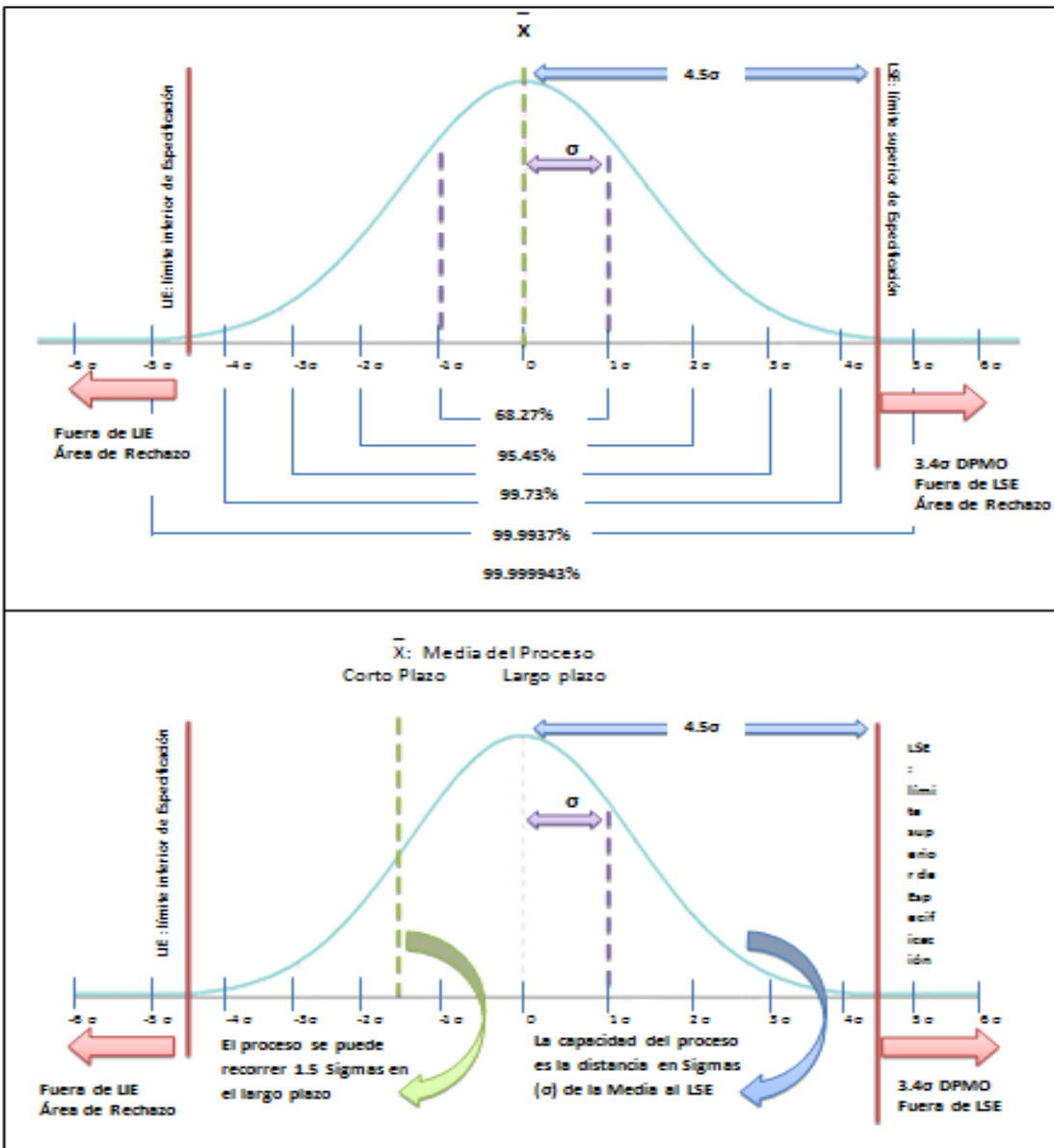
Cuando se habla de la relación entre los niveles de Sigma y de los defectos por millón de oportunidades (DPMO), muchos han cuestionado el hecho de que cuando se refiere a Seis Sigma se haga la relación con 3,4 DPMO, sin embargo viendo una gráfica de campana normal, un procesos con Seis Sigma representa cerca de cero DPMO.

Por otro lado, 3,4 DPMO representan 4,5 Sigma. Esto tiene relación con la teoría validada por los matemáticos Belder (1975), Evans (1975) y Wilson (1951), la cual mencionan que todos los procesos sufren un desplazamiento de $\pm 1,5 \sigma$.

“Un proceso con una curva de capacidad afinada para Seis Sigma es producir con un mínimo de hasta 3,4 defectos por millón de oportunidades

(DPMO), lo que equivale a un nivel de calidad del 99,9997 %”(Verdoy et al., 2006, p. 237).

Figura 3. Definición estadística de Seis Sigma



Fuente: elaboración propia.

En la figura 3 se puede observar la curva normal que representa el comportamiento de un proceso, 100 % de los datos o valores están contenidos bajo el área que forma la curva. Los límites inferiores y superiores de especificación son las tolerancias que marca el cliente en el producto, el área de rechazo se refiere a lo que sale de los límites de especificación, así que cuando los procesos tienen variación en el largo plazo (tiempo) el área que sale es representa el rechazo.

Los procesos en un largo plazo tienden a desplazarse 1,5 desviaciones estándar o Sigmas (σ) en un sentido u otro, por lo que los Sigmas corresponden a las desviaciones estándar contenidos entre los límites de especificación. De la figura 2 se tiene:

$$Z_{LT} = Z_{ST} - 1,5$$

En donde:

Z_{LT} = probabilidad de largo plazo que es el valor del área bajo la curva normal que se espera esté dentro de los límites de especificación.

Z_{ST} = probabilidad de corto plazo que es el valor del área bajo la curva que se tiene al momento de tomar los datos de algún proceso.

1.5 = valor en Sigmas o desviación estándar del desplazamiento que tendrá en el largo plazo un proceso.

Para un proceso ideal donde los datos arrojaran un nivel Sigma 6 y el 100 % de los datos está dentro de los límites de especificación, se tiene:

$$Z_{LT} = 6 - 1,5 = 4,5$$

Esto significa que si se tiene un proceso de 6 Sigma, lo peor que se puede expresar es 4,5, por lo que al relacionarlo con una tabla para valores Z en donde se indica la probabilidad (%) de los datos que contiene el área bajo la curva se tiene que (tablas de distribución normal):

$$P(Z > 4,5) = 0,999996599$$

Lo que significa que en un proceso 6 Sigma el 99,9996599 % de los datos están dentro de los límites de especificación. Por lo tanto el rechazo es:

$$1 - 0,999996599 = 0,000003401$$

Este valor obtenido se traduce como 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO) o en otras palabras piezas defectuosas en un millón fabricadas.

$$DPMO = 3,4$$

Si se tuviera un mejor rendimiento (menor rechazo) se tendría un nivel Sigma mayor a 6, sin embargo, al calcular las DPMO no se obtendrían números enteros como en el caso de Seis Sigma (3,4 DPMO) por lo que se decidió manejar Seis Sigma, la relación se presenta en la siguiente tabla:

Tabla I. Relación nivel Sigma y DPMO

NIVEL SIGMA	DPMO
7	0,0
6,5	0,3
6,4	0,5
6,3	0,8
6,2	1,3
6,1	2,1
6	3,4
5,9	5,4
5,8	8,5
5,7	13,3
5,6	20,7
5,5	31,7
5	232,6
4,5	1349,9
4	6209,7

Fuente: elaboración propia, cálculos estadísticos.

Así se puede decir que Sigma se origina de un concepto estadístico que representa cuanta variación hay en un proceso respecto a los requerimientos del cliente:

- 0 – 2 Sigmas, dificultades para cumplir especificaciones del producto.
- 2 – 4,5 Sigmas, se cumple con la mayoría de especificaciones del producto.

- 4,5 – 6 Sigmas, cumplimiento total de los requerimientos, un proceso 6 Sigma tiene rendimiento del 99,9997 %.

6.5.2. Beneficios de Seis Sigma

Seis Sigma es una técnica para monitorear defectos y mejorar la calidad, así como una metodología para reducir el nivel de defectos por debajo de los 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO). Seis Sigma proporciona un método para administrar las variaciones de proceso que causan defectos, definidos como desviaciones inaceptables del objetivo o media y sistemáticamente trabajan hacia el manejo de las variaciones para eliminar esos defectos. El objetivo primordial de Seis Sigma es proporcionar procesos de clase mundial, confiables y con valor para el cliente final.

Entre los beneficios obtenidos por Seis Sigma están:

- Reducción de costo, menos defectos en el proceso productivo.
- Mejoras en las utilidades y la productividad.
- Mejora en la satisfacción del cliente por lo que aumentar la participación de mercado.
- Reducciones de tiempos de ciclo de procesos.
- Cambios culturales, cultura de calidad.

Como estrategia se puede decir que Seis Sigma es una estrategia de mejora de negocios que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en los procesos de negocio enfocándose a los resultados que son de importancia crítica para el cliente.

Es una estrategia de gestión que usa herramientas estadísticas y métodos de proyectos para lograr mejores en calidad y utilidades significativas, a través de la mejora continua de procesos y productos.

6.5.3. Áreas de aplicación de Seis Sigma

La metodología de Seis Sigma puede utilizarse en varias áreas de una compañía con resultados significantes:

- Diseño
- Servicio
- Administración
- Calidad
- Mantenimiento
- Manufactura
- Compras

Por lo general se divide en tres aspectos:

- Manufactura o procesos productivos
- Transaccionales o procesos de servicio
- Tecnología de información o software

6.5.4. Proceso DMAIC de Seis Sigma

Seis Sigma es una metodología sistemática de reducción de costos en forma proactiva, concentrándose en la mejora de los procesos, más que reaccionando corrigiendo fallos una vez ocurridos. Se basa en mediciones más

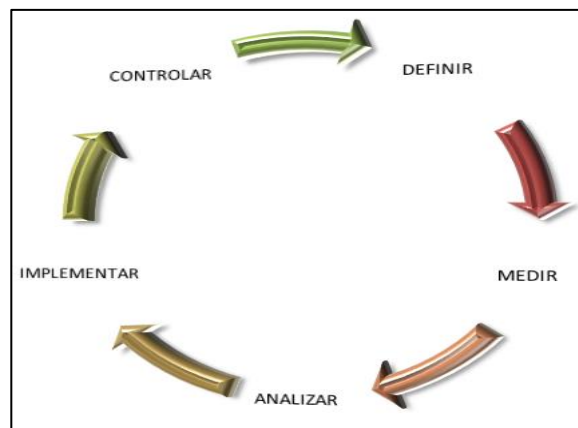
que en experiencias pasadas, por ello es una metodología aplicable a un amplio campo de actividades empresariales.

El procedimiento que utiliza se le llama DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control* por sus siglas en inglés) el cual consiste de 5 fases conectadas de manera lógica entre sí, utilizando diferentes herramientas para dar respuestas a ciertas preguntas específicas que dirigen el proceso de mejora.

Las 5 fases de la metodología están divididas de la siguiente manera:

- Definir
- Medir
- Analizar
- Mejorar
- Controlar

Figura 4. **Fases DMAIC**



Fuente: elaboración propia, con Power Point.

6.5.4.1. Define (definir)

Se refiere a la fase de medición en donde se establece la variable a corregir e identificación de los proyectos de mejora y como se traduce en el impacto que provocará en los procesos y clientes finales. “Consiste en identificar, evaluar, seleccionar proyectos, preparar la misión, seleccionar y lanzar el equipo” (Fernández, 2006, p. 120).

Un proceso de medición correcto logra plantear el panorama general a seguir y los lineamientos bajo los cuales se desarrollará el proyecto, por lo que es uno de los pasos más importantes a seguir para evitar realizar actividades que no agregarán valor a la mejora del proceso.

Al finalizar la fase de definir se busca responder a las siguientes preguntas:

- ¿Por qué es necesario resolver esto?
- ¿Cuál es el flujo del sistema?
- ¿Qué se busca lograr en el proceso?
- ¿Qué beneficios se esperan del proyecto?
- ¿Qué se necesita para completar el proyecto exitosamente?

Es importante definir metas específicas de tal manera que los resultados que se obtengan sean consistentes tanto para la estrategia de la empresa como para las demandas del cliente.

6.5.4.2. *Measure (medir)*

La fase de medición se enfoca en el proceso establecido en la definición del problema de la fase anterior, los datos recolectados se utilizarán para trasladarlos al siguiente paso, por lo que una correcta recopilación de los mismos es esencial para que el análisis realizado sea acertado y consistente en el problema que se desea resolver.

Se recolecta la información de las variables estipuladas, por medio de estrategias previamente detalladas y se asigna responsabilidades; estableciendo un plan de medición se asegura que la recolección de datos será la correcta. En esta fase se busca responder a las siguientes preguntas:

- ¿Quién es el responsable de la recolección de datos?
- ¿Cómo se recolectarán los datos?
- ¿Dónde se recogerán los datos?

Al recolectar la información debe ser tabulada de forma entendible para que en la siguiente fase no existan confusiones en el manejo de la misma, y los análisis resultantes reflejen coherencia en el proceso.

6.5.4.3. *Analyze (analizar)*

La fase de análisis comprende el estudio de la información recolectada, con el fin de determinar si el proceso puede ser mejorado o si debe ser reestructurado. Para mejorar un proceso es esencial conocer los factores que lo están afectando, por lo que los análisis para determinar las raíces de los problemas comprenden un paso importante en la fase de análisis. Las preguntas que deben ser respondidas en esta fase son:

- ¿Cómo se comporta el proceso?
- ¿Cuáles son las causas que afecta el comportamiento del proceso?
- ¿Cuáles son las mejoras posibles que pueden erradicar los problemas del proceso?

La fase de análisis debe presentar tres entregables al siguiente paso que consisten primero en la identificación de las posibles causas de los problemas encontrados, segundo un análisis de mejora del proceso y tercero la cuantificación de la oportunidad de la mejora alcanzable.

