

# UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Estudios con Reconocimiento de Validez Oficial por Decreto Presidencial  
Del 3 de abril de 1981



LA VERDAD  
NOS HARÁ LIBRES

UNIVERSIDAD  
IBEROAMERICANA

CIUDAD DE MÉXICO ®

“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SEIS SIGMA EN LA  
INDUSTRIA DE ALIMENTOS: CASO DE ESTUDIO DEL PROCESO  
DE LLENADO DE CUBOS”

## TESIS

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN INGENIERIA DE CALIDAD**

Presenta

**RAÚL RUBIO RODRÍGUEZ**

Director: Dr. Primitivo Reyes Aguilar  
Lectores: Dra. Odette Lobato Caballeros  
Mtro. Eduardo Arias Báez

México, D.F.

2016

# ÍNDICE TEMÁTICO

RESUMEN .....	7
INTRODUCCIÓN .....	9
ANTECEDENTES .....	10
JUSTIFICACIÓN .....	12
OBJETIVO GENERAL .....	12
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
HIPÓTESIS .....	13
ALCANCE .....	14
TRASCENDENCIA .....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
MARCO DE REFERENCIA .....	18
Capítulo 1 Proceso de Elaboración de Cubos Extruidos .....	19
1.1. Introducción .....	19
1.2. Los cubos extruidos y su proceso de elaboración .....	20
1.3. Proceso de fabricación de Cubos Extruidos .....	20
1.4. Tipos de variación de una máquina llenadora .....	24
1.5. Principios de llenado y Calibración de los equipos .....	25
1.6. Conclusiones .....	26
Capítulo 2 La metodología Lean Seis Sigma .....	27
2.1. Introducción .....	27
2.2. Antecedentes .....	28
2.3. Principios de la Metodología de Seis Sigma .....	30
2.4. Roles y Responsabilidades .....	32
2.5. Métrica y Beneficios del uso de la Metodología Seis Sigma .....	34
2.6. Integración de LEAN y Seis Sigma .....	36
2.7. Fase de Definición .....	38
2.7.1. Voz del Cliente .....	39
2.7.2. Carta de Proyecto .....	40
2.7.3. Críticos para la Calidad (CTQ's) .....	43
2.7.3.1. Requerimientos Críticos para X .....	44
2.7.4. Diagrama de Alto Nivel (SIPOC) .....	46
2.8. Fase de Medir .....	47

2.8.1. Diagrama de Flujo de Proceso.....	48
2.8.2. Matriz Causa Efecto .....	49
2.8.3. Análisis del Sistema de Medición (MSA) .....	51
2.8.3.1. Repetibilidad y reproducibilidad .....	54
2.8.3.2. Resultados de Automotive Industry Action Group (AIAG) .....	56
2.8.9. Capacidad de Proceso .....	57
2.8.9.1. Identificar especificaciones y tolerancias .....	58
2.8.9.2. Índice de Capacidad .....	59
2.9. Fase de Analizar.....	61
2.9.1. Diagrama Causa Efecto o Diagrama de Pescado .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.9.2. Análisis Multi-vari .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.9.3. Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) .....	64
2.9.3.1. Pasos para desarrollar el Análisis de Modo y Efecto de Falla .....	65
2.9.3.2. Tipos de Análisis de Modo y Efecto de Falla .....	66
2.9.4. Pruebas de Hipótesis .....	68
2.9.4.1. Prueba t-Student.....	71
2.9.4.2. Prueba de Fisher .....	72
2.10. Fase de Mejora.....	73
2.10.1. Métodos LEAN.....	74
2.10.1.1. Lección de Un Punto ( OPL ).....	74
2.10.1.2. Elaboración de los Estándares Provisionales de Limpieza, Inspección y Lubricación .....	75
2.11. Fase de Controlar .....	77
2.11.1. Control Estadístico de Proceso .....	77
2.11.1.1. Cartas de Control .....	77
2.11.1.2. Pasos para construir una Carta de Control.....	79
2.11.1.3. Análisis de las Cartas de Control .....	80
2.12. Plan de Control.....	84
Capítulo 3 Aplicación de Metodología Lean Seis Sigma en la Línea 4 FD-6 .....	87
3.1. Introducción.....	88
3.2. Programa de Actividades.....	88
3.3. Fase de definición .....	90
3.3.1. Carta de Proyecto .....	90
3.3.2. Diagrama de Alto Nivel (SIPOC) .....	91

3.3.3. Identificación de Críticos para la Calidad (CTQ's).....	91
3.4. Fase de Medir .....	92
3.4.1. Diagrama de Flujo de Proceso.....	93
3.4.2. Matriz Causa Efecto .....	93
3.4.3. Análisis del Sistema de Medición (MSA) .....	97
3.4.4 Capacidad de Proceso .....	99
3.5. Fase de Analizar.....	104
3.5.1. Principio de funcionamiento de la máquina. ....	104
3.5.2. Componentes del Sistema de Dosificación.....	107
3.5.3. Revolver .....	108
3.5.4. Boquillas de Dosificación.....	109
3.5.5. Lamina Razadora .....	110
3.5.6. Brazo de Accionamiento de Boquillas .....	111
3.5.7. Transmisión a Revolver.....	112
3.5.8. Diagrama Causa Efecto o Diagrama de Pescado .....	113
3.5.9. Diagrama Causa Efecto II .....	115
3.5.10. Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).....	116
3.5.11. Carta Multi-vari de Sistema de Dosificación.....	120
3.5.12. Prueba t-Student y Fisher para Componentes de Sistema de Dosificación.....	121
3.5.12. Prueba t-Student y Fisher para Boquillas de Dosificación.....	123
3.6. Fase de Mejorar.....	125
3.6.1. Estándares Provisionales de Limpieza, Inspección y Lubricación.....	125
3.6.2. Restauración del Equipo .....	127
3.6.3. Actualización del Estándar de Mantenimiento Planeado.....	128
3.6.4. Estandarización de Componentes del Sistema de Dosificación .....	129
3.7. Fase de Controlar .....	133
3.7.1. Control Estadístico de Proceso.....	134
3.7.2. Plan de Control .....	137
Resultados del Proyecto.....	138
Conclusiones.....	141
Bibliografía .....	143

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pareto de Primer Nivel de Costos.....	16
Figura 2 Pareto de segundo nivel por costos de sobrellenado por Corazza y productos que elabora.....	16
Figura 3 Grafica de Sobrellenado del producto 35405.....	17
Figura 4 Grafica de Sobrellenado del producto 35404.....	17
Figura 5 Grafica de Sobrellenado del producto 146655.....	18
Figura 6 Grafica de Sobrellenado del producto 146659.....	18
Figura 7 Proceso de Acondicionado.....	21
Figura 8 Pesadas de Microingredientes.....	21
Figura 9 Extrusión de Grasa.....	22
Figura 10 Sistema Buhler.....	23
Figura 11 Mezclador de Cubos.....	23
Figura 12 Cambio de +/- 1.5 Sigma.....	28
Figura 13 Comparación de la contribución de Lean y Seis Sigma.....	37
Figura 14 Ejemplo de un Diagrama de Gantt.....	43
Figura 15 Concepto del Árbol de Critical to Quality.....	44
Figura 16 Ejemplo de Diagrama de Alto Nivel (SIPOC).....	46
Figura 17 Ejemplo de Diagrama SIPOC.....	47
Figura 18 Símbolos comunes en un Diagrama de Flujo.....	48
Figura 19 Diagrama de Flujo de Materiales.....	49
Figura 20 Ejemplo de Matriz Causa Efecto.....	51
Figura 21 Diferencia entre precisión y exactitud.....	52
Figura 22 Ejemplo grafico del sesgo.....	52
Figura 23 Ejemplo grafico de estabilidad.....	53
Figura 24 Ejemplo de repetibilidad.....	53
Figura 25 Ejemplo de Reproducibilidad.....	54
Figura 26 Resultados por medios del método gráfico.....	55
Figura 27 Método grafico del Análisis Repetibilidad y Reproducibilidad.....	56
Figura 28 Resultados del Método de Análisis de Varianza.....	57
Figura 29 Comparación de la dispersión del proceso y los límites de especificación.....	58
Figura 30 Tipos de Proceso.....	60
Figura 31 Diagrama de pescado básico.....	62
Figura 32 Ejemplo de diagrama de pescado.....	62
Figura 33 Ejemplo de Grafica Multi-Vari.....	64
Figura 34 Ejemplo de un Análisis de Modo y Efecto de Falla.....	66
Figura 35 Tipos de Errores.....	70
Figura 36 Matriz de selección de herramientas.....	71
Figura 37 Función de densidad de Distribución F.....	73
Figura 38 Ejemplo de una Lección de un Punto (OPL).....	75
Figura 39 Ejemplo de una Carta de Control de Medias y Rangos (X-R).....	79
Figura 40 Ejemplo de Plan de Control.....	86
Figura 41 Ejemplo de Plan de Control.....	87
Figura 42 Plan de Trabajo de Proyecto.....	89
Figura 43 Diagrama de Alto Nivel (SIPOC).....	91
Figura 44 Árbol de Críticos para la Calidad.....	92
Figura 45 Mapa de Proceso.....	93
Figura 46 Relación de Variables de Entrada (KPIV's) y Variables de Salida (KPOV's).....	95
Figura 47 Calificación de las Variables de Entrada (KPIV's).....	96
Figura 48 Pareto de Priorización de Entradas.....	96
Figura 49 Diseño del Arreglo.....	97
Figura 50 Método Grafico.....	99
Figura 51 Método Análisis de Varianza (ANOVA).....	99
Figura 52 Carta de Control y Capacidad de Proceso de 35404 Corazza 1.....	100
Figura 53 Carta de Control y Capacidad de Proceso de 923671 Corazza 2.....	101
Figura 54 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Corazza 11.....	101
Figura 55 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146655 Corazza 2.....	101
Figura 56 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146655.....	102
Figura 57 Carta de Control y Capacidad de Proceso 35405 Corazza 11.....	102
Figura 58 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146655 Corazza 1.....	102
Figura 59 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Corazza 11.....	103
Figura 60 Tabla de Conversión Capacidad Real del Proceso, Valores Sigma y Partes por Millon.....	104

Figura 61 Sistema de Dosificación.....	107
Figura 62 Esquema del Sistema de Dosificación.....	108
Figura 63 Revolver.....	109
Figura 64 Boquillas de Dosificación.....	110
Figura 65 Lamina Razadora.....	111
Figura 66 Brazo de Accionamiento de Boquillas.....	112
Figura 67 Ajuste de Peso del Sistema de Dosificación.....	113
Figura 68 Diagrama Causa Efecto del Sistema de Dosificación.....	114
Figura 69 Comprobación de las causas raíz.....	115
Figura 70 Matriz Causa Efecto.....	116
Figura 71 Análisis de Modo y Efecto de Falla de Sistema de Dosificación Parte 1.....	117
Figura 72 Análisis de Modo y Efecto de Falla del Sistema de Dosificación Parte 2.....	118
Figura 73 Análisis de Modo y Efecto de Falla del Sistema de Dosificación Parte 3.....	119
Figura 74 Carta Multi-Vari.....	120
Figura 75 Carta Multi-Vari.....	121
Figura 76 Check List Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste.....	126
Figura 77 Estándar Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste.....	127
Figura 78 Estándar de Mantenimiento Planeado.....	131
Figura 79 Carta de Control y Capacidad de Proceso Marzo ´15.....	134
Figura 80 Carta de Control y Capacidad de Proceso Abril ´15.....	134
Figura 81 Carta de Control y Capacidad de Proceso Mayo ´15.....	135
Figura 82 Carta de Control y Capacidad de Proceso Junio´15.....	135
Figura 83 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Mar´15.....	135
Figura 84 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Abr´15.....	136
Figura 85 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Mayo´15.....	136
Figura 86 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Jun´15.....	136
Figura 87 Plan de Control del Sistema de Dosificación.....	138
Figura 88 Costo de Sobrellenado 2014 vs 2015.....	139
Figura 89 Costo de sobrellenado por Línea.....	140

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cambio de +/- 1.5 Sigma .....	28
Tabla 2 Gurús de Seis Sigma .....	29
Tabla 3 Descripción de Tipos de Variación .....	32
Tabla 4 Niveles de Desempeño en Sigmas .....	35
Tabla 5 Herramientas Lean - Seis Sigma en las fases de la Metodología .....	38
Tabla 6 Conversión de Capacidad de Proceso, Valores Z y Partes por millón .....	59
Tabla 7 Categorías de Severidad .....	67
Tabla 8 Clasificación de Ocurrencia .....	67
Tabla 9 Categorías de Detectabilidad .....	68
Tabla 10 Carta de Proyecto .....	90
Tabla 11 Priorización de Entradas del Proceso .....	96
Tabla 12 Datos del Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad .....	98
Tabla 13 Resultados de la Fuente de Contaminación .....	124
Tabla 14 Mediciones de los Pistones .....	130
Tabla 15 Habilidad de Proceso, ppm y Valores Sigma .....	137
Tabla 16 Ahorros reportados de L-4 .....	139
Tabla 17 Costo por Sobrellenado 2014 vs 2015 .....	140
Tabla 18 Líneas con Sobrellenado .....	140

## RESUMEN

Actualmente un problema que enfrentan la mayoría de los fabricantes de alimentos, es el manejo más adecuado del proceso de llenado de los empaques de sus productos, que permita cumplir con los requerimientos legales del país de venta, al mismo tiempo que se minimizan tanto como sea posible los costos por el sobredosificado.

