

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

“PROPUESTA DE UN PLAN PARA LA REDUCCION DE LA MERMA
UTILIZANDO LA METODOLOGIA SIX SIGMA EN UNA PLANTA DE
PRODUCTOS PLASTICOS”

Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Industrial con
mención en Gestión de Operaciones

AUTOR

Emerson Delgado López

ASESOR

Ing° Luis Negrón Naldos

JURADO

Ing° Cesar Stoll Quevedo

Ing° Eduardo Carbajal López

LIMA - PERÚ

2015

RESUMEN

El presente trabajo nace por la necesidad de reducir el scrap en una planta de producción de frascos para el sector cosmético, farmacéutico y alimenticio; específicamente el estudio es realizado en las cuatro líneas de polietileno con que cuenta la planta de producción.

Previo al trabajo planteado se analizaron todos los indicadores utilizados en la planta de producción para evaluar y elegir el proyecto que resulte más rentable y siempre teniendo en cuenta la voz del cliente y los objetivos de la empresa.

Según data obtenida, en el año 2014 el scrap producido fue del 21%, existiendo una gran brecha con el objetivo del 5%, por lo que se recomienda el uso de la metodología Six Sigma por sus casos de éxito conocidos en la reducción del scrap.

Debido a que en la empresa nunca se ha desarrollado la metodología Six Sigma, se realizaron con el apoyo de la gerencia de producción, reuniones con algunos supervisores y operarios de las líneas de polietileno para darles un alcance de los beneficios de la metodología. Gracias a su apoyo se obtuvo información valiosa para el desarrollo del presente trabajo así como también para el cumplimiento de las mejoras propuestas como parte de un plan piloto en el desarrollo del DMAIC en la línea 1 con ayuda de herramientas como el Mapa de procesos, FMEA, Pareto 80-20, diagrama causa-efecto así como también de herramientas estadísticas.

Luego de desarrollar las mejoras, se tomaron de datos para un nuevo proceso de análisis, se desarrollaron pruebas de hipótesis; encontrándose que en dos meses se obtuvo una mejora importante del 5%, comprobándose lo efectivo de la metodología para la reducción del scrap. El VAN y el TIR en la evaluación económica realizada nos arrojan resultados positivos de ganancia y rentabilidad que sustentan la ejecución del proyecto.

Este trabajo presenta los pasos a seguir para que la empresa pueda implantar la metodología Six Sigma en sus líneas de producción de polietileno.

ABSTRACT

This work is developed from the need to reduce the scrap in a production plant for cosmetic, pharmaceutical and food sector; specifically the study is conducted in the four lines of polyethylene available to the plant.

Prior to the proposed work all the indicators used in the production plant were evaluate and the most profitable project was choose. I was also taken into account the voice of the customer and the company goals.

According to data obtained in 2014 the scrap produced was 21%, with a big gap to the target of 5%, so the use of Six Sigma for its known cases of success in reducing the scrap is recommended .

Because the company has never developed the Six Sigma methodology, were meetings with the support of production management, with some supervisors and operators of polyethylene lines to give them a range of benefits of the methodology. Thanks to your support valuable information for the development of this work as well as for compliance with the proposed improvements as part of a pilot plan in the development of DMAIC on line 1 using tools like process map, FMEA , Pareto 80-20, cause-effect diagram as well as statistical tools.

After developing improvements, data were taken for a new process of analysis, hypothesis testing were developed; It is meeting in two months a significant improvement of 5% was obtained, proving how effective methodology for reducing scrap. VAN and TIR in the economic assessment throw us gain positive results and profitability that support project implementation.

This paper presents the steps for the company to implement Six Sigma in its polyethylene production lines.

OBJETIVOS

GENERAL

- Proponer la implantación de la metodología Six Sigma en una planta de producción de productos plásticos para la reducción de la merma.

ESPECIFICOS

- Realizar un diagnostico de la situación actual de la merma y establecer las situaciones por las cuales se producen las mismas.
- Establecer y proponer la aplicación de acciones de gran impacto y bajo esfuerzo para reducir la merma.
- Proponer la aplicación de la metodología Six Sigma, definiendo los pasos a seguir en cada etapa de la estructura metodológica DMAIC en la planta de inyección para la reducir y controlar de la merma.
- Establecer las metas que se quieren lograr y establecer mecanismos para que el logro alcanzado se mantenga en el tiempo

METODOLOGIA

FUENTE DE INFORMACION

Se realizará una investigación bibliográfica a cerca de la metodología Six Sigma y de sus herramientas utilizadas. La principal fuente para la realización de la bibliografía serán libros de primera mano, así como artículos de importantes publicaciones y páginas web de prestigio.

ESTUDIO DE CASO

Se realizará el estudio de caso en una planta de producción de frascos de plásticos de una empresa peruana con más de cincuenta años de. El estudio se realizara a nivel descriptivo, esto permitirá analizar la situación actual de la merma para poder realizar un diagnostico y analizar las causas que la generan.

En base al marco teórico y de las herramientas para el monitoreo y control de la calidad de los productos se realizarán propuestas de mejora para la reducción de la merma comenzando con las medidas de gran impacto y bajo esfuerzo para luego utilizar la metodología Six Sigma y reducir la merma en 5% en un año.



ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCION.....	1
1. MARCO TEORICO.....	3
1.1 SISTEMAS DE GESTION DE LA CALIDAD.....	3
1.1.1 ELEMENTOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS DE GESTION DE LA CALIDAD.....	3
1.1.2 PLANIFICACION, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.....	4
1.1.3. ENFOQUE DE LOS GURUS DE LA CALIDAD	7
1.2. METODOLOGIA SIX SIGMA	13
1.2.1 DEFINICION.....	13
1.2.2. BENEFICIOS DE LA METODOLOGIA	16
1.2.3. ROLES Y RESPONSABILIDADES DEL EQUIPO SIX SIGMA	17
1.2.4. ESTRUCTURA DE LA METODOLOGIA.....	18
1.2.4.1. DEFINIR (D).....	18
1.2.4.2. MEDIR (M).....	19
1.2.4.3. ANALIZAR (A).....	25
1.2.4.4. MEJORAR (I).....	28
1.2.4.5. CONTROL (C).....	29
1.2.5. IMPLEMENTACION.....	29
2. LA EMPRESA.....	31
2.1. DESCRIPCION DE LA EMPRESA.....	31
2.2. SECTOR Y ACTIVIDAD ECONOMICA.....	31
2.3. PERFIL ORGANIZACIONAL.....	31
2.4. ORGANIZACIÓN.....	32
2.5. ENTIDADES PARTICIPANTES EN ELE MODELO DE NEGOCIO	34
2.5.1. CLIENTES.....	34
2.5.2. PROVEEDORES.....	34
2.5.3. COMPETIDORES.....	34
2.6. INSTALACIONES Y MEDIOS OPERATIVOS.....	34
2.6.1. EXTENSION DE LA PLANTA	34
2.6.2. TIPO DE PRODUCCION.....	34
2.6.3. MAQUINAS Y EQUIPOS.....	35
2.6.4. MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	35

2.7. EL PRODUCTO.....	35
2.8. EL PROCESO PRODUCTIVO.....	36
2.9. EL CONTROL DE LA CALIDAD EN LA EMPRESA.....	36
3. ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL.....	40
3.1. ANALISIS DE LOS INDICADORES.....	40
3.2. PROYECTOS DE MEJORA RECOMENDADOS.....	45
3.3. SELECCIÓN DEL PROYECTO.....	49
4. IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA SIX SIGMA.....	50
4.1. PLAN DE DESPLIEGUE DE LA METODOLOGIA.....	50
4.2. ENTRENAMIENTO EN LA METODOLOGIA SIX SIGMA.....	54
4.3. PREMIACION, RECONOCIMIENTO Y RETENCION DEL EQUIPO SIX SIGMA.....	55
5. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA.....	56
5.1. DESARROLLO DE LA FASE DEFINIR.....	56
5.1.1. FORMACION DEL EQUIPO DE TRABAJO.....	56
5.1.2. PLAN DE COMUNICACIÓN.....	58
5.1.3. SIPOC DEL PROCESO.....	59
5.1.4. SIX PACK DEL PROYECTO.....	61
5.2. DESARROLLO DE LA FASE MEDIR.....	61
5.2.1. MAPA DEL PROCESO DE LA LINEA DE PE.....	62
5.2.2. FMEA (ANALISIS DE FALLAS Y SUS DEFECTOS).....	65
5.2.3. DIAGRAMA DE PARETTO.....	70
5.2.4. INDICADORES.....	70
5.2.4.1. Desarrollo de la Gráfica de Control P.....	70
5.2.4.2. Calculo de la Tasa de Calidad.....	72
5.2.4.3. Calculo del Nivel Sigma.....	72
5.3. DESARROLLO DE LA FASE ANALISIS.....	73
5.3.1. PRUEBA DE HIPOTESIS.....	74
5.3.2. DIAGRAMAS DE ISHIKAWA.....	80
5.3.2.1 Causas ocasionadas por “Maquina”.....	82
5.3.2.2. Causas ocasionadas por “Mano de Obra”.....	83
5.3.2.3. Causas ocasionadas por “Materiales”.....	84
5.3.2.4. Causas ocasionadas por “Métodos”.....	84

5.3.2.5. Causas ocasionadas por “Medio Ambiente”	84
5.3.3. PRUEBA DE HIPOTESIS DE LA MEJORA PLANTEADA.	85
5.4. DESARROLLO DE LA FASE MEJORAR	86
5.4.1. EL FMEA Y EL ANALISIS CAUSA-EFECTO COMO INSTRUMENTO DE MEJORA	87
5.4.2. POKA JOKE	92
5.4.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	93
5.4.4 CAPACITACION DEL PERSONAL	96
5.5. DESARROLLO DE LA FASE CONTROLAR	96
5.5.1. CONTROL DE LAS HOJAS DE INSPECCION	96
5.5.2. GRAFICO DE CONTROL P	96
5.5.3 TASA DE CALIDAD	97
5.5.4 NIVEL SIX SIGMA.....	98
6. EVALUACION ECONOMICA	100
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
7.1. CONCLUSIONES	104
7.2. RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFIA	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Coeficiente de frecuencia (FMEA)	21
Tabla 1.2. Coeficiente de gravedad (FMEA)	22
Tabla 1.3. Coeficiente de detección (FMEA).....	22
Tabla 3.1. Indicador línea PET año 2014	41
Tabla 3.2. Indicador línea PE año 2014	41
Tabla 3.3. Indicador línea PP año 2014.....	41
Tabla 3.4. Perdida economica en generacion de scrap	46
Tabla 3.5. Ganancia adicional incementando la ocupabilidad al 90%.....	47
Tabla 3.6. Perdida economica incrementando las Horas-Hombre en las lineas	47
Tabla 3.7. Ganacia adicional por incremento del ciclo	48
Tabla 3.8. Resumen de las oportunidades de mejora	48
Tabla 3.9. Posibles proyectos de mejora en la Planta de Frascos.....	49
Tabla 5.1. Equipo Six Sigma en la empresa	57
Tabla 5.2. Six pack del proyecto	61
Tabla 5.3. Criterio valoración de la Severidad	66
Tabla 5.4. Criterio de valoración de la Ocurrencia.....	66
Tabla 5.5. Criterio de valoración de la Detección	66
Tabla 5.6. FMEA línea de PE.....	67
Tabla 5.7. FMEA línea de PE.....	68
Tabla 5.8. FMEA línea de PE.....	69
Tabla 5.9. Toma de datos de Scrap en las Líneas 1,4 y 9.....	71
Tabla 5.10. Equivalencia del nivel Six Sigma con el DPMO.....	73
Tabla 5.11. Promedio y desviación estándar obtenida.....	74
Tabla 5.12. Scrap promedio de diferentes tipos de frascos en una misma línea.....	78
Tabla 5.13. Muestras del porcentaje de scrap obtenido después de la implementación.....	85
Tabla 5.14. Tabla comparativa antes/después de la implementación.....	85
Tabla 5.15. Check List de Almacén de Materia Prima de Planta Frascos.....	87
Tabla 5.16. Check List 1 de Sala de Molienda.....	88
Tabla 5.17. Check List 2 de Sala de Molienda.....	89
Tabla 5.18. Formato de toma de datos del producto.....	90
Tabla 5.19. Tarjeta de moldeo.....	91
Tabla 5.20. Formato de inspección y lubricación de maquina sopladora.....	93
Tabla 5.21. Plan de Mantenimiento preventivo para la Maquina Sopladora.....	95
Tabla 5.22. Tabla Nivel Six Sigma.....	99

Tabla 6.1. Costos para la aplicación del Six Sigma.....	100
Tabla 6.2. Flujo Neto del proyecto.....	100
Tabla 6.3. Datos económicos empresas americanas.....	101
Tabla 6.4. $\beta\mu$ empresas americanas.....	101
Tabla 6.5. Rendimiento emisiones del tesoro EEUU 2014.....	101
Tabla 6.6. Resultados históricos de rendimiento EEUU.....	101



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. El ciclo Shewart	07
Figura 1.2: Ciclo PDCA	08
Figura 1.3. Diagrama de la Trilogía de Juran	11
Figura 1.4. Diagrama SIPOC.....	19
Figura 1.5. Modelo de un FMEA	21
Figura 1.6. Ejemplo de diagrama de Pareto.....	24
Figura 1.7. Ejemplo de Grafico de Control	25
Figura 1.8. Ejemplo de Diagrama Causa-Efecto	26
Figura 2.1. Organigrama de la empresa.....	33
Figura 2.2. Envases en plástico	36
Figura 2.3. Diagrama de proceso de la línea de PE.....	37
Figura 2.4. Diagrama de proceso de la línea de PET	38
Figura 2.5. Diagrama de proceso de la línea de PP	39
Figura 3.1. Tendencia de la ocupabilidad año 2014	42
Figura 3.2. Tendencia de la utilización efectiva de maquina año 2014.....	43
Figura 3.3. Tendencia del Scrap año 2014	43
Figura 3.4. Tendencia de la eficiencia de maquina vs Mano de Obra año 2014.....	44
Figura 3.5. Tendencia de la Kg Vs horas efectivas año 2014	44
Figura 4.1. Despliegue de actividades previas al desarrollo de la metodología.....	54
Figura 4.2. Plan de entrenamiento Black Belt	55
Figura 5.1. SIPOC de la línea de PE	60
Figura 5.2. Mapa de proceso de la línea PE	64
Figura 5.3. Pareto 80-20 motivos de rechazo	70
Figura 5.4. Análisis de la capacidad de un proceso (Binomial)	71
Figura 5.5. Grafico 1 Prueba estadística Z.....	75
Figura 5.6. Grafico 2 Prueba estadística Z.....	77
Figura 5.7. Grafico 3 Prueba estadística Z.....	79
Figura 5.8. Grafico 4 Prueba estadística Z.....	79
Figura 5.9. Diagrama Causa-Efecto (Puntos negros).....	80
Figura 5.10. Diagrama Causa-Efecto (Diámetro y espesor fuera de especificación)....	81
Figura 5.11. Diagrama Causa-Efecto (Frasco con boca y/o cuerpo deformado).....	81
Figura 5.12. Grafico 5 Prueba estadística Z.....	86
Figura 5.13. Poka Yoke para pruebas de diámetro de boca.....	92

Figura 5.14. Graficas analizadas por el Minitab.....97



INTRODUCCION

Para que una empresa, este mundo cada vez más globalizado y competitivo, siga en carrera y obtenga utilidades es necesario entregar productos y/o servicios de calidad que sean aceptados por el cliente; por lo que se debe controlar que estos productos y/o servicios estén libre de errores, una metodología de éxito probado es el Six Sigma que ayuda a incrementar el rendimiento de los negocios (Pyzdek & Keller, 2009).

El Six Sigma inventado por Motorola en 1986 como un indicador para medir defectos y mejorar la calidad, evoluciono para ser una metodología para la mejora de los negocios de una organización alineando sus procesos a los requerimientos del cliente (Motorola,s.f).

La base principal del Six Sigma es la desviación estándar y su meta es reducir la variación y/o defectos en los productos y servicios a un nivel de 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO); defectos que pueden quebrantar la lealtad del cliente. Six Sigma es una metodología que proporciona a las empresas las herramientas para mejorar la capacidad de sus procesos de negocio. Este aumento en el rendimiento y la disminución de la variación del proceso conduce a la reducción de defectos y la gran mejora en los beneficios, la moral de los empleados y la calidad del producto ([isixsigma](#), s.f).

La metodología Six Sigma utiliza el ciclo para la mejora de procesos DMAIC (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar); es un ciclo sistemático, científico y basado en hechos que elimina los pasos improductivos y elimina la variación. Six Sigma no es un trabajo fácil, requiere liderazgo sostenido y estimulante de la alta dirección y de todos los empleados (McCarty & Fisher, 2007).

La empresa donde se realizara el estudio es una empresa fabricante de productos plásticos que inyecta más de 850 toneladas de resina de polipropileno (PP), polietileno (PE) y PET al año; a pesar de tener gran presencia en el mercado nacional la merma ha venido creciendo llegando hasta un 21% de merma en la línea de polietileno en los últimos meses; estos

productos que no tienen los estándares de calidad establecidos muchas veces han llegado al cliente ocasionando fuertes reclamos a la empresa.

Productos no conformes también ha ocasionado parada de maquinas de impresión y etiquetado trayendo consigo retrasos en esta línea de producción, además de darle mayor valor a la merma (impresión sobre un producto no conforme).

Es importante la reducción de la merma ya que se desea alcanzar un beneficio económico al ahorrar en mano de obra y otros costos de producción al evitar el reproceso y el desperdicio de material, contribuyendo, además se persigue alcanzar un beneficio ambiental al velar por el buen uso de la resina (recurso no renovable) y al reducir las pérdidas de energía asociadas a la producción de merma. La reducción y un mejor control sobre los productos no conformes contribuye con la satisfacción del cliente.

Por lo expuesto, es importante la aplicación de un método de mejora de procesos con resultados de éxito probado que mida y mejore la calidad como el Six Sigma que además ayude a corregir los problemas antes de que se presenten y obtener así niveles de merma muy bajo que se encuentre dentro del nivel Six Sigma, obteniéndose de esta manera beneficios como la mejora de la rentabilidad y la productividad.

En este trabajo se propondrá un plan para la reducción de la merma en la planta de inyección de plásticos utilizando las herramientas y los pasos de la metodología Six Sigma.

1. MARCO TEORICO

1.1 SISTEMAS DE GESTION DE LA CALIDAD.

Un Sistema de gestión de la calidad es el conjunto de normas interrelacionadas de una empresa u organización, su estructura organizativa, las responsabilidades, los procesos y los recursos necesarios para gestionar la calidad, en la búsqueda de la satisfacción de las necesidades y expectativas de sus clientes. (Menéndez, 2007).

1.1.1 ELEMENTOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS DE GESTION DE LA CALIDAD

El Sistema de calidad se aplica a todas las actividades relativas a la calidad de un producto o servicio existiendo una influencia mutua entre ellas. Afecta a todas las fases, desde la identificación inicial de las necesidades del cliente hasta la satisfacción final de los requisitos y expectativas del mismo, debe incluir todas las áreas de la cadena de valor, entre los cuales podemos mencionar el aprovisionamiento, venta y distribución, servicio postventa, producción, inspección y ensayo, aprovisionamiento, almacenamiento.

Entre los elementos principales de los sistemas de gestión de la calidad tenemos:

- Estructura de la organización: responde al organigrama de los sistemas de la empresa donde se jerarquizan los niveles directivos y de gestión. Dentro de la empresa se debe definir con claridad las líneas jerárquicas, funcionales y de comunicación.
- Estructura de responsabilidades: implica a personas y departamentos. Las actividades que afecten la calidad deben quedar identificadas y expresadas por escrito, definiendo las responsabilidades y las medidas de coordinación entre las diferentes actividades. La forma más sencilla de explicitar las responsabilidades en calidad, es mediante un cuadro de doble entrada, donde mediante un eje se sitúan los diferentes departamentos y en el otro, las diversas funciones de la calidad.

- Procedimientos: responden al plan permanente de pautas detalladas para controlar las acciones de la organización.
- Procesos: responden a la sucesión completa de operaciones dirigidas a la consecución de un objetivo específico, asegurando que todas las actividades que afectan a la calidad puedan ser controladas.
- Recursos: no solamente económicos, sino humanos, técnicos y de otro tipo, deben estar definidos de forma estable y circunstancial. La dirección deberá proveer estos recursos para alcanzar los objetivos previstos.

Estos cinco apartados no siempre están definidos ni son claros en una y esto es perjudicial para gestionar la calidad (Evans, 2008; Menéndez, 2007; Burgos *et al.*, 1994).

Un sistema efectivo de gestión de calidad debe ser diseñado para satisfacer las necesidades y expectativas de los consumidores, sin dejar de proteger los intereses de la compañía. Un sistema de calidad bien estructurado es un valioso recurso de dirección en la optimización y control de la calidad, en relación con las consideraciones de riesgo, costo y beneficio (Burgos *et al.*, 1994).

1.1.2 PLANIFICACION, CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Planificación de la Calidad

Según Juran (1990) tener procesos deficientes de planificación de la calidad ocasiona perdida en las ventas, costos adicionales por la mala calidad y amenaza a la sociedad, esto quiere decir la insatisfacción que ocasiona un producto o servicio de mala calidad. A estos tres factores Juran los llamo “crisis de la calidad”. Para evitar esta crisis de calidad es importante una adecuada planificación de la calidad en la cual se establecen las políticas y objetivos de la calidad, y se especifican los procesos necesarios y los recursos relacionados para cumplir con dichos objetivos. Capuz *et al.* (2000) indica que “uno de los principios de la dirección de la calidad moderna es que la calidad se planifica, no se inspecciona”.

El proceso de la planificación consiste en (Rosander, 2003):

- Determine las metas u objetivos de calidad.
- Base estas metas en necesidades del cliente.
- Despliegue el procedimiento necesario para alcanzar esos objetivos.
- Suministre los recursos necesarios para llevar a cabo este proceso.
- Mida el progreso efectuado hacia la consecución de esas metas.
- Identifique los problemas o puntos problemáticos en el proceso.
- Diagnostique los problemas y aíse las causas.
- Tome las medidas necesarias para resolver los problemas.
- Haga un seguimiento para comprobar que los remedios y medidas son efectivos.
- Planifique para una mejora continua de calidad

La planificación de la calidad utiliza una serie de herramientas, la mayoría de las cuales son comunes con otros procesos de gestión y mejora. Entre los más utilizados se encuentran el análisis coste-beneficio, el “*benchmarking*”, los diagrama de flujo y de causa-efecto, y el diseño de experimentos (Capuz *et al.*, 2000).

Control de la calidad

El control de calidad dentro de una fábrica u otra organización busca que los productos fabricados estén conformes con los parámetros específicos, es decir son acciones dirigidas a garantizar el cumplimiento de los requisitos funcionales y de desempeño de los productos y servicios; de esta manera se reducen los costes e incrementa la productividad (Enrick, 1989). Si los productos o servicios no están conformes se identificaran las causas y se actuaran sobre ellas (Capuz *et al.*, 2000).

El control de calidad de los procesos y los productos se puede llevar a cabo por medio de técnicas estadísticas para controlar su evolución eliminando o reduciendo en lo posible las causas que originan la variabilidad de las características de la calidad con el fin de obtener procesos en estado de control (Cuatrecasas, 2000).

Se requiere una organización efectiva con el fin de que una compañía pueda trabajar para cumplir sus objetivos de calidad, Ishikawa(1986) indicaba que el control de calidad total solo es posible cuando existe un compromiso de la gerencia en este proceso y cuando se responsabiliza al personal del autocontrol, eliminando así prácticamente la inspección. Una aplicación correcta de este control mejora el ambiente de trabajo, disminuye los costos y mejora la posición competitiva.

Aseguramiento de la calidad

Mientras que el control de calidad es el conjunto de técnicas operativas que se aplican para cumplir los requisitos de la calidad, el aseguramiento de la calidad está dada por las acciones necesarias para asegurar que se satisfagan dichos requisitos; está formado por el conjunto de acciones planificadas y sistematizadas, que son necesarias para proporcionar la confianza adecuada de que un producto o servicio va a satisfacer los requisitos dados sobre la calidad. No solo son los resultados, también es la política y el sistema de calidad la que suministrara a los clientes la deseada confianza y fidelidad de los clientes a los productos y servicios (Kalpakjian & Smith, 2001; Carot, 1998); esta confianza de gana mediante métodos de estandarización y medición (Atehortua, 2005).

El objetivo de implantar un sistema de aseguramiento de la calidad es conseguir, que los procedimientos, documentos, tareas, etc. mejoren en conjunto su efectividad y eficiencia, proporcionando mayores beneficios a la empresa.

Una herramienta fundamental para el aseguramiento de la calidad es la realización de auditorías de calidad, dado que permite revisar el conjunto de procedimientos utilizados (Capuz *et al.*, 2000).

1.1.3. ENFOQUE DE LOS GURUS DE LA CALIDAD

W. EDWARDS DEMING

La filosofía de Deming se centra en la mejora continua en la calidad de productos y servicios reduciendo la incertidumbre y variabilidad de los procesos; esta última para Deming la principal causa de la mala calidad. Esta mejora continua tienen que darse bajo el liderazgo de los directores (Evans & Lindsay, 2008).

Deming en 1950 presentó en Japón el ciclo Shewhart, mostrado en la Figura 1.1, el cual es un procedimiento valioso que ayuda a perseguir la mejora en cualquier etapa. Cualquier paso del ciclo Shewhart puede necesitar el apoyo de la metodología estadística, para economizar, ir más rápido y protegerse de las conclusiones erróneas (Deming, 1989).

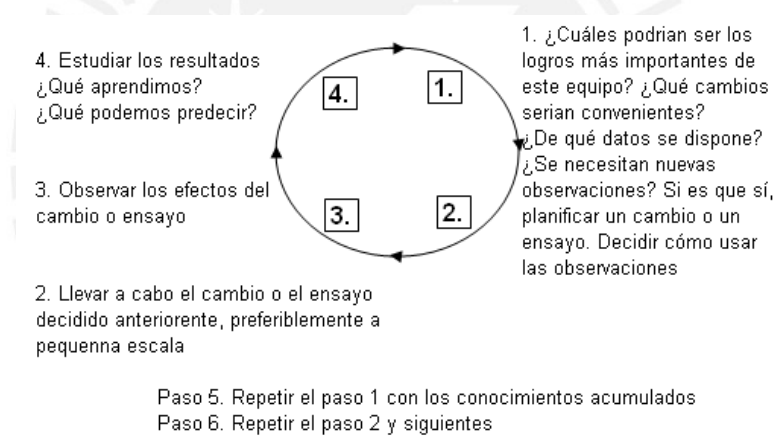


Figura 1.1. El ciclo Shewart

Fuente: Deming (1989)

El ciclo de mejora continua de cuatro fases es más conocido como ciclo Deming o PDCA (Planear-Hacer- Controlar- Actuar), en la Figura 2.2 se muestra este ciclo.

PLANEAR

En este paso se determinan los objetivos, las metas, los medios y métodos a utilizar. El equipo debe desarrollar un plan para mejorar el proceso, deben intervenir los clientes, proveedores, empleados y alta dirección.