6.5.4.4. *Improve (mejorar)*

La fase de mejorar se enfoca en la implementación de las áreas de oportunidad encontradas en las fases anteriores, con el fin de eliminar las pérdidas de tiempo y materiales con las que se trabaja. Mejorar u optimizar al proceso en base a las mediciones y análisis puede asegurar que los defectos sean disminuidos y los procesos se hayan vuelto eficientes; siempre que las fases anteriores se hayan realizado de forma correcta, las mejoras se podrán apreciar en mayor magnitud. Una mejora al proceso podrá identificarse siempre que cumpla con alguna de las siguientes características:

- El proceso se completa con mayor rapidez.
- Se requieren menos insumos para producir los mismos resultados.
- El proceso presenta menos desperdicios.
- Se pueden llegar a los resultados de forma más sencilla.

Los esfuerzos empleados en la fase de mejorar deben mantenerse al continuar con el siguiente paso para evitar regresar a las condiciones iniciales del proceso.

6.5.4.5. Control (controlar)

La última fase del proceso DMAIC es la fase de control, en donde se consolida todo el procedimiento, el objetivo es mantener las cualidades y variables del proceso en el punto de mejora encontrado. Debe establecerse un proceso de monitoreo para asegurar que todos los pasos con cambios se mantengan en las condiciones de mejora, es importante controlar al proceso para mantener las ganancias, el control asegura la reducción y corrección de las variaciones antes de que puedan influenciar a un proceso negativamente.

Los controles pueden ser pruebas piloto al inicio de manera que si los resultados son efectivos se les pueda aplicar definitivamente a la producción o al proceso en general; pueden emplearse diferentes controles para diferentes puntos del proceso dependiendo de la variable que se mida y frecuencia.

El análisis de puntos críticos realizado en las fases anteriores debe señalar los puntos con mayor frecuencia al aplicar el control, y los procesos con mayores velocidades de producción, pues ambas condiciones poseen una mayor probabilidad de encontrarse fuera de especificaciones.

6.5.5. Consecuencias de tener baja calidad

Para Seis Sigma una baja calidad se traduce en generación de costos que no agregan valor al proceso ni al producto final que el cliente adquiere, de modo que las ganancias generadas de la venta, si es que se llegan a realizar, se reducen significativamente. Se clasifican cuatro tipos de costos debidos a una baja calidad, los cuales se detallan a continuación.

6.5.5.1. Costo por fallas internas

El costo por fallas internas se refiere a los errores previos a la entrega del producto o al servicio del cliente, estos podrían desaparecer si los productos, procesos y servicios tuvieran niveles de calidad Seis Sigma. Entre las fallas más comunes se encuentran las siguientes:

- Desperdicio
- Retrabajo
- Trabajo extra
- Repetición de pruebas
- Reinspecciones
- Costos administrativos que no agregan valor
- Desperdicios escondidos

6.5.5.2. Costo por fallas externas

Fallas externas son las ocurridas durante o después de la entrega de los productos o servicios al cliente, provocan insatisfacción del cliente y son consideradas como las más costosas para la compañía, pues afectan directamente la venta y la imagen del producto respecto al consumidor. Las fallas externas más comunes son:

- Ventas perdidas
- Costos administrativos por reclamos de clientes
- Costos de investigación
- Reclamos de garantías
- Costos de cambio de producto

6.5.5.3. Costo por inspección

Son los costos asociados con la medición, evaluación o procesos de auditoría de productos o servicios a los clientes realizados para aseguramiento de la calidad de acuerdo a los estándares establecidos. Se encuentran entre los costos por procesos de inspección más comunes a los siguientes:

- Inspección de recibos y pruebas
- Inspección en proceso (mano de obra y materiales)
- Inspección final por control de calidad
- Laboratorios de calidad y calibración en mal estado
- Costos de equipos
- Pruebas externas

6.5.5.4. Costo por prevención

Son los costos de las actividades diseñadas específicamente para prevenir la pobre calidad en productos o servicios. Los costos por procedimientos de prevención buscan mantener los costos de fallas externas e inspecciones bajos, siempre manteniendo el lineamiento de realizar actividades de la más baja complejidad para evitar entorpecer el proceso en sí debido a las tareas realizadas en la prevención. Los costos por procedimientos de prevención se encuentran los siguientes:

- Revisiones de diseño
- Programas de calidad con proveedores
- Estudios de capacidad de proceso
- Entrenamientos
- Planes de calidad

6.6. Definición de *Lean Manufacturing*

El concepto de *Lean Manufacturing* es una metodología de sistemas de producción, creada originalmente hace aproximadamente tres decenios por la firma automovilística Toyota en Japón y liderada por Taiichi Ohno, que se centra en hacer las cosas de forma correcta, en el lugar correcto, el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando las ineficiencias o despilfarros, siendo flexible y estando abierto al cambio. Lo que se busca es la simplicidad, la agilidad y aumentar la velocidad en los procesos, sean operativos o administrativos, con objeto de maximizar la eficiencia y la productividad reduciendo o evitando los costes o valorados por el cliente.

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.

Es 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 fin 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 *Poka Yoke* (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.

La creación de flujo se focaliza en la reducción de los ocho tipos de "desperdicios" en productos manufacturados los cuales son:

- Sobreproducción
- Tiempo de espera
- Transporte
- Exceso de procesados
- Inventario
- Movimientos
- Defectos
- Potencial humano subutilizado

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.

Lean es un conjunto de herramientas que ayudan a la identificación y eliminación o combinación de desperdicios (Muda), a la mejora en la calidad y la reducción del tiempo y del costo de producción. Algunas de las herramientas son:

- Mejora continua (*Kaizen*)
- Métodos de solución de problemas (5 por qué)
- Sistema a prueba de errores (*Poka Yokes*)
- Flujo de producción (*Mura*) a través del sistema y no hacia la reducción de desperdicios.
- Producción nivelada (reducción de *Muri*), técnica para mejorar flujos
- Tabla de *Heijunka*, también técnica para mejorar flujos.

La implementación de un flujo de producción deja al descubierto problemas de claridad, los cuales siempre han existido y entonces la reducción del desperdicio se tendría que dar como una consecuencia, la ventaja de este es que su propuesta está basada desde una perspectiva de todo el sistema, mientras que el de reducción de desperdicios la asume por concepto. Aunque por el contrario el enfoque de las herramientas es necesario en áreas donde el flujo no pueda ser completamente implementado. La decisión de qué enfoque usar depende de cuáles son los problemas más fuertes de la organización y como está diseñada.

Los sistemas de *Lean Manufacturing* evolucionaron de la necesidad. Las restricciones que el mercado requerían la producción de pequeñas cantidades y alta variedad en condiciones de baja demanda. Muchas iniciativas han surgido con el propósito de ayudar a las compañías a adaptarse a las cada vez mayores exigencias de los clientes. Se obtiene mejores resultados aplicando simultáneamente varias iniciativas en todas las funciones del negocio.

El tiempo se ha vuelto un factor competitivo determinante. La calidad y la consistencia en el servicio son prerequisites para entrar al mercado y solo las empresas que hacen de los tiempos su arma competitiva logran dominar los mercados. Estos son:

- Tiempo de introducción de nuevos productos
- Tiempos de ciclo en manufactura
- Tiempos de entrega (Depool, Amendola, Crespo, & Zona, 2006).

6.6.1. Las tres M's de *Lean Manufacturing*

Dentro de *Lean Manufacturing* se identifican tres términos los cuales se detallan a continuación, comúnmente utilizados que colectivamente ayudan a identificar los desperdicios eliminados.

6.6.1.1. Muda

Cualquier actividad que no agregue valor. También conocido como desperdicio, que es todo lo que no agrega directamente valor al producto final o que no contribuya a la transformación de los productos, este lo agrega tiempo y costos pero no valor. Desperdicio es la razón por la que el flujo del producto se detiene y es la causa de no ser competitivos. Entre éstos se pueden definir:

- Desperdicio por movimientos

Es cuando en los procesos de producción y áreas de servicio, los operarios tienen que realizar movimientos excesivos para tomar partes productivas, herramientas o realizar desplazamientos excesivos para poder efectuar su operación, por ejemplo:

- Configuración y organización de las áreas de trabajo deficiente.
- Contenido de labor mal balanceado.
- Fabrica visual no implantada.

- Estandarización del trabajo no realizada (Depool, Amendola, Crespo, & Zona, 2006).
- Desperdicios por transportación

Excesivo movimiento de transportación de material, entre estaciones de trabajo, áreas de producción y bodegas tales como:

- Grandes distancias entre operaciones o estaciones de trabajo.
 - Grandes distancias entre bodegas-terminales.
 - Los surtidores de material no tienen rutas, ni programas de surtido.
 - Bodegas en las áreas productivas o fuera de ellas.
 - Recorridos excesivos entre los puntos de recibo de material y los puntos de uso.
 - Control y manejo de exceso de inventario (Depool, Amendola, Crespo, & Zona, 2006).
- Desperdicios por corrección

Todo aquel retrabajo, reparación o corrección realizada al producto por problemas de calidad, asimismo, la sobre inspección como efecto de la contención de problemas en lugar de su eliminación. Se pueden enumerar los siguientes:

- Escasa o lenta retroalimentación de problemas de calidad.
- Inspección excesiva, en el recibo de material, en la estación de trabajo o fuera de las estaciones de trabajo.

- Las reparaciones son vistas como un proceso aceptable dentro de los procesos.
 - Dispositivos a prueba de error (*Poka Yoke*) poco efectivos.
 - No se tiene una estandarización del trabajo realizado, provocando una variabilidad excesiva en el proceso.
 - Mantenimiento poco efectivo al equipo y herramientas (Depool, Amendola, Crespo, & Zona, 2006).
- Desperdicio por inventario
 - Mentalidad de producción en masa, baches o exceso de subensambles entre estaciones de trabajo.
 - Entrega y embarques ineficientes de materiales, subensambles o ensambles internamente y externamente.
 - Programas de producción no están coordinados entre procesos.
 - No se utiliza la fábrica visual para controlar el proceso, como ejemplos máximos y mínimos, mercado de estaciones y flujos de procesos (Depool, Amendola, Crespo, & Zona, 2006).
- Desperdicios por espera
 - Espera para recibir soporte por problemas de equipo, información o materiales.
 - Baja efectividad del equipo y paros excesivos de equipo (vehículos industriales, maquinaria, etc.)
 - Contenidos de labor desbalanceados.
 - Juntas indisciplinadas (Depool, Amendola, Crespo, & Zona, 2006).

- Desperdicios por sobreprocesamiento
 - Los estándares de producción son desconocidos o no son claros para los operadores. Por ejemplo poner más material del requerido, ensamblar componentes no requeridos, sobre inspeccionar características no relevantes para el cliente, etc.
 - La programación de producción es desconocida o no es clara para los operarios. Por ejemplo, surten más material del requerido, almacenan material donde no es requerido, pintan áreas no necesarias, ocupan más equipo del requerido (contenedores).
 - No se tienen ayudas visuales como soporte a los operarios.
 - Uso diario del concepto más es mejor (Depool, Amendola, Crespo, & Zona, 2006).

- Desperdicios por sobreproducción

De todos los desperdicios, la sobreproducción se considera el peor de todos ya que este generalmente genera la mayoría de los demás desperdicios.

- Perdidas por operaciones o equipos “cuello de botella”.
- Se produce por lotes y no por secuencia.
- Se descarga o surte por críticos y no por requerimientos.
- Exceso de subensambles (Depool, Amendola, Crespo, & Zona, 2006).

6.6.1.2. Mura

Mura o desigualdad en la operación, ocurre cuando se interrumpe el flujo normal del trabajo en la tarea de un operador, el flujo de partes y máquinas o el

programa de producción. Como ejemplo, si los operadores están trabajando en la línea y cada persona realiza una tarea repetitiva antes de enviarla a la persona siguiente, cuando una de estas personas toma más tiempo que las otras en la realización del trabajo el resultados es Mura y Muda (Depool, Amendola, Crespo, & Zona, 2006).

6.6.1.3. Muri

Muri significa sobrecargar a equipos u operadores solicitándoles que corran a un nivel más alto del cual están diseñados o bien permitidos. Por ejemplo, “si a trabajador recientemente contratado se le asigna la tarea de un trabajador veterano, sin dársele antes el entrenamiento suficiente, el trabajo será estresante para él, y es posible que esta persona sea más lenta en su trabajo, e incluso pueda cometer muchos errores lo cual producirá Muda” (Depool, Amendola, Crespo & Zona, 2006, p. 341).

6.6.2. Claves de *Lean Manufacturing*

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 de las ineficiencias: eliminación de todas las actividades que no generan valor añadido a los ojos del cliente vía la optimización del uso de recursos escaso como el capital, el personal y el espacio.
- Mejora continua: reducción de costos, mejora de la calidad, aumento de la productividad y compartir la información.
- Procesos *Pull*: los productos son 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 costes y la información.

Lean es básicamente todo lo concerniente a obtener las cosas correctas en el lugar correcto, en el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando el despilfarro, siendo flexible y estando abierto al cambio. “El sistema de operaciones *Lean* desea reducir las actividades que no agregan valor a los ojos del cliente para agilizarlos” (Depool, Amendola, Crespo & Zona, 2006, p. 370).

La metodología actúa sobre tres áreas que considera claves:

- Producción: mediante la aplicación de técnicas de organización y administración de la producción se busca facilitar el desarrollo de productos, reducir los tamaños de los lotes mínimos de producción mediante la consecución de cambios rápidos y sistemas sencillos.
- Cadena de suministro: reducir el número de proveedores mediante un proceso de selección basado en su habilidad para adaptarse a los requerimientos del cliente y la estabilidad de la relación. Ello permitirá lograr un proceso productivo con menor esfuerzo, menor espacio, menor capital y menor tiempo.

- Cultura empresarial: menos personal, mayor *empowerment* y mayor flexibilidad o multiespecialización laboral junto a organizaciones más planas.