Esta investigación fue realizada en una empresa dedicada a los productos de consumo como sazónadores, sopas y condimentos. La propuesta de este trabajo es identificar los factores relevantes que intervienen en el control del peso de llenado en la fabricación de pasta de cubos el cual es envasado en laminación (empaque primario) y después en una plegadiza de cartón (empaque secundario), con el objetivo de reducir el sobredosificado de los empaques, derivado de la alta variación y descentrado de la media del proceso.

En esta investigación, se siguió la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) para estudiar y reducir la variación y centrar el proceso en el objetivo. Durante las diferentes fases del DMAIC, se utilizaron herramientas estadísticas y LEAN para conocer las fuentes de variación. Las herramientas utilizadas fueron: Análisis de Modo y Efecto de Falla, Diagramas de Pareto, Estudio R&R, Análisis de Capacidad, Intervalos de Confianza, Diseño de Experimentos, Regresión de Lineal, Restauración a condiciones básicas del equipo y Cartas de Control.

Después de aplicar la metodología DMAIC, se logró reducir la variación del proceso. En la fase de controlar se desarrolló e implementó un plan de control, en el que se describen las actividades de mantenimiento autónomo y planeado del equipo de envasado para monitorear y controlar el proceso con el objetivo de mantener las mejoras alcanzadas.

Con estas mejoras se espera tener una réplica a la línea FD-600 L-9 la cual tiene un principio de funcionamiento similar y es la segunda línea con mayor sobredosificado.



## INTRODUCCIÓN

“En años recientes se ha incrementado el número de compañías que han usado diferentes tipos de programas de calidad para incrementar la satisfacción de los clientes internos y externos, al mismo tiempo que reducen los costos de no calidad. Seis Sigma es un programa de mejoramiento de la calidad basado en la estadística que ayuda a mejorar los procesos del negocio a través de la reducción del desperdicio y sus costos asociados.” (Forest Breyfogle, 2003,p.23)

Como método para la eliminación de defectos, Seis Sigma ha tenido buenos resultados en la industria de los alimentos.

Esta investigación fue realizada en la planta de Knorr ubicada en la ciudad de Toluca. La cual inicio operaciones en 1966 como Productos de Maíz la cual se encargó de producir cubos extruidos en 1972 y 1978 se lanzan Hellman’s e inicia operaciones la planta de Maizena, para el año 2001 Unilever adquiere Productos de Maíz. Apartir de esta adquisición la planta adopta la filosofía de Mantenimiento Productivo Total (TPM), la cual se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paros, calidad y costes en los procesos de producción industrial.

A partir del 2008 la planta comienza a incrementar el volumen de producción iniciando operaciones en el área de sopas, cubos para exportar a países como Estados Unidos, Puerto Rico, Canadá, Centroamérica y Puerto Rico, Planta Ades (Productos Asépticos) y por último la Planta Mozart (Caldo en gel).

Actualmente la fábrica cuenta con 11 líneas de envasado de cubos, 5 líneas de envasado de polvo, 5 líneas de sopas, 4 líneas para envasar Maizena, 5 líneas para productos Asépticos y 1 de envasado de producto en gel (Planta Mozart).

En este trabajo se muestra la aplicación de la metodología de Lean Seis Sigma para la reducción de costos generados por el sobredosificado de los estuches en una de las líneas de producción Knorr suiza dedicada a la fabricación de Cubos.

Para realizar esta investigación se tomó como base la metodología de Lean Seis Sigma, para efectos de este proyecto lo que primero que se hizo fue definir el alcance del mismo, para esto se utilizaron con la información histórica de los costos generados por el sobrellenado de producto terminado que se tuvieron en 2014.

Después se formó al equipo de proyecto y se realizó un análisis de capacidad para evaluar la situación inicial del proceso en la fase de llenado. Con los resultados de ese análisis el equipo identificó dos problemas principales: variación comparada con las especificaciones y un proceso descentrado.

El siguiente paso fue realizar una lluvia de ideas con el equipo multidisciplinario en la cual se determinaron la causa raíz para cada uno de los dos problemas identificados. Después se evaluó por separado para cada una de las propuestas determinadas en la lluvia de ideas, con el fin de verificar los dos problemas encontrados, se realiza una restauración del sistema de dosificación para revisar que las piezas que integran dicho sistema no tuviesen problemas y generaran ruido en los siguientes pasos del proyecto, el siguiente paso fue comenzar con las mejoras, como el análisis de la consistencia del producto en cada mezclador formulado antes de la fase de llenado.

Una vez implementadas, se llevó a cabo una corrida de conformación para verificar la efectividad de las acciones tomadas. Finalmente se desarrolló un plan de control para mantener las mejoras alcanzadas, en el cual se incluyeron actividades de mantenimiento planeado y autónomo con el fin de ayudar a mantener bajo control la variación del proceso de envasado.

## **ANTECEDENTES**

Muchas áreas de manufactura y procesamiento están actualmente enfocadas en la optimización y en tecnologías de control para mejorar el desempeño y la eficiencia de los procesos. La industria de alimentos y de empaque de alimentos ha enfrentado por años el problema del sobrellenado en los empaques de sus productos. La variación en el contenido de estos envases puede ser el resultado de desviaciones durante el proceso de llenado.

Las empresas están restringidas por las regulaciones, las cuales aseguran que los empaques sean llenados dentro del contenido neto definido con una exactitud especificada.

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) en USA define que la cantidad neta promedio de un lote debe de ser al menos igual al contenido neto declarado en la etiqueta, este valor es conocido como la cantidad nominal. Para cualquier peso o volumen dado, hay un Error Negativo Tolerable Asociado (TNE) el cual representa la cantidad permisible que un empaque puede estar llenado por debajo de su valor declarado.

“Los valores de TNE para una cantidad dada, están disponibles en tablas publicadas en las legislaciones aplicables del país de venta del producto. Variaciones en el contenido neto declarado y en las mediciones son permitidas, cuando son causadas por fuentes comunes de variación que no se pueden evitar que ocurran durante las buenas prácticas de manufactura.” (Vitner Giller, 2006,p.78)

En México la norma que regula el contenido neto es la NOM-002-SCFI-2011, la cual establece las tolerancias y los métodos para la verificación del contenido neto de productos pre envasados y los planes de muestreo usados en la verificación de productos que declaran su contenido neto en unidades de masa o volumen.

La introducción de modernas teorías de control y nuevas tecnologías podrían permitir mayores mejoras. La determinación del valor óptimo, para un proceso de manufactura, tiene un impacto tremendo tanto en la satisfacción del cliente como en la parte financiera. Se han estudiado métodos para determinar los valores apropiados de los procesos, bajo una variedad de circunstancias industriales y económicas.

“La literatura revisada sugiere una estrategia razonable para la determinación del valor objetivo óptimo de un proceso, es maximizar los beneficios netos esperados en lo que concierne a la variabilidad de proceso y a las consideraciones financieras.”  
(Shao Fowler, 2000,p.56)

## JUSTIFICACIÓN

“La aplicación exitosa de Seis Sigma en la industria manufacturera de alimentos ha resultado en ahorros anuales significativos debido a la reducción en la variabilidad del proceso. En años recientes, se ha incrementado el número de compañías que han usado diferentes tipos de programas de calidad, para incrementar la satisfacción de los clientes internos y externos, al mismo tiempo que reducen los costos de no calidad.”

(Zu Frendendall, 2008,p.48)

“Desde los inicios de 1980, las industrias manufactureras alrededor del mundo han sufrido una evolución en la forma de operar. Los consumidores se han vuelto más y más demandantes y la clave para que las organizaciones sobrevivan es reconocer la importancia de la satisfacción de los clientes.”

(Sung Ming-Hsien, 2011,p.45)

Como método de eliminación de defectos, Seis Sigma ha tenido buenos resultados en diversas industrias de alimentos. Por ejemplo ejecutivos del gigante de comida rápida, McDonalds iniciaron con el aprendizaje de la filosofía que General Electric adopto en 1990, y desde entonces, los gerentes han continuado atendiendo los programas e iniciativas con proyectos relacionados.

Compañías que implementan la metodología Lean Seis Sigma hacen uso de las cinco fases para la solución de problemas, Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC), donde la fase de control juega un importante rol de mantenimiento de las mejoras ganadas en las fases previas y es principalmente alcanzada usando métodos estadísticos y de Lean Manufacturing.

Como método para la eliminación de defectos, Lean Seis Sigma ha tenido buenos resultados en la industria de alimentos.

## OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este proyecto es reducir la variabilidad del proceso de llenado y el costo por sobredosificado en producto terminado, esto por medio de la aplicación de la metodología Lean Seis Sigma.

## OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Hacer un diagnóstico de la cronicidad del problema.
- Hacer revisión de la literatura sobre la metodología Lean Seis Sigma
- Análisis de casos similares de mejora aplicando la metodología Lean Sigma en las organizaciones.
- Identificar las causas de la variación del sobrellenado.
- Reducir el sobrellenado promedio generado en la línea 4.
- Reducir y controlar la variación del proceso de llenado de los productos elaborados en la línea 4 que permitan reducir la sobredosificación y cumplir con los requerimientos regulatorios aplicables.
- Documentar contramedidas como mejoras planeadas para el resto de las líneas envasadoras.

## HIPÓTESIS

Aplicando la metodología de Lean Seis Sigma en la línea 4 de envasado de Cubos FD-600 se reduce la variabilidad del proceso de llenado y el Costo por sobredosificado en producto terminado.

### Hipótesis 1

Ho:  $\sigma_1 = \sigma_2$ .

Aplicando la metodología DMAIC en la línea 4 de envasado de Cubos FD-600 no se reduce la variabilidad del proceso de llenado.

Ha:  $\sigma_2 < \sigma_1$ .

Aplicando la metodología DMAIC en la línea 4 de envasado de Cubos FD-600 se reduce la variabilidad del proceso de llenado.

Dónde:

$\sigma_1$  es la variación inicial del proceso de llenado.

$\sigma_2$  es la variación final del proceso de llenado después de aplicar la metodología Lean Seis Sigma.

## **Hipótesis 2**

Ho:  $\mu_1 = \mu_2$ .

Aplicando la metodología DMAIC en la línea 4 de envasado de Cubos FD-600 no se reduce el costo de sobredosificado en producto terminado.

Ha:  $\mu_2 < \mu_1$ .

Aplicando la metodología DMAIC en la línea 4 de envasado de Cubos FD-600 se reduce el costo de sobredosificado en producto terminado.

Dónde:

$\mu_1$  es el costo promedio de sobrellenado de la línea 4 de envasado de Cubos FD-600.

$\mu_2$  es el costo promedio de sobrellenado de la línea 4 de envasado de Cubos FD-600 después de la aplicación de la metodología Lean Seis Sigma.

## **ALCANCE**

Dentro de los diferentes productos de cubo extruido en Planta Knorr, se ha decidido aplicar el presente estudio únicamente a los productos identificados como 35404, 923716, 146655 y 146659, como ya se mencionó, estos han presentado problemas por presentar sobrellenado más allá de los objetivos establecidos por el Departamento de Manufactura y el Departamento de Aseguramiento de Calidad.

El desarrollo del estudio comprenderá las cinco etapas del proceso DMAIC, desarrollando cada una hasta haber mejorado (controlado y estandarizado) el proceso de envasado de los productos antes mencionados, eliminando como consecuencia las principales causas que influyen en el sobrellenado del producto terminado.

Finalmente, se aclara que la información a utilizar durante el estudio será verídica, sin embargo, los nombres de los productos bajo estudio han sido cambiados por así considerarlo conveniente.

## **TRASCENDENCIA**

Compartir entre los departamentos de Mejora Enfocada, Actividades Autónomas, Gestión Temprana de los Equipos y Mantenimiento Profesional los resultados del caso para equipos que utilicen tecnología similar y futuras aplicaciones en la planta.

Establecer una guía de implementación de proyectos Lean Seis Sigma para la Planta de Knorr, debido a que se han tenido iniciativas de reducción de merma por sobrellenado en otras líneas por medio de la metodología de TPM.