HACER

Es ejecutar el proyecto, realizar el cambio preferiblemente a pequeña escala.

CONTROLAR

Verificar o controlar el producto conforme a indicadores de calidad durante las fases del proceso de producción y comercialización.

ANALIZAR Y ACTUAR

Interpreta reportes y registros, para actuar a través de cambios en el diseño del producto y de los procesos de producción y comercializaron para lograr la mejora continua (Evans, 2008; Álvarez *et al.*, 2006; Walton, 2004; Gómez, 2003).

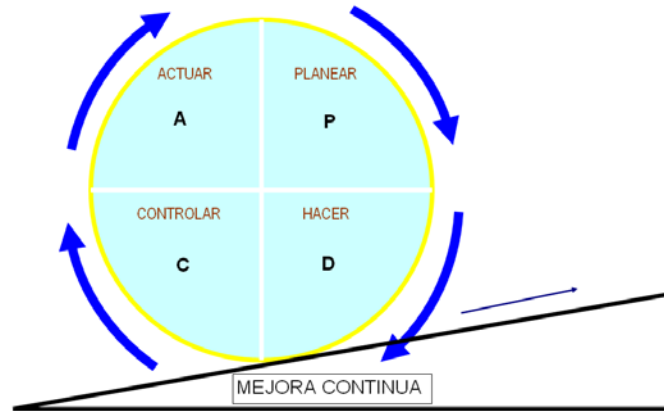


Figura 1.2: Ciclo PDCA

Fuente: Álvarez J.M. *et al.* (2006)

El ciclo Deming representa una manera de hacer, un modo de trabajar e inclusive una cultura a través de la cual la organización funciona.

En sus primeros trabajos en Estados Unidos, Deming enseñó sus “14 puntos” que sirven tanto en las pequeñas organizaciones como en las más grandes, en las empresas dedicadas a la fabricación y a empresas de servicio, estos puntos son (Deming, 1989):

- a. Crear constancia en el propósito de mejorar el producto y el servicio, con el objetivo de llegar a ser competitivos y permanecer en el negocio, y de proporcionar puestos de trabajo.
- b. Adoptar la nueva filosofía. Los directivos deben ser conscientes del reto, deben aprender sus responsabilidades, y hacerse cargo del liderazgo para cambiar.
- c. Dejar de depender de la inspección para lograr la calidad. Eliminar la necesidad de la inspección en masa, incorporando la calidad dentro del producto en primer lugar.
- d. Acabar con la práctica de hacer negocios sobre la base del precio. En vez de ello minimizar el coste total. Tender a tener un solo proveedor para cualquier artículo, con una relación a largo plazo de lealtad y confianza.
- e. Mejorar el sistema de producción y servicio en forma continua y permanente, y así reducir los costes continuamente.
- f. Instituir la capacitación.
- g. Implantar el liderazgo. El objetivo de la supervisión debería consistir en ayudar a las personas, maquinas para que hagan un trabajo mejor.
- h. Eliminar el miedo. Crear confianza, de manera que se pueda trabajar con eficacia para la compañía.
- i. Derribar las barreras entre los departamentos. Las personas en investigación, diseño, ventas y producción deben trabajar en equipo, para prever los problemas de producción.
- j. Eliminar los eslóganes, exhortaciones y metas para pedir a la mano de obra cero defectos y nuevos niveles de productividad. Tales

exhortaciones solo crean relaciones adversas ya que el grueso de las causas de la baja calidad y productividad pertenecen al sistema.

- Eliminar las cuotas numéricas para la producción; en cambio, aprender e instituir métodos para mejorar.
 - Eliminar la administración por objetivo; en vez de ella aprender las capacidades de los procesos y como mejorarlos.
- k. Eliminar las barreras que eviten que las personas se sientan orgullosas de su trabajo.
- l. Implantar un programa vigoroso de educación y auto-mejora.
- m. Poner a todo el personal de la compañía a trabajar para conseguir la transformación.

JOSEPH M. JURAN

La gestión de la calidad se realiza por medio de una trilogía de procesos de gestión que consiste en la administración por la calidad y para la calidad y radica en tres procesos (Juran, 1996):

- Planificación de la Calidad.
- Control de Calidad.
- Mejora de la Calidad.

Planificación de la Calidad.

Es el proceso de desarrollar productos y servicios para satisfacer las necesidades de los clientes, son las preparaciones para cumplir con las metas de calidad. Cumple una serie de pasos:

- Establecer las metas de calidad.
- Identificar a los clientes e identificar sus necesidades.
- Desarrollar características del producto capaces de responder a las necesidades de los clientes.
- Desarrollar productos capaces de producir esas características.
- Establecer controles de los procesos y transferir el plan resultante a las unidades de producción.

Control de la Calidad.

Consta de los siguientes pasos:

- Evaluar la situación actual de la calidad.
- Comparar la situación actual con los objetivos de calidad.
- Actuar sobre las diferencias.

Mejora de la Calidad.

Mediante este proceso se eleva el comportamiento de la calidad hasta unos niveles sin precedentes (*breakthroughs*). Consta de los siguientes pasos:

- Establecer la infraestructura necesaria para asegurar la mejora de la calidad.
- Identificar las necesidades específicas de mejora.
- Establecer un equipo para cada proyecto con responsabilidades claras.
- Suministrar recursos, motivación y entrenamiento necesario para los equipos diagnostiquen las causas, fomenten el establecimiento de remedios y establezcan controles para que perduren los logros.

Los tres procesos de la trilogía están relacionados (Juran, 1990). La trilogía de Juran se muestra en la Figura 1.3.

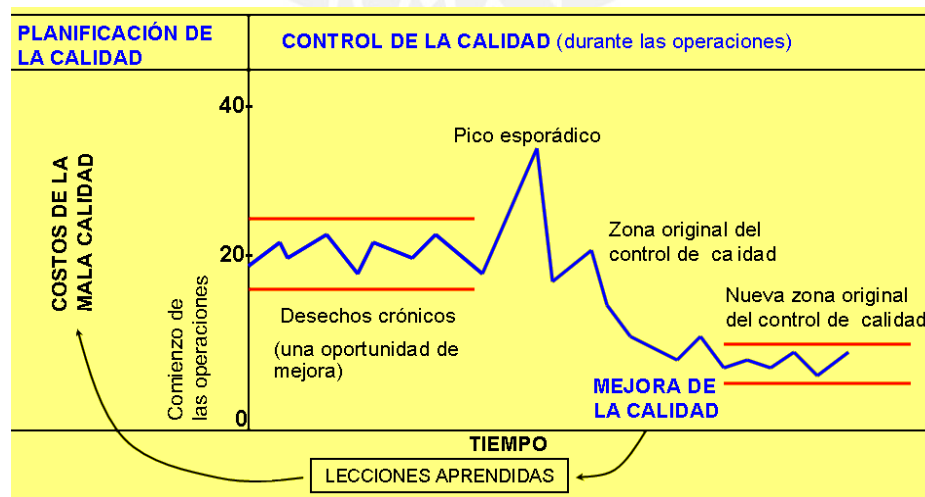


Figura 1.3. Diagrama de la Trilogía de Juran

Fuente: Juran (1990)

PHIPLIP B. CROSBY

Crosby coincide con el resto de los gurús de calidad en que el problema fundamental es la falta de atención de la dirección a la calidad, se diferencia del resto ya que él cree que las estructuras existentes de gestión pueden resolver los problemas de calidad sin necesidad de una base estadística que defienden Deming y Juran (Gómez *et al.*, 2003).

Crosby (2001) diseño “los absolutos de la gestión de la calidad”, estos son:

- Calidad significa conformidad, no elegancia.
- No existe un problema de calidad.
- No existe la economía de la calidad; siempre es mas barato hacer el trabajo bien a la primera.
- La única medida del comportamiento es el coste de la calidad.
- El único estándar de comportamiento es cero defectos.

Crosby desarrollo el concepto de “cero defectos” diseñado los 14 pasos para alcanzar una organización con cero defectos, estos pasos son (Crosby, 2001):

- a. Establecer el compromiso de la dirección de participar en el programa de calidad.
- b. Formar un equipo integral de mejora de la calidad.
- c. Definir indicadores de calidad de cada actividad de la compañía.
- d. Evaluar el costo de la falta de calidad.
- e. Desarrollar una conciencia de calidad.
- f. Realizar acciones formales para corregir problemas.
- g. Establecer un comité para poner en práctica un programa de cero defectos.
- h. Capacitar a supervisores y empleados en el mejoramiento de la calidad.
- i. Realizar un día "cero defectos".
- j. Establecer objetivos de mejora de 30 a 90 días a todos los niveles.

- k. Identificar los problemas que impiden que el trabajo se realice libre de errores y eliminar sus causas.
- l. Otorgar reconocimientos a los que logren los objetivos.
- m. Crear Consejos de Calidad con personal de staff administrativo y líderes de equipos de calidad
- n. Realizar de nuevo los pasos anteriores destacando el programa de mejoramiento que nunca debe terminar.

1.2. METODOLOGIA SIX SIGMA

1.2.1 DEFINICION

A comienzos de la década del ochenta se dieron dos hechos en América que obligó a que se elevara el nivel de calidad de los fabricantes, el primero fue la producción en masa de componentes electrónicos como el transistor y la segunda fue el ingreso de componentes electrónicos japoneses de alta calidad y bajo precio, en respuesta a estos hechos la empresa americana introdujo una serie de iniciativas para mejorar la calidad de los productos; una de ellas es el Six Sigma, concepto que es introducido por Motorola a comienzo de la década del ochenta y busca la reducción de los defectos a 3,4 partes por millón para los productos y procesos clave de una organización (Rainsinghani *et al.*, 2005). El logro de esta tarea tan compleja requiere de la implementación eficaz de principios estadísticos y diversas herramientas para diagnosticar los problemas de calidad y facilitar las mejoras (Evans, 2008).

El Dr. W. Edwards Deming (1900-1993) afirmaba que la variación es la principal causa de la mala calidad por lo que es ahí donde debemos concentrar el esfuerzo hacia la mejora continua. Sigma es una letra del alfabeto griego usada en la estadística para medir la variabilidad de cualquier proceso, es así que el Six Sigma se enfoca en reducir la variación y/o defectos de lo que hacemos, siendo su parámetro base la desviación estándar. Conceptualmente Six Sigma es un índice de capacidad de proceso; para llegar a este nivel, imaginando que un proceso se comporta con una distribución normal, seis

desviaciones estándar deben encontrarse entre los límites de especificación superior e inferior. El valor de Six Sigma sirve como parámetro de comparación común entre compañías iguales o diferentes e inclusive entre los mismos departamentos de una empresa, tan diferentes como compras, cuentas por cobrar, mantenimiento, ingeniería, producción, recursos humanos; etc. (Grupo Kaizen, s.f).

Wilson (2005) afirma que el Six sigma tiene las herramientas para que los productos y servicios cumplan las necesidades del cliente al más bajo costo y asegura que este rendimiento sea mantenido. Six Sigma tiene una implementación rigurosa, y tiene principios y técnicas demostradas para obtener calidad; ayuda a incrementar el rendimiento de los negocios entregando productos y servicios libre de errores (Pyzdek & Keller, 2009).

Six Sigma es una rigurosa y una metodología sistemática que utiliza la información (gestión de datos) y el análisis estadístico para medir y mejorar el rendimiento operativo de una empresa, las prácticas y los sistemas de identificación y prevención de "defectos" en la fabricación y los procesos relacionados con el servicio con el fin de anticipar y superar las expectativas de todos los interesados para lograr la eficacia (isixsigma, s.f).

Eckes (2004) afirma que el Six Sigma es una filosofía gerencial que pretende mejorar la eficacia y eficiencia. La eficacia es el grado en el cual una organización cumple y supera las necesidades y requisitos de sus clientes; la eficiencia se refiere a los recursos que consumen para la obtención de eficacia para los clientes. Por lo general, la eficiencia tiene que ver con el tiempo, los costos, la mano de obra o el valor que se utilizan para que haya eficacia.

La definición del Six Sigma ha evolucionado en tres niveles diferente las dos últimas décadas, siendo en la actualidad los tres al mismo tiempo:

Un indicador; el término "Sigma" es usado como una escala de calidad. La escala "Six Sigma" equivale a 3,4 DPMO (defectos por millón de oportunidades). Six Sigma comenzó como un esfuerzo para reducir los defectos en productos y procesos.

Una metodología; Six Sigma evoluciono y ha tenido menos énfasis en la de 3,4 DPMO. Six Sigma es una metodología para mejorar los negocios que se centra en entender y manejar los requerimientos de los clientes, alineando los procesos clave del negocio con dichos requerimientos; utiliza rigurosamente el análisis de datos para minimizar la variación en estos procesos, mejorando los procesos del negocio.

El corazón de la metodología es el modelo DMAIC para la mejora de procesos:

- Definir la oportunidad.
- Medir el rendimiento.
- Analizar la oportunidad.
- Mejorar el rendimiento.
- Controlar el rendimiento.

Un sistema de gestión; el Six Sigma como un indicador y la aplicación de la metodología no son suficientes para tener mejoras innovadoras que sean sostenibles en el tiempo, las mejoras deben estar alineadas con la estrategia organizacional. Six Sigma es un sistema de alto rendimiento para ejecutar la estrategia de negocios (Motorola,sf).

La calidad Six Sigma representa un 99.99997% de productos conformes, un 99% de nivel de calidad no es aceptable, tal como se muestra en los siguientes hechos (Rainsinghani *et al.*, 2005):

- En los principales aeropuertos, un 99% de calidad significa dos vuelos no seguros por día.
- En los procesos de correo, un 99% de calidad significa 16000 cartas perdidas cada hora.
- En generación de Energía, un 99% de calidad tendrá como resultado no contar con energía eléctrica 7 horas al mes.
- En cirugía medica, un 99% de calidad significa 500 operaciones incorrectas a la semana.
- En procesamiento de agua, un 99% de calidad significa no contar con agua una hora al mes.

- En transacciones de tarjetas de crédito, un 99% de calidad significa 80 millones de transacciones incorrectas cada año en el Reino Unido.

Six Sigma tiene dos dinamizadores, el primero es la reducción de los costes por la mejora de la calidad. Six Sigma se orienta a resultados concretos, beneficios a largo plazo pero que se enfatizan en resultados a corto plazo; el segundo es la ruptura de la complacencia. Six Sigma impulsa hacia una sensación de urgencia y necesidad de situarse en los niveles de estándar mundial. Six Sigma es un instrumento esencial para crear tal concienciación, con el propósito de mejorar la rentabilidad y la productividad (Gómez *et al.*, 2003).

1.2.2. BENEFICIOS DE LA METODOLOGIA

Se mencionan algunos beneficios (Motorola, s.f; Evans, 2008; Miranda, 2006; Antony & Banuelas, 2002) :

- La organización se enfoca en satisfacer al cliente interno y externo.
- Enfoca los esfuerzos en reducir los defectos en los productos y mejorar eficiencias de los procesos.
- Desarrolla nuevas habilidades en el personal de la organización para apoyar cambios y sostener resultados.
- Mejora el margen de rentabilidad. Establece un sistema que es capaz de generar mayores ingresos, obteniendo beneficios tangibles en el menor tiempo.
- Entender claramente a la empresa como un sistema interrelacionado de procesos y clientes.
- Hace que el ciclo de mejora sea más corto gracias a la calidad de los datos recabados para una buena toma de decisiones para la mejora de los procesos.

1.2.3. ROLES Y RESPONSABILIDADES DEL EQUIPO SIX

SIGMA

- El Sponsor es el patrocinador del proyecto Six Sigma, es quien deberá fomentar la metodología en la empresa, elimina obstáculos y deberá asegurar los recursos necesario para el despliegue de la metodología y deberá seleccionar los proyectos potenciales.
- El Líder, es el responsable de la implementación de la metodología Six Sigma dentro del negocio, asegurando su éxito y solucionando problemas a medida que van apareciendo, es la persona responsable de la supervisión del esfuerzo del equipo Six-Sigma, además asiste a la Dirección para asegurar que el trabajo del equipo se desenvuelve de la manera deseada. Asiste al Sponsor en la motivación del equipo. Lidera la transformación cultural de la empresa.
- Los Champions están encargados de identificar proyectos de mejora basado en lo que es crítico para el cliente y para el negocio, siempre tomando en cuenta el plan estratégico del negocio; su función es crítica en la implementación de la iniciativa de Seis Sigma ya que son los que apoyan a los Green Belts en remover los obstáculos que pueden encontrar para la realización de los proyectos de mejora.
- El Master Black Belt es el experto en la metodología y trabaja a tiempo completo en su desarrollo. Además es el que capacita y entrena al equipo Six Sigma.
- El Black Belt debe estar dedicado al 100% en el proyecto, lidera los proyectos de mejora y debe completar de forma satisfactoria los proyectos de alto impacto y mostrar beneficios tangibles para la empresa.
- El Green Belt de la empresa deberá dedicarse por lo menos un 25% de su tiempo ya que deberá de ser de mucho apoyo al Black Belt en la implementación del primer proyecto Six Sigma.

1.2.4. ESTRUCTURA DE LA METODOLOGIA.

Six Sigma aplica una serie de pasos conocidos por sus siglas DMAIC (Motorola, s.f).

1.2.4.1. DEFINIR (D).

Se refiere a seleccionar los proyectos apropiados, desarrollo de los planes de proyecto e identificar los procesos relevantes. La organización debe tener claro que quiere lograr al finalizar el proyecto; es la parte más importante en el proceso Six Sigma (Gopalakrishnan, 2012). Las más importantes metas son obtenidas tomando en cuenta a los clientes (Pyzdek, 2003).

La formación del equipo Six Sigma también se da en esta primera etapa, y es importante escoger a las personas idóneas para integrar el equipo; estas, de preferencia, deben tener conocimiento y experiencia en el proceso a mejorar. Los miembros del equipo deberían representar los diferentes niveles de la organización para poder llevar diferentes perspectivas a la solución de problemas y se aconseja que no sean más de ocho.

Las reuniones del equipo deben ser semanales y se debe establecer un plan de comunicación para dar a conocer los avances al resto de la organización (Shankar, 2009).

SIPOC

Una herramienta a utilizar en esta etapa es el SIPOC (*Supplier-Input-Process-Output-Customer*) que consiste en un diagrama que permite visualizar al proceso de manera sencilla y general.

Mediante el SIPOC podemos identificar la interacción que tienen todos los procesos de toda la organización. Entendiendo el proceso, sus integrantes y su contribución pueden ayudar a identificar aspectos críticos en el proceso, medirlos; ayudando a definir el alcance del proyecto.

El SIPOC responde a las siguientes interrogantes:

- ¿Quién realiza el trabajo?

- ¿Qué hace que el proceso se lleve a cabo?
- ¿Cómo es realizado el trabajo?
- ¿Qué se necesita para realizar el trabajo?
- ¿Quién cumple las necesidades requeridas?

El SIPOC debe desarrollarse con todo el equipo del proyecto (Tovar & Mota, 2007; Gupta, 2004).

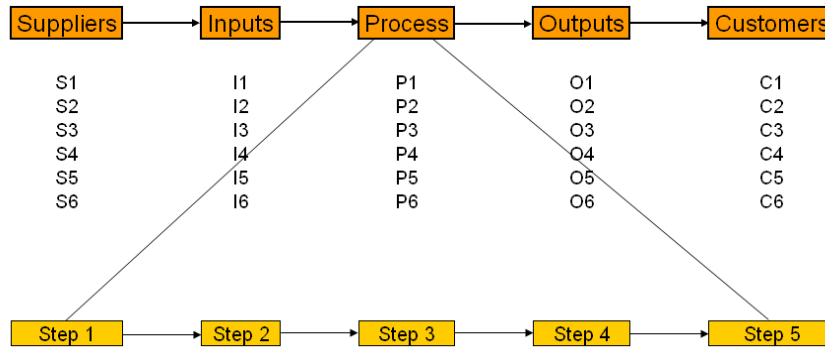


Figura 1.4. Diagrama SIPOC

Fuente: Gupta (2004)

1.2.4.2. MEDIR (M).

El propósito de medir es entender exactamente que está sucediendo en el proceso mediante la recolección de data y cuantificando el problema. Medición de las variables de proceso a través de controles de calidad de datos, estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad (R & R) e indicadores de la estabilidad de los procesos.

En esta etapa se establecen métricas confiables para el monitoreo del avance del proceso hacia las metas establecidas;

Según Shankar (2009) son necesarias las siguientes cuatro condiciones para completar la fase medir:

- Entender el proceso creando un mapa de procesos del estado actual.
- Entender donde están los riesgos ejecutando un FMEA.

- Determinar cuán bien el proceso se alinea con las expectativas del cliente calculando la capacidad del proceso.
- Asegurar que los datos sean precisos, evitar la variación inherente debido a la forma de cómo los datos son recolectados.

FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*).

Es el análisis de modos de fallos y efectos potenciales de un proceso de fabricación para asegurar la calidad del producto. Se analizan y documentan los fallos que pueden ocurrir en los diferentes elementos del proceso (materia prima, equipo, mano de obra, métodos y entorno) y sus efectos en el sistema y las posibles causas de la falla.

En la Figura 1.5 se muestra un modelo de un FMEA.

Los objetivos del FMEA son básicamente cuatro:

- Análisis de los fallos que pueden afectar al producto o al sistema y sus consecuencias.
- Identificación de los modos de fallo y u priorización sobre los efectos en el producto o sistema.
- Determinación de los sistemas de detección y aseguramiento mediante revisiones periódicas.
- Satisfacción del cliente mediante la mejora de la calidad del proceso o del diseño del producto.

En el FMEA se establece una puntuación de acuerdo a la gravedad del problema, es decir una valoración del daño causado al consumidor como consecuencia del modo de falla (Severidad), a la frecuencia con la que se presenta el problema, nos da la probabilidad de que realmente ocurra un modo de fallo (Ocurrencia) y a cuán fácil es detectar el problema, es decir mide la probabilidad de que el modo de fallo llegue hasta el cliente al no ser detectado en la fabrica (Detección); mediante estas se definen las prioridades.

En las tablas 1.1, 1.2 y 1.3 se muestran la puntuación de los coeficientes de Frecuencia, Severidad (Gravedad) y Detección.

Tabla 1.2. Coeficiente de gravedad (FMEA)

GRAVEDAD	CARACTERISTICAS IDENTIFICATIVAS	CRITICO
1	Imperceptible para el cliente	
2	Perceptible, pero muy poco molesto para el cliente	
3	Perceptible, pero ligeramente molesto para el cliente	
4	Perceptible, pero ligeramente molesto y engorroso	
5	Perceptible y molesto para el cliente	
6	Perceptible, molesto y engorroso	
7	Perceptible y muy molesto para el cliente	
8	Perceptible y muy molesto y engorroso	
9	Muy molesto y con exigencia de devolución de demanda	SI
10	Perceptible o no, puede dar problemas de seguridad o legales	SI

Fuente: Cuatrecasas (2005)

Tabla 1.3. Coeficiente de detección (FMEA)

DETECCION	CARACTERISTICAS IDENTIFICATIVAS	PROBABILIDAD NO DETECCION
1	Detección segura si aparece el fallo	De 0% a 2%
2	Detección casi segura probable con utilización de check list	Más de 2% a 12%
3	Detección muy probable por inspección visual al 100%	Más de 12% a 22%
4	Detección bastante probable con utilización de check list	Más de 22% a 32%
5	Detección bastante probable por inspección visual al 100%	Más de 32% a 42%
6	Detección medianamente probable con utilización de check list	Más de 42% a 52%
7	Detección poco probable por inspección visual al 100%	Más de 52% a 62%
8	Detección bastante poco probable con utilización check list	Más de 62% a 72%
9	Detección muy poco probable por inspección visual al 100%	Más de 72% a 82%
10	Si aparece el fallo no se detectara en absoluto	Más de 82% a 100%

Fuente: Cuatrecasas (2005)

HOJAS DE CONTROL

El objeto básico de las hojas de control consiste en facilitar la recopilación de datos útiles en Control de Calidad obteniéndose datos fiables, convenientemente estructurados y de fácil análisis.

Las hojas de control son la fase previa para utilizar otras herramientas como los gráficos de control y los diagramas de Pareto (Carot, 1998).

HISTOGRAMA

El histograma es una grafica de barras para datos numéricos en los que las frecuencias o porcentajes de cada grupo de datos numéricos están representados por barras individuales. La variable a medida se coloca a lo largo del eje (X) horizontal. El eje (Y) vertical representa la frecuencia o el porcentaje de los valores por intervalo de clase.

En el histograma se puede apreciar la tendencia central, variabilidad y comportamiento de la variable medida. Se puede determinar además si existe sesgo y /o si se tiene comportamiento simétrico (Berenson *et al.*, 2006).

DIAGRAMA DE PARETO

Es un método grafico de barras para definir los problemas más importantes de una determinada situación; y por consiguiente nos da las prioridades de intervención. El objetivo es centrarse en las pocas cosas causas más importantes.

El diagrama de Pareto es una herramienta importante cuando se desea implementar procesos de mejora ya que al contar con tiempo y recursos limitados ayuda a definir las áreas prioritarias de intervención para obtener los resultados deseados facilitando así la toma de decisiones(Galgano,1995). En la Figura 1.6 se muestra un ejemplo de un diagrama de Pareto.

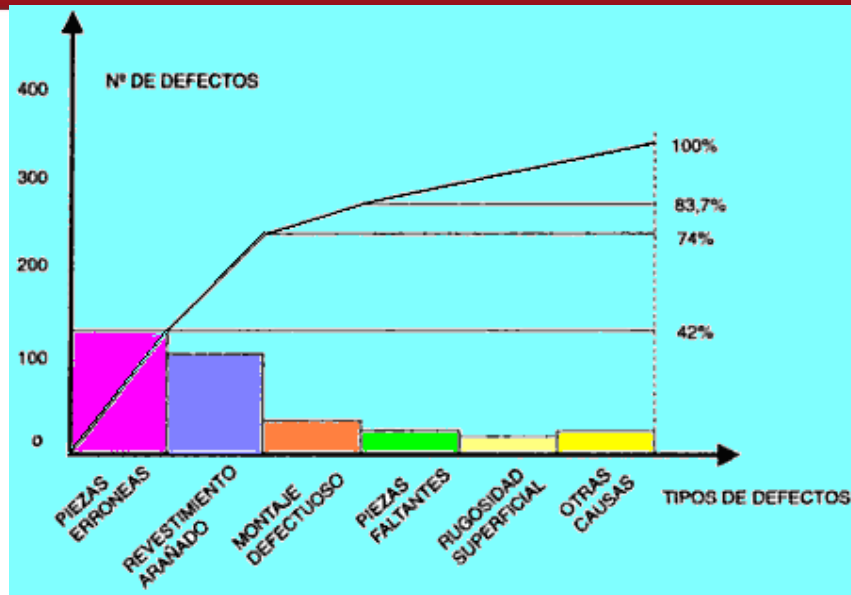


Figura 1.6. Ejemplo de diagrama de Pareto

Fuente: Galgano (1995)

GRAFICOS DE CONTROL

Es un gráfico que se puede aplicar a eventos repetitivos y que se encuentren en un proceso estable; se utiliza para interpretar la información sobre un proceso creando una imagen de los límites posibles para las variaciones del mismo y determina con objetividad si un procesos halla “ controlado” o “fuera de control” El proceso se encuentra bajo control estadístico si sus resultados son previsibles, es decir que se encuentren dentro de ciertos límites, a los que se conoce como límites de control del sistema; y si su variación dentro de esos límites es aleatoria (Carot,1998;Chang *et al.*,1999). En la Figura 1.7 se muestra un ejemplo de un gráfico de control.