6.6.3. Pasos para una transformación *Lean Manufacturing*

Lean Manufacturing consiste en una serie de pasos o etapas que llevan a adoptar la filosofía de forma exitosa, la secuencia de los pasos está diseñada para proveer el camino correcto hacia ello.

6.6.3.1. Evaluación de la situación inicial

El primer paso consiste en comparar los procesos que se llevan a cabo en la empresa frente a como se llevarían a cabo siguiendo la filosofía *Lean*. “Como resultado se obtiene un conjunto de desviaciones que conforman el plan de implementación” (Depool, Amendola, Crespo & Zona, 2006, p. 460).

6.6.3.2. Preparar a la organización

“Es imprescindible introducir en la organización los principios de esta filosofía, ya sea mediante cursos internos o externos donde se describa cómo funciona la filosofía, sus principios y sus beneficios” (Depool, Amendola, Crespo & Zona, 2006, p. 473).

6.6.3.3. Análisis del mapa de proceso (*Value Stream Mapping*)

Es como su nombre lo indica, un mapa donde se muestran todas las acciones con y sin valor añadido necesarias, en términos de flujo del material

físico y de información, para entregar un producto al cliente que cumpla con sus exigencias. Este mapa permite ver las ineficiencias y planificar un mapa futuro más simple, más reducido y por tanto con un coste más reducido.

“Es una herramienta estratégica y operativa que permite visualizar la situación actual y, a la vez, mostrar los puntos clave de mejora con el fin de llegar a un estado óptimo en cuanto a la generación de valor” (Depool, Amendola, Crespo & Zona, 2006, p. 490).

6.6.3.4. Medición y control

No se puede mejorar si esta mejora no se puede medir. Es por tanto imprescindible establecer objetivos de mejora sobre las operaciones críticas, que serán evaluadas y revisadas periódicamente. Pueden utilizarse para fijar los objetivos un *benchmarking* respecto a empresas líderes o cualquier otro método que se considere apropiado.

“La métrica más importante es la eficiencia del ciclo mediante la cual se compara el tiempo que añade valor frente al tiempo total del ciclo. Se puede identificar las trampas de tiempo que afectan al proceso” (Depool, Amendola, Crespo & Zona, 2006, p. 510).

6.6.3.5. Layout de la planta, células de producción

Las células de producción es la forma óptima de interacción entre el hombre y la máquina. El objetivo es colocar todos los recursos que requiere cualquier puesto de trabajo lo más cerca posible del mismo. De esta forma permite el flujo por pieza, se puede adaptar el tamaño de un lote de producción a una demanda fluctuante y permite el despliegue flexible del esfuerzo humano.

6.6.3.6. Crear un sistema basado en el sistema “Pull”

Un sistema “*Pull*” es donde los productos son solicitados por el cliente final y no por el final de la producción (sistema “*Push*”). Esto significa que el control del flujo de recursos que sólo son reemplazados cuando estos se terminan. Se inicia cuando el cliente envía un pedido entonces se hace el pedido de materias primas para disponer el adecuado flujo de materiales. Un sistema de planificación gestionado por el cliente final controla muy estrictamente los *stocks* de materia prima y producto acabado en función de la demanda real y no en previsiones.

Uno de los métodos que sigue es el sistema *Just in Time*, este gestiona la fabricación buscando una mejora continua y para ser eficaz debe funcionar en el núcleo de las operaciones de la empresa. “El sistema *Just in Time* (JIT) sostiene que hay que centrarse en problemas importantes como pueden ser los cuellos de botella del proceso productivo o el rechazo de proveedores de baja calidad” (Depool, Amendola, Crespo & Zona, 2006, p. 533).

Se trata de entregar materias primas o componentes a la línea de fabricación de forma que lleguen justo a tiempo a medida que son necesarios. El JIT no es un medio para conseguir que los proveedores hagan muchas entregas y con absoluta puntualidad para no tener que manejar grandes volúmenes de existencia o componentes comprados, sino que es una filosofía de producción que se orienta a la demanda.

Kanban en japonés significa registro visible. Es un elemento del JIT para el suministro de lotes, mediante un sistema de etiquetas. Se reponen los productos a medida que se consumen.

6.6.3.7. Reducción del *set-up* o tiempo de cambio

Este método engloba todo un conjunto de técnicas establecidas por Shingeo Shingo (SMED, *Single Minute Exchange o Die*), para lograr un cambio de formato de las máquinas de producción en el menor tiempo posible mediante la eliminación de algunas tareas, fijando prioridades y organizando otras tareas de tal forma que permita asignar a cualquier dispositivo de producción la realización de una tarea diferente.

“El objetivo es reducir los tiempos de cambio de horas a minutos y que por tanto estos no interfieran en el flujo continuo de la producción” (Depool, Amendola, Crespo & Zona, 2006, p. 541).

6.6.3.8. Eliminación de errores (*Poka Yoke*)

La clave de la filosofía *Lean Manufacturing* es la calidad. Hacer las cosas bien a la primera es más sencillo. “Utilizando la filosofía del *Poka Yoke* o de eliminación de errores los procesos pueden ser diseñados de tal forma que hacer las cosas bien sea la única opción” (Depool, Amendola, Crespo & Zona, 2006, p. 598). Esto significa disponer de operarios que hagan bien su trabajo y que de esta forma solo pasen a la siguiente etapa los componentes correctos. Hacer las cosas bien evita la necesidad de cualquier tipo de control o verificación posterior.

Para lograr este objetivo se usan dos técnicas: la Gestión de la Calidad Total (TQM) y el Mantenimiento Productivo Total (TPM).

6.7. Estrategia de *Lean Seis Sigma*

“El *Lean Six Sigma*, una disciplina de rendimiento comprobado en las últimas décadas, ofrece la manera más eficaz para construir estas capacidades. Este enfoque combina dos de los motores de mejora más poderosos: *Lean*, que ofrece mecanismos para reducir rápidamente y de manera drástica los tiempos y el desperdicio en cualquier proceso de cualquier parte de una organización, y *Six Sigma*, que proporciona las herramientas y las pautas organizativas que establecen unos cimientos basados en datos para una mejora prolongada en objetivos clave relacionados con los clientes” (Vedoy, Mateu, Sagasta & Sirven, 2006, p. 65).

El *Lean Six Sigma* fomenta el valor a través de una fórmula clásica: crecimiento de beneficios operativos (enfocándose en la eficiencia) + crecimiento de ingresos (enfocándose en lo que es importante para el cliente, de manera reiterada) = valor para los accionistas.

6.8. Principios y herramientas de la estrategia de mejora

Los principios de las estrategias de mejora se contemplan en cinco pasos, los cuales a su vez consisten en herramientas que pueden ser utilizadas para que la metodología tenga éxito en la resolución de problemas.

6.8.1. Herramientas para definir

El primero de los pasos en la estrategia de mejora es la fase de definir, la cual consiste en establecer el punto de partida y marcar los objetivos a seguir.

6.8.1.1. **Balanced Scorecard (BSC)**

El *Balanced Scorecard* es una metodología que parte “de la misión (qué hace una organización), la visión (en qué se quiere convertir) y los valores (cuáles son las pautas de comportamiento)” (Membrado, 2007, p. 7). Es una estrategia de la organización hasta los objetivos particulares con enfoque administrativo a fin de monitorear los resultados en todas las áreas claves.

El *Balanced Scorecard* busca el balance entre el corto y el largo plazo cuidando las inversiones y salidas de dinero que puedan afectar la estabilidad de la compañía, busca relacionar indicadores financieros y no financieros a fin de tener una medición del desempeño de la empresa de manera más amplia y concreta respecto a la realidad, “El manejo acertado de indicadores de efecto y causa de los problemas encontrados” (Vedoy, Mateu, Sagasta & Sirven, 2006, p. 126).

La misión de una empresa debe establecer que hacer, para quien se hace, como y donde se hace, así como ser el motivante para el empleado como para el cliente y representar los valores de la empresa.

La visión debe declarar en donde se quiere estar en el largo plazo y como se pretende llegar ahí, identificando las diferencias con la competencia y las oportunidades que se encuentran en la industria.

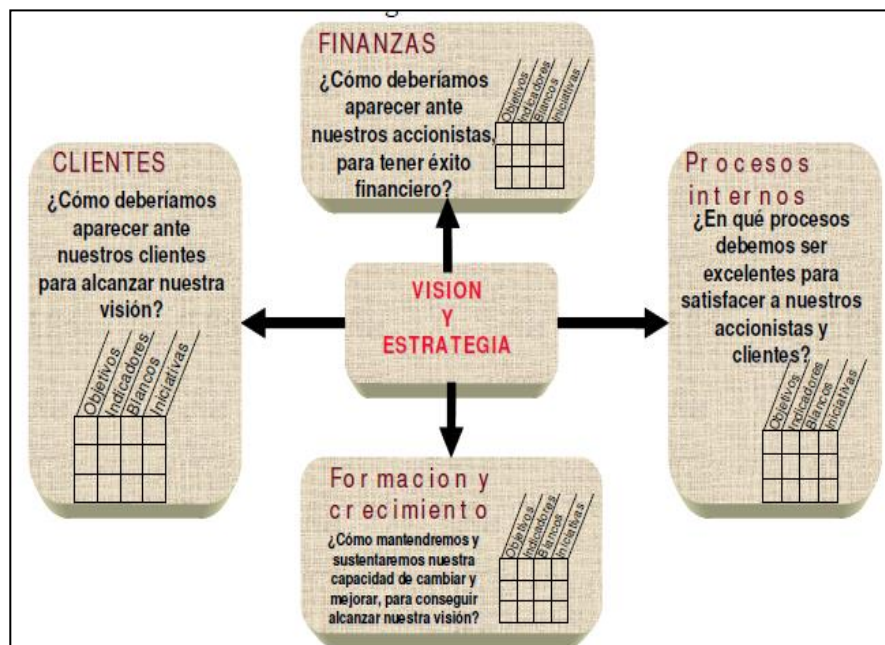
El *Balanced Scorecard* indica que la estrategia de la organización se debe enfocar en cuatro áreas de importancia:

- Desempeño financiero: basada en la productividad y crecimiento, las mediciones deben enfocarse en las prioridades de la empresa.

- Conocimiento del cliente: enfocado en la imagen y percepción que el cliente tiene sobre los productos y la empresa.
- Procesos internos: toda empresa posee procesos claves en los que se debe de gastar mayor energía monitoreándolos y mejorándolos.
- Aprendizaje y crecimiento del personal: enfocado a la mejora y soporte de las habilidades, cultura e infraestructura de la organización (Vedoy, Mateu, Sagasta, & Sirven, 2006).

La siguiente figura muestra la interrelación que deben de tener las cuatro áreas mencionadas.

Figura 5. Interrelación de áreas BSC



Fuente: elaboración propia, con programa Visio.

6.8.1.2. Indicadores Globales (KPI's)

Los indicadores globales están basados en el *Balanced Scorecard* y se enfocan en la medición de los procesos de los que se compone la industria, con el fin de monitorear el desempeño de los procesos.

Una correcta implementación de indicadores globales se traduce en una correcta medición de la eficiencia, al tener mediciones periódicas de los procesos puede partirse para buscar mejoras e implementaciones de procesos nuevos, conocer la situación actual marca la pauta a que tanto se desea crecer y los puntos a los que se desea llegar. Existen diferentes indicadores los cuales son aplicables dependiendo del tipo de proceso a analizar, a continuación se presentan los más representativos para cuatro áreas de relevancia:

- Indicadores financieros
 - Nivel de inventario
 - Costo por unidad
 - Costo basado en actividades
 - Ahorros totales de proyectos

- Indicadores de clientes
 - Tiempo de entrega
 - Satisfacción del cliente
 - Calidad final del producto
 - Número y costo de garantías
 - Tiempos de lanzamientos de nuevos productos

- Indicadores de procesos internos
 - Defectos
 - Nivel *Sigma*
 - Calidad del proveedor
 - Tiempo de ciclo
 - Retrabajos

- Indicadores de crecimiento
 - Utilización de herramientas
 - Calidad de entrenamiento
 - Reuniones efectivas
 - Entrenamiento total
 - Número de proyectos empleados (Vedoy, Mateu, Sagasta, & Sirven, 2006).

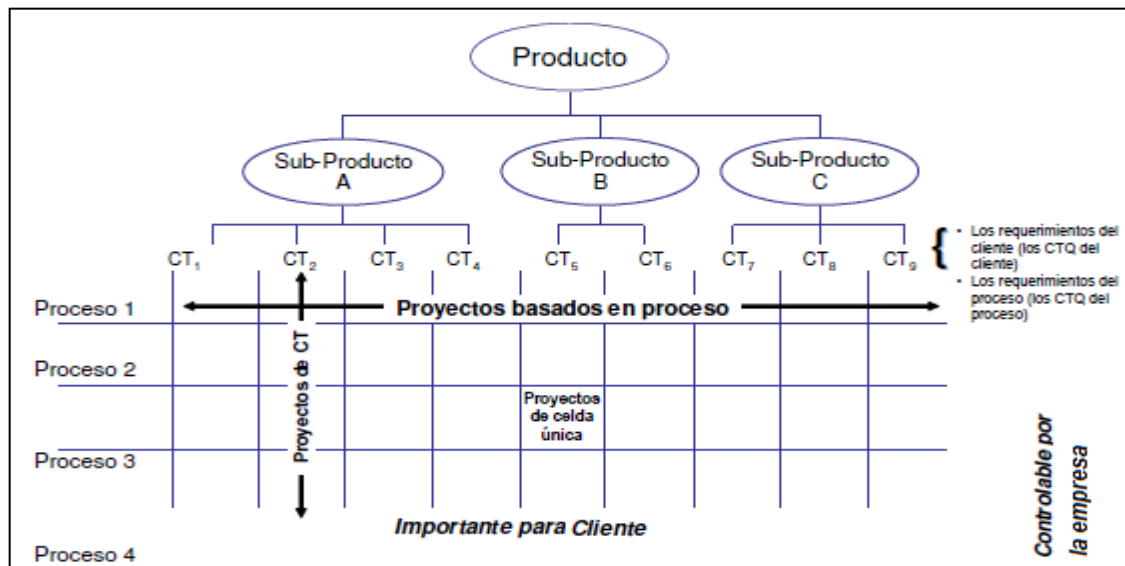
6.8.1.3. *Critical Tree To (CTT)*

El *Critical Tree To (CTT)* se traduce como el árbol crítico para, es una herramienta que manifiesta las necesidades que los clientes consideran de importancia colocando las características de un producto o servicio y relacionándolas con los procesos de la empresa (ver figura 6). Existen dos tipos de CTT:

- El árbol para procesos (CTP), que es un desglose de la organización de manufactura, servicio y procesos transaccionales, son identificados en los niveles más bajos del árbol.