Por medio de la aplicación de esta metodología y de los resultados que arroje se puede compartir con otras plantas hermanas de Unilever que trabajen con la misma tecnología como por ejemplo Mirasol (El Salvador), Cali (Colombia), Pouso (Brasil), Goiana (Brasil), Pilar (Argentina) o Bramalea (Canadá), esto se hace por medio del portal interno de Unilever "SharePoint" en el cual se pueden compartir los casos de éxito en temas de Calidad, Seguridad o de Productividad.

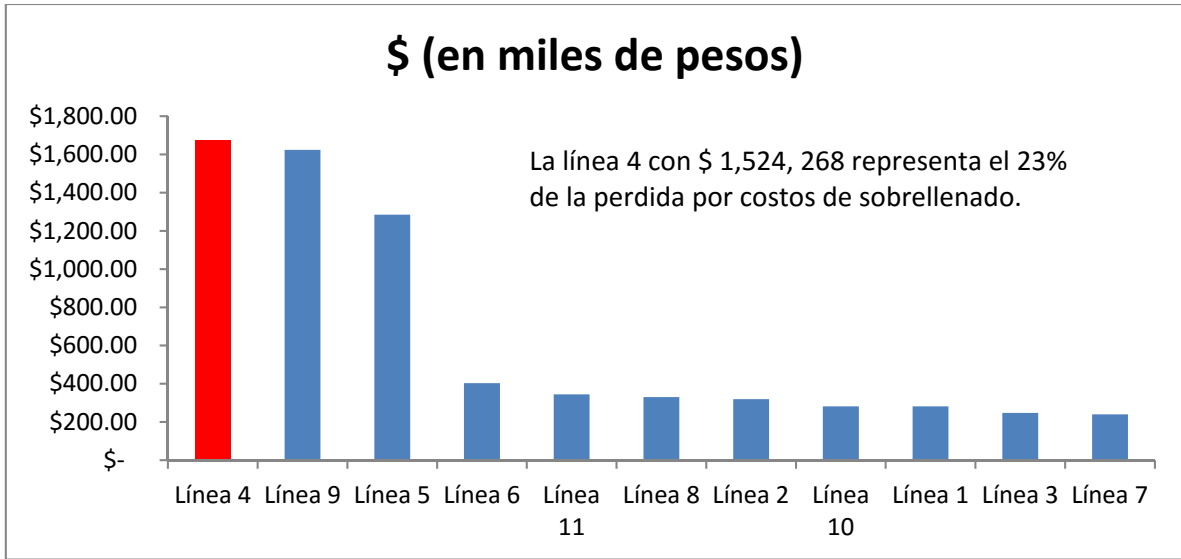
## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente en la planta, la sobredosificación del producto terminado es un costo importante en el árbol de pérdidas de la fábrica por desperdicio. El costo de esta pérdida en el año 2014, fue de MXP \$ 7,442, 361.

Para fines de esta tesis, se decidió delimitar el estudio a una sola línea de envasado, por lo que, para delimitar al alcance de este trabajo, se realizaron 2 paretos.

En la figura 1 se muestra el Pareto de primer Nivel con los costos por sobrellenado en 2014 por línea de proceso.

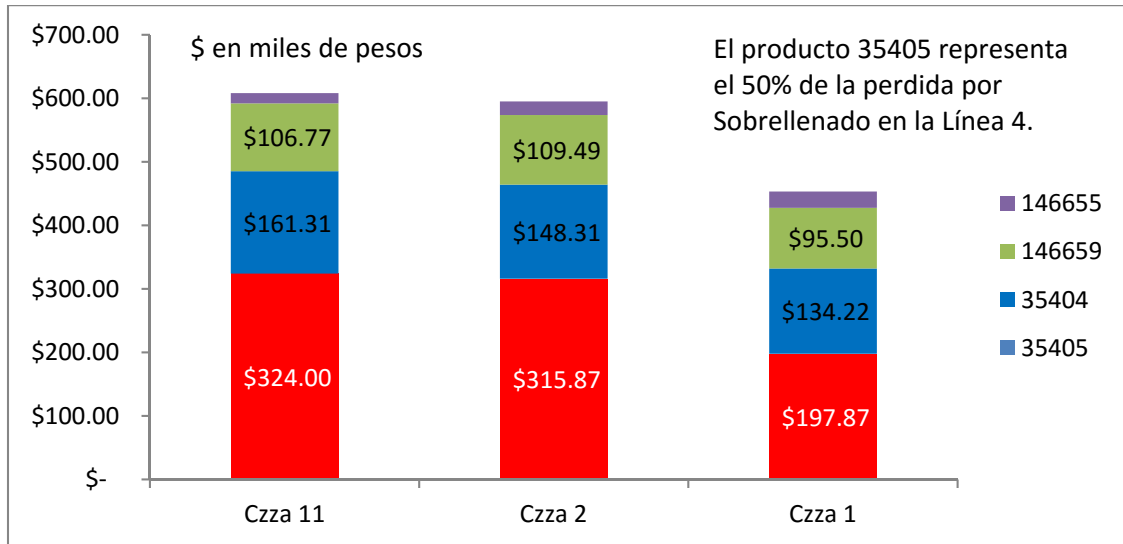
Se elige la línea 4 para el proyecto ya que es donde se tuvo el mayor costo de pérdida.



**Figura 1 Pareto de Primer Nivel de Costos.**

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Pilar Mejora Enfocada, 2015,p.4)

En la figura 2 se muestra el Pareto de segundo nivel con los costos por sobrellenado por cada Corazza, así como los productos 35404, 923716, 146655, 146659 que elabora la línea 4 FD-600.

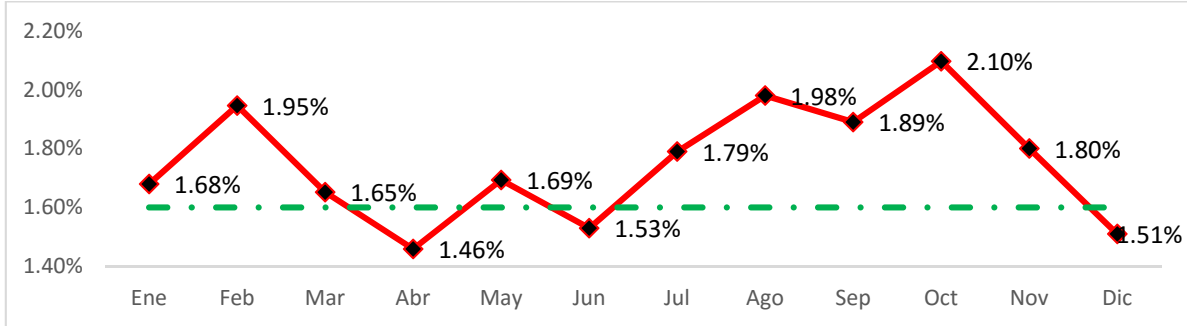


**Figura 2 Pareto de segundo nivel por costos de sobrellenado por Corazza y productos que elabora.**

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Pilar Mejora Enfocada, 2015,p.4)

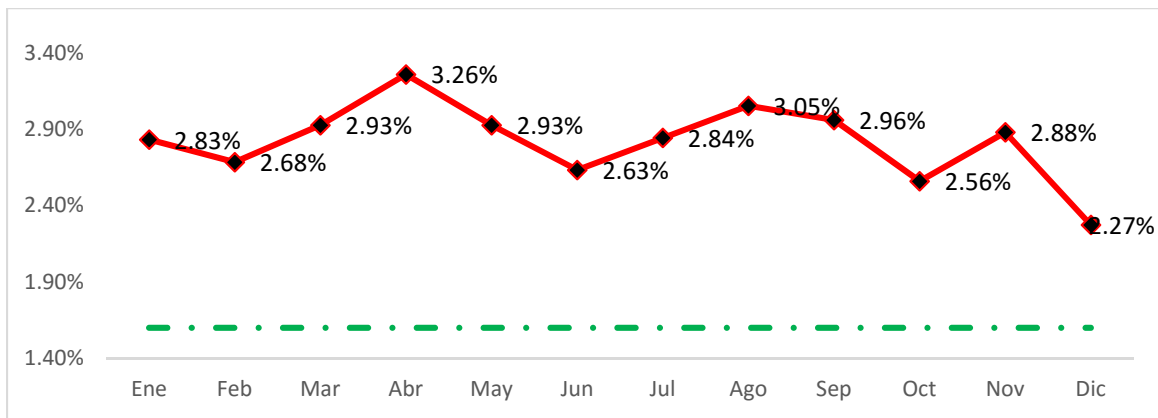


En las figuras 3, 4, 5 y 6 se muestra el historial de sobrellenado promedio por estuche de los productos 35405, 35404, 146659 y 146655 respectivamente fabricado por la línea 4 y el objetivo de la compañía con respecto al sobrellenado.



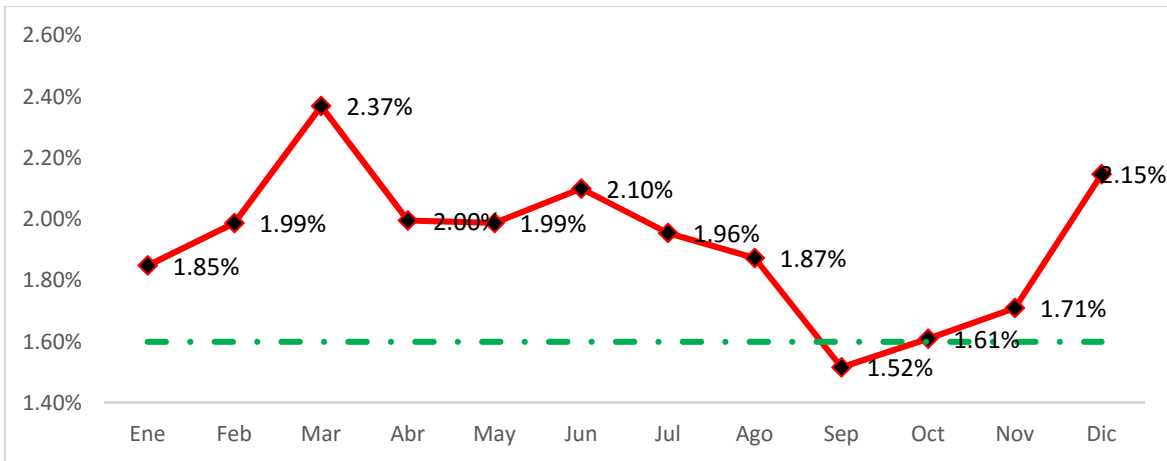
**Figura 3 Grafica de Sobrellenado del producto 35405.**

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.2)



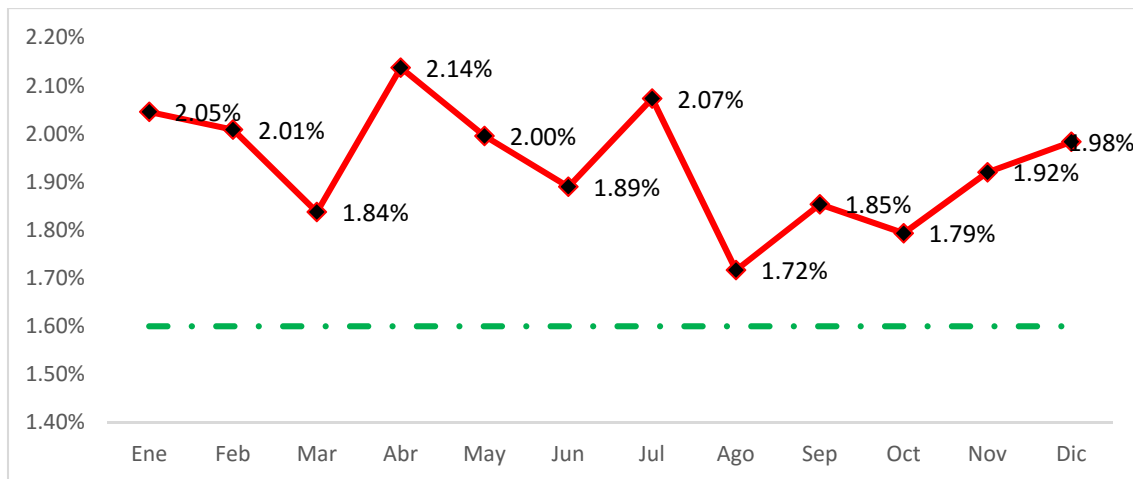
**Figura 4 Grafica de Sobrellenado del producto 35404.**

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.2)



**Figura 5 Grafica de Sobrellenado del producto 146655.**

**Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.3)**



**Figura 6 Grafica de Sobrellenado del producto 146659.**

**Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.3)**

## MARCO DE REFERENCIA

Este proyecto de investigación tiene como propósito principal establecer en este proyecto de tesis en 4 partes: las bases para llevar a cabo el caso de estudio, los principios básicos para entender el proceso de elaboración de cubos extruidos, la estructura de la tesis, la aplicación de la metodología en una línea de envasado de productos extruidos y los resultados obtenidos.