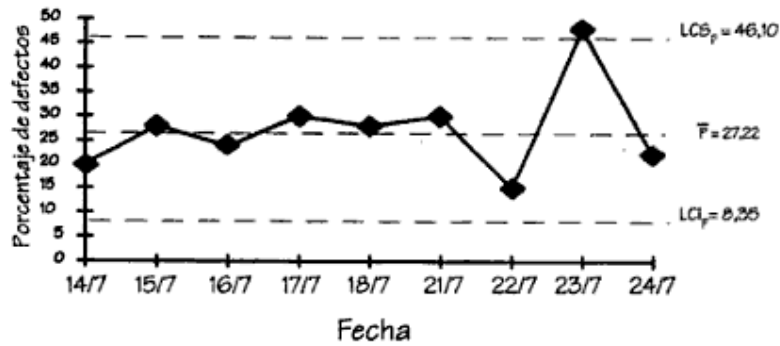


Figura 1.7. Ejemplo de Grafico de Control

Fuente: Chang *et al.* (1999)

1.2.4.3. ANALIZAR (A).

Se analizan los datos actuales e históricos para identificar las acciones a tomar con el fin de mejorar el proceso para llevarla a la meta deseada. Al analizar los datos se logra entender el comportamiento de la data ante diversas situaciones; y de esta forma tomar las mejores decisiones.

En esa fase se desarrollan hipótesis sobre posibles causas de variabilidad utilizando la estadística inferencia y se establecen relaciones causa-efecto entre las variables de respuesta.

DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

También conocido como diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado sirve para organizar las posibles causas de un problema, mostrando las relaciones entre estas causas constituyendo de esta manera una utilísima base de trabajo para poner en marcha la búsqueda de sus verdaderas causas.

Las causas principales deben agruparse en las 5M:

- Mano de Obra.
- Métodos.

- Maquina.
- Material.
- Medio ambiente.

Como la estructura de las relaciones causa-efecto suele ser compleja, se utiliza el principio de subdividir el problema en problemas más simples y estudiar los por separado. La realización de este diagrama ayuda a conocer el proceso y a compartir conocimientos entre los miembros del equipo mediante la lluvia de ideas (Carot,1998; Galgano, 1995). En la Figura 1.8 se muestra un ejemplo de un diagrama causa-efecto.

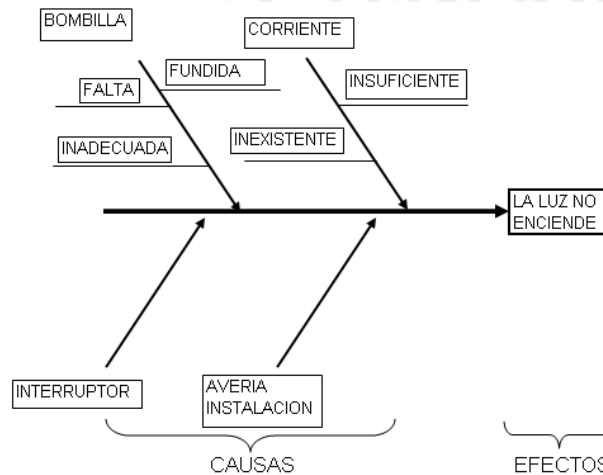


Figura 1.8. Ejemplo de Diagrama Causa- Efecto

Fuente: Galgano (1995)

PRUEBAS DE HIPOTESIS.

Consiste en hacer inferencias a cerca de dos propuestas contrastantes (hipótesis nula e hipótesis alternativa) relacionadas con el valor de un parámetro poblacional, una de las cuales se supone que es cierta en ausencia de datos contradictorios, su procedimiento es como sigue:

- Tomar una muestra de la población.
- Formular la hipótesis por comprobar.
- Seleccionar el nivel de significación que defina el riesgo de llegar a una conclusión incorrecta.
- Construir un estadístico de prueba a partir de los valores de la muestra.
- Comparar el estadístico con la hipótesis nula.
- Si existe diferencia significativa rechazar la hipótesis.

(Evans & Lindsay, 2008).

ANÁLISIS DE VARIANZA – ANOVA

ANOVA es una herramienta importante en el análisis estadístico que evalúa la importancia de uno o más factores por medio de la comparación de la media de la variable de respuesta en cada diferente nivel del factor. ANOVA es una metodología para llegar a conclusiones acerca de la igualdad de las medias de múltiples poblaciones. Para poder usar ANOVA necesitamos:

- Definir con detenimiento el propósito y las suposiciones del experimento.
- Recopilar datos relacionados con los niveles del factor de interés.
- Calcular los parámetros del ANOVA.
- Interpretar el significado de los datos.
- Empezar una acción.

ANOVA divide la variabilidad total de los datos en dos partes, la variación entre los grupos y la variación dentro de los grupos. Si la variación total entre los grupos es relativamente pequeña en comparación con aquella dentro de los grupos, se sugiere que las poblaciones son iguales; en casi contrario se sugiere que existen diferencias en las medias poblacionales desconocidas (Evans & Lindsay, 2008; Montgomery & Runger, 2008).

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

El análisis de regresión crea modelos estadísticos que caractericen las relaciones entre una variable dependiente y una o más variables independientes. La relación puede ser lineal, tener una forma no lineal o quizá no exista ninguna relación.

La correlación es una medida de una relación lineal entre dos variables y se mide por medio del coeficiente de correlación que van desde -1 a +1 una correlación "0" significa que las variables no tienen relación lineal entre sí (Evans & Lindsay, 2008).

DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)

El diseño de experimentos está íntimamente ligado con los experimentos comparativos y su propósito es el de asegurarle al experimentador los datos para dar solución a las hipótesis por el planteadas, en una forma clara, precisa y económica. El DOE es una prueba o serie de pruebas en el que se comparan dos o más métodos para determinar cuál es el mejor, o determinar los niveles de factores controlables para optimizar la producción de un proceso o minimizar la variabilidad de una variable de respuesta.

El DOE difiere de los estudios estadísticos por observación, en los que los factores de interés son controlados por quien dirige el experimento, más que la simple observación a través de la selección de variables aleatorias.

Al DOE se le califica de "estadístico" porque además de seleccionar la estrategia experimental más adecuada para el caso, antes de registrar dato alguno, nos aseguramos de que el plan elegido tiene una razonable posibilidad de identificar y cuantificar correctamente la importancia de los factores. (Evans & Lindsay ,2008; Saderra, 1993).

1.2.4.4. MEJORAR (I).

Esta fase debe comenzar con un claro entendimiento de las causas raíz de los problemas; la principal tarea de esta fase es desarrollar ideas para mejorar los procesos existentes a través de técnica de simulación y experimentación.

En esta fase el equipo valida las causas de los problemas en los procesos y genera una lista de soluciones considerando un análisis costo beneficio. El equipo responde a la pregunta ¿Qué se necesita hacer?.(McCarty, 2005). Las

propuestas son desarrolladas con el fin de obtener mejoras en el proceso y se deben utilizar herramientas estadísticas para validar la mejora.

Según Harris (2002) esta fase puede ser la más interesante del proyecto Six Sigma; la oportunidad para desarrollar y probar soluciones creativas debe verse como una recompensa a todo el trabajo duro de las anteriores fases.

1.2.4.5. CONTROL (C).

En esta etapa se desarrollan planes de control para asegurar que el nuevo proceso, es decir el mejorado, se mantenga. En esta etapa se asegura que el éxito logrado se mantenga una vez se hayan implantado los cambios. También permite que se comparta información que pueda acelerar el éxito de los proyectos en otras áreas.

Según Pyzdek (2005) para mantener estos logros es recomendable tomar en cuenta lo siguiente:

- Cambio de políticas, es probable que algunas deban cambiar o implantarse como resultado del proyecto.
- Nuevos estándares; si la empresa cuenta con algún estándar que ayude a mantener lo logrado; debería realizarse los cambio pertinentes.
- Modificar procedimientos
- Modificar el criterio de la evaluación de la calidad.
- Cambio de los planos de ingeniería
- Cambio del planeamiento de la producción.

Al original ciclo DMAIC muchos investigadores y expertos en la metodología han incluido la “R” (Reporte) al final del ciclo, que no es más que reportar los beneficios de este proceso de reingeniería (Ranjan, 2004).

1.2.5. IMPLEMENTACION.

Krajewski *et al.* (2008) afirma que para tener un programa Six Sigma exitoso se debe entender que no es un producto que se pueda comprar, sino que requiere compromiso y tiempo.

El apoyo y compromiso de la alta dirección es necesario para tener éxito en la implementación de la metodología Six Sigma infraestructura organizacional, entrenamiento, aplicación de herramientas estadísticas y motivar al recurso humano con bonos premios (Antony & Banuelas, 2002).

Se debe crear una estructura paralela en la organización basado en la funciones de los proyectos six sigma, se debe contar con un grupo de maestros internos que luego se encargan de enseñar y brindar asistencia a los empleados que participan del proyecto Six Sigma, estos maestros tienen diferentes títulos que se asemejan a los grados o niveles en el karate. Los cintas verdes pasan la parte de su tiempo a ayudar y enseñar a los equipos con sus proyectos y la otra parte de su tiempo en sus labores normales. Los cintas negras son maestros a tiempo completo y líderes de los equipos, y los maestros cinta negra asesoran a los cintas negras (Evans, 2008).

En los proyectos Six Sigma se pueden dar algunos factores de resistencia al cambio que pueden afectar el éxito del proyecto:

Técnico; frecuentemente el personal tiene dificultades en entender la estadística. La educación y participación es necesaria.

Político; se basa en la búsqueda de la solución que se implementa como una perdida, real o imaginaria. La estrategia para evitar esto es saber porque se debe cambiar y que beneficios traerá este cambio.

Individual; algunos de los empleados pueden estar pasando por un fuerte stress emocional producto de problemas personales los cuales no tienen relación con la compañía. Se recomienda reducir el stress con menor carga de trabajo.

Organizacional; puede existir una resistencia al cambio, esta puede ser disminuida si los gerentes comunican los beneficios de esta iniciativa.

Se han desarrollado teorías para reducir o eliminar estos comportamientos. Algunas compañías han tenido éxito reduciendo la resistencia al cambio a través de incrementar la comunicación, la motivación y la educación (Banuelas & Antony, 2002).

2. LA EMPRESA

2.1. DESCRIPCION DE LA EMPRESA

La empresa engloba tres grandes plantas de producción de productos plásticos, fue fundada en los años cincuenta, es una empresa que se encuentra dentro de las 350 más importantes del país y dentro de las 5 empresas más importantes del sector plástico. Se fabrica pelotas, productos plásticos para envase y embalaje, film para alimentos, laminas para fólder y forros de cuaderno; también se fabrica botellas PET en diferentes formatos para la industria farmacéutica, cosmética, alimenticia y química.

2.2. SECTOR Y ACTIVIDAD ECONOMICA.

Según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), el sector y la actividad a la que pertenece la industria manufacturera le correspondería la codificación del tipo 25200, que hace referencia a las actividades de Fabricación de Productos Plásticos.

2.3. PERFIL ORGANIZACIONAL.

Misión: Una empresa capaz de descubrir y entender las necesidades presentes y futuras del mercado global, para convertirlas en productos y servicios que nos posicionen como la opción preferida de nuestros clientes.

Visión: Desarrollar relaciones de largo plazo, satisfaciendo sus necesidades y generando nuevas oportunidades de negocio con productos y servicios competitivos de calidad.

Valores: Profesionalismo, compromiso, proactividad, creatividad, trabajo en equipo, tolerancia, solidaridad, integridad, optimismo, responsabilidad Social.

2.4. ORGANIZACIÓN.

La Empresa cuenta con tres plantas: Frascos, Extrusión y Rotacional, cada una de ellas con una gerencia y su propio personal de planta entre planificadores de la producción, asistentes y operarios; las áreas de Mantenimiento, Logística, administración y RRHH son comunes.



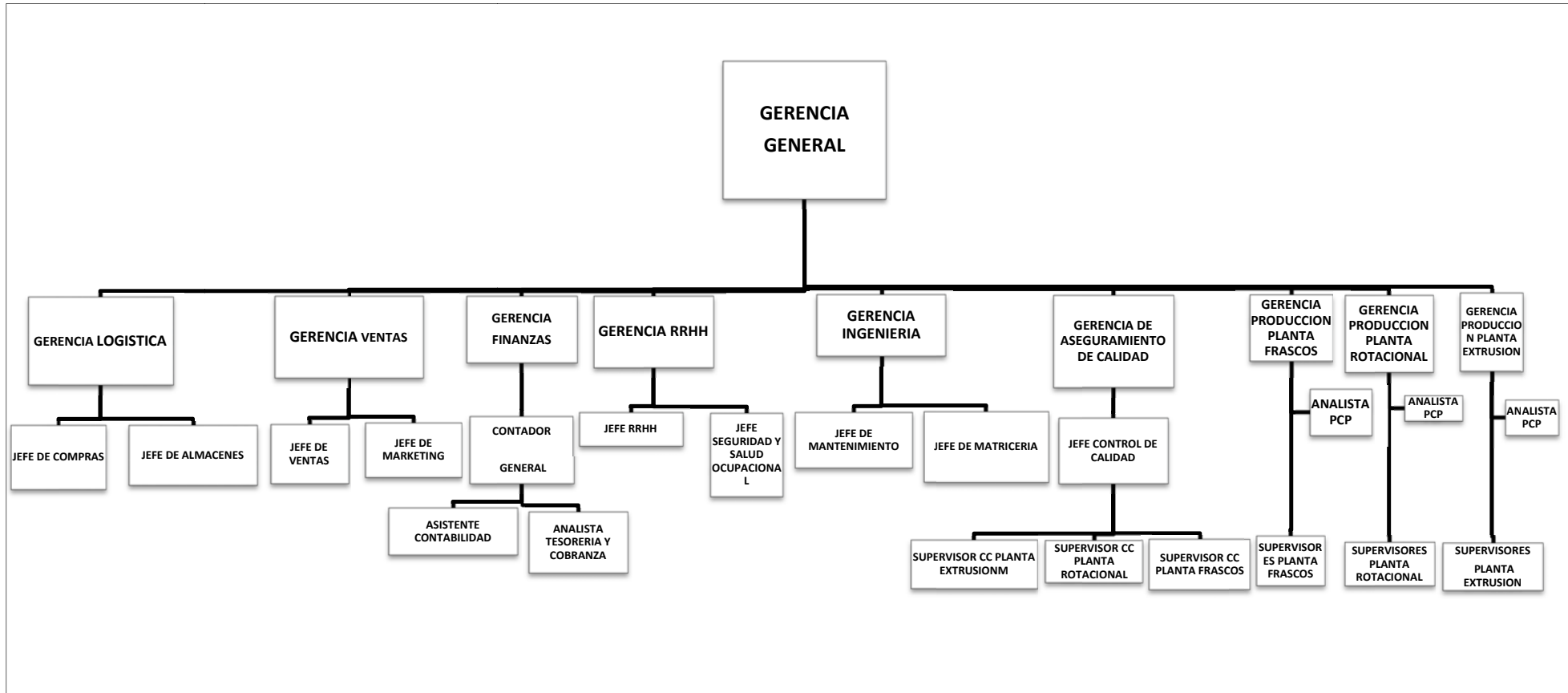


Figura 2.1. Organigrama de la empresa

Fuente: Elaboración propia

2.5. ENTIDADES PARTICIPANTES EN ELE MODELO DE NEGOCIO

2.5.1. CLIENTES.

Los principales clientes de la empresa son los siguientes:

Sector Industrial (Clorox, P&G Peru, Corporacion exportadora Ramirez)

Sector Cosmético (Unique, Cetco)

Sector Farmacéutico (Laboratorios farmacéuticos Markos, Laboratorios Naturales y Genéricos, Laboratorios Unidos, Merk Peruana, Farindustria, Teva Peru, Eurofarma Peru)

Sector Alimenticio (Tigo, Laive, Gloria, Wali Foods)

2.5.2. PROVEEDORES.

Entre los principales proveedores de resina tenemos: Propilco, Certene, Trupal, Bolsipol, 3M

2.5.3. COMPETIDORES.

Entre los principales competidores podemos encontrar a Peruplast, Artesco, San Miguel Industrial, Plastica, Ximesa.

2.6. INSTALACIONES Y MEDIOS OPERATIVOS

2.6.1. EXTENSION DE LA PLANTA

El área del terreno es de 23 000 m², la cual la planta de Frascos ocupa un área de 3500 m², la planta de Rotacional 2500 m² y la planta de Extrusión 6000 m².

2.6.2. TIPO DE PRODUCCION

El tipo de producción de en la empresa es continuo ya que continuamente se obtienen los envases plásticos y las láminas de PVC y PS en las plantas de Frascos y Extrusión respectivamente; en el caso de la Planta de Rotacional es del tipo Batch.

2.6.3. MAQUINAS Y EQUIPOS

La Planta de Frascos cuenta con máquinas sopladoras de procedencia brasileña (línea PE), inyectoras de procedencia japonesa e italiana (línea PP) e inyector-sopladoras de procedencia japonesa (línea PET) procesando 350, 180 y 400 toneladas de plástico al año.

La Planta de Extrusión cuenta con 16 máquinas extrusoras de procedencia Italiana y brasileña.

La Planta de Rotacional cuenta con 3 grandes hornos para producir pelotas en sus diferentes formatos.

La línea de PE de la planta de Frascos, la cual es objeto de estudio, cuenta con maquina sopladoras adquiridas en los años 90's, estas sopladoras tienen una capacidad de procesamiento de plástico de hasta 25 kg/h según sus especificaciones técnicas, la maquina sopladora trabaja en conjunto con un cabezal de calefacción, que es la que forma los tubos plásticos que serán soplados, este cabezal también es de procedencia brasileña. Esta línea cuenta además con los siguientes equipos: cargadores volumétricos, dosificador gravimétrico, fajas de transporte, molino, sopladores de scrap.

2.6.4. MATERIA PRIMA E INSUMOS.

La Materia Prima en la Planta de Frascos es el Polietileno (PE), Polipropileno (PP) y el Polietileno Tereftalato (PET), cuya procedencia normalmente es americana, colombiana e hindú.

2.7. EL PRODUCTO.

En la línea PE se produce envases para la industria farmacéutica de 60ml hasta 240 ml, alimentos de 100 ml hasta 1000ml, cosmético de 450 ml y 750 ml e industrial de 585ml hasta 2850 ml.

En la línea PP se produce envases para la industria farmacéutica de 60 y 90 ml y para la industria cosmética se produce envases de desodorante roll-on 60 ml, tapas estándares para botellas.

En la línea PET se produce envases para la industria farmacéutica de 30 ml hasta 180 ml y envases para la industria cosmética de 30 ml hasta 200ml.



Figura 2.2. Envases en plástico

Fuente: Web de la empresa

2.8. EL PROCESO PRODUCTIVO.

El proceso productivo en la Planta de Frascos se inicia con la resina y el colorante o masterbatch, estas son solicitadas a la sección de Materia Prima y son procesadas en las líneas de PE, PP o PET.

En las figuras 2.3, 2.4 y 2.5 se muestran los mapas de procesos de las tres líneas.

2.9. EL CONTROL DE LA CALIDAD EN LA EMPRESA.

La empresa cuenta con un área de Gestión de la Calidad que vela porque los productos fabricados cumplan con los estándares establecidos manteniendo la inocuidad en los envases utilizados para productos alimenticios. Para controlar la calidad de un producto se realizan inspecciones y pruebas de muestreo diarias para verificar que las características del mismo sean las óptimas. Esta área también realiza auditorías inopinadas a todas las plantas además controla los documentos y registros establecidos, administrando también las oportunidades de mejora en temas de calidad. Esta área es común para todas las plantas y cuenta con una Gerencia, un Supervisor por cada planta y un staff de técnicos.



Figura 2. 3. Diagrama de proceso de la línea de PE

Fuente: Elaboración propia

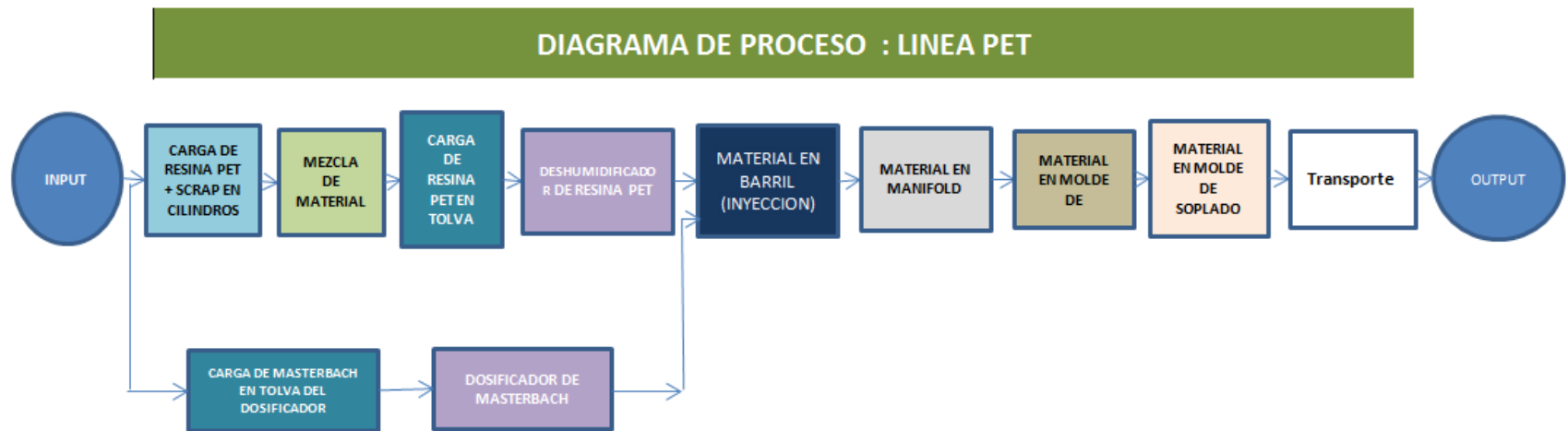


Figura 2.4. Diagrama de proceso de la línea de PET

Fuente: Elaboración propia

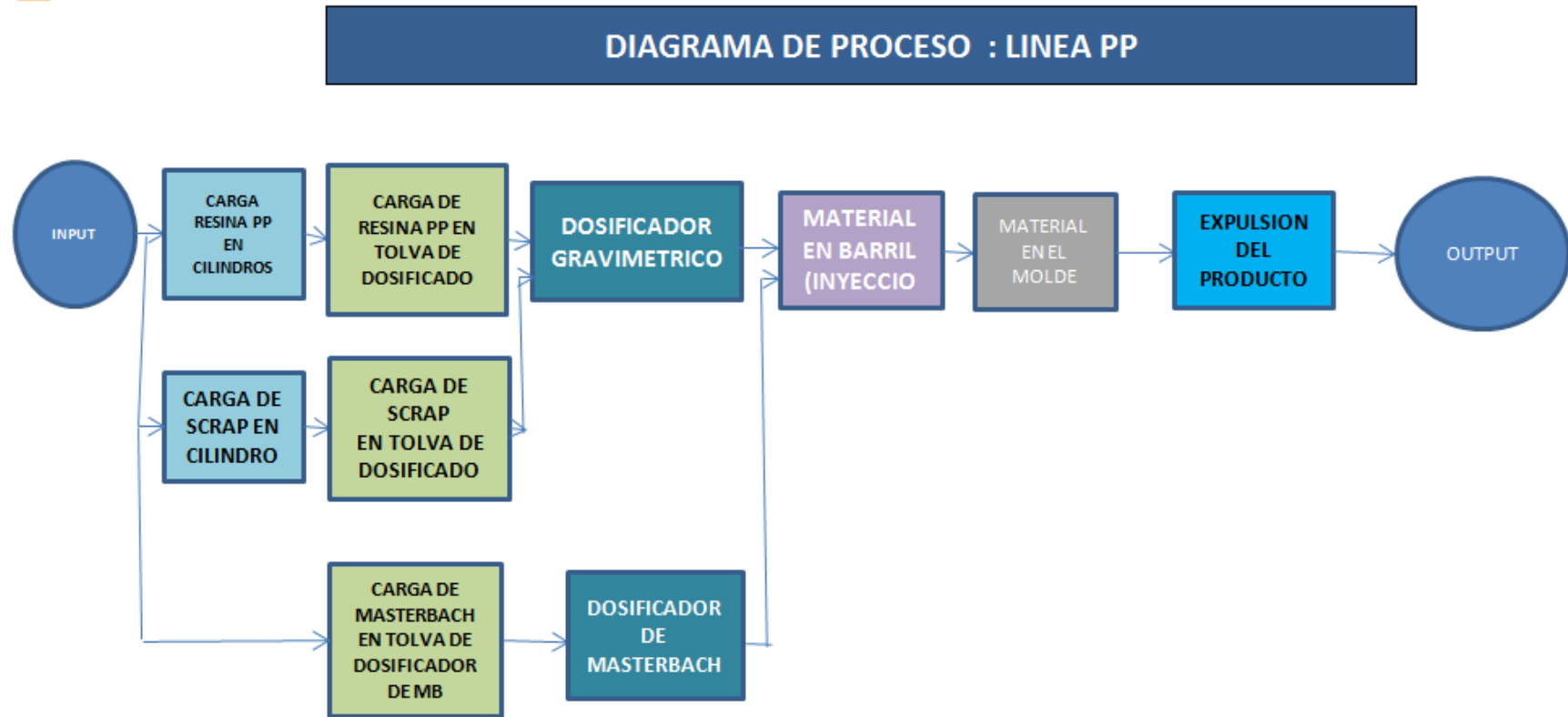


Figura 2.5. Diagrama de proceso de la línea de PP

Fuente: Elaboración propia

3. ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL

En reuniones con personal de planta se ha evidenciado algunos problemas en su proceso productivo tales como reprocesos, recursos no aprovechados, ciclos elevados de producción, entre otros, sin embargo se analizara la data de los indicadores para poder saber cuáles son los mayores problemas que tiene la Planta de producción de Frascos. La data analizada es del 2014 ya que abarca todo un ciclo estacional con subidas y bajadas de producción y cambios de formatos de los frascos.

3.1. ANALISIS DE LOS INDICADORES.

Los Indicadores utilizados en la Planta de Frascos son los siguientes:

Ocupabilidad de Maquinas = $(\text{Horas de Trabajo} + \text{Horas Parada de Producción} / \text{Horas Total}) * 100$; es un indicador que nos da información de cuan ocupada esta la maquina en el proceso productivo, esto incluye la misma producción de frascos , el tiempo de arranque y el tiempo de parada por desarme por cambio de formato.