- El árbol para productos, es un despliegue jerárquico de la organización de productos o servicios con lo cual se visualiza las características de relacionadas específicamente para la satisfacción del cliente denominadas CTS (*Critical To Satisfaction*). El cliente define la satisfacción de las siguientes formas:
 - CTQ (*Critical to Quality*) son las características en términos de calidad.
 - CTD (*Critical to Delivery*) son las características en términos de entrega o ciclo.
 - CTC (*Critical to Cost*) son características en términos de costo (Vedoy, Mateu, Sagasta, & Sirven, 2006).

Figura 6. **CTT: relación entre producto y los procesos que lo conforman**



Fuente: elaboración propia, con programa Visio.

6.8.1.4. 5W+2H (preguntas de análisis crítico)

Es una herramienta en la cual se hacen uso de siete preguntas base para identificar con claridad un problema. El nombre de esta herramienta es por las iniciales de las preguntas en inglés que deben formularse y responderse para determinar el problema:

- *Why?* ¿Por qué es un problema?
- *Where?* ¿Dónde ocurre?
- *Who?* ¿A quién afecta?
- *Wich?* ¿Cuál es su naturaleza?
- *When?* ¿Cuándo sucede?
- *How?* ¿Cómo sabemos?
- *How much?* ¿Cuánto afecta?

Las características que debe tener un problema para quedar definido son:

- Específico
- Medible
- Alcanzable (Vedoy, Mateu, Sagasta, & Sirven, 2006).

6.8.1.5. Criterios *Smart*

Es una estructura que permite definir los métricos, la misión, la situación actual y lo que se está buscando. El significado de su nombre proviene por sus siglas en inglés:

- Específico (*specific*): definir claramente el problema
- Medible (*measurable*): documenta el rendimiento histórico.

- Alcanzable (*achievable*): valida la fecha de duración y fecha final del proyecto.
- Relevante (*relevant*): debe ser realista y que corresponda con la dimensión y capacidad del proceso.
- Terminación (*time*): fecha final requerida (Vedoy, Mateu, Sagasta, & Sirven, 2006).

6.8.2. Herramientas para medir

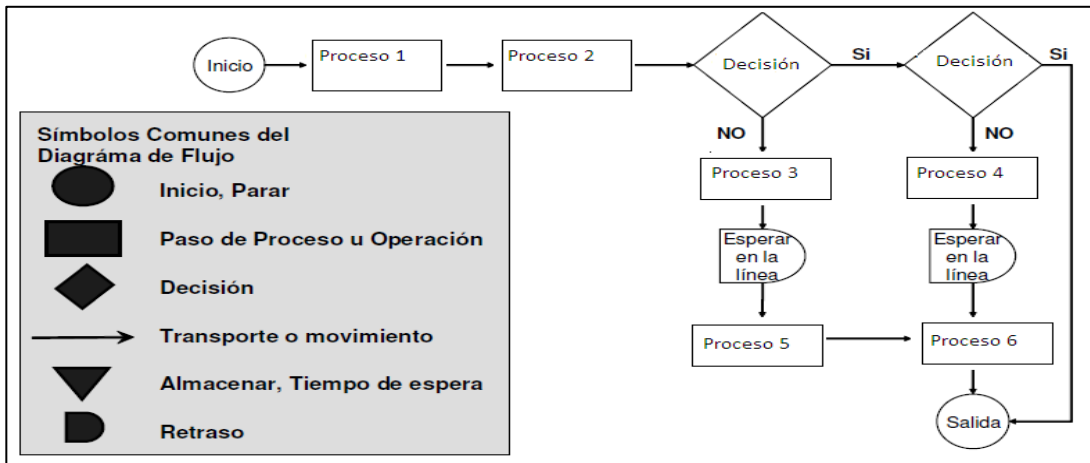
El segundo de los pasos en la estrategia de mejora es la fase de medir, la cual consiste en determinar las variaciones del proceso a través de pruebas reales.

6.8.2.1. Diagrama de flujo

Es la forma de especificar los detalles algorítmicos de un proceso, es la representación gráfica de los pasos de un proceso, ayudando a ilustrar los componentes de un proceso y la forma en que interactúan. Se utiliza para determinar cómo funciona realmente un proceso, revela problemas potenciales como cuellos de botella en el sistema, pasos innecesarios y duplicación de trabajo (Vedoy, Mateu, Sagasta, & Sirven, 2006).

La construcción de los diagramas de flujo se hace a través del uso de simbología y una metodología comunes para todos los diagramas, por lo que se simplifica la interpretación de los mismos, a continuación se muestra un ejemplo de las figuras utilizadas y cómo interactúan para la elaboración de un esquema.

Figura 7. Ejemplo de un diagrama de flujo



Fuente: elaboración propia, con Power Point.

6.8.2.2. Matriz Causa y Efecto

Esta herramienta ayuda a resaltar las posibles causas que afectan a una variable de salida, así que deben definirse las variables de entrada y determinar en qué medida afecta a las variables de salida. La matriz o el cuadro se elaboran de la siguiente forma:

- Identificar los requerimientos (salidas) clave del cliente en el diagrama de flujo del proceso.
- Ordenar por categorías y asignar el factor de prioridad a cada salida (en escala del 1 al 10).
- Identificar todos los pasos del proceso y los materiales (entradas) del diagrama de flujo del proceso.
- Evaluar la relación de cada entrada con cada salida:

- Puntuación baja: los cambios en las variables de entrada (cantidad, calidad, etc.) tienen un efecto pequeño en la variable de salida.
 - Puntuación alta: los cambios en la variable de entrada pueden afectar drásticamente la variable de salida.
- Multiplicar los valores de relación por los factores de prioridad y sumar el total para cada entrada.

Tabla II. **Ejemplo de Matriz Causa y Efecto**

CARACTERÍSTICAS DE SALIDA DEL PROCESO (Requerimientos en orden de importancia para el cliente)								
	Especificación 1	Especificación 2	Especificación 3	Especificación 4	Especificación 5	Especificación 6		
Valor según importancia:	9	9	8	8	7	7		
ENTRADAS DE PROCESO							TOTAL	%
Variable A	2	5	5	5	1	1	157	10,53 %
Variable B	8	9	3	3	0	0	201	13,48 %
Variable C	10	10	9	9	0	0	324	21,73 %
Variable D	5	5	5	8	9	9	320	21,46 %
Variable E	0	0	3	7	7	9	192	12,88 %
Variable F	9	10	8	6	1	1	297	19,92 %
Total	306	351	264	304	126	140	1 491	100,00 %

Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior se comparan los totales para determinar las entradas de proceso que son prioritarias y de esta forma se organizan ya que las que tienen mayor valoración son las que afectarán al proceso. Se puede determinar obtener el porcentaje de importancia de cada uno dividiendo la sumatoria de

cada una de las entradas entre el total de la puntuación de todo el conjunto de variables.

6.8.2.3. Análisis del sistema de medición (MSA)

A través de esta metodología se determina el grado de variación que afecta el proceso por equipos y operarios. Se mide la forma actual en que funciona el proceso y se compara con los las especificaciones técnicas o parámetros estándar de proceso.

El sistema de medición se refiere al proceso completo para obtener medidas, esto es por medio de colección de instrumentos, indicadores, normas, operaciones, métodos, herramental, software, personal, ambiente y suposiciones usadas para cuantificar las unidades de medición o evaluación de la característica que se mide. Los datos de medición se usan para:

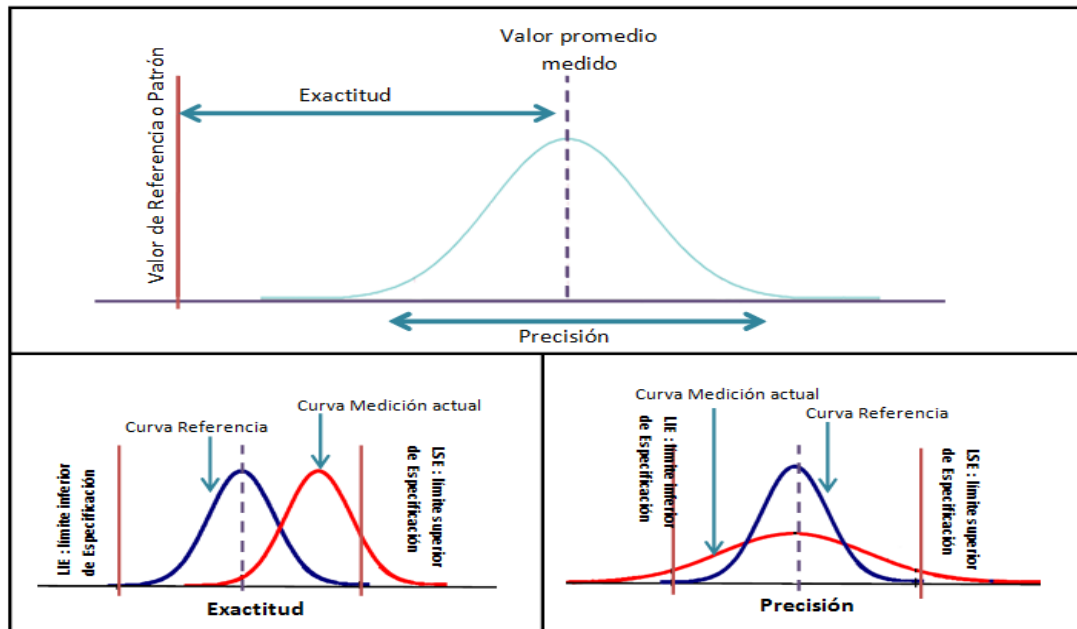
- Aceptar o rechazar producto
- Ajustar o no los procesos
- Calcular estadísticos para verificar el estado de control del proceso
- Promedio, desviación estándar, rango, etc.
- Determinar si hay una relación significativa entre dos variables
- Mejorar procesos

La calidad de los datos de medición se puede definir por las propiedades estadísticas de estos:

- Exactitud y sesgo: indica que tan cercano está el promedio o la media de todos los valores medidos al valor de referencia o patrón.

- Precisión y variación: es la varianza que se refiere a que tanto se dispersan entre sí los valores repetidos para una misma medición.

Figura 8. **Propiedades estadísticas de medición**



Fuente: elaboración propia.

Si existe una variación excesiva los datos del proceso no cumplen con la calidad establecida. En sistema de medición se debe analizar las partes o procesos con características que pueden brindar una variación en los resultados de las mediciones pueden ser por partes deformables, lugares inaccesibles, interacción del ambiente, personal sin capacitación en metrología, calibración de equipos, estándares o patrones de comparación.

Se deben conducir estudios estadísticos para analizar la variación presente en los resultados de cada tipo de sistema de equipo de medición y

prueba. Los métodos analíticos y los criterios de aceptación usados deben estar conforme a los parámetros de calidad. Para controlar el proceso se deben identificar las fuentes potenciales de variación y eliminar o supervisar las fuentes de variación. La variabilidad del proceso se puede definir como la relación entre la variación del proceso real y la observada, se define con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{obs}^2 = \sigma_{real}^2 + \sigma_{sm}^2$$

En donde:

σ_{obs}^2 = varianza observada del proceso

σ_{real}^2 = varianza real del proceso

σ_{sm}^2 = varianza del sistema de medición por instrumento (repetitividad) o personas (reproducibilidad)

6.8.3. Herramientas para analizar

El tercero de los pasos en la estrategia de mejora es la fase de analizar, la cual consiste en entender la data recolectada en la fase anterior y proponer soluciones a los problemas.

6.8.3.1. Diagrama de Causa y Efecto (Ishikawa)

Es una representación gráfica que organiza de forma lógica y en orden de mayor importancia las causas potenciales que contribuyen a crear un efecto o problema determinado, logrando descubrir el problema de raíz. “Kaoru Ishikawa introdujo el Diagrama de Causa-Efecto en Japón, es por eso que también se le

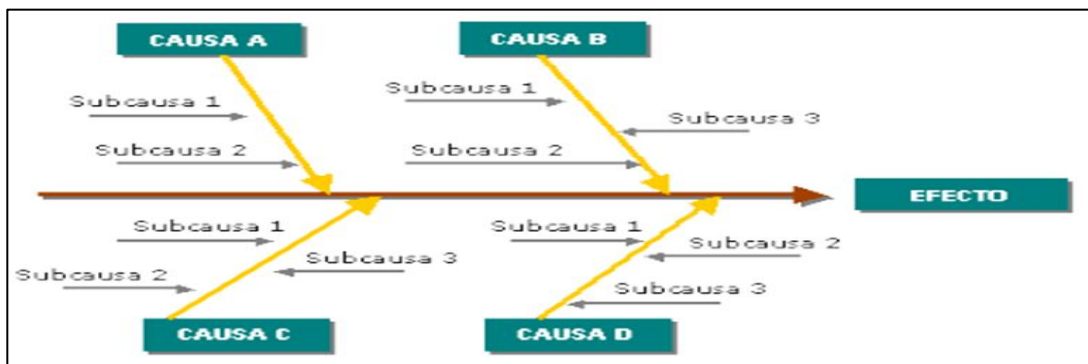
conoce como diagrama de Ishikawa. Debido a su estructura, a menudo se le llama diagrama de espina de pescado” (Gómez, 2010, p. 41).