En la primera parte se definen las bases por las que se va a llevar a cabo el proyecto y porque se va a realizar en el cual se constituye por los elementos que ayudan a plantear el problema como son los antecedentes, justificación del proyecto, el objetivo del proyecto de investigación, el alcance que este va a tener y el planteamiento del problema.

En la segunda parte se muestra como se constituye el proceso de elaboración de cubos extruidos partiendo desde su historia, la llegada a México de este producto, su actual proceso de elaboración y las características de este proceso.

En la tercer parte se muestra la metodología de Lean Seis Sigma en la que se explican los conceptos que constituyen esta metodología, los roles que se deben de cumplir para la ejecución de la metodología, la integración con Lean Manufacturing, los pasos que se deben de llevar que son: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, junto con las herramientas que se deben de emplear en cada una de las fases.

En la última parte se tiene la aplicación de la metodología de Lean Seis Sigma para la reducción del costo de sobrellenado y la reducción de la variabilidad de una de la llenadoras de la Planta Knorr, se presentan las fases y la ejecución de las herramientas dando como resultado la reducción del costo por sobrellenado y una guía efectiva para implementar en el resto de las líneas de envasado que manejan la misma tecnología y principio de funcionamiento.

## **Capítulo 1 Proceso de Elaboración de Cubos Extruidos**

### **1.1. Introducción**

Hoy en día en las industrias de alimentos los condimentos es uno de sus principales productos. Es por ello necesario optimizar y mejorar ciertas etapas del proceso; logrando de esa forma un producto de calidad apetecible e irresistible hacia el consumidor, con un mayor margen de utilidad por parte del fabricante.

La etapa de fabricación de cubos extruidos, (que incluye la recepción de materias primas, acondicionado, formulación, mezclado, dosificación, envasado y almacenaje) es considerada la más importante desde el punto de vista económico, de calidad y eficiencia (pérdidas). Para favorecer el desarrollo de estas características, debe existir un elemento común: la homogeneidad de los procesos, o visto de otra forma, la ausencia de variabilidad excesiva.

## **1.2. Los cubos extruidos y su proceso de elaboración**

Para el proceso de elaboración de Cubos Extruidos que entran en la parte de Caldos se tienen distintos ingredientes y materias primas que son:

- Sal.
- Azúcar.
- Glutamato.
- Fécula.
- Colorantes (Rojo 40).
- Carne de gallina.

## **1.3. Proceso de fabricación de Cubos Extruidos**

Para poder iniciar con la fabricación de un producto es importante contar con materias primas previamente evaluadas y aprobadas por el departamento de calidad, así de esta manera pueden ser solicitadas para su uso. La materia prima se solicita por medio de una orden de producción aprobada.

### **1.3.1. Etapa 1 Ingreso de materiales y Acondicionamiento**

En esta etapa se realiza el acondicionamiento de los materiales al 100% ya que algunos de ellos se encuentran tarimas de madera , cajas de cartón, plástico y contenedores sucios y muchas de las veces no se cuenta con una etiqueta LPN la cual contiene la identificación del producto. Una vez hecha esta actividad se pasa a surtir el material al área de microingredientes y mezcladores.



**Figura 7 Proceso de Acondicionado.**

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Talavera, 2015,p.1)

### **1.3.2. Etapa 2: Pesadas**

El área de pesadas se dividen en dos zonas en donde se realizan los caldos en polvo, extruidos y sopas, en esta zona se tienen área de pequeños ingredientes así como las zonas en donde se tienen que manejar los productos alergénicos dichos ingredientes se pesan en tolvas específicas dependiendo del producto que se esté elaborando el cual se encuentra identificado, para que posteriormente se adicione al mezclador.



**Figura 8 Pesadas de Microingredientes.**

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Talavera, 2015,p.1)

### 1.3.3. Etapa 3 Extrusión de grasa

En esta parte del proceso se cuenta con grasa en estado sólido la cual se debe de someter a un proceso de extrusión, debido a que se elaboran productos para diferentes países como son Estados Unidos, Canadá, Puerto Rico, Centroamérica, México y parte de América del Sur y como cada uno tiene ciertos requerimientos para sus materiales por lo que las grasa se deben de extruir de manera separada, una vez logrado esto se adicionan a los mezcladores.



Figura 9 Extrusión de Grasa

Fuente: Elaboración propia con base en (Talavera, Juan, 2015,p.2)

### 1.3.4. Etapa 4 Sistema Buhler

En esta parte del proceso se presenta la adición automática de los macro ingredientes que son la Sal, Azúcar, Glutamato y Fécula cada uno de los productos que se elaboran en la planta cuentan con estas materias primas las cuales son más del 50% de la composición del producto.



**Figura 10 Sistema Buhler.**

Fuente: Elaboración propia con base en (Talavera, Juan, 2015,p.2)

### **1.3.5. Etapa 5 Mezclado del Producto**

Actualmente la planta cuenta con 4 mezcladores en los cuales convergen los procesos antes mencionados que son: la extrusión de grasa, macro ingredientes, pequeños ingredientes, sustancias alergénicas y materias primas que se adicionan directamente al mezclador dando lugar a una pasta homogénea la cual se dosifica en las tolvas de descarga de las líneas de envasado.



**Figura 11 Mezclador de Cubos.**

Fuente: Elaboración propia con base en (Talavera, Juan, 2015,p.3)

### 1.3.6. Etapa 6 Líneas de Envasado

Las líneas de envasado se encargan de extruir el producto y colocarlo en su respectivo estuche, las líneas están distribuidas para elaborar determinados formatos de productos que van a los países mencionados en la etapa de extrusión, todas las líneas están conectadas a una banda transportadora que lleva las cajas hasta unos robots paletizadores los cuales están programados de acuerdo a la norma de estiba especificada por Calidad/Ingeniería de Empaque para evitar colapsamiento o reclamos con los clientes.



Figura 12 Máquina Envasadora de Cubos.

Fuente: Elaboración propia con base en (Talavera, Juan, 2015,p.3)

### 1.4. Tipos de variación de una máquina llenadora

Actualmente en la industria de alimentos se reconocen diferentes tipos de variabilidad durante el proceso de llenado de los empaque.

Las diferentes fuentes de variación individuales están combinadas en una variación global para un lote de producción, la cual es llamada  $S_p$ .

“ Hay 4 fuentes de variación que deben de ser monitoreadas las cuales son:

- $S_{\text{producto}}$ : Variación del producto.
- $S_{\text{máquina}}$ : Variación de la maquina llenadora.
- $S_{\text{pesado}}$ : Variación de los dispositivos de pesado.
- $S_{\text{operaciones}}$ : Variación debida a las operaciones.” (David Gardin, 1998,p.58)

Fuentes de variabilidad que deben de ser monitoreadas:

- $S_{nc}$  Variación histórica de lotes producidos.
- $S_p$ : Variación del lote de producción.
- $S_{mp}$ : Variación máquina-producto.



“Una maquina llenadora es un sofisticado equipo usado para envasar una vasta variedad de productos como agua, bebidas carbonatas o alimentos. A través de los años desde que los sistemas de llenado han sido desarrollados, compañías alrededor del mundo han observado constantemente sus procesos con la intención de incrementar las velocidades y la utilización de los equipos.” (Rahaman Bari, 2008,p.25)

Los aspectos más importantes que debemos de tomar en cuenta para un control óptimo del sobrellenado es:

Control de la variabilidad de la maquina llenadora la cual influye en el nivel de costos por sobrellenado e indirectamente en los costos por rechazo de empaques mal llenados.

“La variabilidad debe de ser tan baja como sea posible y puede ser alcanzada si se controlan los siguientes puntos:

- El principio de llenado está perfectamente conocido.
- Las especificaciones de la quina de llenado están definidas.
- La máquina de llenado está correctamente calibrada.
- La variabilidad del producto y maquina/producto es conocida y monitoreada.
- El diseño y el plan de mantenimiento mantienen el nivel de llenado dentro de especificación.” (Anthony Roux, 2011,p.6)

### **1.5. Principios de llenado y Calibración de los equipos**

Los principios de llenado deben ser bien conocidos por los departamentos de Producción, Calidad e Ingeniería. La mayoría de los procesos de llenado son basados en diferentes principios, taladro, cámara de vacío, por gravedad, extrusión, etc.

Independientemente del tipo de llenadora es muy importante localizar los dispositivos de ajuste globales y cada uno de los parámetros maestros que influyen y determinan la cantidad a llenar de cada boquilla.

“Las principales causas que influyen en esta combinación son:

- Naturaleza y variabilidad del producto.
- Alineación de las válvulas.
- Mantenimiento.
- Precisión en la calibración y ajuste de los dispositivos para el control de llenado.
- Eventos cíclicos, periódicos y esporádicos (nivel de la tolva, paros de línea, grumos, terrones, etc.) “ (Anthony Roux, 2011,p.5)

## Calibración

“Como cualquier mecanismo de llenado tiene cierta holgura, es extremadamente importante checar que cualquier posición dentro del rango de ajuste de los dispositivos, garantizara una correcta dosificación.” (Gopal Kanji, 2008,p.12)

## Variabilidad del producto

La variabilidad en el llenado también depende de la naturaleza del producto a ser envasado, polvo, líquido, solido, etc. y sus características físicas, tamaño de partícula, viscosidad, homogeneidad, densidad, etc., Las características del producto pueden fluctuar.

## Variabilidad de Máquina/Producto

La variabilidad de máquina/producto resulta de la interacción entre la máquina y la naturaleza del producto, esta variabilidad es minimizada si se realizan las siguientes actividades:

- Monitorear la variabilidad del producto en el proceso de manufactura.
- Calibración y mantenimiento apropiado de la llenadora.
- Cálculo de los límites de control.
- Monitoreo de la producción por medio de cartas de control de rangos.

## **1.6. Conclusiones.**

En base a lo visto en este capítulo se puede concluir que la aplicación de la metodología de Seis Sigma en la industria de alimentos y en específico en la elaboración de cubos extruidos (Caldos) es muy importante ya que siendo una industria que tiene más de 60 años establecida en México esto implica que tiene un mercado arraigado dando como resultado una fuerte demanda de productos de este tipo. Esto conlleva a que los procesos de elaboración sean eficientes, se evite desperdicio y se garantice la inocuidad de los mismos.

Al revisar el proceso de elaboración se puede apreciar que se tienen muchas áreas de oportunidad en las que se pueden percibir ahorros.

El entender el proceso de elaboración y sus posibles variaciones nos ayudan a aplicar mejor la metodología de Lean Seis Sigma.

## Capítulo 2 La metodología Lean Seis Sigma

### 2.1. Introducción

En este capítulo se verán los antecedentes de la metodología de Lean Seis Sigma, principios de la metodología, los roles y responsabilidades para llevar a cabo la ejecución de la metodología, la integración de Lean-Seis Sigma para la solución de problemas, las etapas de las que se compone la metodología y las herramientas que se emplean en cada una de las fases.

“Ante el nuevo escenario internacional, las industrias de clase mundial están replanteando su filosofía de operaciones en el sentido de hacerla más productiva, con altos estándares de calidad, pero buscando también la optimización de sus recursos, tratando de lograr la máxima rentabilidad, cumpliendo con la normatividad y satisfaciendo las necesidades de los clientes”. (Michael Brassad, 2002,p.2)

“La metodología de Seis Sigma es una filosofía de negocios para establecer la calidad de clase mundial y la mejora continua para obtener el más alto nivel de satisfacción del cliente. Las métricas son establecidas mediante la alineación de las metas estratégicas y las necesidades y expectativas del cliente.” (Michael Brassad, 2002,p.2)

“Las razones para trabajar con la metodología de Seis Sigma son:

- Resultados rápidos.
- El equipo gerencial está involucrado.
- El uso de la disciplina DMAIC.
- Corta ejecución de los proyectos de 3 a 6 meses de duración.
- Personas entrenadas en la metodología.
- Los procesos y el cliente son el foco.” (Snee Roland, 1999,p.9)

Los esfuerzos de Seis Sigma se dirigen a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente.
- Reducir el tiempo del ciclo.
- Reducir los defectos.

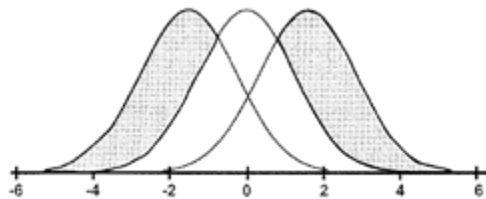
Podemos definir Seis Sigma como:

Es una metodología disciplinada que se enfoca en el desempeño y la entrega de productos casi perfectos y servicios consistentes. Esto se logra por medio del uso de herramientas estadísticas y proyectos de trabajo. Las características del producto con un  $Cpk = 1.5$  son de clase mundial. El promedio de las compañías americanas con de 4 sigma. (Mikel Harry, 1998,p.15)

La letra griega minúscula sigma ( $\sigma$ ) se usa como símbolo de la desviación estándar, siendo ésta una forma estadística de describir cuánta variación existe en un conjunto de datos, es decir, obtener sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades o actividades.