Utilización efectiva de Maquina= $(\text{Horas de Trabajo} / \text{Horas Total}) * 100$; nos indica el porcentaje del tiempo en que las maquinas están en constante producción de frascos.

Scrap= $(\text{Cant. Prod. Scrap} / (\text{Cant. Prod. Scrap} + \text{Cant. Prod. Total})) * 100$; nos indica el porcentaje de desperdicio.

Eficiencia Maquina-Mano de obra= $(\text{Horas Hombres Teórico} / \text{Horas Hombres Asignada}) * 100$; nos indica si el personal está siendo utilizado en la proporción debida.

Producción-Horas efectivas = $(\text{Cant. Prod.} / \text{Horas Trabajo})$; nos da una tasa de rendimiento, es decir la cantidad de frascos producido en un determinado tiempo.

En las tablas 3.1, 3.2 y 3.3 se muestra el valor de los indicadores durante el año 2014.

Tabla 3.1. Indicadores línea PET año 2014

LINEA PET	OCUPABILIDAD DE MAQUINA	UTILIZACION EFECTIVA MAQUINA	SCRAP	EFICIENCIA MAQUINA VS M.O	KG VS. HORAS EFECTIVAS
ene-14	78%	59%	8%	66%	20 Kg
feb-14	81%	63%	10%	60%	19 Kg
mar-14	69%	51%	11%	50%	19 Kg
abr-14	76%	47%	12%	60%	20 Kg
may-14	80%	59%	10%	58%	18 Kg
jun-14	86%	65%	10%	64%	19 Kg
jul-14	82%	64%	13%	57%	15 Kg
ago-14	92%	76%	12%	72%	20 Kg
sep-14	89%	78%	11%	73%	20 Kg
oct-14	84%	70%	13%	68%	19 Kg
nov-14	89%	78%	12%	74%	19 Kg
dic-14	54%	45%	12%	67%	17 Kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2. Indicadores línea PE año 2014

LINEA PE	OCUPABILIDAD DE MAQUINA	UTILIZACION EFECTIVA MAQUINA	SCRAP	EFICIENCIA MAQUINA VS M.O	KG VS. HORAS EFECTIVAS
ene-14	87%	60%	19%	54%	18 Kg
feb-14	75%	58%	25%	52%	18 Kg
mar-14	60%	45%	18%	52%	17 Kg
abr-14	80%	58%	30%	37%	15 Kg
may-14	79%	63%	14%	53%	19 Kg
jun-14	86%	66%	12%	37%	19 Kg
jul-14	91%	61%	25%	45%	19 Kg
ago-14	88%	55%	17%	54%	22 Kg
sep-14	91%	69%	16%	59%	20 Kg
oct-14	60%	44%	28%	40%	15 Kg
nov-14	62%	71%	24%	45%	14 Kg
dic-14	51%	34%	23%	38%	20 Kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3. Indicadores línea PP año 2014

LINEA PP	OCUPABILIDAD DE MAQUINA	UTILIZACION EFECTIVA MAQUINA	SCRAP	EFICIENCIA MAQUINA VS M.O	KG VS. HORAS EFECTIVAS
ene-14	71%	48%	8%	62%	20 Kg
feb-14	49%	31%	11%	52%	20 Kg
mar-14	60%	43%	12%	52%	18 Kg
abr-14	90%	60%	6%	69%	20 Kg
may-14	88%	71%	5%	73%	22 Kg
jun-14	64%	61%	9%	65%	22 Kg
jul-14	95%	65%	5%	87%	22 Kg
ago-14	89%	62%	10%	74%	19 Kg
sep-14	64%	51%	10%	64%	22 Kg
oct-14	79%	64%	6%	74%	20 Kg
nov-14	79%	64%	6%	74%	20 Kg
dic-14	43%	35%	11%	69%	19 Kg

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.1 se muestra la tendencia de la ocupabilidad de las máquinas por línea en el año 2014, se puede apreciar que la ocupabilidad es baja (meta 98%) en las tres líneas a fin de año debido a una caída de pedidos, sin embargo el resto de año pueden deberse a problemas en la materia prima o la falta del mismo, falta de personal y por problemas en la maquinaria y/o moldes. Las tres líneas deben mejorar este indicador, el caso más crítico es la línea de PP.

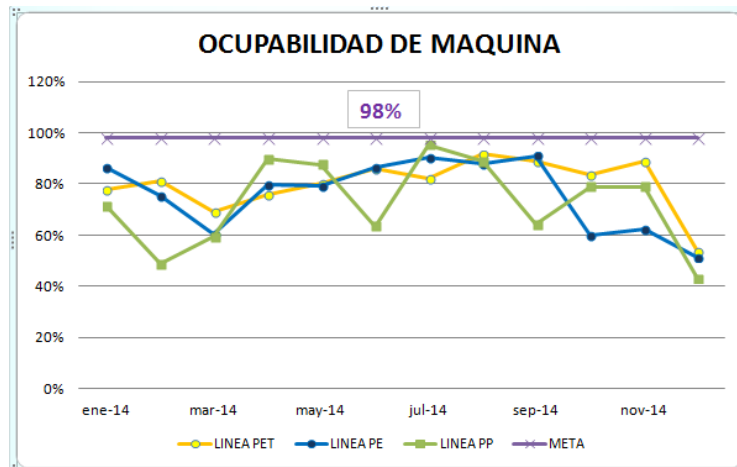


Figura 3.1. Tendencia de la ocupabilidad año 2014

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.2 se muestra la tendencia de la utilización efectiva de la maquina en el año 2014, se puede apreciar que en las tres líneas hay una brecha con la ocupabilidad lo que nos indica que se esa tomando mucho tiempo para el arranque y/o en la preparación de la máquina para una nueva producción. Se esta muy lejos con la meta del 85%.

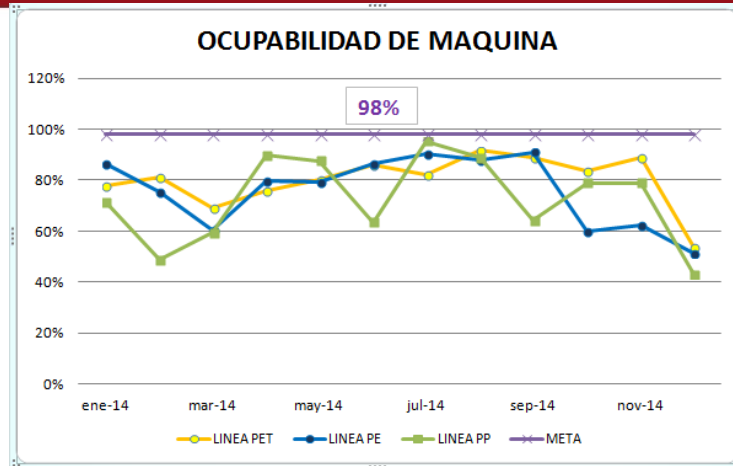


Figura 3.2. Tendencia de la utilización efectiva de maquina año 2014

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3 se muestra la tendencia de la generación del scrap en el año 2014, se aprecia que las tres líneas deben mejorar para llegar a la meta del 5%, sin embargo en la línea de PE el problema es crítico ya que está muy alejado del objetivo.

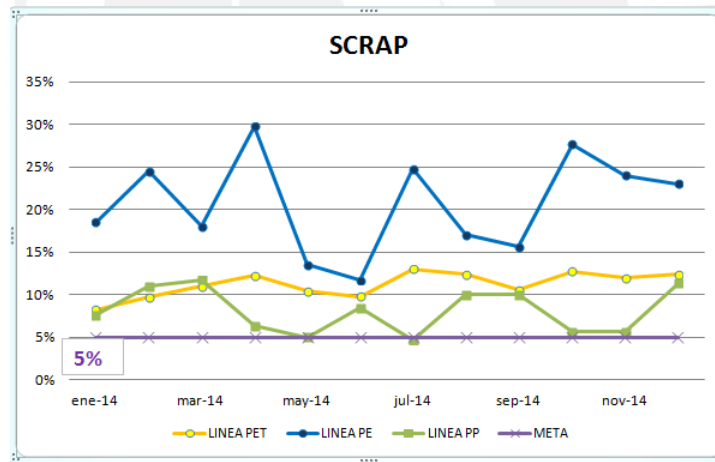


Figura 3.3. Tendencia del Scrap año 2014

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.4 se muestra la tendencia de la eficiencia de la maquina versus la mano de obra en el año 2014 (Meta 100%), se puede apreciar que se utiliza más horas hombre en las líneas que lo que debería ser asignado; esto se puede deber por revisiones en los frascos producidos por falla, desorden en el

área, personal nuevo o por problemas en algún equipo auxiliar, la tres líneas deben de mejorar sin embargo el caso más crítico es la línea de PE.

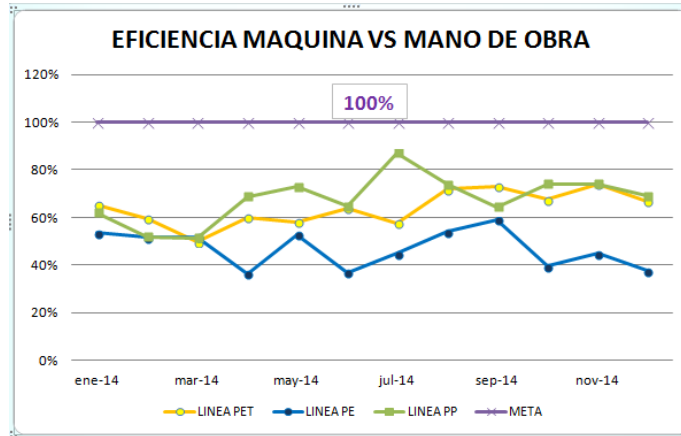


Figura 3.4. Tendencia de la eficiencia de maquina vs Mano de Obra año 2014

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.5 se muestra la tendencia del plástico procesado versus el tiempo que se tomo en procesarlo; bajos indicadores significan que los ciclos de producción son más altos de lo normal y pueden deberse a algunos problemas en maquina o molde, problemas con el material, el suministro de agua o aire o alguna inadecuada regulación de parámetros de máquina, las tres líneas deben mejorar; pero se puede apreciar un mayor problema en la línea de PE.

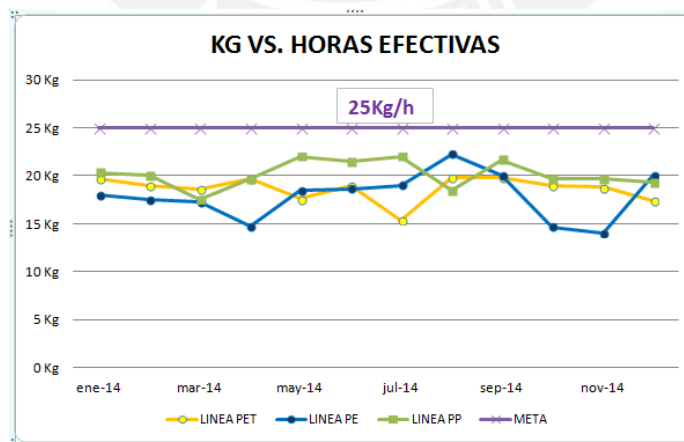


Figura 3.5. Tendencia de la Kg Vs horas efectivas año 2014

Fuente: Elaboración propia.

3.2. PROYECTOS DE MEJORA RECOMENDADOS.

Según lo observado se evidencia que existen varias oportunidades de mejora que pueden ser parte de un proyecto de mejora en la planta de frascos:

- Reducción del Scrap en la línea de PE; el Scrap en la línea de PE representa una pérdida de aproximadamente US \$ 700 K anuales.
- Reducción del Scrap en la línea PP; el scrap en la línea de PP puede representar una pérdida de US \$ 185 K anuales.
- Reducción del Scrap en la línea PET; el scrap en la línea de PET puede representar una pérdida de US \$ 225 K anuales.

Los montos de las perdidas indicadas son sustentados en la tabla 3.4.

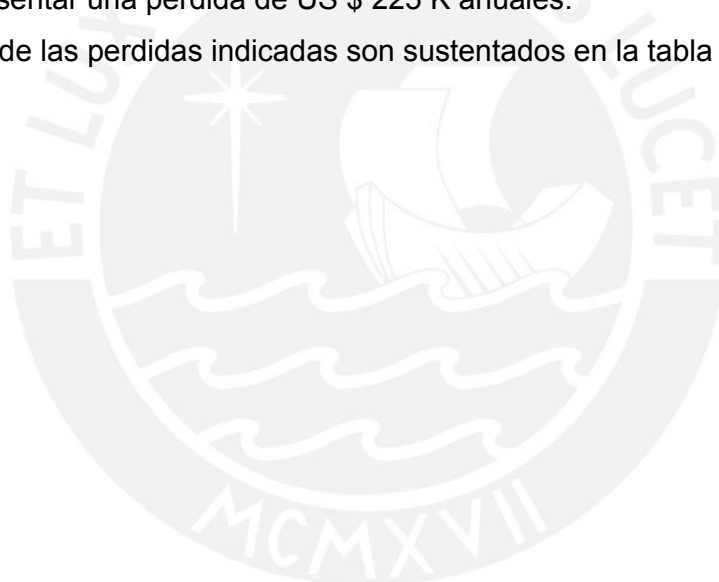


Tabla 3.4. Pérdida económica en la generación de Scrap

LINEA	PRODUCTO	PRODUCCION HORA en miles (Real Promedio)	PROMEDIO SCRAP ANUAL en miles	PORCENTAJE PROMEDIO ANUAL SCRAP	COSTO PRODUCCION ENVASE (mil unidades) (US \$)	PERDIDA ANUAL (US \$)	PERDIDA ANUAL TOTAL (5 lineas de produccion) (US \$)
PET	Farmaceutico A	1.5184995			17.65		
PET	Farmaceutico B	1.517796			21.17		
PET	Farmaceutico C	1.295943			32.52		
PET	Farmaceutico D	1.275102			65.46		
PET	Farmaceutico E	1.0548			68.41		
		1.3324281	1097.494377	11.00%	41.04	45043.4	225216.8
LINEA	PRODUCTO	PRODUCCION HORA en miles (Real Promedio)	PROMEDIO SCRAP ANUAL en miles	PORCENTAJE PROMEDIO ANUAL SCRAP	COSTO PRODUCCION ENVASE (mil unidades) (US \$)	PERDIDA ANUAL (US \$)	PERDIDA ANUAL TOTAL (3 lineas de produccion) (US \$)
PP	Cosmetico A	3.846			31.46		
PP	Cosmetico B	2.767			89.02		
PP	Cosmetico C	1.143			12.25		
		2.3268	1393.846272	8.00%	44.24	61668.41	185005.22
LINEA	PRODUCTO	PRODUCCION HORA en miles (Real Promedio)	PROMEDIO SCRAP ANUAL en miles	PORCENTAJE PROMEDIO ANUAL SCRAP	COSTO PRODUCCION ENVASE (mil unidades) (US \$)	PERDIDA ANUAL (US \$)	PERDIDA ANUAL TOTAL (5 lineas de produccion) (US \$)
PE	Farmaceutico A	1.636			24.68		
PE	Farmaceutico B	1.333			32.34		
PE	Alimenticia C	3.1579			33.57		
PE	Farmaceutico D	1.636			39.56		
PE	Cosmetico E	0.568			171.72		
		1.499562	2358.031254	21.00%	60.37	142363.779	711818.895

Fuente: Elaboración propia.

- Mejora de la Ocupabilidad al 90% en las máquinas de PP; es decir eliminar los tiempos improductivos aumentando la producción esto representa una ganancia adicional de aproximadamente US \$ 43K anuales. En la tabla 3.5 se puede muestra la ganancia adicional que puede obtenerse en las tres líneas incrementando la Ocupabilidad.

Tabla 3.5. Ganancia adicional incrementando la Ocupabilidad al 90%

LINEA	PRODUCTO	PRODUCCION HORA en miles (Real Promedio)	PORCENTAJE PROMEDIO ANUAL OCUPABILIDAD	PRODUCCION HORA ADICIONAL (OCUPABILIDAD AL 90%)	PRODUCCION PROMEDIO ADICIONAL ANUAL (OCUPABILIDAD AL 90%)	COSTO PRODUCCION ENVASE (mil unidades) (US \$)	MARGEN PROMEDIO(17%)(US \$)	GANANCIA ADICIONAL ANUAL TOTAL (US \$)	GANANCIA ADICIONAL ANUAL TOTAL (5 lineas de produccion) (US \$)
PET	Farmacutico	1.33	80.00%	0.17	1244.88	41.04	6.98	8685.3	43426.4
PP	Cosmetico	2.33	73%	0.29	2180.88	44.24	6.64	14472.3	43417.0
PE	Farm/Alimen/Cos	1.5	76%	0.19	1404.00	60.37	3.02	4238.0	21189.9

Fuente: Elaboración propia.

- Mejorar la utilización de recurso humano en la línea PET; existe una cantidad ya determinada de personal en cada línea, sin embargo se evidencia que en ocasiones se solicita apoyo en la línea de PE para cumplir con los trabajos requeridos, por lo que al utilizar más personal se encarece el producto, esto puede representar US \$ 24 K anuales. En la tabla 3.6 se muestra los cálculos realizados.

Tabla 3.6. Pérdida económica incrementando las Horas- Hombre en las líneas

LINEA	PRODUCTO	COSTO HORA HOMBRE (US \$)	PORCENTAJE PROMEDIO ANUAL EFICIENCIA MAQ. VS M.O	HORAS HOMBRE ADICIONALES DIA	HORAS HOMBRE ADICIONALES AÑO	PERDIDA POR MANO DE OBRA ADICIONAL (US \$)	PERDIDA POR MANO DE OBRA ADICIONAL ANUAL (5 lineas de produccion) (US \$)
PET	Farmacutico	1.18	64%	13.50	4212.00	4965.05	24825.3
PP	Cosmetico	1.18	73%	8.88	2769.53	3264.69	9794.1
PE	Farm/Alimen/Cos	1.18	76%	7.58	2364.63	2787.40	13937.0

Fuente: Elaboración propia.

- Mejorar el rendimiento (Kg/hora) en la línea PET; según datos una mejora del ciclo puede significar un incremento de producción de frascos que representa una ganancia adicional de US \$ 109 K anuales.

En la tabla 3.7 se muestran los cálculos realizados.

Tabla 3.7 Ganancia adicional por incremento de ciclo

LINEA	PRODUCTO	PRODUCCION HORA en miles (Real Promedio)	KG/HORAS EFECTIVAS- Promedio Anual	KG/HORAS EFECTIVAS- Promedio Anual (Meta)	PRODUCCION HORA META en miles (Real Promedio)	PRODUCCION ADICIONAL ANUAL	COSTO PRODUCCION ENVASE (mil unidades) (US \$)	MARGEN PROMEDIO(17%)(US \$)	GANANCIA ADICIONAL ANUAL TOTAL (US \$)	GANANCIA ADICIONAL ANUAL TOTAL (5 líneas de producción)
PET	Farmaceutico	1.33	19	25	1.75	3144.96	41.04	6.98	21941.8	109708.8
LINEA	PRODUCTO	PRODUCCION HORA en miles (Real Promedio)	KG/HORAS EFECTIVAS- Promedio Anual	KG/HORAS EFECTIVAS- Promedio Anual (Meta)	PRODUCCION HORA META en miles (Real Promedio)	PRODUCCION ADICIONAL ANUAL	COSTO PRODUCCION ENVASE (mil unidades) (US \$)	MARGEN PROMEDIO(15%)(US \$)	GANANCIA ADICIONAL ANUAL TOTAL (US \$)	GANANCIA ADICIONAL ANUAL TOTAL (3 líneas de producción)
PP	Cosmetico	2.33	20	25	2.91	4361.76	44.24	6.64	28944.6	86833.9
LINEA	PRODUCTO	PRODUCCION HORA en miles (Real Promedio)	PORCENTAJE PROMEDIO ANUAL OCUPABILIDAD	PRODUCCION HORA ADICIONAL (OCUPABILIDAD AL 90%)	PRODUCCION PROMEDIO ADICIONAL ANUAL (OCUPABILIDAD AL 90%)	COSTO PRODUCCION ENVASE (mil unidades) (US \$)	COSTO PRODUCCION ENVASE (mil unidades) (US \$)	MARGEN PROMEDIO(5%)(US \$)	GANANCIA ADICIONAL ANUAL TOTAL (US \$)	GANANCIA ADICIONAL ANUAL TOTAL (5 líneas de producción)
PE	Farm/Alimen/Cos	1.5	18	25	2.08	4368.00	60.37	3.02	13184.8	65924.8

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar el principal problema y en el que se podría ahorrar mucho más dinero es controlando el desperdicio, sin embargo según Miranda (2007) para la elección del proyecto se debe tomar en cuenta criterios estratégicos internos propios de las organizaciones.

La tabla 3.8 muestra un cuadro resumen de las oportunidades de mejora según las oportunidades de ahorro.

Tabla 3.8. Cuadro resumen de las oportunidades de mejora

OPORTUNIDAD DE MEJORA	AHORRO (Miles US \$)
Reducción del Scrap en la línea de PE	700
Reducción del Scrap en la línea PP	185
Reducción del Scrap en la línea PET	225
Mejora de la Ocupabilidad de las máquinas de PP	43
Mejorar la utilización de recurso humano en la línea PET	24
Mejorar el rendimiento (Kg/hora) en la línea PET	109

Fuente: Elaboración propia

3.3. SELECCIÓN DEL PROYECTO

Para la selección del proyecto se ha establecido una serie de criterios en base a los planes estratégicos y operacionales de la empresa. Los criterios así como los pesos ponderados deben ser establecidos por el comité ejecutivo Six Sigma. En base a las consultas realizadas a la gerencia, jefes de planta y supervisores se ha elaborado la tabla 3.9 que servirá de ayuda para poder elegir el proyecto a realizar.

Tabla 3.9. Posibles proyectos de mejora en la Planta de Frascos

CRITERIO	PESO	Posibles Proyectos de Mejora					
		Reduccion Scrap linea PE	Ocupabilidad Maquinas PE	Utilizacion recurso humano linea PE	Rendimiento linea PE	Reduccion Scrap linea PP	Reduccion Scrap linea PET
Impacto en el cliente	10	7	5	3	4	5	6
Impacto financiero	10	10	7	3	3	8	8
Impacto objetivos estrategicos	10	10	6	6	6	10	10
Impacto desarrollo nuevos productos	8	7	8	7	7	7	7
Impacto sobre otros proyectos	5	6	4	8	6	6	6
Urgencia por ser implementado	4	10	8	6	6	9	10
Incremento produccion	6	8	10	5	9	8	8
Mejora Clima laboral	5	6	7	8	5	6	6
TOTAL:		426	331	280	265	382	396

Fuente: Elaboración propia

La Reducción de la línea de Scrap en la línea PE es el proyecto que tiene mayor puntuación, este proyecto CTQ (crítico para la calidad) tiene un impacto financiero importante ya que permitiría ahorros de aproximadamente US \$ 700 000. En este proyecto hay bastante que mejorar por lo que podemos considerarlo un proyecto de alto impacto con bajo esfuerzo.

4. IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA SIX SIGMA

Existe una gran oportunidad de ahorro en la reducción del desperdicio en la planta de producción de frascos, teniéndose una gran oportunidad de ahorro en la línea de PE. Según indicadores presentados en el capítulo anterior se tiene un porcentaje alto de scrap. Es necesario un modelo de mejora para la reducción del desperdicio y que ayude en la mejora de la calidad. La metodología Six Sigma es la que debe utilizarse en la empresa debido a sus rápidos resultados en la reducción de scrap. Esta metodología presenta la importancia de reducir la variación, los defectos y los errores en todos los procesos a través de una organización para así aumentar la cuota de mercado, minimizar los costos e incrementar los márgenes de ganancia (Gómez, 2003). La Metodología Six Sigma se aplicó en empresas de producción con situaciones similares con resultados exitosos, casos conocidos son Motorola, General Electric, Caterpillar, Sony, o en empresas peruanas como Tintaya y Ron Cartavio. Es importante crear una cultura de calidad entre el personal de planta. Según Cuatrecasas (2010) para alcanzar todos los objetivos que pretende la metodología Six Sigma la organización debe incluir la calidad como elemento cultural básico.

4.1. PLAN DE DESPLIEGUE DE LA METODOLOGIA.

Tomando como referencia que nunca se ha implementado un proyecto Six Sigma en la empresa estudiada, es necesario un tiempo de adecuación y entrenamiento por lo que se propone Gantt mostrado en la figura 4.1 para el despliegue y el desarrollo de la metodología tomando en consideración varios puntos indicados por Pizdek (2003).

Es importante que recalcar la importancia de reclutar a los empleados idóneos para que formen parte del equipo Six Sigma y el nivel de compromiso de la alta gerencia para el desarrollo de la metodología.

Se debe buscar el compromiso de la alta gerencia, empresas que aplicaron la metodología y expertos indican que no se transmite la suficiente firmeza y

entusiasmo si lo altos ejecutivos no se comprometen con el programa. La Implementación debe tener un enfoque top-down alineada con el plan estratégico de la empresa.

- Identificar al líder; el primer paso es identificar al líder quien deberá tener poder de decisión dentro de la organización, se recomienda que este en el staff gerencial.
- Entrenamiento del líder, el líder dirigirá el desarrollo e implementación de la infraestructura Six Sigma, es necesario su entrenamiento en la filosofía, principios y herramientas de la metodología. Su entrenamiento será de 5 días, cada día de 8 horas.
- Establecer plan de despliegue Six Sigma, estableciendo los tiempos aproximados de los pasos a desarrollar previos al desarrollo de la metodología DMAIC.
- Identificar a los principales miembros del equipo, esto se refiere a que se identificara al consejo ejecutivo Six Sigma , en el caso de la empresa serán los Champions y el Sponsor.
- Establecer consejo ejecutivo Six Sigma, este consejo ejecutivo de nivel gerencial deberá dar las facilidades técnicas y económicas para el desarrollo de la metodología, además de monitorearlo constantemente.
- Contratar consultor, ya que en la empresa XYZ la aplicación de la metodología es nueva, se deberá contratar a una empresa consultora quien apoyara en la implementación y desarrollo de la metodología así como el entrenamiento necesario para el personal involucrado.
- Detallar el plan Six Sigma, se debe detallar y aprobar el plan de despliegue por el comité ejecutivo.
- Establecer las políticas Six Sigma, es decir establecer el compromiso irrenunciable la implantación, desarrollo, mantenimiento y mejora continua del modelo Six Sigma y establecer el marco para el desarrollo de la mejora continua. Se debe establecer un plan de comunicación y marketing de la metodología, también se deberá establecer los roles y responsabilidades del los miembros del equipo Six Sigma y desarrollar

métodos para el reclutamiento y evaluación de clientes, empleados y proveedores.