Los resultados surgen de la Matriz de Causa y Efecto, bajo los cuales es posible construir las posibles causas analizando el estado real del proceso. Los pasos básicos para la construcción de este diagrama son:

- Identificar el resultado insatisfactorio que se desea eliminar, el efecto o problema.
- Plantearlo y situarlo en la parte derecha del diagrama, de la forma más clara posible y dibujar una flecha horizontal que apunte hacia él.
- Determinar todos los factores o causas principales que contribuyen a que se produzca el efecto indeseado.
- En los procesos productivos los factores principales se clasifican según las 6M:
 - Materiales
 - Mano de obra
 - Métodos de trabajo
 - Maquinaria
 - Medio ambiente
 - Mantenimiento
- Se sitúan los factores principales como ramas principales o espinas de la flecha horizontal.
- Se identifican las subcausas o causas de segundo nivel, que son aquellas que motivan cada una de las causas o factores principales.

- Se escriben las subcausas en ramas de las ramas principales que les correspondan. El proceso sigue descendiendo el nivel de las causas hasta encontrar todas las causas más probables.
- Se selecciona la causa más probable, se valora el grado de incidencia global que tienen sobre el efecto, lo que permite obtener conclusiones finales y aportar las soluciones más aconsejables para resolver y controlar el efecto analizado.

Figura 9. **Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa)**



Fuente: elaboración propia.

6.8.3.2. Gráfico X-R

Un gráfico de control es un tipo de curva empleada para evaluar y mantener la estabilidad de un proceso. En la gráfica se dibuja una línea de centro y líneas de límites de control inferior y superior que son las denominadas líneas de control. Los límites de control sirven como guías para controlar el estado del proceso, distinguiendo las causas aleatorias de variación de las causas específicas que deben investigarse. Si los puntos dibujados que expresan la condición de un proceso caen dentro de los límites de control y no

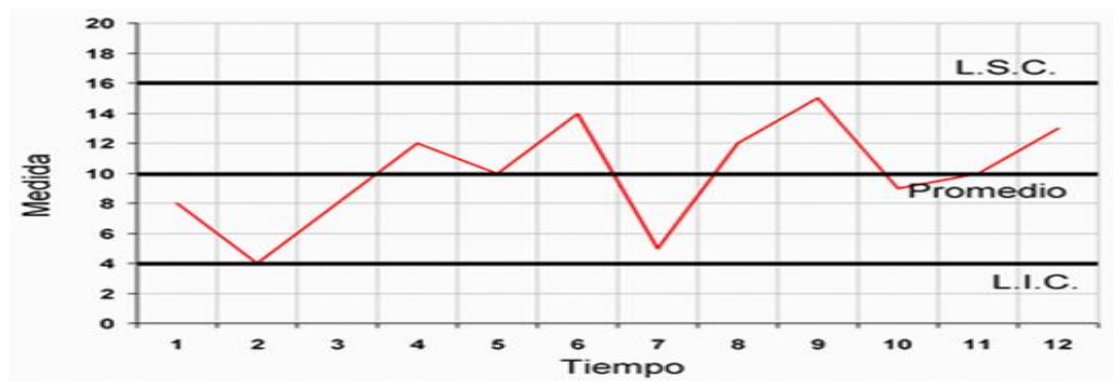
es normal la distribución de los puntos, se considera que la variación procede de causas aleatorias y el proceso es estable.

Los puntos trazados que caen fuera de los límites de control o que tienen una pauta de distribución normal significan que el proceso es inestable y está fuera de control. Puede hacer más estable el proceso identificando y eliminando la causa de la anomalía y tomando acción para su recurrencia.

Los gráficos de control se emplean para analizar procesos, evaluar el estado de los mismos y los factores implicados en la dispersión de los puntos dados. Se elabora de la siguiente forma:

- Se recogen los datos de las mediciones realizadas.
- Se calcula el valor de la media o promedio de los datos que se miden.
- Se calcula el rango del grupo de datos.
- Se calculan las líneas de control, línea mediana y límites de control.
- Se procede a graficar.

Figura 10. **Gráfico de control (a)**



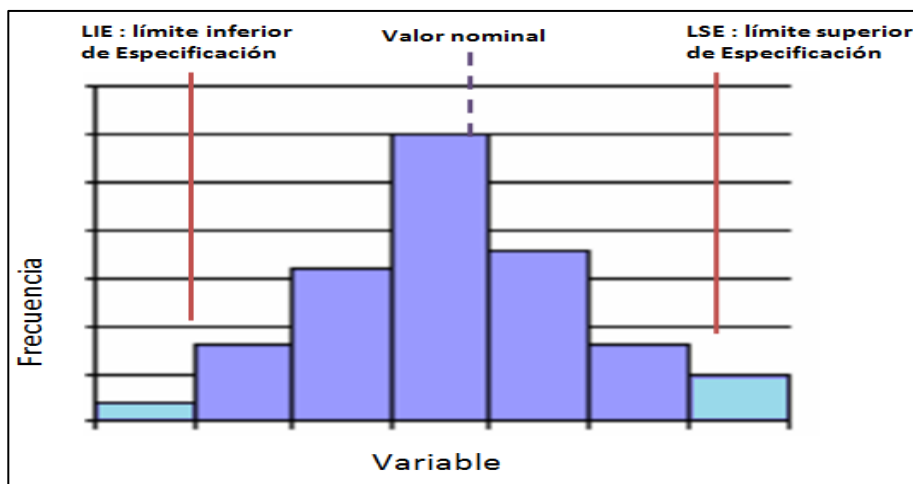
Fuente: elaboración propia.

6.8.3.3. Histograma

Es un gráfico en donde se puede observar las frecuencias para cada rango de datos. EL método de distribución de frecuencia, organiza y distribuye los datos estadísticos. Se realiza una tabla con los datos originales y se agrupan los valores iguales o se agrupan los valores en clases de dos límites prefijados para cada una de ellos, llamándose frecuencia al número de veces que se repita cada uno de los distintos valores originales o al número de valores que quedan comprendidos entre los límites de cada clase.

El histograma de frecuencias está formado por un conjunto de barras rectangulares, levantadas sobre el eje de las abscisas (x), cuyas áreas son proporcionales a las frecuencias representadas, la escala de frecuencias se marca sobre el eje de las ordenadas (y). La altura de cada barra del histograma es igual a la frecuencia de la clase.

Figura 11. Histograma



Fuente: elaboración propia.

Es importante representar los límites de especificaciones u otros estándares, escritos o no, respecto de los resultados aceptables y considerarlos en la fase de análisis e interpretación de los histogramas puesto que los límites de especificaciones a menudo influyen en el proceso y sobre la pauta de variación de los datos. El conocimiento detallado de estándares es esencial para la correcta interpretación de las distribuciones sesgadas, truncadas y con picos extremos.

“Al analizar los histogramas, se puede mirar la forma de las barras o la curva (en este caso sigue la distribución normal), la anchura o rango (del mayor a menor) de la muestra o el número de sucesos de barras” (Alonso, 2005, p. 67).

6.8.4. Herramientas para mejorar

El cuarto de los pasos en la estrategia de mejora es la fase de mejorar, la cual consiste en implementar los planes de mejora definidos en la fase anterior.

6.8.4.1. Flujo continuo

El flujo continuo ayuda a eliminar o minimizar el trabajo sin valor agregado. Representa la ruta física por la que un producto se mueve a través del proceso productivo desde la materia prima, pasando por su transformación y llegando al producto terminado. Se toma en cuenta la distancia y tiempo de recorrido, lo que se busca es simplificar acortando las distancias de recorridos y reduciendo el tiempo en que tarda al recorrer estas distancias. Algunas de las condiciones para establecer y mantener un flujo continuo son:

- Flujo de una pieza: se refiere a la pieza de trabajo que fluye a lo largo de toda la cadena de valor de manera constante, sin detenerse, desde el principio hasta el final, manteniendo un constante aporte de operaciones con valor añadido. Se debe pensar en ideas y técnicas para la total desaparición de las pérdidas o procesos sin valor.
- Equipos de trabajo con una secuencia adecuada: se busca eliminar los desplazamientos entre operaciones, alinear los equipos según la secuencia correcta de los procesos.
- *Takt Time, Pitch*: se debe considerar si el flujo es rápido, lento, o si cumple con el *Takt Time* que es la velocidad a la que el proceso debe ir para poder cumplir con los requerimientos del cliente. Se debe sincronizar todos los procesos y operaciones, para que el material fluya de forma constante cumpliendo con los requerimiento en unidades de piezas que demandan los clientes por unidad de tiempo, esto es el ritmo de la producción.
- Operaciones multiproceso: se debe asignar un proceso u operación a cada operario de forma que se mantenga el *Takt Time* o *Pitch* necesario, tener el mínimo personal necesario para producir la cantidad de material programado y al ritmo planificado. Utilizando las operaciones multiproceso, el mismo operario se encargará de efectuar cuantas más operaciones sea posible, por lo que están entrenados en todo tipo de operaciones permitiendo flexibilidad adecuada en todo el proceso
- Equipos compactos: de ser posible y si se adapta al proceso de fabricación los equipos o máquinas deben ser compactos, de manera

que permitan mantener cierta flexibilidad para ordenar y reordenar su disposición dentro de planta.

- Crear células de trabajo: es útil el poder disponer de diferentes formas o disposiciones para colocar a los operarios y a los equipos.

Los beneficios obtenidos de un flujo continuo son los tiempos de ciclo de proceso más cortos ya que se reduce el tiempo de transporte, se reduce el tiempo de espera, se sincronizan y balancean los pasos, también se reducen costos al eliminar las operaciones innecesarias, obsolescencia, se optimiza el trabajo y espacio. Los pasos para elaborarlo son:

- Elaboración de mapa de cadena de valor e identificación de operaciones.
- Determinar el tiempo actual de los elementos de trabajo.
- Distribución del trabajo conforme al *Takt time* y el número de operadores.
- Se efectúa balance del trabajo de los operadores.
- Se diseña la disposición de planta o forma en que se arregla o acomodan físicamente los equipos y las instalaciones (*Layout*) para indicar el flujo de materiales y máquinas.
- Analizar el flujo para realizar las mejoras y medir el tiempo.

6.8.4.2. *Single-Minute Exchange of Die (SMED)*

La herramienta SMED proviene del acrónimo en inglés de *Single-Minute Exchange of Die* que en español significa cambio de modelo en minutos de un solo dígito. Nació por la necesidad de lograr la producción Justo a Tiempo (*Just in Time*), fue desarrollado para acortar los tiempos de la preparación de máquinas, intentando hacer lotes de menor tamaño. Esto significa que pueden satisfacer las necesidades de los clientes con productos de alta calidad y bajo

costo, con rápidas entregas sin los costos de *stocks* excesivos. Los procedimientos de cambio de modelo se simplifican usando los elementos más comunes o similares empleados habitualmente. La implantación del proyecto SMED consta de cuatro etapas:

- Etapa 1. Separar la preparación interna de la externa

Preparación interna son todas las operaciones que precisan que se pare la máquina y externas las que pueden hacerse con la máquina funcionando. Una vez para la máquina, el operario no debe apartarse de ella para hacer operaciones externas. El objetivo es estandarizar las operaciones de modo que con la menor cantidad de movimientos se puedan hacer rápidamente los cambios, esto permite disminuir el tamaño de los lotes.

Se deben identificar las actividades internas y externas. En esta etapa se define el listado de actividades secuenciales realizadas durante el *set up*, para poder identificar cuáles son internas o realizadas durante el paro de máquina. Algunas técnicas que se pueden utilizar son los diagramas de recorrido, diagrama de acoplamiento hombre-máquina, técnicas de tiempos y movimientos.

- Etapa 2. Convertir cuanto sea posible de la preparación interna en preparación externa.

Se desea hacer todo lo necesario en preparar todas las herramientas fuera de la máquina en funcionamiento para que cuando esta pare, se pueda hacer rápidamente el cambio necesario, de modo de que pueda comenzar a funcionar rápidamente.

El tiempo en el cual el sistema no está produciendo, no agrega valor y se le puede considerar como desperdicios, por lo tanto se requiere eliminarlos. En esta fase es necesario hacer una revisión minuciosa de las actividades internas para hacer la conversión y así ganar más tiempo productivo. Las técnicas que se pueden aplicar son la modificación de diagramas de recorrido, de las funciones y los puestos y la forma en que se realizan las actividades.

- Etapa 3. Eliminar el proceso de ajuste

Se deben reducir el tiempo de ajuste para acortar el tiempo total de preparación ya que se tarda un tiempo en poner a andar el proceso de acuerdo a una nueva especificación requerida. Se refiere a ajuste a las no conformidades que a base de prueba y error va llegando hasta hacer el producto de acuerdo a las especificaciones técnicas del mismo y se emplea una cantidad adicional de material.

- Etapa 4. Optimización de la preparación

En este caso se puede utilizar un diseño uniforme de los productos o emplear la misma pieza para distintos productos que es un diseño de conjunto, también se puede optar por producir distintas piezas al mismo tiempo que es un diseño en paralelo.

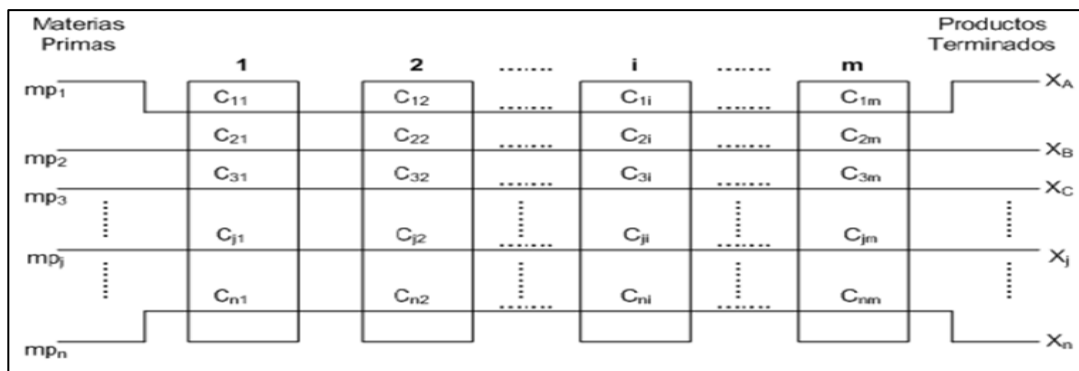
6.8.4.3. Balanceo de líneas

Se describe como la evolución y determinación de tareas u operaciones en igualdad de tiempo. El balanceo de proceso es una extensión de la mejora de flujo de proceso donde un conjunto de pasos de proceso son igualados en términos de tiempo requerido para lograrlos. Así que el balanceo de líneas es

la asignación de carga de trabajo entre diferentes estaciones o centros de trabajo que busca una línea de producción, carga de trabajo similar para cada estación de trabajo, satisfaciendo requerimientos de producción, se debe considerar las operaciones por realizar y las relaciones de precedencia entre ellas.