En la figura 12 y en la tabla 1 se puede visualizar gráficamente los niveles sigmas.

**Tabla 1 Cambio de +/- 1.5 Sigma**



Sigma Level	ppm
6 sigma	3.4 ppm
5 sigma	233 ppm
4 sigma	6,210 ppm
3 sigma	66,810 ppm
2 sigma	308,770 ppm
1 sigma	697,672 ppm

**Figura 12 Cambio de +/- 1.5 Sigma**

**Fuente:** (Quality Council of Indiana: Measure-Statistics, 2014, p. 8)

La metodología Seis Sigma engloba técnicas de control estadístico de proceso, despliegue de la función de calidad (QFD), ingeniería de calidad de Taguchi, entre otras, siendo una sólida alternativa para mejorar los procesos y, por lo tanto, lograr la satisfacción de los clientes.

## **2.2. Antecedentes**

Motorola bajo la dirección de Bob Galvin, uso herramientas estadísticas para identificar y eliminar la variación. A partir de las teorías elaboradas por Bill Smith in 1984, Motorola desarrollo Seis Sigma como una iniciativa clave en 1987.

El resultado de la aplicación de esta metodología en Motorola fue un factor clave para que ganara el premio Malcolm Baldrige en 1988. El Dr. Harry dejo la compañía y fundo la Academia de Seis Sigma para acelerar los esfuerzos de otras compañías para llegar a Estándares de Clase Mundial.

A partir de la implementación de la iniciativa de Seis Sigma Motorola tuvo ahorros de 940 millones de dólares. Allied Signal otra empresa que adopto la iniciativa de Seis Sigma 1.5 billones de dólares en 1997.

Algunas empresas que han adoptado Seis Sigma son:

- General Electric
- Dupont
- Polaroid
- Kodak
- Sony
- Toshiba
- Johnson & Johnson

Otras de las personas que han contribuido a lo que es hoy Lean Seis Sigma se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 2 Gurús de Seis Sigma**

Gurú	Contribución
Philip B. Crosby	Libros: La calidad es gratis, Calidad sin lágrimas Involucramiento de la dirección, Costos de calidad Cuatro absolutos Bill Crosby: calidad es conformidad con los requisitos, calidad viene de la prevención, el estándar de calidad es cero defectos, la medición de calidad en el precio de la no conformidad.
Dr. Edwards Deming	Fundador de la tercera ola de la calidad, Héroe nacional en Japón. EUA lo descubre después de video de NBC "Si Japón puede porqué nosotros no", 1980's Promovió el ciclo PDCA, el juego de cuentas rojas (simbolizando los defectivos y blancas los correctos) y el concepto de 94% causas del sistema y 6% causas especiales.
Dr. Armand V. Feigenbaum	Se le atribuye introducir el concepto "Control total de la calidad (TQM)" Principios de TQC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso en toda la empresa.</li> <li>• La calidad es la que el cliente dice que es.</li> <li>• La calidad y los costos de producción están asociados.</li> <li>• Alta calidad equivale a bajos costos.</li> </ul>
Dr. Kaouru Ishikawa	CTC: la práctica del control de calidad es desarrollar, diseñar, producir, y dar servicio a un producto que sea más económico, más útil y que siempre satisfaga al consumidor Impulso de círculos de calidad. Apoyo a Deming en la introducción de métodos estadísticos en Japón. Diagrama de causa efecto (5Ms).

	La siguiente operación es el cliente (cooperación entre departamentos).
Dr. Joseph Juran	Calidad: adoptar una tasa revolucionaria de mejora en calidad, haciendo mejoras de calidad por miles, año tras año. "Calidad es adecuación al uso" Aportaciones: involucramiento de la dirección, Trilogía de la calidad, mejora por proyectos, Costos de calidad, Diagrama de Pareto. Participó en Japón con conferencias a empresarios y directivos en JUSE en 1954, impulso el uso del Control de calidad como una técnica administrativa más que como una técnica.
Dr. Walter Shewhart (1891 – 1967)	Trabajó para Western Electric igual que Deming y Juran. Introdujo en 1924 desarrolló el control estadístico de proceso por medio de las cartas de control para identificar causas "especiales o asignables" y "causas aleatorias o comunes" de variación. Al actuar sobre las causas asignables, paulatinamente la variación se va reduciendo.

**Fuente: Elaboración propia en base a (Primitivo Reyes, 2015, p.11)**

Evolución de la calidad: Círculos de calidad (1980), CEP (1980's), ISO 900° (1987...), Reingeniería (1997), Benchmarking (1988-1996), Balanced Score Card (1990s.....), Malcolm Baldrige (1987....), Seis Sigma (1995....), Lean manufacturing (2000....), Lean Seis Sigma (2002....)

### **2.3. Principios de la Metodología de Seis Sigma.**

I. Enfoque en el Cliente: La voz del cliente (VOC) es el fundamento de la metodología. Se tiene que poner especial atención en lo que el cliente solicita preguntándose de primera mano.

II. Administración basada en datos y en hechos: Durante la aplicación de la Metodología se identifican los métricos claves, después se realizan mediciones claras y se utilizan datos que son analizados para probar que las soluciones funcionan y mantienen las ganancias.

III. Los Procesos están donde está la acción: Seis Sigma se enfoca en el proceso, administración y mejora; El mejorar los procesos asegura ventajas competitivas, integrando un valor real a los clientes.

IV. Administración pro-activa: Es necesario que la Dirección sea dinámica, receptiva, proactiva, establezca y de seguimiento a las metas fijadas de manera ambiciosa, a las

prioridades claramente implantadas y se enfoque en la prevención de problemas (prevención de incendios).

V. Colaboración sin límites: Debe ponerse atención en derribar las barreras que limitan el trabajo en equipo entre los miembros de la organización; Siempre enfocados en las necesidades del cliente; los procesos trascienden más allá de las barreras inter departamentales.

VI. Enfoque a la perfección - tolerancia al fracaso: Las nuevas ideas y propuestas tienen un riesgo, vencer el miedo a cometer errores es necesario para lograr los objetivos que se han propuesto.

Podemos definir a Seis Sigma en 2 contextos:

“Como metodología: Es una estrategia de negocios y de mejora continua que busca eliminar causas de errores, defectos y reducir el costo, mejorando los procesos enfocándose a las variables de importancia crítica para exceder las necesidades y expectativas de los clientes.” (Anthony Jiju, 2006,p.6)

Como medida: Sigma ( $\sigma$ ) representa una unidad de medida que designa la distribución o expansión en torno a la media (promedio) de un proceso.

En las empresas, un valor sigma es un indicador que representa lo bien que un proceso se está ejecutando y con qué frecuencia un defecto es probable que se produzca.

Cuanto más alto sea el valor de sigma, la variación es menor y menos defectos el proceso tendrá. Seis Sigma es el nuevo estándar de excelencia en sólo 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO).

Para incrementar el nivel de sigma de un proceso, se debe de reducir la cantidad de variación y asegurarse que el proceso se encuentra dirigido apropiadamente. En la Tabla 3 se puede ver la descripción de Tipos de Variación.

Disminuir la variación provee:

- Mayor predictibilidad en el proceso.
- Menos desperdicios y re-trabajos, los cuales proveen menores costos.
- Productos y servicios que funcionan mejor y duran más.
- Clientes satisfechos que los valora como proveedores.

Lean Seis Sigma funciona gracias a una comprensión total de las necesidades del cliente, del uso disciplinario del análisis de los datos y hechos, y de la atención constante a la gestión, mejora y reinención de los procesos empresariales.

La metodología fomenta en gran medida el trabajo en equipo, debido a que en la mayoría de las herramientas, el mecanismo para proponer ideas que nos conducen a la solución de problemas, es el resultado de la participación de todas las personas involucradas.

**Tabla 3 Descripción de Tipos de Variación**

Demasiada Variación	Difícil producir productos que cumplan con los requerimientos del cliente (especificaciones)	Valores bajos de Sigma (0.0 – 2.0)
Variación Moderada	La mayoría de los productos cumplen con los requerimientos	Valores medios de Sigma (2.0 – 4.5)
Muy poca Variación	Prácticamente todos los productos cumplen con los requerimientos (menos de 4 defectos por millón de oportunidades)	Valores altos de Sigma (4.5 – 6.0)

Fuente: Elaboración propia en base a (Primitivo Reyes, 2015,p.38)

## 2.4. Roles y Responsabilidades

“Antes y durante el despliegue, se tienen roles y responsabilidades críticos para asegurarnos que la metodología de Lean Seis Sigma sea implementada en el negocio. Entendiendo quienes son los responsables para cada una de las actividades puede permitirnos un despliegue efectivo.” (The Black Belt Memory Jogger, 2002,p.7)

### Ejecutivos

- Crean la visión de la Iniciativa de Lean Seis Sigma.
- Define las metas y métricas estratégicas de la organización.
- Establece los objetivos del negocio.
- Crea un ambiente en el que la organización promueve el uso de la metodología y de las herramientas de Lean Seis Sigma.



### **Despliegue del Proyecto**

- Es responsable por el despliegue de Seis Sigma en las unidades de negocio.
- Establece planes de entrenamiento.
- Remueve barreras para los equipos de mejora.
- Facilita la identificación y priorización de los proyectos de mejora.
- Trabaja las metas y objetivos para asegurarse de que están alineados a la estrategia de los objetivos.

### **Campeón del Proyecto**

- Selecciona y gestiona a los Black Belts.
- Apoya en la identificación, priorización y define el enfoque de los proyectos.
- Remueve barreras para los Black Belts.
- Trabaja en el despliegue o implementación de la infraestructura de Seis Sigma.
- Comunica el progreso de los proyectos de Seis Sigma al Deployment Champion.

### **Master Black Belt**

- Experto en las herramientas y conceptos de Seis Sigma.
- Entrena a los Black Belts y asegura la aplicación adecuada de la metodología.
- Asesora a los Black Belts y Green Belts.
- Actualiza constantemente el material de entrenamiento.

### **Black Belt**

- Es responsable de la ejecución y terminación de los proyectos DMAIC.
- Enseña y entrena a los miembros de los equipos la metodología de Seis Sigma.
- Reporta los progresos a los Project Champions y dueños del proceso.
- Transmite los conocimientos a otros Black Belts.
- Asisten a los Green Belts en los proyectos de mejora.

### **Dueño del Proceso**

- Es un miembro del equipo.
- Es dueño del proyecto cuando este se ha completado.
- Remueve barreras para los Black Belts.

### **Green Belt**

- Es entrenado en la metodología y las herramientas de Seis Sigma.
- Trabaja en proyectos de bajo enfoque, sobretodo en su área de trabajo.
- Es un miembro efectivo del equipo.

### **Contralor**

- Estima y valida los ahorros generados por el proyecto.
- Establece claramente el criterio para los hard o soft savings.
- Trabaja con los demás contralores para identificar proyectos potenciales de mejora.

La selección adecuada de los proyectos tendrá una especial incidencia en el éxito de la implantación de la filosofía Lean Seis Sigma en la empresa. El resultado de un proyecto se mide por la suma del ahorro económico que ha presentado el mismo.

Es importante que el Campeón del Proyecto, Directivos, Black Belts, dediquen tiempo a discutir con los miembros del equipo en fase de formación y les ayuden a elegir correctamente el tema de su proyecto de mejora.

## **2.5. Métrica y Beneficios del uso de la Metodología Seis Sigma.**

Los numerosos beneficios de aplicar Seis Sigma y la utilización de los métodos que lo acompañan:

- Tener un modo medible para realizar un seguimiento de mejora.
- Centrar la atención en el proceso de gestión en todos los niveles de la organización.
- Mejorar su relación con el cliente por hacer frente a los defectos.
- La mejora de la eficiencia y la eficacia de sus procesos mediante la alineación con las necesidades del cliente.
- El desarrollo de nuevos procesos, productos y servicios que satisfagan requisitos críticos del cliente a la oferta inicial.

La métrica de Seis Sigma se presenta en la Tabla 4, que indica el nivel sigma, el número de defectos por millón de oportunidades y el costo de la calidad asociado a cada nivel de desempeño.