- Realizar encuestas para la recolección de data, la realización de encuestas a personal clave como los supervisores de producción, planificador de la producción personal de Control de Calidad así como personal operario destacado es necesaria, en ellas se deberá evidenciar que prácticas actualmente empleadas benefician en la reducción del scrap y que prácticas hacen que el scrap se incremente.
- Identificar candidato a Black Belt, los candidatos deben ser ingenieros de proceso con amplia experiencia en el proceso productivo de la planta de Frascos. Este deberá ser elegido por el líder y el comité ejecutivo.
- Plan de retención a Black Belt, esto es importante ya que otra empresa y peor aun de la competencia, pueda contratar al Black Belt y así llevarse tiempo de entrenamiento y experiencia.
- Entrenamiento Sponsor, deberá ser capacitado en la metodología 8 horas (1 día).
- Entrenamiento Champions, deberán ser capacitados en la metodología 16 horas (2 días). El objetivo es que los Champions comprendan los conceptos de Six Sigma que les permitan seleccionar a los Black Belt y Green Belt, así como definir el objetivo y alcance de los proyectos.
- Establecer plan de reconocimiento y premiación al personal involucrado en la implementación de la metodología; cuando se evidencie una mejora considerable hay que premiarlo y reconocerlo; esto también forma parte del plan de retención del equipo Six Sigma.
- Entrenamiento del Black Belt, es el que recibe el entrenamiento más extenso, sobre todo en herramientas estadísticas. Deberá recibir 160 horas de entrenamiento.
- Establecer criterio de validación del proyecto, el comité ejecutivo deberá establecer los parámetros y consideraciones a tomar para la validación de un proyecto Six Sigma en base a las estrategias de la empresa.
- Certificación Black Belt, no es más que la culminación exitosa del programa de entrenamiento del Black Belt; en la que el Black Belt deberá demostrar conocimiento en el tema.

- Entrenamiento Green Belts, este entrenamiento se dará en dos meses y por un espacio de 80 horas; el objetivo de este entrenamiento es la formación de personas capaces de implementar la metodología.
- Establecer procedimiento de manejo de procesos, algunos procesos, métodos del sistema productivo de la planta de Frascos deberán ser mejorados o implantar nuevos con el fin de que el desarrollo de la metodología sea exitosa; por ejemplo deberán establecerse nuevos indicadores que monitoreen el avance de la metodología.
- Identificar proyectos futuros, durante la práctica de la metodología y el desarrollo de la misma se podrán identificar proyectos adicionales para la mejora de la productividad, estos deberán ser identificados y discutidos cuando sea el momento de comenzar otro proyecto.
- Entrenamiento de empleados, los principios y conceptos esenciales del Six sigma debe ser conocidos por los empleados para que estén mejor preparados para acompañar a la empresa en el esfuerzo del desarrollo de la metodología.
- Desarrollo de la metodología DMAIC, la cual consta de 5 pasos en los cuales se van desarrollando una serie de actividades que permiten reducir la variación y por ende reducir el desperdicio. El Black Belt es el que lidera el desarrollo de la Metodología. El tiempo estimado para el desarrollo de estos pasos es de 6 meses.

DIAGRAMA GANTT

PLAN DE DESPLIEGUE SIX SIGMA	2015					2016						2017												
	AGC	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGC	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
PLANIFICACION INICIAL																								
Identificar al lider	■																							
Entrenamiento del lider		■	■																					
Establecer plan de despliegue Six Sigma			■	■																				
Identificar a los principales miembros del equipo			■																					
ALINEAMIENTO																								
Establecer consejo ejecutivo Six Sigma				■																				
Contratar consultor					■																			
Detallar el plan Six Sigma						■	■																	
Establecer las politicas Six Sigma							■	■																
Realizar encuestas de para recoleccion de data								■	■															
DESARROLLO DEL PROGRAMA																								
Identificar candidatos a Black Belt									■															
Plan de retencion Black Belt									■															
Entrenamiento Sponsor									■															
Entrenamiento Champion									■															
Establecer plan de reconocimiento y premiacion									■	■														
Entrenamiento Black Belt									■	■	■													
Establecer el criterio de validacion del proyecto									■	■														
IMPLEMENTACION																								
Certificacion Black Belt													■	■										
Entrenamiento Green Belts													■	■										
Establecer procedimiento de manejo de procesos														■	■									
Identificar proyectos futuros															■	■								
Entrenamiento de empleados															■	■								
DESARROLLO DE LA METODOLOGIA																								
Desarrollo de la fase Definir																				■				
Desarrollo de la fase Medir																					■			
Desarrollo de la fase Analizar																						■		
Desarrollo de la fase Mejorar																							■	
Desarrollo de la fase Controlar																								■

Figura 4.1. Despliegue de actividades previas al desarrollo de la metodología

Fuente: Elaboración propia.

4.2. ENTRENAMIENTO EN LA METODOLOGIA SIX SIGMA.

Muchos estudiosos de la Metodología Six Sigma proponen contar con un Master Black Belt; quien deberá asesorar y entrenar al equipo Six Sigma. En el caso de la empresa que no tiene la experiencia necesaria en la realización de proyectos Six Sigma, se propone contratar un consultor quien deberá monitorear el trabajo del equipo. El entrenamiento es básico para el éxito de la metodología, sin embargo cada integrante tiene diferentes niveles de estudio siendo el más profundo el entrenamiento del Black Belt.

- Sponsor 1 sesión de 8 horas.

- Champion 2 sesiones de 8 horas (Total 16 horas)
- Líder 5 sesiones de 8 horas (Total 40 horas)
- Black Belt 5 sesiones de 8 horas durante durante 4 semanas en un tiempo de 4 meses (Total 160 horas); en la figura 4.2 se muestra el plan de capacitación de un Black Belt.

40 hrs	40 hrs	40 hrs	40 hrs
SEM 1	SEM 2,3,4	SEM 5	SEM 6,7,8
SEM 9	SEM 10,11,12	SEM 13	SEM 14,15,16

SEMANA 1: Estudio de la Etapa Definir /Medir (Teoria)
 SEMANA 2,3,4 : Desarrollo de la Etapa Definir/Medir (Practica)
 SEMANA 5: Estudio de la Etapa Analizar (Teoria)
 SEMANA 6,7,8 : Desarrollo de la Etapa Analizar (Practica)
 SEMANA 9: Estudio de la Etapa Mejorar (Teoria)
 SEMANA 10,11,12 : Desarrollo de la Etapa Mejorar (Practica)
 SEMANA 13: Estudio de la Etapa Controlar (Teoria)
 SEMANA 14,15,16 : Desarrollo de la Etapa Controlar (Practica)

Figura 4.2. Plan de entrenamiento Black Belt

Fuente: Elaboración propia.

- Green Belt 5 sesiones de 8 horas durante durante 2 semanas en un tiempo de 2 meses (Total 80 horas)

4.3. PREMIACION, RECONOCIMIENTO Y RETENCION DEL EQUIPO SIX SIGMA.

Los buenos resultados deben de ir acompañados de reconocimiento y premios sobre todo al Black Belt y a los Green Belt que podrían ser rápidamente captados por otras empresas y peor aun empresas de competencia directa; así se perdería un valioso capital humano e inversión de tiempo y dinero en su formación.

Antes del inicio en la formación de los Black Belt y Green Belt, el departamento de RRHH deberá hacerles firmar un acta de compromiso en el cual no deberán renunciar por un espacio de 2 años luego de haber terminado su capacitación sino deberán devolver el dinero invertido en su capacitación. Es recomendable

que el personal que forma parte del equipo Six Sigma sea estable y con varios años en la empresa.

Pizdek (2003) resalta la importancia del reconocimiento y retención del equipo Six Sigma, por lo que la empresa debe evaluar entregar una serie de incentivo, algunos pueden ser por ejemplo que ante un proyecto exitoso, se debe de hacer participar a los miembros del equipo Six Sigma un porcentaje del ahorro obtenido y/o anualmente se le debe dar al equipo un viaje pagado al miembro del equipo y a toda su familia a cualquier lugar del mundo, el destino dependerá de cuan exitoso hayan sido los proyectos.

5. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

El desarrollo de la metodología Six Sigma se basa en seguir el ciclo DMAIC, estas son cinco etapas bien definidas.

5.1. DESARROLLO DE LA FASE DEFINIR

5.1.1. FORMACION DEL EQUIPO DE TRABAJO.

Miranda (2006) resalta lo importante de la elección del personal que formara parte del equipo Six Sigma, no reclutar al personal idóneo puede causar que el proyecto tenga un resultado fallido, por lo que en base a los roles y responsabilidades que indica la metodología y en base al organigrama de la empresa se recomienda que los miembros del equipo Six Sigma estén conformados de la forma indicada en la tabla 5.1; cuyas funciones pueden ser revisadas en el capítulo 1.2.3.

Tabla 5.1. Equipo Six Sigma en la empresa

SPONSOR Gerencia General
LIDERSHIP Gerencia de Producción Planta Fascos
CHAMPIONS Gerencia de Aseguramiento de la Calidad y Gerencia de Ventas.
MM BLACK BELT Consultor externo
BLACK BELT Analista de PCP
GREEN BELT Supervisores de turno Producción (2) y Supervisor de Control de Calidad.
TEAM MEMBERS Operarios destacados de la línea PE (4)

Fuente: Elaboración propia.

En la contratación del MM Black Belt se prevé que deberá invertirse un aproximado de US \$50 000. Para este proyecto en base a las habilidades necesarias se recomienda que el Black Belt conozca el proceso de la producción de PE así como también debe conocer los atributos que deben cumplir los fascos, la gestión de los indicadores de planta y tener experiencia en planta de producción por más de cinco años, por lo indicado se recomienda al Analista de PCP y como tiene que realizar un trabajo de tiempo completo se deberá cubrir ese puesto con la contratación de un nuevo empleado.

5.1.2. PLAN DE COMUNICACIÓN.

La aplicación de la metodología Six Sigma, algo nueva para la empresa, es todo un cambio cultural que puede traer, sobre todo en nuestro medio, temores y rechazos al cambio por lo que el flujo de información acerca del proyecto, su importancia, objetivos y avances es muy importante; esta debe ser labor del comité ejecutivo Six Sigma.

La comunicación debe ser a dos niveles, a nivel ejecutivo a cargo del líder del proyecto y a nivel de planta a cargo del Black Belt. A nivel ejecutivo se deben dar a conocer el estado de las métricas, las estrategias aplicadas y las metas que se deben alcanzar en un determinado tiempo en las reuniones de gerencia que se realizan los viernes quincenalmente; esta reunión estará a cargo del líder y los champions del proyecto.

A nivel de planta deberá haber una reunión quincenalmente, y se dará los días jueves a cargo del Black Belt en ella se deberá hablar del estado de las métricas, los trabajos que se vienen realizando y los problemas que se encuentran en forma específica para el desarrollo de la metodología Six Sigma.

En la empresa todos los lunes a las 7:00 AM hay un reunión con los operarios de las líneas de producción en la que se tocan temas de planta, es tocar los avances de la metodología y dar a conocer las nuevas políticas de gestión en el manejo de la producción, esta reunión deberá estar a cargo de los Green Belt.

En la Intranet de la empresa se deberá publicar abundante información acerca de la metodología Six Sigma y sus beneficios, así como actualizar constantemente los logros obtenidos, se establecerá un buzón de sugerencias virtual que deberá ser leído por los miembros del comité Six Sigma. También se establecerán buzones de sugerencia dentro de la la Planta de Frascos para aquel personal que no cuente con acceso a una PC.

Se recomienda realizar encuestas cada dos meses para saber el grado de satisfacción del personal de planta con la metodología, además de recopilar los aportes que pueden dar el personal de planta.

Se deberá pedir apoyo al área de Marketing para “promocionar” la metodología. El uso de polos, llaveros o pegado de afiches con lemas alusivos a la metodología Six Sigma será necesario.

5.1.3. SIPOC DEL PROCESO

En la figura 5.1 se muestra el SIPOC de la línea de PE.



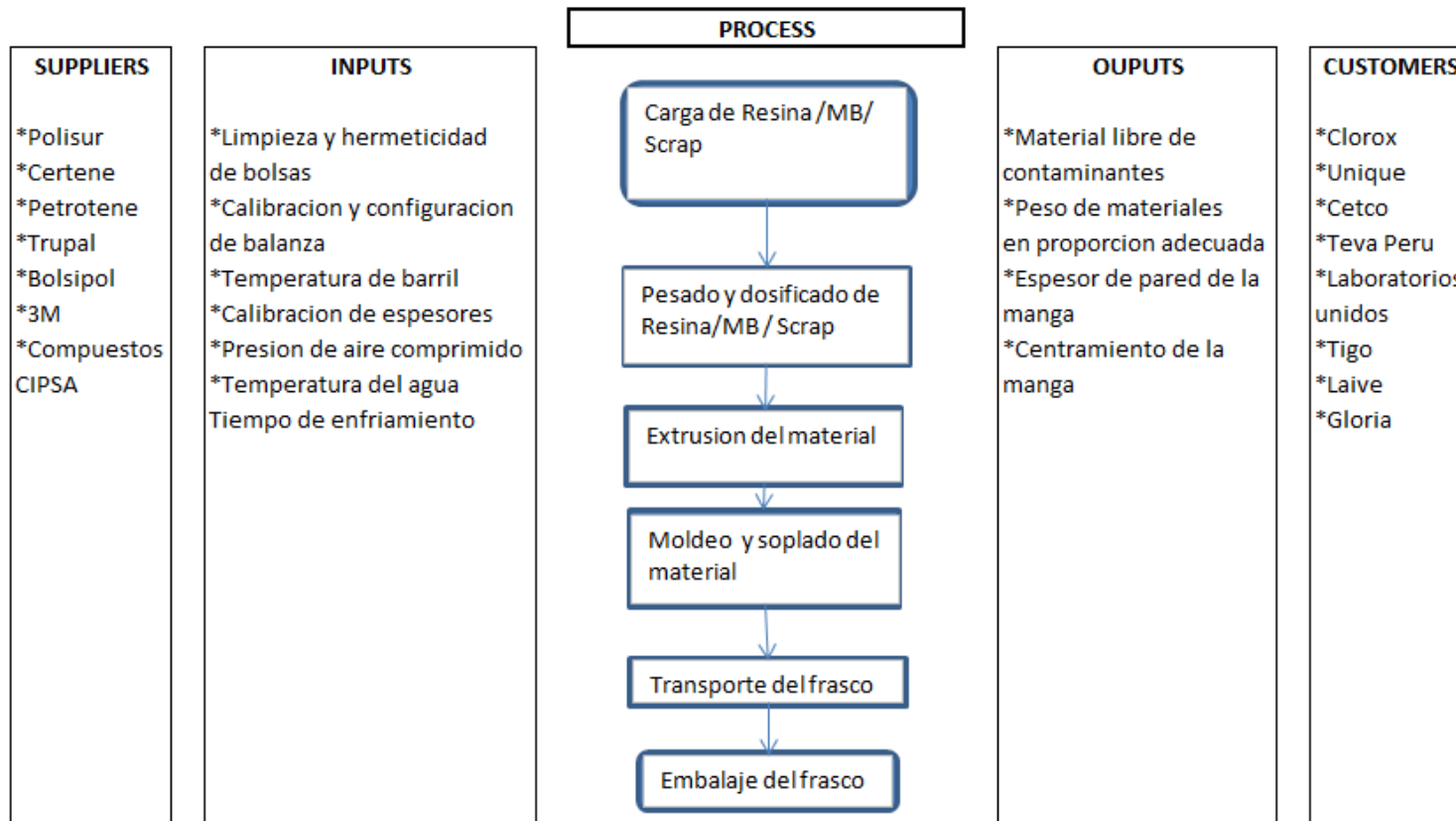


Figura 5.1. SIPOC de la línea de PE

Fuente: Elaboración propia

5.1.4. SIX PACK DEL PROYECTO.

En la figura 5.2 se muestra el Six Pack del proyecto propuesto a desarrollar.

Tabla 5.2. Six pack del proyecto

SIX PACK DEL PROYECTO	
PROBLEMA	CASO/ OPORTUNIDAD DEL PROYECTO
Excesivo Scrap en la línea PE de alrededor 20% de la producción.	Mejora en la calidad del producto y reducción del scrap obteniéndose ahorros de hasta US \$ 700 K mejorando la fidelización de los clientes
OBJETIVOS	ALCANCE DEL PROYECTO
Reducción del Scrap en un 5% luego de un año de implementación de la metodología.	El proyecto involucra a todos los frascos plásticos producidos en la línea de PE desde la producción hasta el embalaje.
PLAN DEL PROYECTO	SELECCIÓN DEL EQUIPO
Fases: Definir : Enero 2017 Medir: Febrero 2017 Analizar : Marzo 2017 Implementar: Abril- Mayo 2017 Controlar: Junio 2017	Sponsor: Gerencia General Champions: Gerencia de Aseguramiento de la Calidad y Gerencia de Ventas Líder: Gerencia Planta de Frascos MM Balck Belt: Asesoría externa Black Belt: Analista de PCP Green Belts: Supervisores Planta Frascos Supervisor de Control de Calidad

Fuente: Elaboración propia.

5.2. DESARROLLO DE LA FASE MEDIR

En esta fase se realiza un estudio más minucioso del proceso para reconocer las variables que deben ser medidas y controladas, a partir de esa caracterización debe definirse las variables de medida.

5.2.1. MAPA DEL PROCESO DE LA LINEA DE PE

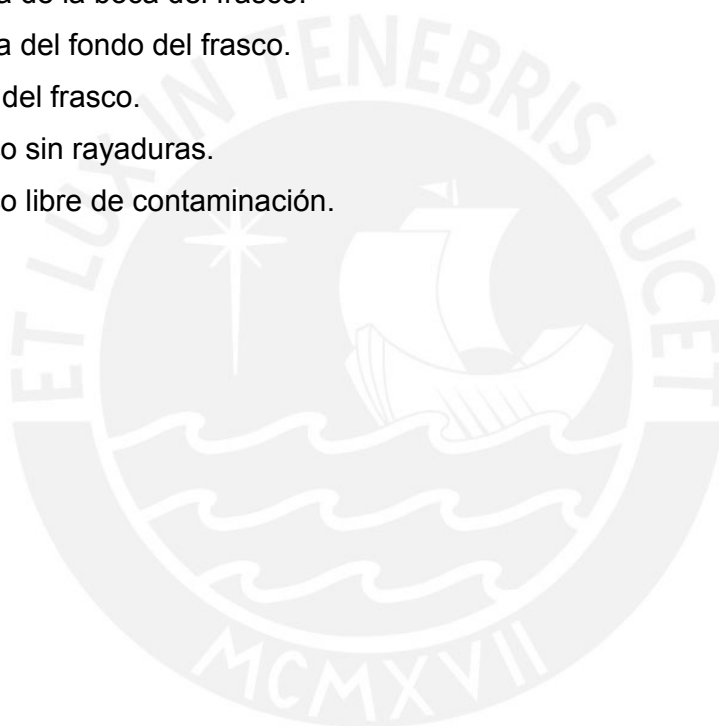
Tenemos que identificar los elementos variables clave KPIV y KPOV del proceso de la línea de PE. En la figura 5.2 se muestra el mapa de proceso.

KPIV

- Cuidado al abrir los sacos de resina.
- Cuidado al abrir los sacos de Masterbach.
- Material molido de reproceso libre de contaminantes.
- Limpieza de tolva de resina.
- Hermeticidad de tolva.
- Calibración de balanza del dosificador gravimétrico.
- Configuración de la balanza del dosificador gravimétrico.
- Temperatura del Barril de la maquina sopladora.
- RPM del tornillo de la maquina sopladora.
- Temperatura del cabezal.
- Calibración de espesores.
- Forma de la manga.
- Longitud de la manga.
- Velocidad de corte de la manga.
- Presión de aire comprimido (soplado).
- Temperatura de agua helada.
- Velocidad de mandriles.
- Tiempo de enfriamiento.
- Posicionamiento del cortador.
- Estado de las cuchillas.
- Velocidad de transporte.
- Posicionamiento de parantes del transportador.
- Estado de tablillas del transportador.

KPOV

- Material libre de contaminantes.
- Peso del material en proporción adecuada.
- Manga centrada.
- Correcto espesor de la manga.
- Longitud adecuada de manga.
- Forma del frasco.
- Espesor de las paredes del frasco.
- Forma de la boca del frasco.
- Forma del fondo del frasco.
- Peso del frasco.
- Frasco sin rayaduras.
- Frasco libre de contaminación.



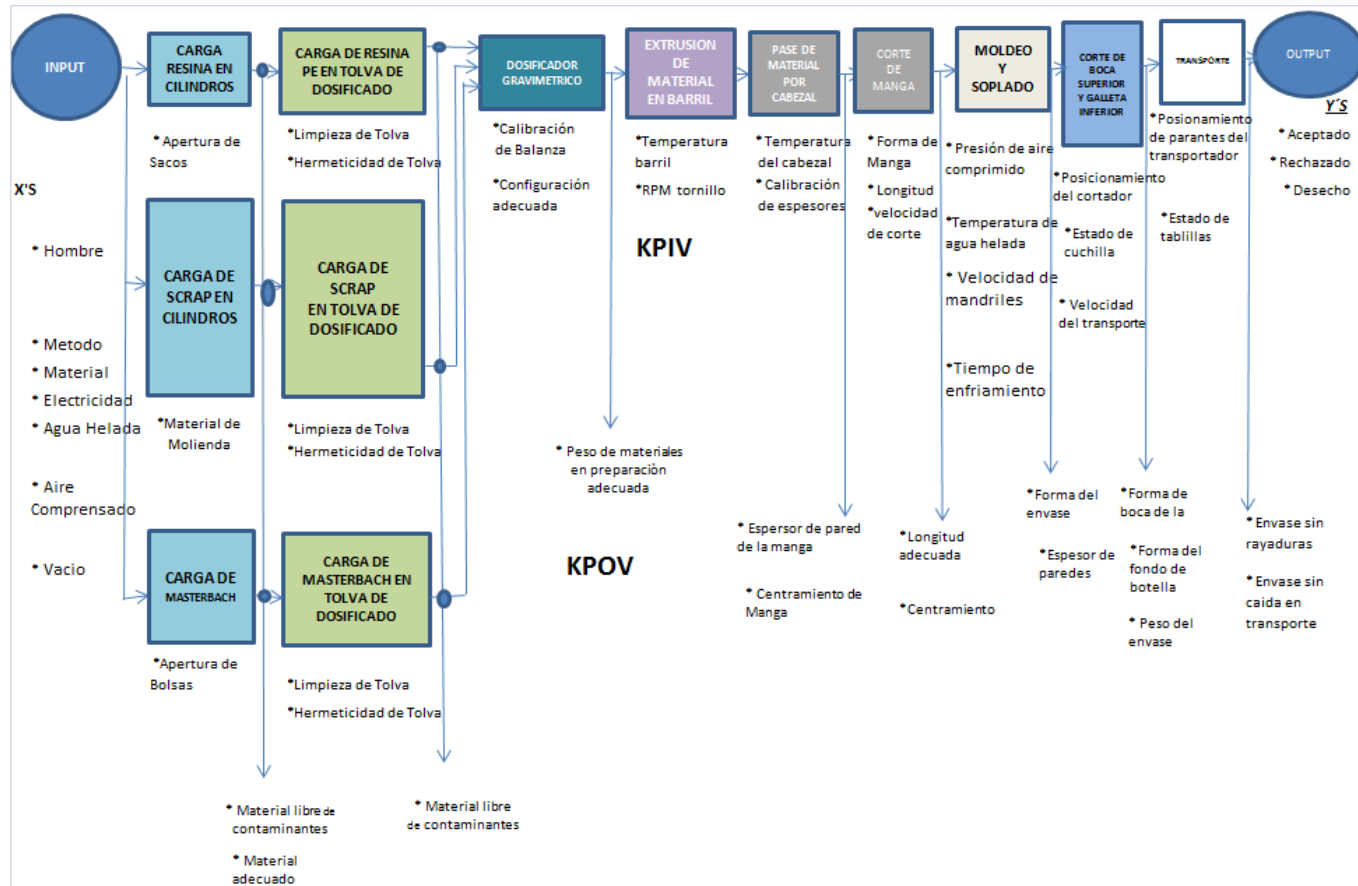


Figura 5.2. Mapa de proceso de la línea PE

Fuente: Elaboración propia

El corazón del proceso es la maquina sopladora, en su barril ingresan la resina, el scrap y el masterbatch para ser fundido y posteriormente soplado en una matriz que da la forma del frascos.

Como se puede apreciar en el mapa de procesos hay varios puntos críticos de control la mayoría de ellos cualitativos.

5.2.2. FMEA (ANALISIS DE FALLAS Y SUS DEFECTOS)

Se prepara un FMEA (Tablas 5.6, 5.7, 5.8) para analizar las posibles fallas y sus efectos en el producto final con la ayuda del personal de la línea de PE. Se establecieron reuniones en las que participaron el analista de PCP, los supervisores de producción y control de calidad y seis operarios destacados de la línea de PE; para discutir acerca de los problemas que existen dentro del proceso y que ocasionan rechazos en los frascos; en base a esa información se realizo un FMEA. Luego se les solicito que llenaran la tabla tomando en cuenta la valoración utilizada de 1 a 10 (tablas 5.3, 5.4, 5.5.). Las tablas fueron realizadas tomando como base la tabla teórica y el proceso que se realiza en la empresa. Lo que se presenta en las tablas 5.6, 5.7 y 5.8 es una compilación de las tablas llenadas.

La RPN (Risk Priority Number) debe calcularse como el producto de la severidad, la ocurrencia y la detección.

Se debe priorizar a los modos de falla con la Severidad más alta y a los modos de falla con RPN más alto.