El objetivo del balanceo de líneas es asignar las cargas de trabajo a las estaciones de trabajo de tal forma que se minimice el costo de operación de la línea, satisfaciendo las restricciones de precedencia y logrando la tasa de producción deseada. Depende de la similitud de los tiempos de ciclo entre las estaciones de trabajo y de la línea de producción.

Figura 12. **Generalización del balanceo de líneas múltiples**



Fuente: elaboración propia, con programa Visio.

En donde:

$Mp_{1, 2, 3, \dots, n}$ = materias primas

$X_{A, B, C, \dots, n}$ = productos terminados

$C_{n, m}$ = tiempo en cada estación y proceso de un producto

El proceso de balance tiene como principios de diseño:

- Minimizar tamaño de lote, cantidad de transferencias y trabajo en proceso.
- Minimizar y estabilizar los tiempos de ciclo.
- Maximizar la eficiencia de trabajo y la utilización de espacio.
- Optimizar el número de estaciones de trabajo y pasos de proceso.
- Balancear las tareas o trabajo a través de las estaciones de trabajo.
- Minimizar la variabilidad.
- Minimizar el transporte, la espera y los desperdicios en movimiento.
- Minimizar la necesidad de rebalanceo cuando los requisitos de demandan cambian.
- Minimizar la variabilidad de volumen al combinar demanda de categorías de productos.

En el balance de líneas se hacen uso de las siguientes fórmulas:

- Índice de producción:

$$IP = \frac{t_{des}}{t_{dis}}$$

En donde:

IP = índice de producción

t_{des} = tiempo deseado

t_{dis} = tiempo disponible

- Número de operarios teórico

$$NOT = \frac{IP * TE}{\rho}$$

En donde:

NOT = número de operarios teórico

IP = índice de producción

TE = tiempo estándar obtenido

ρ = eficiencia

- Tardanza

$$Tardanza = \frac{TE}{NOR}$$

En donde:

TE = tiempo estándar obtenido

NOR = número de operarios teórico

- Eficiencia real:

$$\rho_{real} = \frac{\sum_{i=1}^n tardanza}{\sum_{i=1}^n t_{asig}}$$

En donde:

ρ_{real} = eficiencia real

t_{asig} = tiempo asignado

6.8.4.4. 5'S

Las 5'S es una estrategia y su nombre proviene de:

- *Seiri* (subordinar, clasificar, descartar): es necesario iniciar en las áreas de trabajo y administrativas eliminando los elementos innecesarios para la operación. Estos artículos se colocan en un lugar de almacenamiento transitorio en donde a su vez se seleccionan los que son utilizables para otra operación y se desechan o descartan los que se consideran inútiles liberando espacios y eliminando herramientas obsoletas.
- *Seiton* (sistematizar, ordenar): a los elementos que no se retiraron y que se consideran necesarios se les asigna un lugar delimitando su espacio de almacenamiento, visualización, y utilización pintando líneas de señalización de áreas con líneas, siluetas, poniendo etiquetas, letreros, o utilizando muebles modulares, estantes, etc. El ordenar de esta manera otorga grandes beneficios tanto para el trabajador como para la organización.
- *Seiso* (sanear y limpiar): la limpieza sistematizada como parte del trabajo diario permite a su vez la inspección y la identificación de problemas de averías, desgaste, escapes o de cualquier tipo de defecto, además de que da un mantenimiento regular que hace más seguro el ambiente de trabajo al disminuir los riesgos que causa la suciedad y se pueden tomar acciones concretas que reduzcan o eliminen las causas primarias de contaminación brindando como en el caso anterior beneficios directos al trabajador en su salud y seguridad así como a la organización en sí.

- *Seiketsu* (simplificar, estandarizar y volver coherente): mantener los estados de limpieza y organización utilizando los pasos anteriores. Esta etapa se puede decir que es la etapa de aplicación.
- *Shitsuke* (sostener el proceso, disciplinar): esta etapa es la cual mantiene que todos los pasos anteriores se cumplan paso a paso y que no se rompan los procedimientos de estos.

Aplicación de las 5´S, determina que el ambiente sea de calidad, es decir, que en el ambiente se puedan llevar a cabo tanto pruebas de calidad exitosas como que el producto terminado sea de una calidad que no solo cumpla con los requerimientos del cliente, sino que los excede, también permiten que el lugar de trabajo sea organizado, ordenado y limpio, y por ende un lugar de trabajo seguro, que a su vez tendrá un gran impacto en la calidad al reducir los extra tiempos no planeados en distracciones incrementando la atención en la creación del producto y que el tiempo tipo sea exacto.

El objetivo es lograr una mayor eficiencia, uniformidad y formalidad. La eliminación de despilfarros en diferentes áreas Incrementar el mejoramiento de condiciones de seguridad industrial, los beneficios son:

- El empleado adquiere un sentido de pertenencia, seguridad y se siente motivado.
- Se genera una cultura organizacional
- Se potencializa y se economiza el uso y la respuesta del tiempo
- Se incrementa la vida útil de los equipos
- Se reducen las mermas y las pérdidas por producciones con defectos
- Se elaboran productos de una mayor calidad

6.8.5. Herramientas para controlar

El quinto de los pasos en la estrategia de mejora es la fase de controlar, la cual consiste en determinar los procedimientos a seguir para que las soluciones sean sostenibles con el tiempo.

6.8.5.1. Procedimientos operativos Estandarizados (SOP)

Ya que se realizaron las mejoras deseadas se debe establecer un sistema para asegurar la consistencia del proceso estableciendo así un plan de control, definiendo las acciones que garanticen que la mejora lograda será permanente en el largo plazo. De esta forma se busca institucionalizar el proceso de mejora, por medio del monitoreo y auditoría continua del proceso.

Este define qué acciones correctivas se deben realizar cuando el proceso esté en implantación o fuera de control. Proporciona una descripción documentada del sistema usado para reducir la variación del proceso y del producto, define qué acciones deben mantenerse en procesos y productos estables.

Para poder garantizar la uniformidad, reproducibilidad y consistencia de las características de los productos o procesos realizados en una empresa es necesario el adecuado ordenamiento del personal mediante Procedimientos Operativos Estandarizados (SOP), en inglés *Standard Operation Procedures* (SOP's), a partir de los cuales se detallan funciones y responsabilidades. Estos son aquellos procedimientos escritos que describen y explican cómo realizar una tarea para lograr un fin específico, de la mejor manera posible.

Los SOP son instrucciones escritas para diversas operaciones particulares o generales y aplicables a diferentes productos o insumos que describen en forma detallada la serie de procedimientos y actividades que se deben realizar en ese lugar determinado. Esto ayuda a que cada persona dentro de la organización pueda saber con exactitud qué le corresponderá hacer cuando se efectúe la aplicación del contenido del SOP en la misma. Los SOP garantizan la realización de las tareas respetando un mismo procedimiento y sirven para evaluar al personal y conocer su desempeño.

El propósito de un SOP es suministrar un registro que demuestre el control del proceso, minimizar o eliminar desviaciones o errores y riesgos. Estos documentos contienen:

- Descripción de una secuencia específica de eventos para realizar una actividad.
- Aseguración de la estandarización.
- Aplicables a operaciones específicas.
- Son propios de cada organización.
- Indican el cómo, cuándo, dónde y quién lo hace:
 - ¿Por qué está siendo realizada la tarea?
 - ¿Quién está realizando la tarea?
 - ¿Qué están haciendo?
 - ¿Con qué frecuencia?
 - ¿Cuáles son los límites?
 - ¿Cuáles son las medidas correctivas (inmediatas) y preventivas (a largo plazo)?
- Basados en las normas

El manual SOP de proceso implica:

- Escribir lo que se hace
- Hacer lo que se ha escrito
- Registrar lo que se hizo
- Verificar
- Corregir y mejorar

Los SOP deben ser desarrollados con un enfoque sistemático y originarse a partir de la observación y análisis de un trabajo o tarea específica. Los pasos que se deben tener en cuenta para su elaboración son los siguientes:

- Identificar las tareas
- Usar un enfoque de equipo
- Conducir un análisis de tareas que incluya: investigación de las reglamentaciones, directrices y procedimientos.
- Observaciones de la operación.
- Identificación de los pasos en el procedimiento.
- Desarrollo de un diagrama de flujo.

La validación es un tema importante que se concentra en la recolección y la evaluación de información científica, técnica y de observación, para determinar si las medidas de control son o no capaces de lograr su propósito específico en función del control de peligros. La validación implica la medición del rendimiento frente a un resultado u objetivo deseado con respecto a un nivel requerido del control del peligro.

La validación de procesos es un programa documentado que proporciona un alto grado de seguridad de que un proceso específico producirá

consistentemente un producto que satisface las especificaciones y atributos de calidad predeterminados. Es necesario saber que ante una falla del sistema, cambios en el proceso, nueva información científica o reglamentaria, etc., se hace necesario revalidar una medida de control o una combinación de medidas de control, elaborando un procedimiento claro y eficaz. Básicamente SOP encierra el conjunto de los siguientes documentos que describen cada una de las partes del proceso:

- Procedimientos de proceso
- Instructivos de trabajo
- Especificaciones técnicas de los parámetros de calidad de los productos
- Registros de las mediciones
- Seguimiento de productos no conformes (rechazos internos de proceso u externos por clientes).

Todos deben crearse bajo las normas para documentos controlados.

7. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Composición de la crema dental
 - 1.1.1. Agentes espesantes
 - 1.1.2. Agentes abrasivos
 - 1.1.3. Surfactantes
 - 1.1.4. Ingredientes activos
 - 1.1.5. Aditivos
- 1.2. Proceso de fabricación de crema dental
 - 1.2.1. Análisis general
 - 1.2.2. Etapa 1
 - 1.2.3. Etapa 2
 - 1.2.4. Etapa 3
 - 1.2.5. Variables de producción
- 1.3. Historia de las estrategias de mejora continua
 - 1.3.1. Historia de Seis Sigma

- 1.3.2. Historia de *Lean Manufacturing*
- 1.4. Fundamentos de estrategias de mejora
 - 1.4.1. Seis Sigma
 - 1.4.1.1. Definición de Seis Sigma
 - 1.4.1.2. Beneficios de Seis Sigma
 - 1.4.1.3. Áreas de aplicación de Seis Sigma
 - 1.4.1.4. Proceso DMAIC de Seis Sigma
 - 1.4.1.5. Definir
 - 1.4.1.6. Medir
 - 1.4.1.7. Analizar
 - 1.4.1.8. Implementar
 - 1.4.1.9. Controlar
 - 1.4.1.10. Consecuencias de tener baja calidad
 - 1.4.1.11. Costo por fallas internas
 - 1.4.1.12. Costo por fallas externas
 - 1.4.1.13. Costo por inspección
 - 1.4.1.14. Costo por prevención
 - 1.4.2. Definición de *Lean Manufacturing*
 - 1.4.2.1. Las tres M's de *Lean Manufacturing*
 - 1.4.2.2. Muda
 - 1.4.2.3. Mura
 - 1.4.2.4. Muri
 - 1.4.2.5. Claves de *Lean Manufacturing*
 - 1.4.2.6. Evaluación de la situación inicial
 - 1.4.2.7. Análisis del mapa de proceso
 - 1.4.2.8. Medición y control
 - 1.4.2.9. Crear un sistema basado en el Sistema *Pull*
 - 1.4.2.10. Eliminación de errores

- 1.5. Estrategia de Lean Seis Sigma
- 1.6. Principios y herramientas de la estrategia de mejora
 - 1.6.1. Definir
 - 1.6.1.1. *Balanced Scorecard*
 - 1.6.1.2. Indicadores Globales (KPI's)
 - 1.6.2. Medir
 - 1.6.2.1. Diagrama de flujo
 - 1.6.2.2. Matriz Causa y Efecto
 - 1.6.3. Analizar
 - 1.6.3.1. Gráfico X-R
 - 1.6.3.2. Histogramas
 - 1.6.4. Implementar
 - 1.6.4.1. Balaceo de líneas
 - 1.6.4.2. *Single Minute Exchange of Die (SMED)*
 - 1.6.5. Controlar
 - 1.6.5.1. Procedimientos Operativos Estandarizados (SOP)

2. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

- 2.1. Aspectos generales de la empresa
- 2.2. Historia
- 2.3. Actividades de la empresa
- 2.4. Proceso de fabricación de crema dental
- 2.5. Especificaciones técnicas del proceso
- 2.6. Variables del proceso
- 2.7. Situación actual de la empresa
 - 2.7.1. Análisis FODA de la empresa
 - 2.7.2. Fortalezas
 - 2.7.3. Oportunidades

- 2.7.4. Debilidades
- 2.7.5. Amenazas
- 2.7.6. Análisis de la línea de producción en estudio

3. PROPUESTA DE MEJORA AL PROCESO

- 3.1. Metodología Lean Seis Sigma en proceso de fabricación de crema dental
- 3.2. Inducción *Lean Manufacturing*
- 3.3. Inducción Seis Sigma
- 3.4. Inducción Lean Seis Sigma
- 3.5. Implementación de la metodología DMAIC
 - 3.5.1. Definir (D)
 - 3.5.2. Medir (M)
 - 3.5.3. Analizar (A)
 - 3.5.4. Implementar (I)
 - 3.5.5. Controlar (C)

4. SEGUIMIENTO Y CONTROL

- 4.1. Auditorías
 - 4.1.1. Tipos de auditorías a realizar
 - 4.1.2. Hojas de control
 - 4.1.3. Reporte de resultados y seguimiento

5. EVALUACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA PROPUESTA DE MEJORA

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS
APÉNDICES

8. METODOLOGÍA

8.1. Variables e indicadores

Las variables a medir durante la realización del presente estudio se detallan a continuación:

- Eficiencia del proceso
 - Ciclo total de producción
 - Eficiencia del premezclado agentes humectantes
 - Eficiencia del premezclado de agentes surfactantes, abrasivos y espesantes
 - Eficiencia del mezclado de premezclas e ingredientes activos y aditivos.