**Tabla 4 Niveles de Desempeño en Sigmas**

Nivel de Sigma	Defectos por Millón de Oportunidades	Nivel de Calidad	Costo de Calidad Promedio	Clasificación
6	3.4	99.9999998%	Menos del 1% de Ventas	Clase Mundial
5	233	99.98%	5 – 10% de Ventas	Industria Promedio
4	6,210.00	99.40%	15 – 25% de Ventas	Baja Competitividad
3	66,807.00	93.30%	25 – 40% de Ventas	No Competitivo
2	308,537.00	69.20%	No Aplica	No Competitivo
1	690,000.00	30.90%	No Aplica	No Competitivo

**Fuente: Elaboración propia en base a (Marcio Almeida, 2015,p.21)**

Seis Sigma corresponde a un estándar de desempeño de clase mundial que ha desafiado las ideas sobre la calidad, al medir los defectos por millón de oportunidades y apuntar al logro de la casi perfección.

Una de las razones por las que los costos están directamente relacionados con el nivel Sigma es muy simple: los niveles Sigma miden la tasa de defectos y todos sabemos que los defectos cuestan dinero. Por lo tanto, a mayor nivel de Sigmas, mejor es la capacidad del proceso para cumplir su especificación y menor es la probabilidad de defectos.

Dos elementos esenciales están implícitos en la definición de Seis Sigma:

1. Comprender como trabaja la organización desde el punto de vista de proceso.
2. Definición clara de los requisitos del cliente.

Esta metodología es un proyecto centrado en enfocar consistentemente cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Control. Los proyectos son seleccionados y Definidos a

partir de negocios, operacionales y las necesidades de los clientes, sobre la base de su vinculación con las estrategias ejecutivas.

En la fase de Medir, las herramientas se aplican para validar el sistema de medición y caracterizar el proceso.

“En las fases Analizar y Mejorar, las fuentes de variación son identificadas, una relación estadística entre el proceso de entrada y salida de variables es establecida y el desempeño del proceso es optimizado.” (The Black Belt Memory Jogger, 2002,p.2)

“La fase de Control aplica herramientas tradicionales y estadísticas para sostener proceso de mejora. El énfasis tiene lugar en controlar los principales insumos del proceso para lograr la consistentemente la clave del proceso de las salidas o productos.” (The Black Belt Memory Jogger, 2002,p.7)

## 2.6. Integración de LEAN y Seis Sigma

Este es un continuo debate entre las organizaciones para entender las diferencias entre LEAN y Seis Sigma. Lean habla acerca de la eliminación del desperdicio, mejora el flujo de los procesos y ataca el tiempo muerto de los procesos.

Algunas de las características de Lean y Seis Sigma son discutidas en el siguiente cuadro comparativo.

Tema	Seis Sigma	Lean
Mejora	Reducir la variación	Reducir desperdicio
Justificación	Seis Sigma (3.4 DPMO)	Velocidad
Principales ahorros	Costo de pobre Calidad	Costos Operativos
Curva de Aprendizaje	Larga	Corta
Selección de proyectos	Varios enfoques	Value Stream Mapping
Duración de los proyectos	2-6 meses	1 semana-3 meses
Origen	Datos	Demanda
Complejidad	Alta	Moderada

Fuente: Elaboración propia en base a (Primitivo Reyes, 2015, p.26)

“¿Entonces Seis Sigma y Lean coexisten en cualquier organización? La respuesta para esa pregunta es: Si, el enfoque de lean puede coexistir con los métodos de Seis Sigma.

¿Por qué? Es muy simple Lean provee la estabilidad y repetibilidad de muchos procesos. Los datos colectados por el soporte de Seis Sigma hacen que sean confiables y exactos.” (Kim Crabtree, 2004,p.61)

Las herramientas de Lean son utilizadas para:

- Eliminar desperdicios.
- Incrementar velocidades.
- Minimizar inventarios.
- Simplificar procesos.
- Mejorar el flujo.
- Prueba de error de los procesos.

Las herramientas de Seis Sigma son utilizadas para:

- Minimizar la variación.
- Aplicación científica para la resolución de problemas.
- Aplicación de herramientas técnicas.
- Enfoque en los temas de calidad.

Presentado gráficamente, entonces los proyectos Lean representan el 6% de mejora en todo el tiempo y las iniciativas de Seis Sigma representan el otro 6% de mejora, cuando se tiene la combinación de las dos se tiene el 12% o más. En la figura 13 se muestra de manera gráfica.

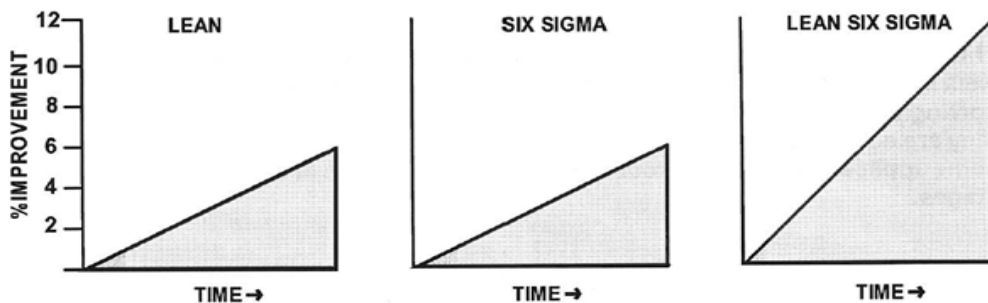


Figura 13 Comparación de la contribución de Lean y Seis Sigma.

Fuente: Elaboración propia en base a (Quality Council of Indiana:Improve, 2015,p.40)

“Un gran número de organizaciones (Manufactura, Servicios, Hospitales, Gobierno, Ejército, etc.) han unificado los criterios para trabajar con Lean y Seis Sigma. Los mecanismos para esta combinación son distintos. El mejor enfoque incluye al involucramiento de la dirección, el uso de la administración de proyectos, especialistas entrenados, el trato humano a las personas, el entendimiento de la metodología para solución de problemas y varios mecanismos para aplicar las herramientas apropiadas.” (Quality Council of Indiana:Enterprise, 2014,p.52)

Existen diversas herramientas efectivas adicionales a las herramientas de la Tabla 5 para la solución de problemas.

**Tabla 5 Herramientas Lean - Seis Sigma en las fases de la Metodología.**

Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Maps de Cadena de Valor	Matriz de Priorización	Análisis de Regresión	DOE	SPC
Definición del problema	Estudio de MSA	5's porqués	Eventos Kaizen	Control visual
Voz del Cliente	Estudio de Capacidad	Diagrama de causa – efecto	TOC	Planes de control
Planes de comunicación	Video taping	Análisis de causa raíz	Sistema Pull	TPM
CTQ	Estudios de tiempo	ANOVA	SMED/SUD	Trabajo estándar
Resultados del negocio	SIPOC	Análisis Multi-variable	5s	Procedimientos e Instrucciones de trabajo
Benchmarking	Recolección de datos	Prueba de hipótesis	Mejora del flujo de trabajo	Requerimientos de entrenamiento

Fuente: Elaboración propia en base en (Reyes P. , Opción Terminal, 2015,p.28)

## 2.7. Fase de Definición

En definir se identificara el problema a resolver, estratificando tanto como sea posible. En esta fase se trata de detectar cuál es el problema, definir los Críticos para la calidad (CTQ's) con base en la voz del cliente (VOC), el impacto que tiene para el negocio la realización del proyecto, las metas que se pretenden lograr, el alcance y los ahorros financieros.

En esta etapa se verán las siguientes herramientas:

- 1.- Voz del Cliente
- 2.- Carta de Proyecto
- 3.- Diagrama de Gantt
- 4.- Voz del Cliente
- 5.- Árbol de Críticos para la Calidad.
- 6.- Mapa de Alto Nivel SIPOC.

### **2.7.1. Voz del Cliente**

La voz del cliente se debe de tomar los siguientes aspectos:

- Identificación
- Retroalimentación
- Requerimientos

Identificar Grupos de Interés (Stakeholders)

“Un proyecto Seis Sigma de alto impacto puede brindar mayores cambios al sistema o a la compañía. Este cambio puede afectar a varias personas dentro y fuera del sistema. La parte de definir puede remover o reducir la resistencia al cambio. Los grupos de interés involucrados deben de identificar el cambio de proceso. Ellos deben de proveer las soluciones alternas y eliminar obstáculos.” (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.4)

Los grupos de interés pueden ser:

Clientes Internos

“Un cliente interno puede ser definido como cualquier persona de la empresa que se ve afectada por el producto o servicio, ya que se está generando. El cliente interno es a veces olvidado en el esfuerzo para producir un artículo o servicio para el cliente externo.” (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.5)

“Los clientes externos no son parte de la organización, sino que se ven afectados por ella. Fin usuarios, clientes intermedios y partes impactadas se describen con más detalle a continuación. En general, los clientes externos playa papel fundamental al proporcionar el mayor parte de los ingresos de la compañía.” (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.5)

## **2.7.2. Carta de Proyecto**

“La carta de proyecto es un documento escrito que define la misión, enfoque, objetivos y consecuencias. Las cartas de proyectos pueden ser desplegadas por el equipo gerencial y presentadas a los equipos de trabajo o el equipo de trabajo puede crear sus propias cartas y presentarlas a la gerencia.” (Quality Council of Indiana: Define, 2014,p.36)

El equipo de trabajo necesita saber qué es lo que la alta gerencia espera de ellos. El equipo tiene la autoridad, el permiso de los distintos niveles operativos para considerar los cambios necesarios para lograr los resultados esperados.

Las cartas de proyectos nos proveen las siguientes ventajas:

- Eliminar cualquier confusión.
- Define las fronteras del proyecto.
- Define los entregables.
- Provee los recursos necesarios para el proyecto.

La carta de proyecto debe de contener los siguientes puntos clave:

- 1.- Caso del negocio.
- 2.- Declaración del problema.
- 3.- Alcance del proyecto.
- 4.- Declaración de la meta.
- 5.- Roles de los miembros del equipo.
- 6.- Entregables del proyecto.
- 7.- Recursos del proyecto.
- 8.- Diagrama de Gantt.

### **1.- Caso del negocio**

“El caso del negocio es un corto compendio de las razones estratégicas para realizar el proyecto. Generalmente el caso de negocio contiene temas de calidad, costo, o entrega de producto siempre bajo la justificación financiera.” (Nolan Moen, 1991,p.30)

Se sugieren estas cuatro actividades básicas:

1. Diseño de un nuevo producto.
2. Rediseño de un producto ya existente.
3. Diseño de un nuevo proceso.



#### 4. Rediseño de un proceso ya existente.

### **2.- Declaración del problema**

“La declaración del problema define con detalle las áreas de oportunidad que el equipo busca mejorar, este debe de ser neutral para no abordar las conclusiones de su solución. La recolección de información o el desempeño de los procesos puede proveer una imagen de las áreas en que la compañía tiene una mayor área de oportunidad, si las medidas de referencia son diferentes de los supuestos del equipo o empresa, mayor clarificación debe de tenerse.” (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.36)

### **3.- Alcance de proyecto**

“El alcance del proyecto se refiere al alcance del proyecto. Por ejemplo en el área del desarrollo de producto puede decidir los límites el lanzamiento de un producto el cual puede ser fabricado en una sola planta. Es recomendable que cada equipo de trabajo en sus primeras reuniones para aclararen el alcance del proyecto, el líder del equipo y el equipo deben de estar involucrado en este proceso.” (Lindsay Geddes, 1993,p.7)

### **4.- Declaración del problema**

La declaración puede ser creada por el equipo y el Project Champion, por lo general estas metas deben de ser realizable de 120 a 160 días. Típicamente las metas Seis Sigma deben de reducirse en un 50%.

#### Hitos y entregables

Para que se haga una correcta gestión de los proyectos, se deben de establecer etapas o hitos que son usados para mantener el proyecto y completarlo. (George Eckes, 2001,p.6)  
Asignando equipos de trabajo con una duración de 160 días puede tener un éxito anticipado.

Los típicos hitos pueden ser:

- Día 0 Comienzo: Inicio de las actividades del equipo.
- Día 1 Comienzo: Se comienza la etapa de definir del proyecto.
- Día 40 Se comienza la fase de medición del proyecto.
- Día 60 Se realiza la etapa de análisis del proyecto.
- Día 120 Se inicia la etapa de mejora.
- Día 160 Se concluye el proyecto con la presentación al equipo gerencial.

## 5.- Recursos requeridos

Los recursos deben de ser detallados. Típicamente los recursos de un proyecto incluyen:

- Personas Calificadas.
- Equipo.
- Maquinaria.
- Laboratorios de Pruebas o espacios de oficinas.
- Tiempo de Máquina.
- Equipo de Cómputo.