Tabla 5.3. Criterio valoración de la Severidad

VALOR	SEVERIDAD	CRITERIO
10	Peligroso sin aviso	Cliente totalmente insatisfecho Posible perdida de cliente
9	Peligroso con aviso	Cliente totalmente insatisfecho posible perdida de cliente
8	Muy alto	Cliente muy insatisfecho
7	Alto	Cliente insatisfecho
6	Moderado	Cliente algo inconforme
5	Bajo	Cliente algo insatisfecho
4	Muy bajo	Cliente algo insatisfecho
3	Menor	Cliente algo molesto
2	Muy menor	Cliente no molesto
1	Ninguno	Sin efecto en el producto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.4. Criterio de valoración de la Ocurrencia

VALOR	OCURRENCIA	CRITERIO
10	1 en 2	(Muy alta) La falla es casi inevitable
9	1 en 3	(Muy alta) La falla es casi inevitable
8	1 en 8	(Alta) Este proceso o uno similar han fallado a menudo
7	1 en 30	(Alta) Este proceso o uno similar han fallado a menudo
6	1 en 80	(Moderada) Se ha tenido fallas ocasionales
5	1 en 400	(Moderada) Se ha tenido fallas ocasionales
4	1 en 2000	(Moderada) Se ha tenido fallas ocasionales
3	1 en 15000	(Baja) Falla aislada asociada con procesos similares
2	1 en 150000	(Muy Baja) Falla aislada asociada con este proceso o con un proceso casi identico
1	1 en 1500000	(Remota) Falla improbable,

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.5. Criterio de valoración de la Detección

VALOR	DETECCION	CRITERIO
10	Absoluta Incertidumbre	El defecto no se detecta facilmente en el proceso
9	Muy remota	No es facil detectar el defecto por metodos usuales o pruebas manuales
8	Remota	El defecto es una característica difícilmente identificable
7	Muy baja	El defecto es poco identificable
6	Baja	Es probable detectar la falla. El defecto es medianamente identificable
5	Moderada	Es probable detectar la falla. El defecto es facilmente identificable
4	Moderadamente alta	Es probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia
3	Alta	Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia
2	Muy alta	Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia
1	Casi cierta	El defecto es una característica funcionalmente obvia

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.6. FMEA línea de PE

PARTE DEL PROCESO	MODO DE FALLA	EFEECTO EN LA FALLA	SEV	CAUSAS POTENCIALES	OCC	CONTROLES	DET	RPN	ACCION RECOMENDADA
Dosificador gravimetrico	*Proporcion inadecuada de resina, scrap y masterbatch	*Frasco con tonalidad inadecuada *variacion de peso *Frasco quebradizo	9	*Mala calibracion y/o configuracion de balanza *Falla sistema pesaje	7	*Procedimiento establecido	7	441	*Charlas constantes al personal *Establecer Check List *Establecer mantenimiento preventivo
Carga de resina en cilindros	*Contaminacion resina	*Frascos con puntos negros	9	*Mal almacenaje de los sacos *Manipulacion inadecuada	8	*Procedimiento establecido	5	360	*Charlas constantes al personal *Establecer Check List
Extrusion material en barril	*Falla temperatura del cabezal	*variacion de espesor *puntos negros	9	* Problemas en resistencias o termocuplas	6	*Mantenimiento preventivo *control de temperaturas en hoja de control	6	324	*Revision del cumplimiento del correcto llenado de las hojas de control
	*Inapropiada calibracion de espesores	*variacion de espesor	9	*Calibracion de espesores erronea	6	*control de espesores en hoja de control	6	324	*Control en la calibracion de espesores *Capacitacion del personal
Carga de Scrap en Cilindros	*Contaminacion scrap por sacos sucios	*Frascos con puntos negros	9	*Mal almacenaje de los sacos *Manipulacion inadecuada *Molido de frasco contaminado con polvo	7	*Procedimiento establecido	5	315	*Charlas constantes al personal *Establecer Check List

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.7. FMEA línea de PE

PARTE DEL PROCESO	MODO DE FALLA	EFEECTO EN LA FALLA	SEV	CAUSAS POTENCIALES	OCC	CONTROLES	DET	RPN	ACCION RECOMENDADA
Moldeo y soplado	*Inadecuada regulacion de mandriles	* espesor del frasco *peso del frasco	8	*Mala regulacion	6	*verificacion de espesores *verificacion de peso	6	288	*Capatacion del personal *Revision del cumplimiento del correcto llenado de las hojas de control
Carga de Scrap en Cilindros	*Scrap contaminado con scrap otro color	*Frascos con vetas de otro color	8	resistencias o de los molinos	7	*Procedimiento establecido	5	280	*Charlas constantes al personal *Establecer Check List
Extrusion material en barril	*Falla temperatura del barril	*variacion de espesor *puntos negros	9	* Problemas en resistencias o termocuplas	5	*Mantenimiento preventivo *control de temperaturas en hoja de control	6	270	*Revision del cumplimiento del correcto llenado de las hojas de control
	*RPM del tornillo con variacion	*variacion de espesor *puntos negros	9	*problemas con variador de velocidad	5	*Mantenimiento preventivo *control de revoluciones en hoja de control	6	270	*Revision del cumplimiento del correcto llenado de las hojas de control
Moldeo y soplado	*Inadecuada temperatura de agua refrigerada	*diametro del frasco	9	*Falla Chiller	6	*Mantenimiento preventivo *control de temperaturas en hoja de control	5	270	*Control del buen funcionamiento del chiller *Revision del cumplimiento del correcto llenado de las hojas de control

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5.8. FMEA línea de PE

PARTE DEL PROCESO	MODO DE FALLA	EFFECTO EN LA FALLA	SEV	CAUSAS POTENCIALES	OCC	CONTROLES	DET	RPN	ACCION RECOMENDADA
Moldeo y soplado	*Inadecuada presion aire comprimido	*Forma del frasco	9	*Falla compresor	5	*Mantenimiento preventivo *control de presion en hojas de control	5	225	*Control del buen funcionamiento del compresor *Revision del cumplimiento del correcto llenado de las hojas de control
	*Inadecuado tiempo de enfriamiento	*diametro del frasco	8	*Mala regulacion	5	*control de tiempos en hojas de control	5	200	*Capacitacion del personal *Revision del cumplimiento del correcto llenado de las hojas de control
Carga de resina en tolva de dosificado	*Contaminacion de resina *Falta hermeticidad de la tolva	*Frascos con puntos negros *Frascos con puntos negros	7	*Falta o mala limpieza tolva *Rotura de empaques	5	*Procedimiento establecido	5	175	*Charlas constantes al personal *Establecer Check List
Transporte	*Inadecuada limpieza del transportador *Mal estado de los parantes del transportador	*Frascos sucios *Frascos arañados	7	*Fallas en el transportador	5	*Mantenimiento preventivo	5	175	*Control del buen estado del transportador
Corte de boca superior	*Mal corte boca del frasco	*forma boca del frasco	8	*Mala regulacion *Cuchillas sin filo	5	*Verificacion de los frascos *Verificacion del corte de las cuchillas	4	160	*Revision del cumplimiento del correcto llenado de las hojas de control

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. DIAGRAMA DE PARETTO.

Se realiza el registro de las principales causas del scrap en la línea de PE a lo largo de un mes en las diferentes maquinas sopladoras dando como resultado la figura 5.3.

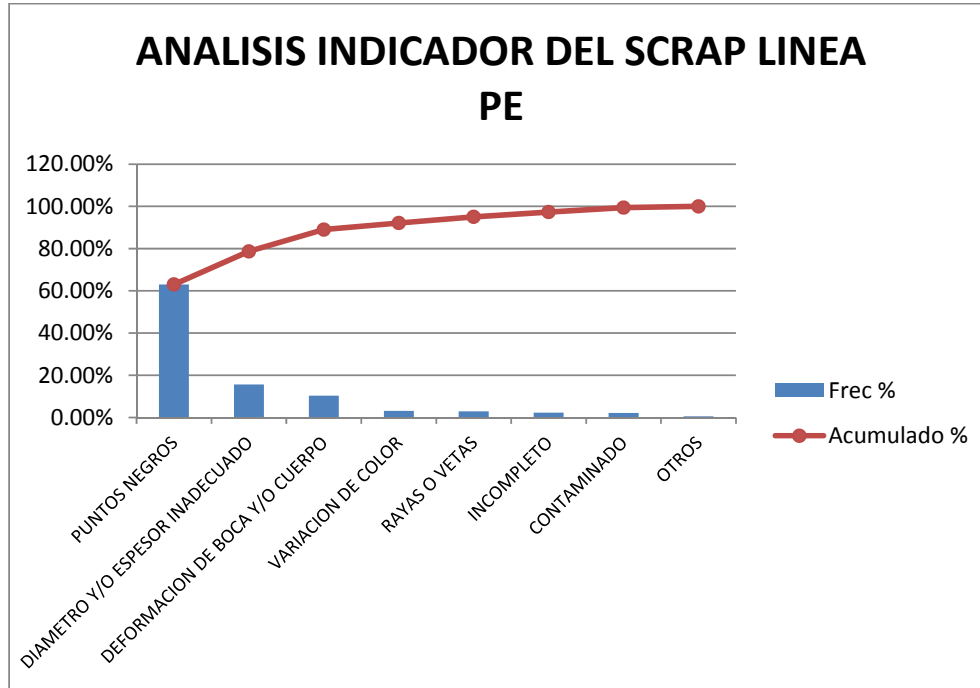


Figura 5.3. Pareto 80-20 motivos de rechazo

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que más del 60% de los frascos rechazados son por puntos negros, esto es importante tomarlo en cuenta cuando se esté desarrollando la etapa de análisis.

5.2.4. INDICADORES

5.2.4.1. Desarrollo de la Gráfica de Control P

El análisis de la capacidad de un proceso se refiere a la capacidad de un proceso por atributos se refleja en términos de producción defectuosa y los defectos por unidad de producción. Una herramienta principal para el estudio de la capacidad de un proceso en atributos es la grafica de control P.

Necesitamos saber si nuestro proceso es capaz, para nuestro caso ya que lo que analizamos es un atributo, el análisis de la capacidad binomial es una buena herramienta. En base a los datos de la tabla 5.9, se desarrolla una prueba de análisis de capacidad con ayuda del Minitab, esa es mostrada en la figura 5.4.

Tabla 5.9. Toma de datos de Scrap en las Líneas 1,4 y 9 (mismo producto)

LINEA	20 Mayo	21 Mayo	22 Mayo	11 Junio	12 Junio	13 Junio	3 Julio	4 Julio	5 Julio
LINEA 1	21	22.4	19.6	20.2	21.6	19	19.6	20.4	20.6
LINEA 4	19	16.8	19.1	17.5	17.2	20.2	20.1	18.4	23.5
LINEA 9	18.6	22.3	21	18.3	16.3	19.4	18.6	21.3	23

Fuente: Elaboración propia

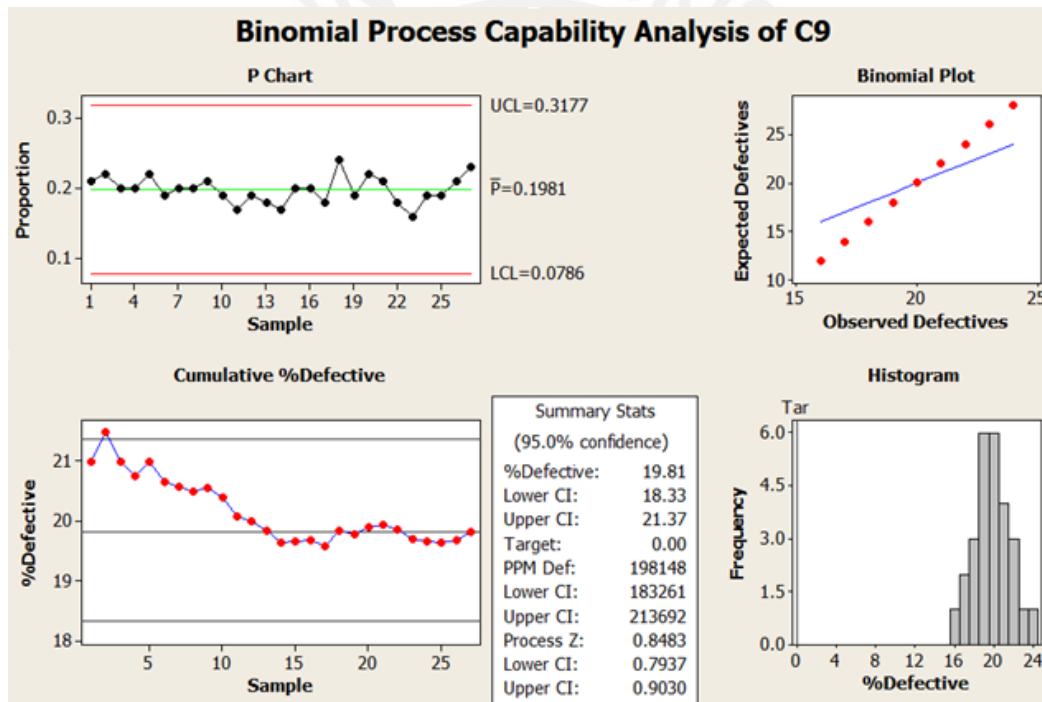


Figura 5.4. Análisis de la capacidad de un proceso (Binomial)

Fuente: Elaboración propia

Según lo mostrado en la Grafica P, el proceso se encuentra bajo control estadístico, es decir es capaz; que es una de las exigencias para calcular los índices de capacidad, además cumple con las cuatro reglas que serán revisadas en el capítulo 5.5.2.

El histograma nos muestra como los porcentajes de scrap obtenido en la línea PE se han distribuido en los muestreos que se ha realizado.

La grafica de porcentaje de productos defectuosos acumulado, nos ayuda a verificar si las muestras tomadas son las suficientes para el análisis, en nuestro caso al final de las muestras tomadas se observa que no hay una dispersión marcada y tiende a acercarse al valor de 19,8.

En la grafica de distribución binomial podemos observar que no hay una tendencia binomial marcada ya que los datos no están sobre la línea, sin embargo existe una tendencia.

5.2.4.2. Calculo de la Tasa de Calidad.

Es la cantidad de productos buenos, es decir que cumplen con las especificaciones de calidad, comparada versus el total de la cantidad de productos producidos. Una baja tasa de calidad reflejaría un aumento del scrap aun cuando estos puedan ser reprocesados.

Se recomienda que en las hojas de producción se anote la cantidad de scrap producto de un arranque de máquina y la cantidad de scrap obtenido en el funcionamiento normal de la máquina, y dentro de este grupo se debe anotar los productos rechazados por puntos negros, productos fuera de color y productos fuera de especificaciones como peso, espesor de paredes, etc; esto para analizar más de cerca el desperdicio materia de este proyecto.

$$TC = (\text{PRODUCCION NETA} / \text{PRODUCCION TOTAL}) \times 100\%$$

Según datos del 2014, se tiene una tasa de calidad del 79%, un indicador bastante malo ya que se quiere llegar al 95%.

5.2.4.3. Calculo del Nivel Sigma

El nivel de calidad Sigma del proceso, nos indica el número de desviaciones típicas que el proceso puede aceptar para que el producto sea conforme; cuando más grande sea, menos productos no conformes tendrá el proceso.

La tabla 5.9 es una tabla equivalente que nos da una idea del nivel de calidad del proceso.

Tabla 5.10. Equivalencia del nivel Six Sigma con el DPMO

NIVEL EN SIGMA	DPMO	RENDIMIENTO
6	3.40	99.9997 %
5	233.00	99.98 %
4	6.210,00	99.3 %
3	66.807,00	93.3 %
2	308.537,00	69.15 %
1	690.000,00	30.85 %
0	933.200,00	6.68 %

Fuente: www.pdcahome.com

Actualmente la línea de PE tiene un nivel sigma de 2.79 como se puede apreciar en el cálculo del nivel sigma a largo plazo:

- i. $DPU=21/100=0.21$
- ii. $Y_{RT}=e^{-DPU}$
 $Y_{RT}=e^{-0,21}=0.8106$
- iii. $Y_{NORM}=Y_{RT}$
 $Y_{NORM}=0.8106=0.9003$
- iv. $PPM=-\ln(Y_{NORM})\times 10^6$
 $PPM=-\ln(0,9003)\times 10^6$
 $PPM=105000.0001$
- v. $0.8406+29.37-2,221 \ln(PPM)$ (Breyfogle, 1999)
 $0.8406+29.37-2,221 \ln(105000.0001)$
 2.79 (Nivel Sigma)

5.3. DESARROLLO DE LA FASE ANALISIS

En esta etapa el equipo Six Sigma evalúa los datos históricos haciendo uso de las herramientas estadísticas para un mejor análisis.

5.3.1. PRUEBA DE HIPOTESIS

A lo largo de tiempo se toman muestras del scrap producido a largo del tiempo en 3 diferentes líneas, de un mismo tipo de producto (Frasco tipo A). En la tabla 6.8 se muestran los datos obtenidos.

Estos datos nos ayudaran para establecer una prueba de hipótesis para determinar si existe alguna diferencia significativa del scrap obtenido en las diversas líneas. En la tabla 5.11. se muestra el promedio y la desviación estándar obtenido en la toma de muestras.

Tabla 5.11. Promedio y desviación estándar obtenida

LÍNEA	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR
LÍNEA 1	20.49	1.064
LÍNEA 4	19.09	2.047
LÍNEA 9	19.87	2.170

Fuente: Elaboración propia

Se establecerán dos pruebas de hipótesis en la que se analizara el promedio de Scrap de la línea 1 con el de la línea 4 y el de la línea 1 con la línea 9.

Prueba de Hipótesis 1:

μ_1 : Scrap promedio línea 1

μ_2 : Scrap promedio línea 4

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$

Consideramos un nivel de significación $\alpha = 0.05$

Por lo tanto la región crítica es $z < -1.96$ y $z > 1.96$

Calculando el valor estadístico de prueba:

$$z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{\sqrt{(\sigma_1^2/n_1) + (\sigma_2^2/n_2)}}$$

$$z = (20.49 - 19.87) - 0 / \sqrt{((1.064^2/9) + (2.170^2/9))} = 0.77$$

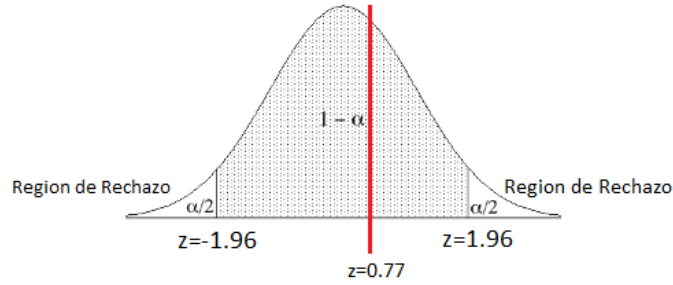


Figura 5.5. Grafico 1 Prueba estadística Z

Fuente: Elaboración propia

El estadístico de prueba z cae en la región de aceptación, es decir no hay suficiente evidencia para rechazar H_0 .

Hallamos el error tipo II, para lo cual tomamos los datos de la Línea 1 de la tabla 6.11.

$$H_0: \mu_1 = 20.49$$

$$H_1: \mu_1 \neq 20.49$$

Consideramos un nivel de significación $\alpha = 0.05$

$$z \leq -1.96$$

$$z \geq 1.96$$

$$(\bar{X} - 20.49) / (1.064 / \sqrt{9}) \leq -1.96$$

$$(\bar{X} - 20.49) / (1.064 / \sqrt{9}) \geq 1.96$$

$$\bar{X} \leq 19.79$$

$$\bar{X} \geq 21.185$$

$$\beta = P(19.79 \leq \bar{X} \leq 21.185 \text{ cuando } \mu = 21.49)$$

$$z_1 = (19.79 - 21.49) / (1.064 / \sqrt{9}) = -4.7932$$

$$z_2 = (21.185 - 21.49) / (1.064 / \sqrt{9}) = -0.8599$$

$$\beta = P(-4.7932 \leq z \leq -0.8599)$$

$$= P(z \leq -0.8599) - P(z \leq -4.7932)$$

$$= 0.1948 - 0$$

$$= 0.1948$$

La probabilidad de que no pueda rechazarse la hipótesis nula falsa es de 0.1948.

Ahora hallamos el error tipo II, para lo cual tomamos los datos de la Línea 4 de la tabla 6.11.

$$H_0: \mu_1 = 19.09$$

$$H_1: \mu_1 \neq 19.09$$

Consideramos un nivel de significación $\alpha = 0.05$

$$z \leq -1.96$$

$$z \geq 1.96$$

$$(\bar{X} - 19.09) / (2.047 / \sqrt{9}) \leq -1.96$$

$$(\bar{X} - 19.09) / (2.047 / \sqrt{9}) \geq 1.96$$

$$\bar{X} \leq 17.75$$

$$\bar{X} \geq 20.43$$

$$\beta = P(17.75 \leq \bar{X} \leq 20.43 \text{ cuando } \mu = 20.09)$$

$$z_1 = (17.75 - 20.09) / (2.047 / \sqrt{9}) = -3.4294$$

$$z_2 = (20.43 - 20.09) / (2.047 / \sqrt{9}) = 0.4982$$

$$\beta = P(-3.4294 \leq z \leq 0.4982)$$

$$= P(z \leq 0.4982) + P(z \geq -3.4294)$$

$$= 0.3121 - 0.00302$$

$$= 0.31251$$

La probabilidad de que no pueda rechazarse la hipótesis nula falsa es de 0.31251.

Prueba de Hipótesis 2:

μ_1 : Scrap promedio línea 1

μ_2 : Scrap promedio línea 9

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Consideramos un nivel de significación $\alpha = 0.05$

Por lo tanto la región crítica es $z < -1.96$ y $z > 1.96$

Calculando el valor estadístico de prueba:

$$z = (20.49 - 19.09) - 0 / \sqrt{((1.064^2 / 9) + (2.047^2 / 9))} = 1.82$$

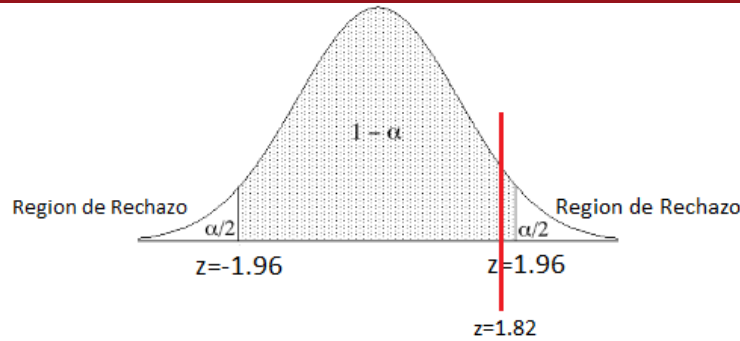


Figura 5.6. Grafico 2 Prueba estadística Z

Fuente: Elaboración propia

El estadístico de prueba z , al igual que la prueba anterior cae en la región de aceptación, es decir no hay suficiente evidencia para rechazar H_0 .

Podemos concluir que no hay diferencia en el scrap de un mismo tipo de frasco obtenido en las diferentes líneas.

Hallamos el error tipo II, para lo cual tomamos los datos de la Línea 9 de la tabla 6.11.

$$H_0: \mu_1 = 19.87$$

$$H_1: \mu_1 \neq 19.87$$

Consideramos un nivel de significación $\alpha = 0.05$

$$z \leq -1.96$$

$$z \geq 1.96$$

$$(\bar{X} - 19.87) / (2.17/\sqrt{9}) \leq -1.96$$

$$(\bar{X} - 19.87) / (2.17/\sqrt{9}) \geq 1.96$$

$$\bar{X} \leq 18.45$$

$$\bar{X} \geq 21.29$$

$$\beta = P(18.45 \leq \bar{X} \leq 21.29 \text{ cuando } \mu = 20.87)$$

$$z_1 = (18.45 - 20.87) / (2.17/\sqrt{9}) = -3.3456$$

$$z_2 = (21.29 - 20.87) / (2.17/\sqrt{9}) = 0.5806$$

$$\beta = P(-3.3456 \leq z \leq 0.5806)$$

$$= P(z \leq 0.5806) + P(z \geq -3.3456)$$

$$= 0.281 - 0.000404$$

$$= 0.28104$$

La probabilidad de que no pueda rechazarse la hipótesis nula falsa es de 0.28104.

Establecemos dos pruebas de hipótesis para determinar si existe alguna variación significativa entre el scrap producido entre uno y otro tipo de frasco en una misma línea.

Se toman datos del scrap obtenido en la línea 1 en diferentes momentos, estos son mostrados en la tabla 5.12.

Tabla 5.12. Scrap promedio de diferentes tipos de frascos en una misma línea

	20 Mayo	21 Mayo	22 Mayo	11 Junio	12 Junio	13 Junio	3 Julio	4 Julio	PROMEDIO	DESV.EST.
FRASCO TIPO A	21	22.4	19.6	20.2	21.6	19	19.6	20.4	20.48	1.14
	2 Junio	3 Junio	4 Junio	5 Junio	14 Julio	15 Julio	16 Julio	17 Julio	PROMEDIO	DESV.EST.
FRASCO TIPO B	16.5	17.8	20	15.9	16.3	21.3	14.1	15.2	17.14	2.44
	5 Mayo	6 Mayo	7 Mayo	8 Mayo	9 Mayo	24 Junio	25 Junio	26 Junio	PROMEDIO	DESV.EST.
FRASCO TIPO C	17.4	19.8	22.8	13.6	16.2	14.6	21.4	17	17.85	3.23

Fuente: Elaboración propia

Prueba de Hipótesis 3:

μ_1 : Scrap promedio frasco tipo A en la línea 1

μ_2 : Scrap promedio frasco tipo B en la línea 1

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Consideramos un nivel de significación $\alpha = 0.05$

Por lo tanto la región crítica es $z < -1.96$ y $z > 1.96$

Calculando el valor estadístico de prueba:

$$z = (20.49 - 17.85) / 0 \sqrt{((1.14^2/8) + (3.23^2/8))} = 3.51$$

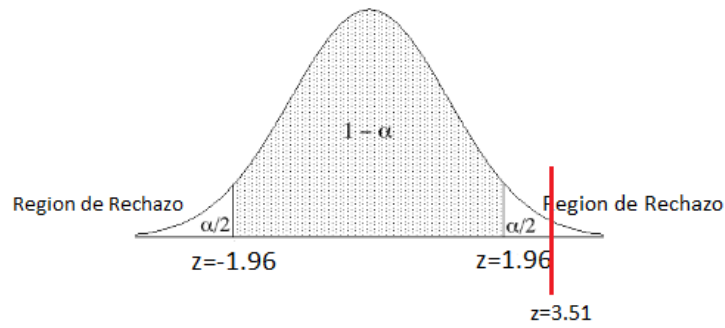


Figura 5.7. Grafico 3 Prueba estadística Z

Fuente: Elaboración propia

Prueba de Hipótesis 4:

μ_1 : Scrap promedio frasco tipo A en la línea 1

μ_2 : Scrap promedio frasco tipo C en la línea 1

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Consideramos un nivel de significación $\alpha = 0.05$

Por lo tanto la región crítica es $z < -1.96$ y $z > 1.96$

Calculando el valor estadístico de prueba:

$$z = \frac{20.49 - 17.14}{0} / \sqrt{((1.14^2/8) + (2.44^2/8))} = 2.17$$

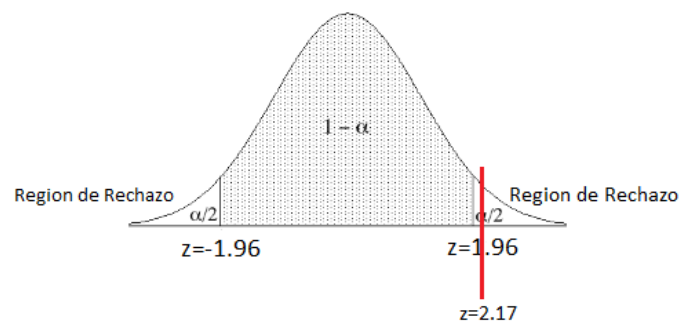


Figura 5.8. Grafico 4 Prueba estadística Z

Fuente: Elaboración propia

El estadístico de prueba z, al igual que la prueba anterior cae en la región de rechazo, al lado derecho de la cola es decir rechazamos la hipótesis nula de igualdad en el scrap generado entre los diferentes tipos de frascos.

Esto se explica ya que el frasco tipo A, el más crítico, tiene más parámetros de control que el resto de los frascos.

5.3.2. DIAGRAMAS DE ISHIKAWA

Tomando en cuenta el análisis de Pareto 80-20 realizado en el capítulo anterior, se desarrollan tres diagramas de Ishikawa para analizar las causas de los principales motivos por lo que es rechazado un frasco, en base a entrevistas y reuniones con los supervisores y operarios destacados de línea.