- Porcentaje de tiempos muertos respecto al tiempo total del proceso

- Resultados de SPC evaluados a las variables del producto terminado:
 - Viscosidad
 - Flúor libre
 - Concentración iones hidronio (pH).

A continuación se detallan en la tabla III, las variables e indicadores.

Tabla III. Variables e indicadores

OBJETIVOS	VARIABLES	OBSERVACIONES
Definir la situación actual del proceso de fabricación de crema dental al medir la eficiencia por medio de análisis estadístico de resultados durante diciembre y enero del 2014.	Eficiencia	Se busca obtener una eficiencia del 80 % al completar el estudio
Detectar el tiempo total muerto en segundos en el proceso de fabricación de crema dental durante diciembre y enero del 2014 por medio de la medición de los tiempos de cada paso en el proceso.	Ciclos de producción	Se busca obtener una reducción de tiempos muertos en un 20 % al completar el estudio
Controlar las variables fisicoquímicas de producto terminado de crema dental (viscosidad, flúor libre y pH) en los rangos establecidos en las especificaciones técnicas durante toda la investigación por medio de la metodología Lean Seis Sigma.	Viscosidad	Deben comportarse dentro del rango Lean Seis Sigma aceptable (3,4 desviaciones por millar producido)
	Flúor libre	
	pH	
Diseñar y generar una propuesta de mejora de los métodos de trabajo por medio de la implementación de las herramientas de la metodología Lean Seis Sigma al comparar los valores estadísticos iniciales y finales de los resultados al finalizar los primeros seis meses del 2014.	Procedimientos estándar de operación (SOP)	

Fuente: elaboración propia.

8.2. Tipo de investigación

La investigación cumple con las siguientes descripciones:

- Investigación prospectiva: el estudio tomará los datos directamente por el investigador al momento de implementar la metodología y analizará los mismos para encontrar los puntos de mejora.
- Investigación longitudinal: se estudiarán las variables de eficiencia y del proceso y su comportamiento en tiempos determinados durante los primeros seis meses del 2014.
- Investigación analítica: el estudio determinará las causas por las que el proceso de fabricación de crema dental no se comporta de la forma esperada según los valores de eficiencia planeados y la capacidad instalada.
- Investigación aplicada: se determinará la mejora del proceso de fabricación de crema dental por medio de la aplicación de la metodología *Lean Seis Sigma* para el aumento de la eficiencia y eliminación de tiempos muertos.
- Investigación con alcance descriptivo: debido a que se mostrará la situación actual del proceso de producción de crema dental de forma tanto cualitativa como cuantitativa, en base a historial y pruebas en planta.
- Investigación con alcance correlativo: el estudio proporcionará un análisis estadístico del desempeño del proceso, para obtener problemas de mayor recurrencia y conocer los rangos en los que el proceso se encuentra para tener una base y reducirlo mejorando la eficiencia del proceso tanto en insumos y desperdicios.
- Investigación de tipo mixto: el estudio contempla variables tanto cuantitativas como es el manejo de los datos de las pruebas

fisicoquímicas realizadas en la crema dental y variables cualitativas como estado actual y final de la línea y puntos de mejora como procedimientos a seguir.

- Investigación tipo no experimental: ya se conoce la metodología, no se encuentra desarrollando nuevas técnicas sino implementando métodos ya conocidos.

8.3. Universo de estudio y muestreo

- Primera etapa. Análisis de la situación actual

El estudio define como prioridad la evaluación del proceso de fabricación de crema dental, para lo cual se tomarán los datos de producción históricos que hasta la fecha de inicio se cuenten, con el fin de identificar las oportunidades de mejora que la línea presente, utilizando el método DMAIC específicamente la sección de definición y medición.

- Segunda etapa

Con la información recolectada de la primera etapa se procederá a realizar el análisis del comportamiento histórico y determinar el estado real de la línea de producción de crema dental, se determinará el porcentaje de tiempos muertos derivado del análisis de cada etapa en el proceso.

- Tercera etapa

Para la tercera etapa, se planteará el análisis de los datos de la línea de producción de crema dental, para lo cual se llevarán a cabo los siguientes pasos:

- Análisis del proceso actual

El estudio del proceso de fabricación de crema dental desde la etapa de premezclado de materia prima hasta el análisis de las variables de producto terminado por lote, con ello evaluando y llevando a cabo el objetivo basado en la detección de tiempos muertos totales del proceso.

- Muestreo de parámetros fisicoquímicos

Para el muestreo se tomarán los resultados de las variables fisicoquímicas del proceso analizadas por medio de la metodología *Lean Seis Sigma*, tomadas luego de que los lotes hayan sido producidos y antes de su traslado en los tanques de almacenamiento.

Se tomará una muestra de cada uno de los lotes a la cual se le realizará el análisis estadístico SPC para determinar el comportamiento de las variables fisicoquímicas conforme se implementa la metodología *Lean Seis Sigma*.

La segunda etapa está fundamentada en el cumplimiento del objetivo basado en el control de las variables de producto terminado de crema dental según los rangos establecidos. Logrando con ello obtener la información necesaria para cumplir con el objetivo principal que es la reducción de tiempos muertos y aumento de la eficiencia.

9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

9.1. Media

La media aritmética o promedio simple muestra el valor central de los datos. Sumando los datos analizados y dividiéndolos en la totalidad de estos, se define a través de la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu_i$$

En donde:

μ = medía aritmética o promedio

N = número de datos analizados

Los valores objetivos de cada variable a analizar de la media a alcanzar estarán basados en los reportes generados por planeación para el cumplimiento de las metas de producción (resultados fuera de la media provocan rechazos y aumento de materias primas y costos para alcanzar la meta), estos valores serán proporcionados por la planta productora de crema dental al momento de iniciar las pruebas por decisión de la directiva de la planta.

El valor de la media es necesario para saber el comportamiento promedio de los datos, los cuales se compararán con el objetivo según lo dictado por el departamento de producción y calidad.

9.2. Desviación estándar

La desviación estándar es la medida de dispersión que indica la media de distancias que tienen los datos analizados de la media aritmética. Los valores obtenidos en la desviación estándar serán utilizados para interpretar cómo se está comportando el proceso. Se representa a través de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

En donde:

σ = desviación estándar

N = número de datos analizados

μ = media aritmética o promedio

X_i = cada valor analizado

Los valores objetivos de cada variable a analizar de la desviación estándar a alcanzar estarán basados en los reportes generados por planeación para el cumplimiento de las metas de producción (resultados fuera de la desviación estándar objetivo provocan rechazos y aumento de materias primas y costos para alcanzar la meta), estos valores serán proporcionados por la planta productora de crema dental al momento de iniciar las pruebas por decisión de la directiva de la planta.

El valor de la desviación estándar es necesario conocerlo para saber los rangos de seis sigmas permitidos en el proceso, los rangos están basados en el comportamiento ideal del proceso.

9.3. Gráficos de control

El gráfico de control es una herramienta utilizada para analizar el comportamiento de las variables de un proceso respecto al tiempo, facilita la detección de datos fuera de especificaciones y tendencias de los mismos.

En un gráfico se colocan como referencia el promedio o media de todos los datos analizados durante el proceso y los límites superior e inferior son calculados en base a un rango de Seis Sigma, seis veces la desviación estándar, es decir los límites se determinan sumando y restando tres veces la desviación estándar a la media.

$$L.S.C = \mu + 3\sigma$$

En donde:

L.S.C. = límite superior de control

μ = media aritmética o promedio

σ = desviación estándar

$$L.I.C = \mu - 3\sigma$$

En donde:

L.I.C. = límite inferior de control

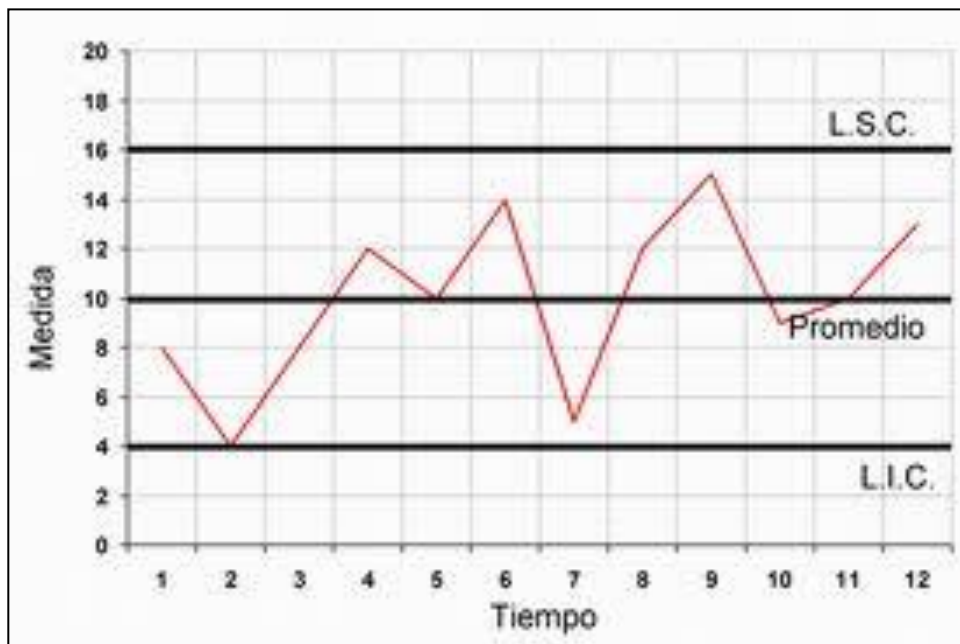
μ = media aritmética o promedio

σ = desviación estándar

En la gráfica de control se observan cada uno de los datos analizados respecto al tiempo, asimismo, se muestran los límites superior e inferior de

control. En la figura 13 se observan que todos los datos están en control ya que se encuentran dentro de los límites.

Figura 13. **Gráfico de control (b)**



Fuente: elaboración propia.

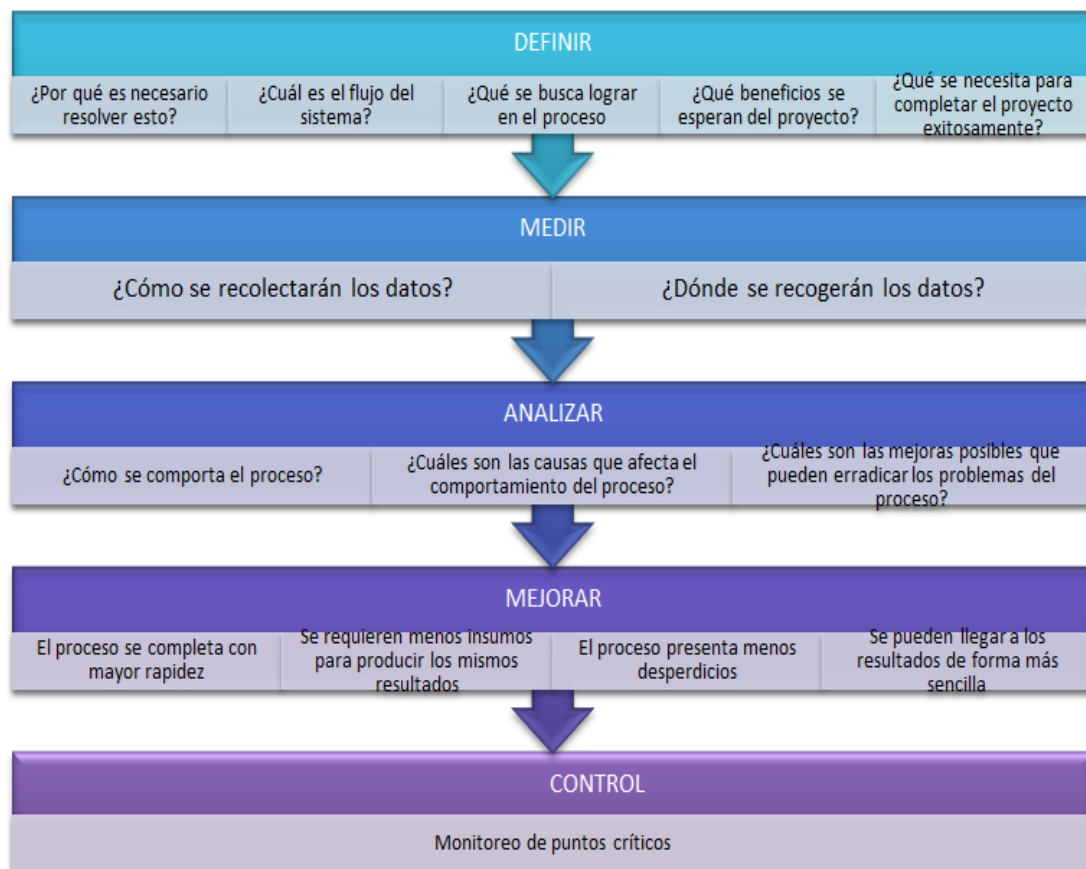
Los valores objetivos de los gráficos de control deben presentar un rango de seis sigmas calculados según la media y la desviación estándar mencionada anteriormente, los resultados esperados dependerán de la situación actual de la línea de proceso de crema dental.

Los gráficos de control son necesarios para determinar el comportamiento de las variables respecto al tiempo y los puntos en los que suceden las desviaciones para investigar, detectar y atacar las variables que afectaron dicho cambio.