“La fase de definir de Seis Sigma debe de proveer al Project Champion, líder de equipo y miembros del equipo:

1. Importancia del proyecto.
2. Metas del proyecto.
3. Conocimiento del líder y miembros que integran el equipo.
4. Alcance del proyecto en términos de tiempo y presupuesto.
5. Proceso clave involucrado.
6. Métricas base actualizada.
7. Cuáles son los requerimientos del cliente.” (Rath Strong, 2000,p.56)

## Diagrama de Gantt

“Este diagrama nos muestra las actividades o eventos en función del tiempo y del costo. Cada actividad es mostrada con una barra horizontal la cual tiene la fecha de inicio y final.” (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.60)

El diagrama de Gantt incluye:

- Carta que son fáciles de entender.
- Cada barra representa una actividad.
- Es simple cambiar el diagrama.
- Puede ser construido con el mínimo de información.
- El diagrama muestra el progreso contra lo programado.

Las desventajas del programa pueden ser:

- No muestra interdependencia de las actividades.
- Los efectos de hacer una actividad antes o después no son mostrados.

- Los detalles de las actividades no son mostradas.
- Los valores son un poco predictivos para la presentación de los datos.

En la figura 14 se muestra el ejemplo de un diagrama de Gantt.

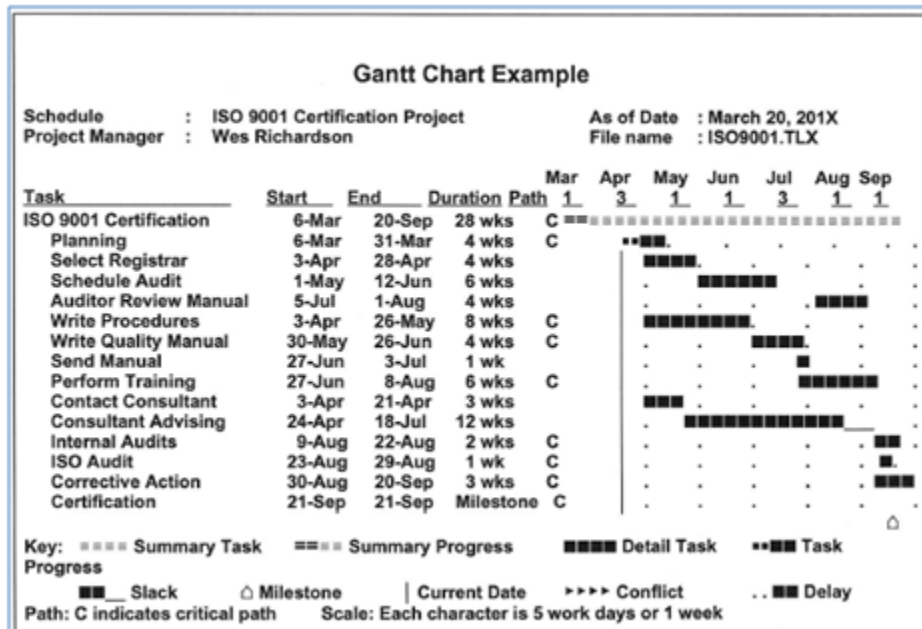


Figura 14 Ejemplo de un Diagrama de Gantt

Fuente: Elaboración propia en base a (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.61)

### 2.7.3. Críticos para la Calidad (CTQ's)

“Una técnica que es muy exitosa en Seis Sigma para la definición del problema es la construcción del árbol de CTQ's. Esta técnica nos permite tener las métricas para la satisfacción del cliente. Un árbol de CTQ's puede traducir los requerimientos del cliente a requerimientos numéricos o cuantificables para el producto o servicio. El desarrollo del árbol de CTQ's puede partir de un requerimiento general a uno específico o de algo difícil de medir a algo difícil de medir.” (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.7)

Generalmente se requiere dos o tres niveles para proceder de una necesidad a los CTQ's, en la figura 15 se muestra.

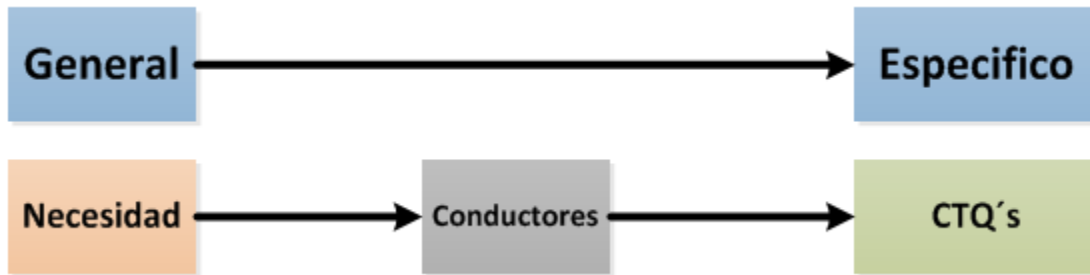


Figura 15 Concepto del Árbol de Critical to Quality.

Fuente: Elaboración propia en base a (Quality Council of Indiana: Define, 2014, p. 22)

Para la creación del árbol de CTQ's se tiene que seguir los siguientes pasos:

1. Identificar al cliente.
2. Identificar sus necesidades.
3. Identificar los requerimientos básicos.
4. Validar los requerimientos con el cliente.

Es importante indicar las métricas exactas. La etapa de medición es donde precisamente pueden ser determinadas.

### 2.7.3.1. Requerimientos Críticos para X

Los proyectos Seis Sigma pueden direccionarse a varios CTX (Críticos para X) Requerimientos.

#### Crítico para Calidad

Los proyectos de mejora pueden incluir:

- Simplificar productos de diseño.
- Alinear diseños con requerimientos del cliente.
- Conocer los mercados actuales.
- Exceder los niveles de calidad del mercado.
- Exceder las expectativas del producto.
- Proveer productos más duraderos.

### **Crítico para Costos de Calidad**

Proyectos de mejora de Costos de Calidad:

- Reducir rechazos internos.
- Reducir rechazos externos.
- Minimizar las operaciones de sorteo.
- Reducir reclamos de garantías.
- Reducir la variación del proceso.
- Reducir los distintos desperdicios.
- Eliminar las inspecciones.

### **Críticos para Entrega**

Los proyectos de mejora Críticos para la entrega:

- Proveer el servicio en el tiempo específico.
- Asegurarse de las respuestas del cliente.
- Conocer los requerimientos de empaque del cliente
- Minimizar el daño en el transporte del producto

### **Críticos para el Proceso**

Proyectos Críticos para el proceso pueden incluir:

- Diseño de productos para su rápido ensamble.
- Reducir tiempos de inventario.
- Optimizar el tiempo ciclo de la célula de trabajo.
- Reducir tiempo de flujo de proceso.

### **Críticos para Seguridad**

Proyectos Críticos para la seguridad:

- Simplificar tareas.
- Errores de operación.
- Proveer al operador de ayudas visuales.
- Utilizar alarmas de emergencia.
- Hacer productos amigables para el usuario.
- Crear instrucciones de trabajo claras.
- Llevar a cabo revisiones de seguridad.

## 2.7.4. Diagrama de Alto Nivel (SIPOC)

Un concepto clave en la metodología de Seis Sigma es el SIPOC, el mapa de proceso de alto nivel en el cual se enuncian proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes. (Pande Newman, 2000,p.34)

En la figura 16 se puede observar un ejemplo de un diagrama SIPOC.

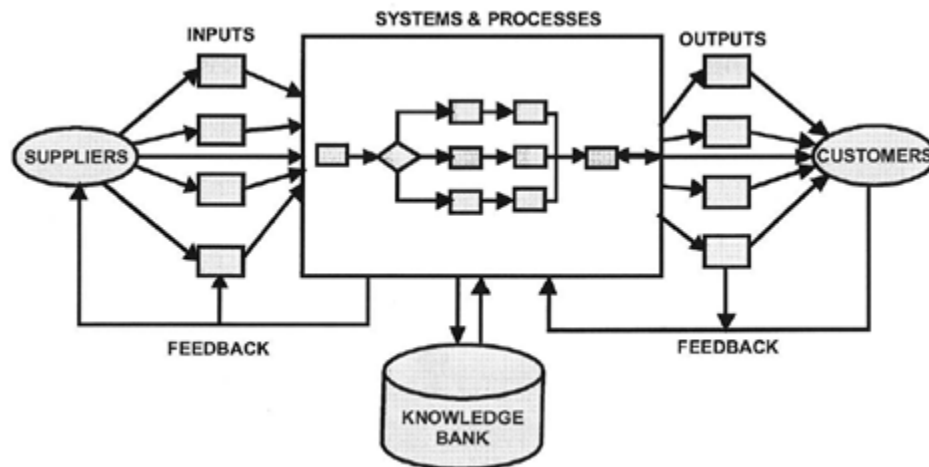


Figura 16 Ejemplo de Diagrama de Alto Nivel (SIPOC).

Fuente: (Quality Council of Indiana:Define, 2014, p.34)

Las ventajas de utilizar un Diagrama SIPOC son:

- Nos muestra todas las actividades en un simple diagrama.
- Es aplicable a pequeñas y grandes organizaciones.
- Es una fotografía grande con los detalles específicos.

La meta es identificar el flujo de trabajo y los recursos. El diagrama puede incluir un número esencial de procesos de soporte. El SIPOC captura los componentes desde los proveedores, procesos internos y los clientes.

El diagrama SIPOC está hecho para tener de 4 a 7 pasos. El mapa debe de estar diseñado por todos los miembros del equipo para que el proceso sea visto bajo la misma línea.

A continuación se enuncian los distintos pasos para realizar el diagrama SIPOC.

- Tener un equipo para crear un Mapa de proceso.
- El proceso debe de tener 4 o 5 pasos clave.
- Crear el listado de las salidas.
- La lista de clientes que reciben las salidas del proceso.
- Lista de entradas del proceso.
- Lista de entradas de proveedores del proceso.
- Identificar preliminarmente los requerimientos del cliente.

Un ejemplo de un Diagrama SIPOC se muestra en la Figura 17.

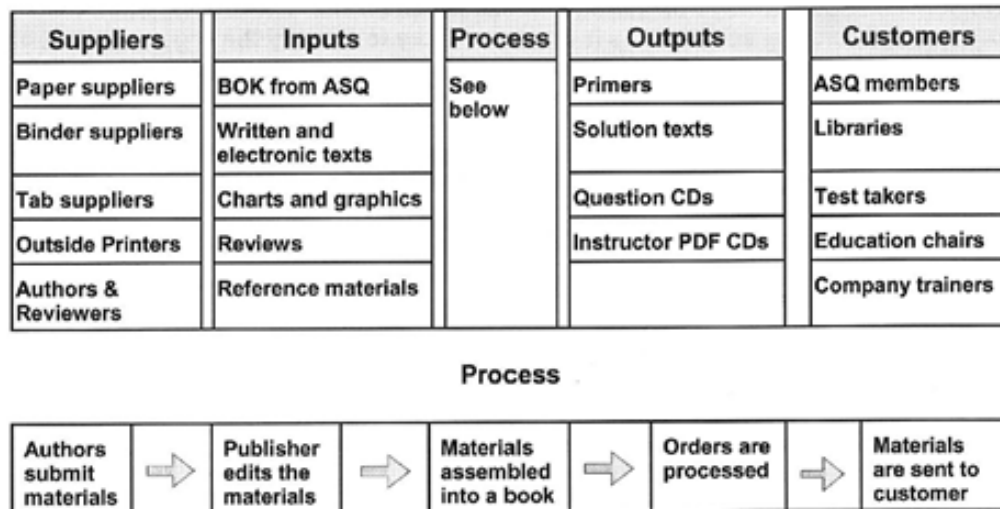


Figura 17 Ejemplo de Diagrama SIPOC.

Fuente: (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.35)

## 2.8. Fase de Medir

En la fase de Medir se enfoca a seleccionar una o más características para ser medidas, definiendo cómo serán medidas, estableciendo un plan de recolección de datos y la ejecución de recolección de datos.

En la etapa de medición se presentaran los siguientes temas:

- Características del proceso.

- Colección de datos.
- Sistemas de medición.

### 2.8.1. Diagrama de Flujo de Proceso

“Una carta de flujo o mapa de proceso es usado para familiarizarnos con el proceso y entenderlo. Un diagrama de flujo muchas veces es el punto de partida para los equipos de Seis Sigma. Los diagramas de flujo pueden ser usados para identificar procesos de mejorar para los equipos de Seis Sigma.” (Quality Council of Indiana:Measure-Data, 2014,p.24)

Para realizar un diagrama de flujo se debe de seguir la siguiente secuencia:

1. Organizar a un equipo para examinar el proceso.
2. Construir el diagrama de flujo para representar cada etapa del proceso.
3. Comparar el actual proceso con el proceso ideal.
4. Preguntarnos ¿Es necesariamente complejo?
5. ¿Los procesos duplicados y redundantes existen?
6. ¿Los puntos de control nos sirven para prevenir errores o separarlos?
7. ¿Las ideas de mejora pueden hacer sustancialmente mejores a los procesos?