Diagrama de Ishikawa 1

Para analizar las causas por la que un frasco es rechazado por tener puntos negros, se prepara un diagrama de Ishikawa (figura 5.9).

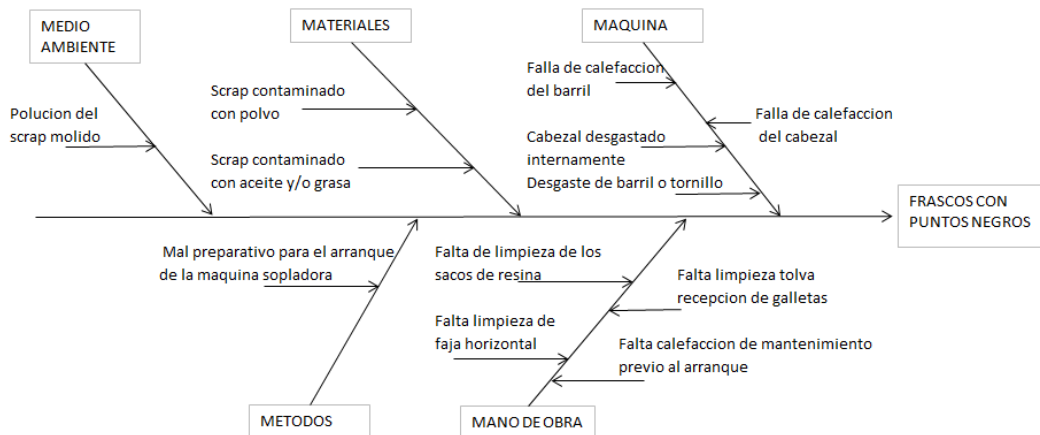


Figura 5.9. Diagrama Causa-Efecto (Puntos negros)

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de Ishikawa 2

Para analizar las causas por la que un frasco es rechazado por tener el diámetro y/o el espesor de sus paredes, se prepara un diagrama de Ishikawa (figura 5.10).

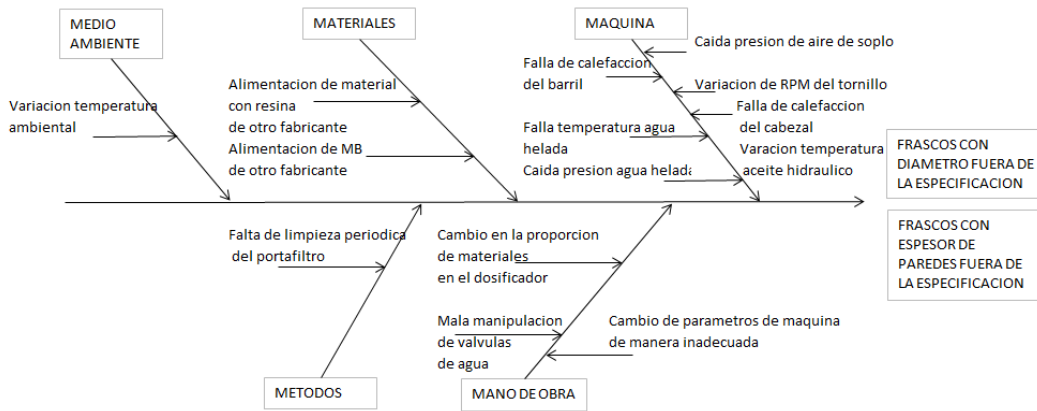


Figura 5.10. Diagrama Causa-Efecto (Diámetro y espesor fuera de especificación)

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de Ishikawa 3

Para analizar las causas por la que un frasco es rechazado por tener la boca y/o el cuerpo deformado, se prepara un diagrama de Ishikawa (figura 5.11).

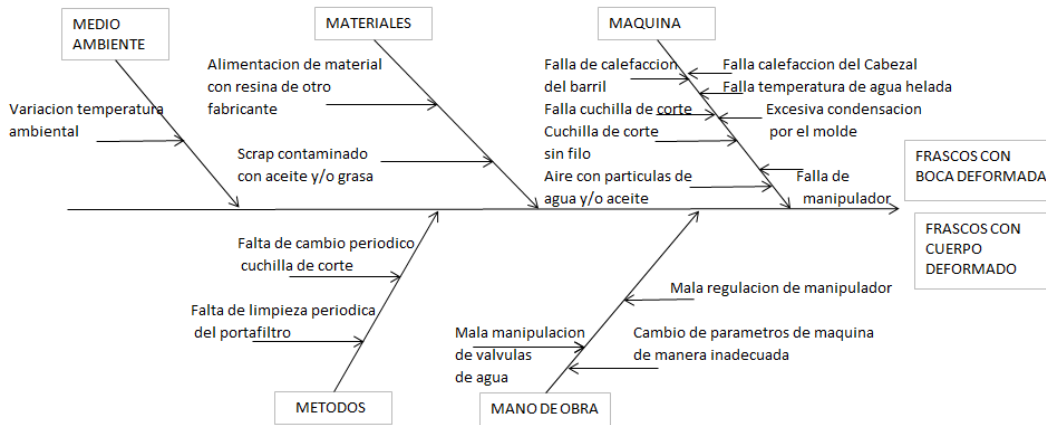


Figura 5.11. Diagrama Causa-Efecto (Frasco con boca y/o cuerpo deformado)

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar existen muchas causas que pueden provocar más de un efecto en el producto final.

5.3.2.1 Causas ocasionadas por “Maquina”.

- a. Falla de calefacción del barril: Se refiere a alguna falla que pueda darse en una resistencia eléctrica o termocupla (sensor de temperatura) que provoca sobrecalentamiento de la resina que está siendo extruida en el barril, la resina sobrecalentada fluye con más facilidad provocando variación de espesores. Un material sobrecalentado también ocasiona que el producto final se contraiga mas provocando variación de diámetro, también puede provocar degradación del material obteniéndose puntos negros en el producto final.
- b. Falla de calefacción del Cabezal: Con una falla en el cabezal se tienen los mismos efectos que con la falla de la calefacción del barril; pero el efecto es mayor.
- c. Desgaste de barril y/o tornillo: Esto ocasiona que el material no fluya en forma constante, mayor tiempo de residencia del material provoca degradación obteniéndose en el producto final puntos negros.
- d. Cabezal con desgaste interno: los conductos internos del cabezal al tener desgaste impiden la fluidez del material provocando degradación, el producto sale con puntos negros.
- e. Falla temperatura del agua helada: El agua helada refrigera el molde en donde es soplado el frasco; un cambio de temperatura puede provocar una mayor o menor contracción del frasco, es decir un cambio de diámetro del frasco
- f. Caída presión del agua helada: Una caída de presión y caudal del agua helada ocasiona una variación en la contracción del frasco.
- g. Caída de presión del aire de soplo: El aire de soplo hace que el frasco se adhiera a las paredes internas del molde dándole forma; un problema en ese parámetro puede causar variación de dimensiones en el frasco.
- h. Variación de la RPM del tornillo: Esto ocasiona que la cantidad de plástico fundido varíe; es decir cambian os parámetros dimensionales del frasco.
- i. Variación de la temperatura del aceite hidráulico: Una variación de la temperatura del aceite que utiliza el sistema hidráulico ocasiona

variación en los movimientos de los cilindros hidráulicos. Las regulaciones de espesor son afectadas.

5.3.2.2. Causas ocasionadas por “Mano de Obra”.

- a. Falta de limpieza de los sacos de resina: La resina se puede combinar con el polvo externo del saco cuando es echada en los cilindros. Esta combinación es extruida, y como el polvo no se funde se obtienen frascos con puntos negros.
- b. Falta limpieza de tolva de recepción de galletas: La galletas, es decir el material en exceso de la extrusión es molido en línea, sin embargo el scrap molido puede combinarse con agentes externos como polvo, agua, aceite; que traerían como consecuencia puntos negros en el producto final.
- c. Falta de limpieza de faja horizontal: El efecto es el mismo que por la falta de limpieza de la tolva de recepción de galletas.
- d. Falta calefacción de mantenimiento previo al arranque: Cuando la extrusora deja de trabajar es necesario colocar el barril y el cabezal a una temperatura de mantenimiento, esto hace que el plástico esté listo para fluir; si la calefacción es apagada provocaría degradación del material, mostrándose en el producto final puntos negros.
- e. Cambio de proporción de materiales en el dosificador: Una alteración en el porcentaje de la receta de resinas, scrap y MB altera las propiedades del fundido del plástico; por lo que el material se puede volver más o menos fluido provocando variación de espesores y del diámetro.
- f. Mala manipulación de las válvulas de ingreso de agua: Un cambio en la refrigeración del molde, provoca un cambio en la contracción del plástico, es decir, varían las dimensiones del producto final. También puede provocar que el pin soplador dañe las paredes internas de la vela afectando la boca del frasco.
- g. Cambio de parámetros de Maquina de manera inadecuada: Los parámetros deben ser cambiados con criterio y siempre midiendo el resultado o la variación provocada en el frasco.

- h. Mala regulación del manipulador: el manipulador es un sistema neumático que posiciona los frascos a la faja transportadora, una mala regulación puede provocar que los frascos se caigan continuamente o se deformen en el cuerpo.

5.3.2.3. Causas ocasionadas por “Materiales”.

- a. Scrap contaminado con polvo, aceite o grasa: La resina en combinación con este scrap contaminado causan puntos negros en el producto final por adherencia en las paredes del frasco.
- b. Alimentación de material con resina o MB de otro fabricante: Las resinas y el MB tienen diferentes propiedades de fundido por lo que las propiedades del producto final se ven afectadas. El pin de soplado puede afectar las paredes internas de la boca del frasco al no entrar con libertad ante una disminución del diámetro de la vela.

5.3.2.4. Causas ocasionadas por “Métodos”.

- a. Mal preparativo para el arranque de la maquina Sopladora: Es importante que la maquina sopladora haya estado en calefacción de mantenimiento previo al arranque; así como también la realización de una inspección previa para poder comprobar el correcto funcionamiento del sistema hidráulico y la limpieza y orden en la maquina y equipos anexos.
- b. Falta de limpieza periódica del portafiltro: El portafiltro está ubicado entre el barril y el cabezal y sirve para retener algunas impurezas sin embargo si está muy saturado restringe el paso libre del plástico fundido ocasionando que circule en el cabezal menos plástico; es decir disminución de espesor y diámetro del producto final.

5.3.2.5. Causas ocasionadas por “Medio Ambiente”.

- a. Polución del Scrap molido: El Scrap molido de una línea puede contaminar a otra si es no se hermetiza debidamente; este scrap contamina al otro debido que puede tener diferentes propiedades que el otro así como también el color.

- b. Variación de temperatura ambiental: Puede provocar cambio en la contracción de producto final, además la boca del frasco puede ser dañada por el pin de soplado a causa de la contracción.

El control de los parámetros de proceso es fundamental ya que de ésta forma se puede detectar alguna desviación que este ocasionando productos no conformes.

5.3.3. PRUEBA DE HIPOTESIS DE LA MEJORA PLANTEADA.

En coordinación con la gerencia del área se toma como estudio de mejora la línea 1; se establecen reuniones con los operadores y supervisores de dicha línea de los tres turnos, se les da un alcance de la metodología y se establece un plan de acción que no son más que controles a tener en cuenta el proceso productivo en base a los FMEA y a los diagramas causa-efecto realizados; en la tabla 5.13. se puede apreciar una muestra tomada en las fechas indicadas.

Tabla 5.13. Muestras del porcentaje de Scrap obtenido después de la implementación de medidas de control.

DESPUES DE LA IMPLEMENTACION

LINEA 1 PE		3 Set.	4 Set.	5 Set.	10 Set.	11 Set.	12 Set.	15 Set.	16 Set.	17 Set.
PRODUCCION FRASCO "A"										
BUENOS	BUENOS	426	420	425	423	412	416	424	419	429
	PUNTOS NEGROS	51	55	52	51	58	53	48	54	50
MALOS	DIAMETRO Y/O ESPESOR INADECUADO	9	7	10	9	8	7	5	11	9
	DEFORMACION DE BOCA Y/O CUERPO	4	6	5	7	6	5	4	5	3
	VARIACION DE COLOR	5	4	3	4	6	6	6	4	4
	RAYAS O VETAS	2	3	2	3	4	4	6	4	2
	INCOMPLETO	1	4	1	1	4	5	3	1	2
	CONTAMINADO	1	1	2	1	1	2	3	1	1
	OTROS	1	0	0	1	1	2	1	1	0
	PORCENTAJE DE SCRAP		14.8	16	15	15.4	17.6	16.8	15.2	16.2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.14., se muestra un cuadro comparativo con 9 muestras tomadas antes y después de establecer unos controles en el proceso.

Tabla 5.14. Tabla comparativa antes/después de la implementación

Antes/Despues de la implementacion

	20 Mayo	21 Mayo	22 Mayo	11 Junio	12 Junio	13 Junio	3 Julio	4 Julio	5 Julio	PROMEDIO	DESV.EST.
ANTES	21	22.4	19.6	20.2	21.6	19	19.6	20.4	20.6	20.49	1.06
	3 Set.	4 Set.	5 Set.	10 Set.	11 Set.	12 Set.	15 Set.	16 Set.	17 Set.	PROMEDIO	DESV.EST.
DESPUES	14.8	16	15	15.4	17.6	16.8	15.2	16.2	14.2	15.69	1.06

Fuente: Elaboración propia

Desarrollamos una prueba de hipótesis para comprobar si existe un cambio significativo.

Prueba de Hipótesis 5:

μ_1 : Scrap promedio antes de la implementación

μ_2 : Scrap promedio después de la implementación

$H_0: \mu_1 \leq \mu_2$; $\mu_1 - \mu_2 \leq 0$

$H_1: \mu_1 > \mu_2$; $\mu_1 - \mu_2 > 0$

Consideramos un nivel de significación $\alpha = 0.05$

Por lo tanto la región crítica es $z < 1.645$

Calculando el valor estadístico de prueba:

$$z = (20.49 - 15.69) - 0 / \sqrt{((1.06^2/9) + (1.06^2/9))} = 9.57$$

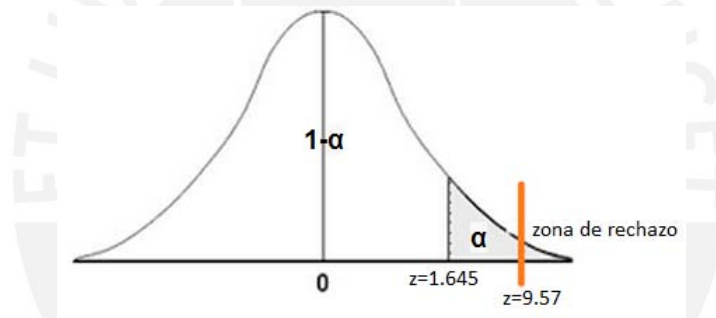


Figura 5.12. Grafico 5 Prueba estadística Z

Fuente: Elaboración propia

El estadístico de prueba z , cae en la región de rechazo, al lado derecho de la cola es decir rechazamos la hipótesis nula de que el promedio de scrap después de la implementación es igual o mayor que el generado después de la implementación; es decir se aprecia una mejoría en la reducción del scrap.

5.4. DESARROLLO DE LA FASE MEJORAR

En base a lo desarrollado en el capítulo 5.2 y 5.3 se recomienda establecer un monitoreo periódico a algunos parámetros de proceso y establecer una serie de procedimientos para que reducir en gran medida los frascos rechazados.

5.4.1. EL FMEA Y EL ANALISIS CAUSA-EFECTO COMO INSTRUMENTO DE MEJORA

En el FMEA y el análisis Causa Efecto se pudo evidenciar una serie de causas por las cuales puede producirse un frasco fuera de especificaciones por lo que sustentadas en el análisis realizado se recomienda llenar los siguientes Check List en la frecuencia indicada, además cada Check List los cuales deberán estar a cargo de un operador de la línea.

Tabla 5.15. Check List de Almacén de Materia Prima de Planta Frascos

CHECK LIST DE ALMACEN DE MATERIA PRIMA- FRASCOS										
ACTIVIDADES A REALIZAR	FREC.	CHECK LIST	ENERO				FEBRERO			
			OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:
1 SACOS DE RESINA SOBRE PARIHUELAS	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
2 SACOS LIBRES DE POLVO	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
3 SACOS CORRECTAMENTE IDENTIFICADOS	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
4 SACOS EN UBICACIÓN CORRECTA	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
5 VERIFICAR LIMPIEZA DEL AREA	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
OBSERVACIONES:										

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.16. Check List 1 de Sala de Molienda

CHECK LIST DE SALA MOLIENTA- FRASCOS										
ACTIVIDADES A REALIZAR	FREC.	CHECK LIST	ENERO				FEBRERO			
			OPERARIO RESPONSABLE	OPERARIO RESPONSABLE	OPERARIO RESPONSABLE	OPERARIO RESPONSABLE	OPERARIO RESPONSABLE	OPERARIO RESPONSABLE	OPERARIO RESPONSABLE	OPERARIO RESPONSABLE
1 SACOS DE SCRAP SOBRE PARIHUELAS	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
2 SACOS LIBRES DE POLVO	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
3 SACOS CORRECTAMENTE IDENTIFICADOS (COLOR-TIPO DE RESINA)	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
4 SACOS EN UBICACIÓN CORRECTA	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
5 TOMA MUESTRA DE SCRAP Y VERIFICAR QUE NO ESTA CONTAMINADO	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
6 VERIFICAR HERMETICIDAD EN LOS MOLINOS	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
7 VERIFICACION ESTADO DE CUCHILLAS DE LOS MOLINOS	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
8 VERIFICAR LIMPIEZA DEL AREA	S	<input checked="" type="checkbox"/>								
OBSERVACIONES:										
VERIFICAR SIEMPRE QUE LOS FRASCOS A MOLER NO ESTEN CONTAMINADOS										
SIEMPRE LIMPIAR MOLINO AL CAMBIO DE COLOR										

Fuente: Elaboración propia

Con el Check List de las tablas 5.15 y 5.16 se busca que el material esté libre de contaminantes, así como también que se puedan producir problemas por mala rotulación.

Tabla 5.17. Check List 2 de Sala de Molienda

CHECK LIST CARGA DE MATERIAL											
LINEA PE 1 <input type="checkbox"/>		LINEA PE 2 <input type="checkbox"/>									
LINEA PE 3 <input type="checkbox"/>		LINEA PE 4 <input type="checkbox"/>									
LINEA PE 5 <input type="checkbox"/>											
ACTIVIDADES A REALIZAR	FREC.	CHECK LIST	FECHA:				FECHA:				
			TURNO: 1				TURNO: 2				
			OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	
			8 AM	11 AM	2 PM	5 PM	8 PM	11 PM	2 AM	5 AM	
1	D	✓									
2	D	✓									
3	D	✓									
4	D	✓									
5	D	✓									
6	D	✓									
7	D	✓									
8	D	✓									
9	D	✓									
10	S	✓									
10	S	✓									
OBSERVACIONES:											
SE VERIFICARA LA HERMETICIDAD DE LA TOLVA A TODOS LOS LUNES EN EL PRIMER TURNO											

Fuente: Elaboración propia

Con el Check List de la tabla 5.17, además de buscar que se evite la contaminación de la materia prima; se asegura el correcto funcionamiento de la balanza del cargador gravimétrico realizando la comprobación y calibración de la misma.

Tabla 5.18. Formato de toma de datos del producto

TOMA DE DATOS DEL PRODUCTO														
LINEA PE 1 <input type="checkbox"/>		LINEA PE 2 <input type="checkbox"/>		TIPO DE FRASCO:										
LINEA PE 3 <input type="checkbox"/>		LINEA PE 4 <input type="checkbox"/>		RANGO DE PESO:										
LINEA PE 5 <input type="checkbox"/>				ESPESOR DEL FRASCO:										
ACTIVIDADES A REALIZAR	FREC.	CHECK LIST	FECHA:				TURNO: 1		FECHA:				TURNO: 2	
			OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	OPERARIO RESPONSABLE:	
			8 AM	11 AM	2 PM	5 PM	8 PM	11 PM	2 AM	5 AM				
1	D	✓												
2	D	✓												
3	D	✓												
4	D	✓												
5	D													
6	D													
7	D													
8	D													
	D													
OBSERVACIONES:														

Fuente: Elaboración propia

Lo que se busca con el formato de la tabla 5.18. es detectar si se están obteniendo productos fuera de las especificaciones, por lo que se recomienda tomar una muestra cada tres horas como mínimo; esto deberá realizarse muy a parte de las inspecciones realizadas por Control de Calidad.

Tabla 5.19. Tarjeta de moldeo

TARJETA DE MODELO														
MAQUINA _____							FECHA _____							
FRASCO _____							PESO _____							
MATERIAL _____														
COLOR _____														
	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2
TEMPERATURAS (°C)														
ZONA 1														
ZONA 2														
ZONA 3														
ZONA 4														
ZONA 5														
ZONA 6														
ZONA 7														
ZONA 8														
ZONA 9														
ZONA 10														
ACEITE HIDRAULICO														
AGUA HELADA														
PRESSION DEL AIRE (bar)														
PRESSION DE AIRE DE SOPLADO														
TIEMPOS (seg)														
RET. CIERRE DE MESA														
REI. REFORCESO MESA														
RET. PRE SOPLO														
TIEMPO DE SOPLO														
TIEMPO DE DESCARGA														
RETARDO AIRE DE APOYO														
TIEMPO AIRE APOYO														
RET. DESCENSO DE MADRIL														
RET. FRENADO DE MADRIL														
TIEMPO FRENADO DE MADRIL														
TIEMPO AIRE ANILLO MADRIL														
TIEMPO PRE-RECUO 1														
TIEMPO PRE-RECUO 2														
RETARDO REBARBADOR INFERIOR														
RET. REBARBADOR SUPERIOR														
TIEMPO REFRIG.REBAR. SUP. INF.														
TIEMPO REFRIGERA. DE MOLDE														
RETARDO SUBIDA EXTRUSORA														
TIEMPO SUBIDA EXTRUSORA														
POSICION MESA (%)														
VELOCIDAD DE FRENADO														
POSICION DE SUBIDA DE MESA														
FIN DE APERTURA														
FIN DE CIERRE														
INICIO DE FRENADO DE CIERRE														
FIN FRENADO INICIO APERTU														
CURSO FRENADO INICIO APERTURA														
CURSO FRENADO FIN DE APERTURA														

Fuente: Elaboración propia

El formato mostrado en la tabla 5.19 es para monitorear los parámetros de control que pueden desviarse por algún problema en maquina o con algún suministro, la idea es detectar en forma temprana algún cambio de variables que puedan ocasionar que se obtengan productos rechazados.

5.4.2. POKA JOKE

El Poka Joke que quiere decir “a prueba de error”, es un método no estadístico para la detección de algún producto no conforme utilizando aparatos especiales o matrices donde se tenga el diámetro de la base y del labio del frasco, en donde el operario tome una muestra del frasco y la contraste con el patrón. “La idea básica es detener el proceso donde ocurra un defecto, definir las causas y prevenir aquellas que son recurrentes” (Guajardo, 1996).

También es conveniente tener una muestra de un frasco con todos sus atributos correctos: color, tamaño, forma a manera de muestra en cada línea de producción para que el operador pueda realizar comparaciones y detectar algún problema, es decir se crea un lenguaje visual común para distinguir rápidamente lo normal de lo que no es. Esto ayuda a tomar la decisión al pie de maquina (Guajardo, 1996).

En la figura 5.13. Tenemos una muestra de un Poka Joke recomendado para el monitoreo en línea del diámetro de la boca, el valor “d” depende del tipo de frasco.

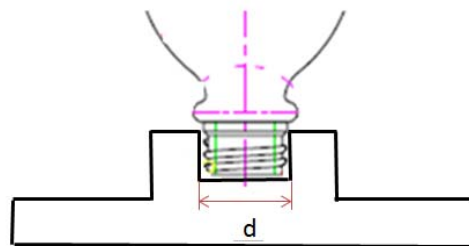


Figura 5.13. Poka Yoke para pruebas de diámetro de boca

Fuente: Elaboración propia

El operador deberá tomar unos frascos de la línea y dejar reposar por 10 minutos para que termine de contraerse, luego deberá colocar el patrón en el diámetro de la base y en la boca del frasco, así como también la rosca.

Si el diámetro del frasco es mayor del establecido, no ingresara en el patrón; y si es menor quedara muy suelto.

5.4.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Según Gonzales (2010) el mantenimiento preventivo es el efectuado de acuerdo con un plan establecido, según el tiempo o el número de unidades fabricadas. El propósito es evitar las fallas manteniendo las maquinas y equipos en completa operación, la principal característica de ese tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar fallas en su fase inicial y por ende corregirlas en el momento oportuno.

Se deberá establecer un mantenimiento de inspección periódica realizada por los operarios de línea y un plan de mantenimiento preventivo para la maquina sopladora en base al manual y el historial de fallas.

En la tabla 5.20, se muestra la hoja de inspección y lubricación que deberá ser llenada por el operador de línea, esta hoja deberá estar en la carpeta de control de la línea.

Tabla 5.20. Formato de inspección y lubricación de maquina sopladora

ACTIVIDADES	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN DE INSUMOS	USAR	CHECK LIST	Octubre					
					RESPONSABLE:	RESPONSABLE:	RESPONSABLE:	RESPONSABLE:		
					5-oct	12-oct	19-oct	26-oct		
DÍAS										
1	Revisar fugas de aceite, aire y agua (INFORMAR)	7	Inspección visual	<input checked="" type="checkbox"/>						
2	Revisar el nivel de aceite del Tanque Reservorio (NIVEL DEL INDICADOR MENOS DE 3/4 RELLENAR)	7	SHELL TELLUS 46	<input checked="" type="checkbox"/>						
3	Revisar el nivel de aceite y purgar el agua de la Unidad de Mantenimiento (NIVEL DEL INDICADOR / RELLENAR)	7	SHELL TELLUS 68	<input checked="" type="checkbox"/>						
4	Revisar el nivel de aceite del Sistema de Lubricación Centralizado (NIVEL DEL INDICADOR MENOS DE 3/4)	7	SHELL TONNA 68	<input checked="" type="checkbox"/>						
5	Engrasar soporte del Pistón Hidraulico - Mov. Sube y baja de la mesa (4 PTOS. DE LUBRICACION)	7	TEXACO Multipropósito	<input checked="" type="checkbox"/>						
6	Engrasar soporte de amortiguación (4 PTOS. DE LUBRICACION)	7	TEXACO Multipropósito	<input checked="" type="checkbox"/>						
7	Engrasar guías del Parison (2 PTOS. DE LUBRICACION)	15	TEXACO Multipropósito	<input checked="" type="checkbox"/>						
8	Engrasar guías de cuchilla caliente (2 PTOS. DE LUBRICACION)	7	TEXACO Multipropósito	<input checked="" type="checkbox"/>						
9	Engrasar soporte de Movimiento Mesa - Parte Delantera (4 PTOS. DE LUBRICACION)	7	TEXACO Multipropósito	<input checked="" type="checkbox"/>						
10	Engrasar soporte de Movimiento Mesa - Parte Posterior (4 PTOS. DE LUBRICACION)	7	TEXACO Multipropósito	<input checked="" type="checkbox"/>						
11	Engrasar articulación de mesa (6 PTOS. DE LUBRICACION)	7	TEXACO Multipropósito	<input checked="" type="checkbox"/>						
12	Engrasar Chumaceras Tipo Pared - Faja Transp. Horizontal (3 PTOS. DE LUBRICACION)	7	TEXACO Multipropósito	<input checked="" type="checkbox"/>						
13	Engrasar Chumaceras Tipo Pared - Faja Transp. Inclinada (5 PTOS. DE LUBRICACION)	7	TEXACO Multipropósito	<input checked="" type="checkbox"/>						
14	Engrasar Chumaceras Tipo Pared - Faja Transp. Frascos (5 PTOS. DE LUBRICACION)	7	TEXACO Multipropósito	<input checked="" type="checkbox"/>						
15	Limpiar la Máquina (INTERNA / EXTERNA)	7	Aire / Gasolina Trapo	<input checked="" type="checkbox"/>						

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.20.tenemos el plan de mantenimiento preventivo propuesto a realizar por el área de mantenimiento, este fue desarrollado con el apoyo del personal de esa área y tomando en cuenta los puntos de mayor tendencia a una falla.