9.4. Metodología

Es importante definir metas específicas de tal manera que los resultados que se obtengan sean consistentes tanto para la estrategia de la empresa como para las demandas del cliente. La metodología Lean Seis Sigma consta de cinco etapas llamadas DMAIC, a implementar para la mejora de procesos, la cual se puede observar en la figura 14 a continuación.

Figura 14. Metodología DMAIC



Fuente: elaboración propia.

9.4.1. Primera fase: definir

La fase de definición tiene como objetivo definir la situación del proceso de fabricación de crema dental, recopilando información histórica del proceso. Para esta fase se utilizará la herramienta de *Balanced Scorecard* para establecer la situación del proceso de fabricación de crema dental y el punto de partida del estudio.

El *Balanced Scorecard* del 2012 y 2013 reflejarán la demanda de la crema dental producida en la línea; los indicadores de productividad estarán basados en las variables fisicoquímicas a medir, las cuales son: la viscosidad, el flúor libre y el pH, que estarán amarrados de la productividad total de la línea. Los valores de demanda del *Balanced Scorecard* se compararán contra los valores actuales de la línea para obtener la situación actual de la misma, el comportamiento del proceso de fabricación de crema dental.

Se obtendrán los valores mínimos esperados del comportamiento de las variables fisicoquímicas del proceso, que impactan de forma directa los valores de productividad; pues el valor de la eficiencia está en función de los resultados de las variables de proceso y su comportamiento.

A partir del *Balanced Scorecard* se obtendrán los valores de eficiencias esperados para cumplir con los requisitos de la demanda y planeación, que se verán reflejados en cantidades y metas a cumplir de las variables de proceso.

De la fase de definir, lo que se va a entregar serán: el reporte del *Balanced Scorecard* con los datos del comportamiento de la línea en el 2012 y 2013 de la eficiencia y los valores actuales de la misma variable antes de iniciar el estudio.

A partir de esta información se realizará un análisis de alcances en base a los objetivos que se desean lograr, completando el siguiente cuadro:

Tabla IV. **Análisis de alcances**

PREGUNTA	ALCANCE	RESTRICCIONES
¿Qué se desea mejorar?		
¿Quién será el responsable del proyecto?		
¿Cuándo se esperan los resultados?		
¿Cómo se llegará a los resultados esperados?		
¿Dónde se realizará el análisis?		
¿Cuánto debe ser el alcance de la mejora?		

Fuente: elaboración propia.

A partir de la matriz anterior se describirán los lineamientos de trabajo y el alcance que tendrán, para definir el tema central y no elaborar trabajos que no agreguen valor al estudio.

9.4.2. Segunda fase: medición

La fase de medición tiene como objetivo analizar el comportamiento de la línea, continuando con el objetivo de la definición de la situación actual del proceso de producción de crema dental, la data recolectada debe ser organizada de forma que permita el análisis posterior de los datos.

Después de tener descritos los lineamientos a seguir, las responsabilidades y el alcance que se debe tener, se procederá a medir las variables claves del proceso.

El primer paso consiste en definir el proceso de producción de crema dental, identificar las variables de cada paso y seleccionar las variables críticas, las cuales afectan en mayor proporción las desviaciones que actualmente se presentan en la línea. Para ello se utilizará un mapa de proceso (diagrama de flujo), en el cual se describirán los pasos secuenciales del proceso y el detalle de las variables medibles de cada uno, así como los rangos en los que se deben encontrar como sus dimensionales.

El grado de detalle del mapa de proceso deberá ser lo suficientemente alto para tener una visión completa del proceso de fabricación de crema dental, se analizará desde que se pesan las materias primas, hasta que el lote de crema dental se produce; el último paso del proceso es la liberación del lote teniendo las variables de viscosidad, flúor libre y pH dentro de los rangos establecidos.

Teniendo todas las variables que interfieren en el proceso se procederá a hacer un listado de cada una de ellas y asignarles un valor numérico (de uno a cinco), dependiendo del impacto que tengan en el proceso y la probabilidad que tengan de presentarse; los valores de impacto y probabilidad se multiplicarán para obtener la ponderación de cada paso, y se continuará sobre los cinco que presenten mayor ponderación.

Al tener identificados los pasos críticos, se procederá a realizar un plan de colección de datos e información, el cual consistirá en la matriz que se muestra en la tabla siguiente.

Tabla V. **Plan de colección de datos**

VARIABLE	CORRIDA 1	CORRIDA 2
VARIABLE 1	DATO 1	DATO 1
VARIABLE 2	DATO 2	DATO 2
VARIABLE 3	DATO 3	DATO 3

Fuente: elaboración propia.

Los entregables de la fase de medición serán los listados de data que se obtengan de las variables cuantitativas y el listado de observaciones de las variables cualitativas.

9.4.3. Tercera fase: analizar

La fase de análisis proporcionará los puntos de mejora que se necesiten implementar en la línea, estos análisis deben realizarse en base a la información recolectada previamente con el fin de obtener los tiempos muertos en los que la línea incurre, así como determinar los procedimientos a desarrollar para lograr el objetivo de mejora.

El objetivo de esta fase es analizar las causas potenciales y por medio de ellas llegar a las causas raíz de los problemas, para ello se implementarán dos métodos, uno para las variables cuantitativas y otro para las variables cualitativas.

El método para las variables cuantitativas (variables fisicoquímicas) será un análisis de SPC, para lo cual se evaluará el comportamiento por medio de gráficos de control e histogramas (Cpk y Ppk); ambas correlaciones y gráficas se obtendrán por medio de programas estadísticos.

La interpretación que se le dará al gráfico de control, será evaluar las variables que no se encuentren dentro de los rangos establecidos, evaluando el tiempo en el que se presentaron las desviaciones para investigar las posibles causas, partiendo desde el punto de vista de error humano y error de máquina y/o equipo.

El histograma (Cpk y Ppk) evaluará el porcentaje de desviaciones presentadas en el proceso y las variables que impactan de manera significativa el proceso; contemplará un rango de seis sigmas medido en base al valor esperado y determinará los puntos en que las variables estuvieron fuera de especificaciones. Dará las bases para determinar si las variables se encuentran en control y el proceso es capaz de proveer los resultados esperados.

El método para las variables cualitativas será un Diagrama de Causa y Efecto (Ishikawa); para ello se describirá para cada variable cinco ramas de posibles causas de desviaciones, las cuales son las siguientes:

- Método: los procedimientos empleados no son los correctos.
- Mano de obra: el factor humano ocasiona desviaciones significativas al procedimiento.
- Material: las materias primas e insumos no son los adecuados.
- Medición: el sistema bajo el cual se miden las variables no es el adecuado.
- Máquina: la maquinaria y equipo empleado no es capaz o no se encuentran en sus condiciones óptimas.
- Medio ambiente: los factores ambientales interfieren en las mediciones de las variables ocasionando desviaciones de resultados.

Con base en el análisis Ishikawa se encontrarán los factores más relevantes y que impactan de manera significativa el proceso, de todas las posibles causas deben seleccionarse las más recurrentes y las que generan mayores desviaciones con cambios pequeños, para que los esfuerzos de mejora se enfoquen en estas.

De esta fase se entregarán los reportes cuantitativos de gráficos de control y los histogramas, así como los análisis Ishikawa de las variables cualitativas.

9.4.4. Cuarta fase: mejorar

Esta fase se centra en la implementación de metodologías para estabilizar las variables de proceso y poder entregar los resultados que se definieron en las fases anteriores; la cuarta se centra en el proceso de crema dental específicamente para las variables de viscosidad, flúor libre y pH.

Una vez identificadas las causas raíz de lo que se entrega de la fase anterior, se establecerá una matriz de acciones y responsables para llevar a cabo las soluciones planteadas. Para cada variable crítica se trabajará sobre la siguiente matriz (ver tabla VI), para establecer los procedimientos de mejora y responsabilidades.

Los entregables de esta fase serán los reportes de las implementaciones realizadas en los diferentes puntos del proceso, incluyendo fotografías de las actividades realizadas, firmas de recibido/realizado y cualquier documentación que esté relacionada con la finalización de la actividad.

9.4.5. Quinta fase: controlar

Esta fase contempla controlar las variables de proceso de producción de crema dental (viscosidad, flúor libre y pH) con el fin de estabilizar el proceso para entregar resultados acorde a los esperados y planeados en las fases anteriores.

La última fase de la metodología DMAIC consiste en establecer los compromisos por escrito de los cambios o mejoras de la fase anterior, por medio de instrucciones de trabajo. Para ello se implementará SOP (*Standard Operation Procedures*) que se fundamentarán en los resultados de los procesos mejorados; los SOP generados deberán contener la siguiente información:

- Aprobaciones por el personal involucrado y gerencias.
- Fecha de vigencia de los procedimientos a implementar.
- Alcance del documento.
- Responsabilidades de ejecución y supervisión.
- Descripción de los procesos a implementar.
- Procedimientos detallados de los pasos a seguir para mantener los resultados mejorados obtenidos.
- Flujogramas de los procedimientos del punto anterior.
- Formatos relacionados con la realización de los procedimientos a implementar.

Para la fase de control, se establecerá el período de revisión periódica en los que se revisará el cumplimiento de los procedimientos implementados para asegurarse que la metodología de mejora sea constantemente utilizada y realizada.

10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 15. Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	AÑO 2014				
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Aprobación de protocolo de investigación					
Elaboración de plan a seguir en planta de producción de crema dental					
Requerimiento de autorizaciones para plan 2014					
Acercamiento con personal Frontline (operadores) y reuniones de planeación					
Recolección de Data 2012 y 2013 (historiales de la línea) como referencia para la situación actual					
Balanced Scorecard 2012 y 2013 (historia de la línea) como referencia para la situación actual					
Análisis de alcance de objetivos					
Elaboración de mapa de proceso					
Plan de recolección de datos e información					
Recolección de Data 2014					
Análisis de variables cualitativas					
Análisis de variables cuantitativas					
Elaboración de reportes de implementaciones					
Elaboración de SOP's					
Entrega de resultados y finalización de implementación					

Continuación de la figura 15.

ACTIVIDAD	AÑO 2014 - 2015								
	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Aprobación de protocolo de investigación									
Elaboración de plan a seguir en planta de producción de crema dental									
Requerimiento de autorizaciones para plan 2014									
Acercamiento con personal Frontline									
Recolección de Data 2012 y 2013 (historiales de la línea)									
Balanced Scorecard 2012 y 2013 (historia de la línea) como referencia para la situación actual									
Análisis de alcance de objetivos									
Elaboración de mapa de proceso									
Plan de recolección de datos e información									
Recolección de Data 2014									
Análisis de variables cualitativas									
Análisis de variables cuantitativas									
Elaboración de reportes de implementaciones									
Elaboración de SOP's									
Entrega de resultados y finalización									

Fuente: elaboración propia.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Los recursos permisos y accesos a data serán proporcionados por la planta productora de crema dental, la planta no incurrirá en costos de fabricación y tiempos de pruebas debido a que estos serán llevados a cabo durante la producción normal, por lo que los paros planeados para pruebas no se realizarán. Los recursos a utilizar se presentan en la tabla VII a continuación.

Tabla VI. Presupuesto

Materiales e insumos	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
Pizarra para registro de resultados	500,00	500,00
Porta hojas	45,00	45,00
300 hojas papel bond	10,00	900,00
Uso de computadora para registro y análisis de datos		1 000,00
Recurso humano	Costo unitario (Q) (por mes)	Costo total (Q) (por 10 meses)
Estudiante de maestría	125,00	1 250,00
Asesor de tesis	250,00	2 500,00
Capacitación	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
Curso de Lean Seis Sigma (20 horas)		5 000,00
Refrigerios	25,00 por persona	1 250,00
Total		12 445,00

Fuente: elaboración propia.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Alonso, E. (2005). *Seis Sigma, filosofía de gestión de la calidad*. Perú: Universidad de Piura.
2. Castelan, J., & Moreno, H. (2008). *Lean Seis Sigma en los procesos productivos*. México: Instituto Politécnico Nacional.
3. Cruz, J. (1998). *Educación y Calidad Total*. España: Grupo Editorial Iberoamericano.
4. De la Rava, R., & Gutiérrez, H. (2004). *Control Estadístico de calidad y seis sigma*. México: McGraw-Hill.
5. Depool, T., Amendola, L., Crespo, J., & Zona T. (2006). *Propuesta metodológica de aplicación de Six Sigma, Lean Manufacturing y Teoría de las Restricciones en la dirección y gestión de Proyectos*. Valencia: Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.
6. Eckes, G. (2005). *El Six Sigma para Todos*. Colombia: Norma S. A.
7. Fomperosa, J., & Coria, A. y. (2007). *La mejora continua, una estrategia administrativa que logra competitividad*. Negotia: Norma S. A.
8. García, F. (2006). *Sistemas de Gestión de Calidad, ambiente y prevención de riesgos laborales*. España: Club Universitario.

9. Gómez, E. (2010). *Implementación de la estrategia de una mejora Seis Sigma para la empresa Nugar Stamping & Wheels S. A. de C. V.* México: Instituto Politécnico Nacional.
10. Laidler, K. J., & Meiser, J. H. (2003). *Fisicoquímica*. México: Compañía Editorial Continental.
11. Membrado, J. (2007). *Metodologías avanzadas para la planificación y mejora*. España: Díaz de Santos.
12. Olmedo Alba, N. (2012). *Metodología Lean Seis Sigma aplicado a un proceso de manufactura*. Bogotá: Universidad EAN.
13. Padilla, L. (2010). Lean Manufacturing, Manufactura Esbelta / Ágil. *Revista Primero*. 64-69.
14. Tarí, J. (2000). *Calidad Total: fuente de ventaja competitiva*. España: Universidad de Alicante.
15. Vedoy, P., Mateu, J., Sagasta, S., & Sirven, R. (2006). *Manual de Control Estadístico de Calidad: Teoría y Aplicaciones*. España: Publicaciones de la Universidad Jaume I.
16. Wilkinson, J., & Moore, R. (1990). *Cosmetología de Harry*. España: Ediciones Díaz de Santos, S. A.