Tabla 5.21. Plan de Mantenimiento preventivo para la Maquina Sopladora

		Frecuencias	
		A 4000 hrs	B 8000 hrs
GENERAL			
1	Limpiar equipo en general	X	X
2	Inspeccionar conexiones en general	X	X
3	Inspeccionar pernos-tuercas (ajustar si es necesario)	X	X
4	Inspeccionar estado de la cabina	X	X
5	Inspeccionar líneas de agua	X	X
SISTEMA MOTRIZ (EXTRUSORA)			
6	Revisar fajas del reductor (Cambiar si es necesario)	X	X
7	Inspeccionar ventilador del motor principal	X	X
8	Inspeccionar base de fijación del motor eléctrico	X	X
9	Cambiar aceite en reductor	X	X
10	Evaluar / Cambiar rodamiento del motor eléctrico		X
SISTEMA NEUMÁTICO			
11	Cambiar kit de mtto. Pistón cuchilla caliente		X
12	Cambiar kit de mtto. Pistón de abre y cierre del manipulador		X
13	Cambiar kit de mtto. Pistón de avance y retrocede del manipulador		X
SISTEMA DE ARTICULACIÓN			
14	Cambiar rodamientos de las guías de la mesa izquierda y derecha		X
15	Cambiar bobinas si es necesario		X
16	Inspeccionar los asientos de los rodamientos		X
17	Mantenimiento de válvula amortiguamiento de sube y baja mesa		X
18	Inspeccionar líneas del sistema de lubricación automática	X	X
SISTEMA HIDRÁULICO			
19	Cambiar rodamiento del motor eléctrico de bomba hidráulica		X
20	Inspeccionar estado de conservación de bomba hidráulica alta y baja		X
21	Revisar conexiones y mangueras hidráulicas	X	X
22	Cambiar aceite hidráulico (si es necesario)		X
23	Cambiar filtro de aceite de retorno HDA (518054)		X
24	Limpiar filtro de retorno de aceite hidráulico (según indicador)	X	X
25	Limpiar filtro respiradero		X
26	Mantenimiento de válvulas reguladoras de velocidad sube, baja, cierre y abre mesa		X
27	Cambiar kit de mtto. Pistón sube y baja de mesa		X
28	Cambiar kit de mtto. Pistón abre y cierre de mesa		X
29	Cambiar kit de mtto. Pistón rebarbador		X
30	Cambiar kit de mtto. Pistón del parizon		X
31	Verificar presión de nitrógeno del acumulador (< 90 BAR cambiar)		X
32	Mantenimiento general del intercambiador de calor		
SISTEMA ELECTRICO			
33	Revisar conectores eléctricos - ventiladores 1, 2 y 3	X	X
34	Revisar termocuplas y resistencias - zona barril	X	X
35	Revisar termocuplas y resistencias - zona cabezal	X	X
36	Mantenimiento de variador de velocidad	X	X
37	Mantenimiento de tablero eléctrico	X	X
38	Mantenimiento de controladores	X	X
39	Inspeccionar los pulsadores del tablero	X	X
40	Inspeccionar / Ajustar terminales eléctricos	X	X
41	Inspeccionar llave térmica	X	X
42	Revisar conectores del PLC	X	X
43	Inspeccionar armario del tablero	X	X
44	Mantenimiento y ajuste de terminales del transformador		X

Fuente: Elaboración propia

5.4.4 CAPACITACION DEL PERSONAL

La capacitación es fundamental en todo proceso productivo, por lo que es necesario que todo el personal conozca del proceso y de los parámetros a controlar así como también de las propiedades y características que deben tener los frascos que se producen.

La metodología Six Sigma también deberá ser explicada y aplicada en las diversas líneas de producción. Todo personal nuevo deberá pasar por unas charlas de capacitación obligatorias y deberá implementarse una reunión de cinco minutos antes del cambio de turno en donde el supervisor de línea deberá tocar temas a cerca del proceso productivo y algunos tópicos de la metodología; el fin también es involucrar al personal en el proceso de mejora y comprometerlos al cambio.

5.5. DESARROLLO DE LA FASE CONTROLAR

Para controlar la mejora implantada y continúe a lo largo del tiempo se recomienda tomar algunas medidas.

5.5.1. CONTROL DE LAS HOJAS DE INSPECCION

El Supervisor de turno tiene que verificar el correcto llenado de las hojas a diario, deben ser firmadas y archivadas; cualquier error o falta de llenado de las hojas se tomara acción inmediata y se conversara con los responsables de esta falta. El continuo control del llenado de los formatos hará que se cree un buen habito en los operadores de la maquina.

5.5.2. GRAFICO DE CONTROL P

Es necesario para controlar si nuestro proceso es capaz, es decir si están dentro de los limites de control y como lo que estamos analizando es un atributo realizamos un análisis de la capacidad Binomial.

La grafica de control P nos indica si los defectos están dentro de los límites de control; cuando una proporción de muestra defectuosa queda fuera de los límites de control el analista deberá buscar la causa asignable, aunque existe la posibilidad de que una proporción fuera de control se haya producido de forma

fortuita. Cuando menos sea la variabilidad, menos frecuente se dará una producción defectuosa. Con el Minitab se pueden realizar 4 pruebas para causas asignables; cada prueba detecta un patrón específico en los datos.

Prueba 1: Mas de un punto esa alejado 3 desviaciones estándar del centro.

Prueba 2: Nueve puntos están en un mismo lado de la línea central.

Prueba 3: Seis puntos están incrementando o decreciendo.

Prueba 4: Catorce puntos se alternan arriba y abajo.

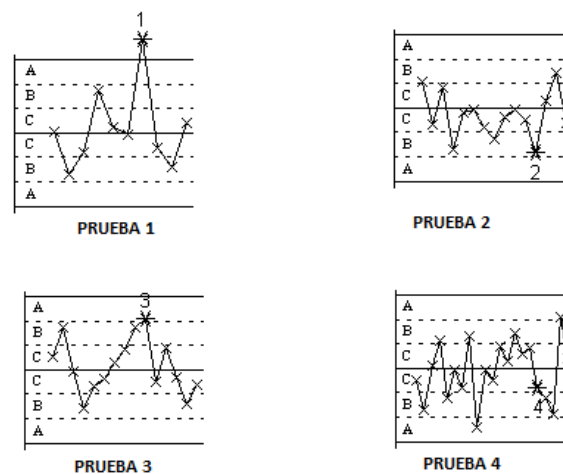


Figura 5.14. Graficas analizadas por el Minitab

Fuente: Minitab 16

5.5.3 TASA DE CALIDAD

La Tasa de Calidad está representada por la formula:

$$TC = (\text{PRODUCCION NETA} / \text{PRODUCCION TOTAL}) \times 100\%$$

Esto no es más que el porcentaje de productos buenos producidos, es decir que cumplen con las especificaciones en un horizonte de tiempo.

La meta propuesta es llegar a una tasa de calidad del 95%; actualmente se mide el porcentaje de scrap producido; pero se recomienda utilizar la TC ya que este indicador deberá formar parte de la EGP (Eficiencia global de planta) que engloba también la Tasa de Disponibilidad y la Tasa de Rendimiento.

El indicador EGP parte del supuesto de una planta ideal en la que los equipos operarían un 100% del tiempo al 100% de la capacidad y con una tasa de producción de buena calidad de 100%, sabemos que en la vida real esto es muy raro; en este indicador la alta dirección puede visualizar la mejora de la eficiencia global en la línea PE debido a la mejora de la Tasa de Calidad. Este cambio nos daría mejor visión para detectar las falencias en el sistema productivo y plantear nuevos proyectos.

EFICIENCIA GLOBAL DE PLANTA=DISPONIBILIDAD x RENDIMIENTO x TASA DE CALIDAD

Aunque no es el fin de la presente tesis se recomienda tomar en cuenta medir la EGP de las líneas de producción.

La TC deberá ser medida cada turno, este es un control mas preciso del scrap obtenido para un mejor análisis.

5.5.4 NIVEL SIX SIGMA

El nivel de calidad Sigma del proceso, nos indica el número de desviaciones típicas que el proceso puede aceptar para que el producto sea conforme; cuando más grande sea, menos productos no conformes tendrá el proceso. Este indicador deberá estar presente y deberá ser medido y publicado mensualmente.

Aunque se puede utilizar una calculadora Six Sigma que se encuentran en varias páginas web, en la tabla 5.22 se muestra una tabla de conversión del nivel Six Sigma teniendo como dato los DPMO (defectos por millón de oportunidades).

Tabla 5.22. Tabla Nivel Six Sigma

Sigma	DPMO	YIELD	Sigma	DPMO	YIELD
6	3.4	99.99966%	2.9	80,757	91.9%
5.9	5.4	99.99946%	2.8	96,801	90.3%
5.8	8.5	99.99915%	2.7	115,070	88.5%
5.7	13	99.99866%	2.6	135,666	86.4%
5.6	21	99.9979%	2.5	158,655	84.1%
5.5	32	99.9968%	2.4	184,060	81.6%
5.4	48	99.9952%	2.3	211,855	78.8%
5.3	72	99.9928%	2.2	241,964	75.8%
5.2	108	99.9892%	2.1	274,253	72.6%
5.1	159	99.984%	2	308,538	69.1%
5	233	99.977%	1.9	344,578	65.5%
4.9	337	99.966%	1.8	382,089	61.8%
4.8	483	99.952%	1.7	420,740	57.9%
4.7	687	99.931%	1.6	460,172	54.0%
4.6	968	99.90%	1.5	500,000	50.0%
4.5	1,350	99.87%	1.4	539,828	46.0%
4.4	1,866	99.81%	1.3	579,260	42.1%
4.3	2,555	99.74%	1.2	617,911	38.2%
4.2	3,467	99.65%	1.1	655,422	34.5%
4.1	4,661	99.53%	1	691,462	30.9%
4	6,210	99.38%	0.9	725,747	27.4%
3.9	8,198	99.18%	0.8	758,036	24.2%
3.8	10,724	98.9%	0.7	788,145	21.2%
3.7	13,903	98.6%	0.6	815,940	18.4%
3.6	17,864	98.2%	0.5	841,345	15.9%
3.5	22,750	97.7%	0.4	864,334	13.6%
3.4	28,716	97.1%	0.3	884,930	11.5%
3.3	35,930	96.4%	0.2	903,199	9.7%
3.2	44,565	95.5%	0.1	919,243	8.1%
3.1	54,799	94.5%			
3	66,807	93.3%			

Fuente: www.icicm.com

6. EVALUACION ECONOMICA

En la tabla 6.1 tenemos los costos que la empresa deberá invertir para la implementación de la metodología en la línea de PE.

Tabla 6.1. Costos para la aplicación del Six Sigma

DESCRIPCION	Cantidad	PU (US \$)	Inversion	
			Total (US \$)	Mes
ASESORIA SIX SIGMA	1	50000	50000	0
ENTRENAMIENTO SPONSOR	1	500	500	1
ENTRENAMIENTO CHAMPION	2	1000	2000	1
ENTRENAMIENTO LIDER	1	2000	2000	1
ENTRENAMIENTO BLACK BELT	1	10000	10000	1,2,3,4
ENTRENAMIENTO GREEN BELT	3	4000	12000	1,2
CAPACITACION OPERARIOS	20	80	1600	1
PROMOCION DE LA METODOLOGIA	1	1000	1000	1,2
TOTAL:			79100	

Fuente: Elaboración propia

Toda la capacitación deberá ser realizada por personal externo; excepto la de los operarios de línea la cual deberá ser realizada por el Asesor y los Green Belt.

En el campo de promoción de la metodología hace referencia a costos de polos, gorras.

En el capítulo 4 se indicó que se tienen la empresa tiene pérdidas de hasta US \$700 000 anuales; para el análisis de factibilidad económica lo traducimos a ingresos; en la tabla 6.2 se muestra el análisis de factibilidad del proyecto, se puede apreciar que el proyecto es altamente rentable.

Tabla 6.2. Flujo Neto del proyecto

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingreso (\$)		140000	105000	84000	70000	56000	56000	35000	35000	29750	29750	29750	29750
Egreso (\$)	50000	15100	9000	2500	2500	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo neto	-50000	124900	96000	81500	67500	56000	56000	35000	35000	29750	29750	29750	29750
TIR	228%												
VAN	\$260,879.84												

Fuente: Elaboración propia

Determinando el COK:

Identificamos un grupo de empresas similares que operen en el mercado americano y que hayan desarrollado un proyecto, luego tomamos los siguientes datos:

- El β de las acciones (β_{equity}).
- El ratio de apalancamiento (D/E) a precios de mercado
- La tasas de impuesto a la renta a la que esa sujeta la empresa similar.

Obtenemos los datos indicados en la tabla 6.3.

Tabla 6.3. Datos económico empresas americanas

Empresas	A	B	C
β apalancada (β_{equity})	1.75	1.8	1.95
Deuda(valor mdo.)	40	35	50
Capital(equity)(valor mdo.)	100	120	150
Tasa de impuesto a la renta	35%	35%	35%

Fuente: <http://blogs.gestion.pe>

Ahora utilizamos la ecuación de Hamada:

$$\beta_{\mu} = \frac{1}{1 + \left(\frac{D}{E} \times (1 - Tax) \right)} \times \beta_{equity}$$

Desarrollando el desapalancamiento del β de la empresa A:

$$\beta_{\mu} = [1 / (1 + ((40/100) \times (1 - 35\%)))] \times 1.75$$

$$\beta_{\mu} = 1.39$$

De forma similar lo realizamos en las empresas B y C. y obtenemos:

Tabla 6.4 β_{μ} empresas americanas

Empresas	β_{μ}
A	1.39
B	1.51
C	1.6
β_{μ} industria	1.5

Fuente: <http://blogs.gestion.pe>

Ahora tenemos que apalancar el β desapalancado ($\beta\mu$) con la estructura D/E y la tasa de impuesto a la renta del proyecto; es decir hallaremos el β equity del proyecto (β_{proy}).

$$\beta_{proy.} = \left(1 + \frac{D}{E} \times (1-Tax) \right) \times \beta_{\mu}$$

En el caso analizado la estructura D/E es 1 y la tasa de impuesto a la renta es del 28%

$$\beta_{proy.} = [(1+1 \times (1-28\%))] \times 1.50$$

$$\beta_{proy.} = 2.58$$

Lo reemplazamos en la Ecuación CAPM:

$$COK_{proy} = r_f + \beta_{proy} \times [r_m - r_f]$$

Donde:

r_f : 1,24% que es el rendimiento de un bono del tesoro en EEUU al día de hoy.

$[r_m - r_f]$ Exceso de rentabilidad del portafolio del mercado; tomaremos los rendimientos geométricos promedios del mercado y de la tasa libre de riesgo en el plazo más largo posible, es decir r_m será igual a 12.38% y r_f tomará el valor de 5.21%. Los datos indicados son tomados de las tablas 6.5 y 6.6.

Tabla 6.5. Rendimiento emisiones del tesoro EEUU (2014)

Instrumento	Retorno anual
Notas del tesoro	1.10%
Bonos del tesoro (1 año)	1.24%
Bonos del tesoro (5 años)	2.26%
Bonos del tesoro (10 años)	3.35%
Bonos del tesoro (30 años)	4.39%

Fuente: <http://blogs.gestion.pe>

Tabla 6.6. Resultados históricos rendimiento EEUU

Promedio geométrico	Acciones	Notas del tesoro	Bonos del tesoro
1928-2010	12.38%	3.97%	5.21%
1969-2010	12.63%	6.22%	7.39%
1990-2010	16.27%	4.85%	8.63%

Fuente: <http://blogs.gestion.pe>

Reemplazando datos:

$$COK_{\text{proy.}} = 1,24\% + 2.58 \times (12.38\% - 5.21\%)$$

$$COK_{\text{proy.}} = 19.74\%$$

Este rendimiento será lo que exija un inversionista americano, como el proyecto será ejecutado en el Perú hay que ajustarlo al riesgo de invertir en el país. Hay que sumar el Riesgo País; que viene a ser el diferencial de tasa de rendimiento que existe entre los bonos emitidos por el Perú en dólares y los bonos del tesoro americano, para el caso propuesto es de 2.25%; entonces el COK proy será de 21,99%.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Es necesaria la implementación de la metodología Six Sigma en la Línea de polietileno para la reducción del scrap, según análisis y pruebas realizadas se espera que los primeros meses el impacto en la reducción del scrap sea mayor ya que muchos de las causas encontradas se debe a falta de procedimientos y capacitación del personal operario. Todo hace indicar que es un proyecto de alto impacto y bajo esfuerzo.
- Es necesario el compromiso y apoyo de la alta dirección para el éxito del proyecto; el gerente general tiene una fuerte influencia para la reestructuración de la empresa y para el cambio de actitud del personal hacia la metodología Six Sigma. El involucramiento y compromiso de la alta dirección hacia la metodología es fundamental ya que habrá el apoyo necesario en recursos.
- El entrenamiento del personal en los principios, uso de herramientas así como las técnicas a utilizar son importantes ya que el personal contara con el conocimiento adecuado para potenciar el desarrollo de la metodología teniéndose mayor posibilidad que el proyecto six sigma sea exitoso. El conocimiento de la metodología ayuda al involucramiento del personal con su desarrollo.
- Los proyectos Six Sigma no están disociados de los objetivos, de la visión de la empresa; la aplicación de la metodología nos dirige hacia el objetivo de la empresa reduciendo la variabilidad y por ende la cantidad de scrap producido, reduciendo el reproceso y la baja productividad.
- Se debe ofrecer incentivos al personal por el cumplimiento de metas específicas, esto ayuda en la motivación del personal y a compenetrarse más con el éxito del desarrollo de la metodología.

- Se ha evidenciado una gran pérdida de recursos en la línea de PE por la generación de scrap, siguiendo la metodología se pueden obtener importantes ahorros para la empresa.
- A parte de obtener ahorros significativos por la reducción del scrap, se obtendrán mejoras en la productividad y en los tiempos de entrega a los clientes.
- Esta metodología provoca un cambio en la forma de pensar del personal de planta, en la forma de ver el proceso; toma importancia el seguimiento de instrucciones bien precisas y la preocupación de no producir scrap.
- Las mejoras realizadas deben mantenerse en el tiempo por lo que es importante controlarlas.

7.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda extender la aplicación de la metodología a la línea de Polipropileno y PET; en donde se tienen también problemas de generación de scrap. Según el ahorro (capítulo 4) deberían ser los próximos proyectos Six Sigma.
- La contratación de un asesor en la metodología es fundamental ya que la empresa no ha realizado anteriormente un proyecto Six Sigma.
- Es importante el apoyo de los expertos del proceso para encontrar las causas de la generación del scrap; esto no solo quiere decir personal del mando medio sino también a nivel operativo.
- Se recomienda la contratación de un Analista de PCP ya que el actual deberá dedicarse al 100% en el proyecto.
- La comunicación entre el equipo de trabajo es importante, por lo que deberá definirse claramente los roles de cada miembro y un plan de comunicaciones y reuniones.

BIBLIOGRAFIA

- Abramowich, E. (2005). *Six sigma for growth: driving profitable top line results*. New York: Wiley.
- Alvarez, J.M et al. (2006). *Introducción a la Calidad: Aproximación a los sistemas de gestión y herramientas de calidad*. España: Ideas propias.
- Antony, J. & Banuelas, R. (2002). Key Ingredients for the effective implementation of six sigma program. *Measuring Business Excellence*, 6 (4), 20-27.
- Atehortua, F. (2005). *Gestión y auditoria de la calidad para las organizaciones públicas*. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Banuelas, R. & Antony, J. (2002). Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations. *The TQM Magazine*, 14 (2), 92-99.
- Berenson, M. et al. (2006). *Estadística para la educación*. México: Pearson
- Breyfogle III, F. W. (2003). *Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods*. Hoboken: Wiley.
- Burgos, F. et al. (1994). *Manual normas técnicas para la calidad de bienes y servicios*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carot, V. (1998). *Control Estadístico de la Calidad*. Valencia: Servicio de Publicaciones.
- Crosby, P. B. (1990). *Hablemos de Calidad*. México: McGraw-Hill.
- Crosby, P. B. (2001). *La Calidad no Cuesta. El Arte de Cerciorarse de la Calidad*. México: Compañía Editorial Continental.
- Cuatrecasas, L. (2005). *Gestión Integral de la Calidad: Implantación, control y certificación*. Barcelona: Ediciones Gestión 2000.
- Chang, R.Y. & Niedzwiecki, J.G (1999). *Las herramientas para la mejora continua de la calidad*. Buenos Aires: Ediciones Granica.
- Chowdhury, S. (2001). *El poder del six sigma*. Madrid: McGraw-Hill.
- Deming, E. (1989). *Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis*. Madrid: Díaz de Santos.
- De Feo, J. & Barnard, W. (2004). *Más allá de Seis Sigma*. Mexico: McGraw-Hill.
- Eckes, G. (2003). *El Six Sigma para todos*. Colombia: Norma.
- Enrick, N. L. (1989). *Control de Calidad y beneficio empresarial*. México: Díaz de Santos.
- Evans, J. R. & Lindsay, W. M. (2008). *Administración y control de calidad*. México: Cengage Learning.
- Fellers, G. (1997). *Porque las cosas salen mal: La filosofía Deming en doce sesiones de diez minutos*. Mexico: Panorama.

- Galgano, A. (1995). *Los siete instrumentos de la calidad total*. Madrid: Díaz de Santos.
- Gitlow, H. & Levine, D. (2005). *Six Sigma for Green Belts and Champions*. Estados Unidos: Pearson Prentice Hall.
- Gonzales, F. (2010). *Mantenimiento Industrial Avanzado*. Madrid: Fundación Confemetal.
- Gómez, F. et al. (2003). *Seis Sigma*. Madrid: Fundación Confemetal.
- Grupo Kaizen S.A (s.f.). Seis sigma. Recuperado el 31 de Octubre del 2010, de <http://www.grupokaizen.com>
- Gopalakrishnan, N. (2012). *Simplified six sigma. Methodology, Tools and Implementation*. Nueva Dheli: PHI Learning private limited.
- Guajardo, E. (2003) *Administración de la Calidad Total*. México: Pax.
- Gupta, P. (2005). *The six sigma performance hand book: a statistical guide to optimizing results*. Estados Unidos: McGraw- Hill.
- Harris, B. (2002). *Transactional six sigma and lean servicing*. Estados Unidos: St. Lucie Press.
- Icicm, Mediciones Seis Sigma (Hernández & Reyes). Recuperado el 15 de Setiembre del 2015, de <http://www.icicm.com>
- Ishikawa, K. (1986). *¿Qué es control de calidad?* Bogotá: Norma.
- I Six Sigma, Quality Resources for Achieving Six Sigma Results (s.f.). Six Sigma. Recuperado el 10 de Noviembre del 2010, de <http://www.isixsigma.com>
- Juran, J. M. (1996). *La Calidad por el diseño*. Madrid: Díaz de Santos.
- Juran, J. M. (1990). *Juran y el liderazgo para la Calidad*. Madrid: Díaz de Santos.
- Kalpakjian, S. & Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson Educación.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L.P. (2000). *Administración de Operaciones. Estrategia y Análisis*. México: Pearson Prentice Hall.
- McCarty, T. & Fisher, S. (2000). Six Sigma: it is not what you think. *Journal of Corporate Real Estate*, 9 (3), 187-196.
- McCarty, T. et al. (2005). *The Six Sigma black belt handbook*. Estados Unidos: McGraw-Hill
- Means, J. (2005). *Facilitating the project lifecycle: skills and tools to accelerate for project managers, facilitators and six sigma projects teams*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Menéndez, F. et al. (2007). *Formación superior en prevención de riesgos laborales*. Valladolid: Lex Nova.
- Miranda, L. (2006). *Seis Sigma: Guía para principiantes*. México: Panorama.
- Miranda, F. et al. (2007) *Introducción a la Gestión de Calidad*. Madrid: Delta Publicaciones.

- Montgomery, D. & Runger, G. (2008). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. México: Limusa.
- Motorola University, Six Sigma in action (s.f.). Seis Sigma. Recuperado el 13 de Noviembre del 2010, de <http://www.motorola.com/mu>
- Pande, P. S. (2004). *Las claves prácticas del seis sigma: una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos*. Madrid: McGraw-Hill.
- Plaza, A. (2009). *Apuntes teóricos y ejercicios de aplicación de gestión del mantenimiento industrial*. México: Norma.
- Pyzdek, T. (2003). *The six sigma handbook: revised and expanded*. Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Pyzdek, T. & Keller, P. (2009). *The six sigma handbook: the complete guide for green belts, and managers at all levels*. Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Raisinghani, M.S. et al. (2005). Six sigma: concepts, tools and applications. *Industrial Management & Data Systems*, 106 (4), 491-505.
- Ranjan, N. (2004). Six Sigma: myths and realities. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21 (6), 683-690.
- Saderra, L. (1993). *El secreto de la calidad japonesa: el diseño de experimentos clásico*. Barcelona: Marcombo.
- Sandholm, L. (2001). La Calidad y la Cultura Nacionales. En: J.M. Juran, y & A.B. Godfrey (eds.), (2001). *Manual de Calidad*. Vol. II. (5ta. ed., pp. 37.1-37.36). España: McGraw-Hill.
- Serra, J.A. & Bugeño, G. (2004). *Gestión de calidad en las pymes agroalimentarias*. Valencia: Editorial de La UPV.
- Shankar, R. (2009). *Process improvement using six sigma*. Wisconsin: ASQ Quality Press.
- Tovar, A. & Mota, A. (2007). *CPMIC: Un modelo de administración por procesos*. México: Panorama.
- Walton, M. (2004). *El método Deming en la práctica*. Colombia: Norma.
- Wilson, G. (2005). *Six sigma and the product development cycle*. Norfolk: Elsevier.
- Yang, K. (2003). *Design for six sigma: a roadmap for product development*. New York: McGraw-Hill.