A continuación en la figura 18 se muestra la nomenclatura para mapear los procesos:

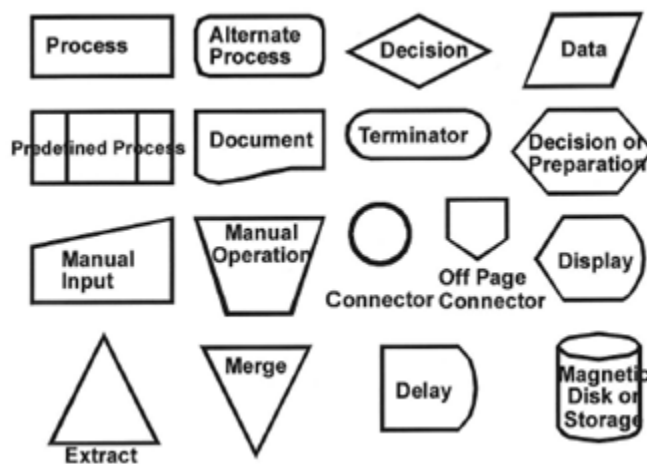


Figura 18 Símbolos comunes en un Diagrama de Flujo.

Fuente: (Quality Council of Indiana:Measure Data, 2014,p.25)

En la figura 19 se muestra un Diagrama de Flujo para la recepción de materiales.





Figura 19 Diagrama de Flujo de Materiales.

Fuente: (Quality Council of Indiana:Measure-Data, 2014,p.25)

## 2.8.2. Matriz Causa Efecto

“La matriz Causa Efecto nos ayuda a priorizar la importancia de los procesos de entrada clave.” (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.30)

Para construir una matriz es necesario:

- 1.- Listado de las variables de salida clave del proceso (KPOV’s).
- 2.- Asignar un numero de priorización de importancia para el cliente para cada salida clave del proceso la cual parte de 1 (bajo) al 10 (alto).
- 3.- Colocar el listado de las variables clave de entrada (KPIV’s).
- 4.- Listar las variables de entrada (KPIV’s) que pueden causar variabilidad o no conformidad en el proceso en las celdas de abajo de la columna en el lado izquierdo de la matriz.

5.- Asignar por medio de un consenso el número 1 (bajo) al 10 (alto) el efecto de cada variable de entrada (KPIV's) en cada variable de salida (KPOV's) en la celda que corresponda.

6.- Por cada columna de las variables de entrada (KPIV's) en la matriz, multiplicar la variable de salida.

7.- Para cada columna de variable de entrada (KPIV's) en la matriz, multiplicar el valor de prioridad de proceso de salida (KPOV) que se encuentra en la fila superior por el valor efecto (KPIV's) en cada celda y la suma en la fila para calcular un total para el variable de entrada (KPIV) y llegar a un consenso sobre que variables de entrada (KPIV's) deben recibir atención prioritaria.

Los resultados que ofrece la matriz Causa efecto son los siguientes:

- Listado y evaluación de las variables de salida (KPOV's).
- Listado y evaluación de las variables de entrada (KPIV's) en un resumen de un plan de control.
- Listado de las variables de entrada claves en un Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).

La matriz de Causa Efecto puede proveer una rápida vista acerca de la más importante variable de salida clave del proceso para relacionar con las entradas clave del proceso y así determinar cuáles son los requerimientos críticos para el cliente.

La matriz Causa Efecto como una herramienta que nos puede ayudar con la priorización de las variables de entrada claves del proceso. (Forest Breyfogle, 2003,p.6)

Los resultados de procesos de entrada clave son comparados para determinar que variables de entrada tienen un mayor efecto en las variables de salida.

En la figura 20 se muestra un ejemplo de una matriz Causa Efecto.

- 1.- Listado de variables de entrada clave del proceso.
- 2.- Listado de variables de salida clave del proceso y su calificación.
- 3.-Relación de las variables de entrada y de salida del proceso.
- 4.- Resultado de la relación de las variables de entrada con las de salida.

		Process Output Variables					Results	
		A	B	C	D	E		
Prioritization number →		3	1	6	10	4		
Process Input Variables	1	2		3	6		84	35
	2		7	4	2	3	63	27
	3	5			1		25	11
	4		6			4	22	9
	5			2	3		42	18
Totals							236	100

Figura 20 Ejemplo de Matriz Causa Efecto

Fuente: (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.31)

### 2.8.3. Análisis del Sistema de Medición (MSA)

Las razones para realizar un estudio MSA (la medición es una fuente importante de variación), uso de bloques patrón (gage blocks), cuando realizar un estudio MSA, Varianza total = varianza sistema medición + varianza del producto, razones de aplicar el R&R.

El análisis del sistema de medición tiene la siguiente terminología:

Sensibilidad: El sistema de medición puede ser lo suficientemente sensible para detectar las diferencias en las mediciones. Una inadecuada discriminación puede afectar a la exactitud y precisión que reporte el operador.

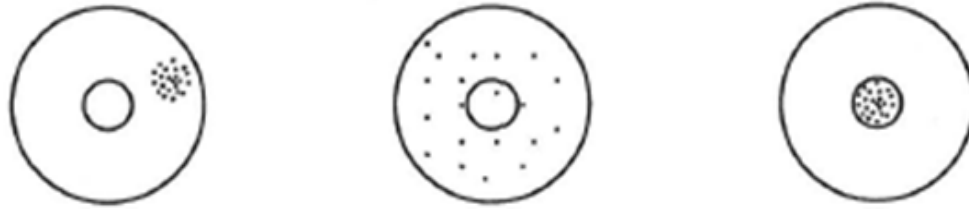
Reproducibilidad: La confiabilidad el sistema de medición o similares sistemas para reproducir las mediciones.

Exactitud: es la diferencia entre el promedio de un cierto número de mediciones y el valor verdadero.

Precisión: es la Repetibilidad que muchas veces es sustituida por la precisión.

La Repetibilidad es la habilidad para repetir las mismas mediciones por el mismo operador al mismo tiempo.

En la figura 21 se puede observar la diferencia entre precisión y exactitud.



Preciso pero no exacto

Ni preciso, ni exacto

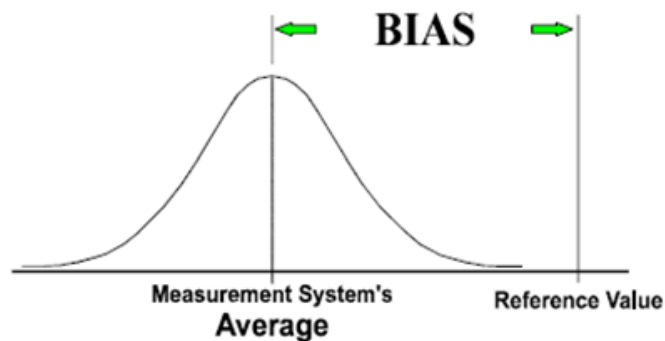
Exacto y preciso

**Figura 21 Diferencia entre precisión y exactitud.**

**Fuente: (Quality Council of Indiana:Measure Data, 2014,p.48)**

Exactitud: cercanía de acuerdo entre el resultado de la medición y el valor de referencia aceptado como verdadero, incluye: sesgo (diferencia sistemática entre el promedio de mediciones y el patrón  $X_m$  – estándar); linealidad (diferencia en sesgo a través del rango de medición); estabilidad (cambio en sesgo sobre el tiempo, estable con carta de control).

En la figura 22 se puede ver un ejemplo gráfico del sesgo.



**Figura 22 Ejemplo gráfico del sesgo**

**Fuente: (Quality Council of Indiana:Measure Data, 2014,p.48)**

Estabilidad (o desviación) es la variación total de las mediciones obtenidas con un sistema de medición, hechas sobre el mismo patrón o sobre las mismas partes, cuando se mide una sola de sus características, durante un período de tiempo prolongado.

En la figura 23 se puede ver un ejemplo gráfico de estabilidad.

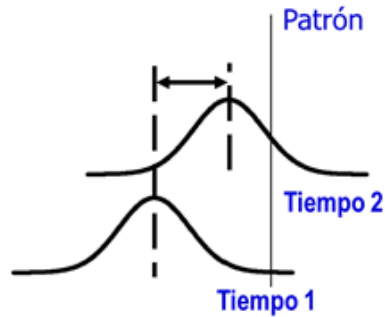


Figura 23 Ejemplo grafico de estabilidad

Fuente: (Quality Council of Indiana:Measure Data, 2014,p.48)

Precisión o Repetibilidad EV: cercanía entre mediciones individuales aleatorias, consistencia en mediciones repetidas, rango de mediciones repetidas bajo mismas condiciones.

En la figura 24 se puede ver de manera gráfica la repetibilidad.

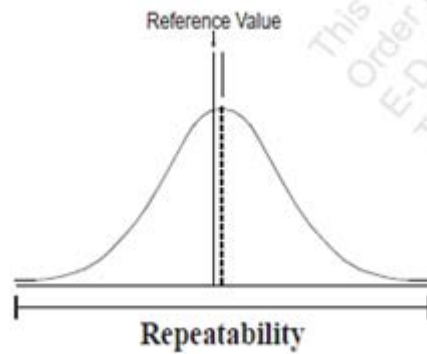


Figura 24 Ejemplo de repetibilidad

Fuente: (Quality Council of Indiana:Measure Data, 2014,p.48)

De acuerdo a la ISO y ASTM Sesgo se debe utilizar para error de localización, y es la diferencia entre el valor del patrón y la media de las mediciones repetidas.

Reproducibilidades la confiabilidad del sistema de medición para reproducir las mediciones. AV (diferencia en medias mediciones de diferentes operadores).

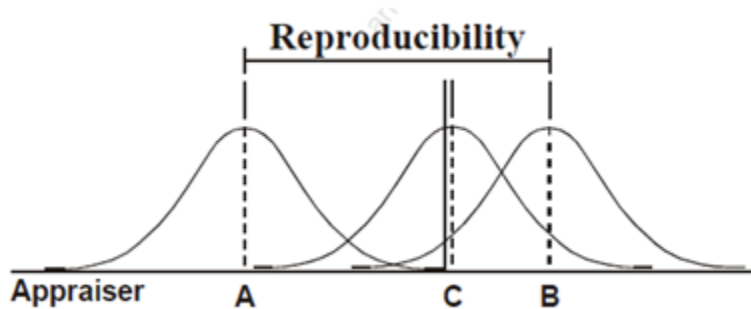


Figura 25 Ejemplo de Reproducibilidad

Fuente: (Quality Council of Indiana:Measure Data, 2014,p.48)

Discriminación: resolución o sensibilidad, capacidad para detectar e indicar cambios pequeños (mínima escala). Debe ser al menos un décimo de la variación a Seis Sigma del proceso o al menos de la tolerancia del producto a medir.

### 2.8.3.1. Repetibilidad y reproducibilidad

“Asumiendo que se asegura la exactitud y la sensibilidad, es deseable determinar los componentes de la varianza de un sistema de medición: repetibilidad, reproducibilidad y proceso.” (Quality Council of Indiana:Measure-Data, 2014,p.48)

Se tienen tres métodos para esto: método del rango, método de medias rangos, y método de ANOVA, como sigue:

“**Método del rango:** Este método no cuantifica la repetibilidad y la reproducibilidad por separado, más bien los evalúa en forma combinada, sin embargo es un método rápido.

Método de medias rango: Calcula la variabilidad total del sistema de medición y permite separar las variabilidades de repetibilidad, reproducibilidad y de las partes.” (Quality Council of Indiana:Measure-Data, 2014,p.49)

“**Método de ANOVA:** Es el método más exacto, calcula la variabilidad total del sistema de medición y permite separar las variabilidades de repetibilidad, reproducibilidad y de las partes. En adición, permite determinar la variabilidad de la interacción entre partes y evaluadores.” (Quality Council of Indiana:Measure-Data, 2014,p.49)

## Preparación

- Seleccionar 5 partes al azar y seleccionar una característica de calidad a medir.
- Identificar las partes numerándolas de 1 a 5.
- Seleccionar a tres técnicos e identificarlos como A, B y C.
- Hacer que los técnicos midan las partes usando el mismo equipo de medición.
- Repetir las mediciones de modo que haya dos réplicas para cada técnico.
- Método de Medias – rangos

El método muestra cómo se divide entre la variación total en repetibilidad, reproducibilidad y variación del proceso, como resultado de este análisis:

Se determina la repetibilidad al examinar variación entre los técnicos individuales y dentro de sus lecturas de medición.

Determinar la reproducibilidad al examinar la variación entre los promedios de los técnicos individuales para todas las partes medidas

Establecer la variación del proceso al checar la variación entre los promedios de las partes promediadas entre los técnicos.

En el siguiente ejemplo se muestra el análisis del sistema de medición por medio de minitab:

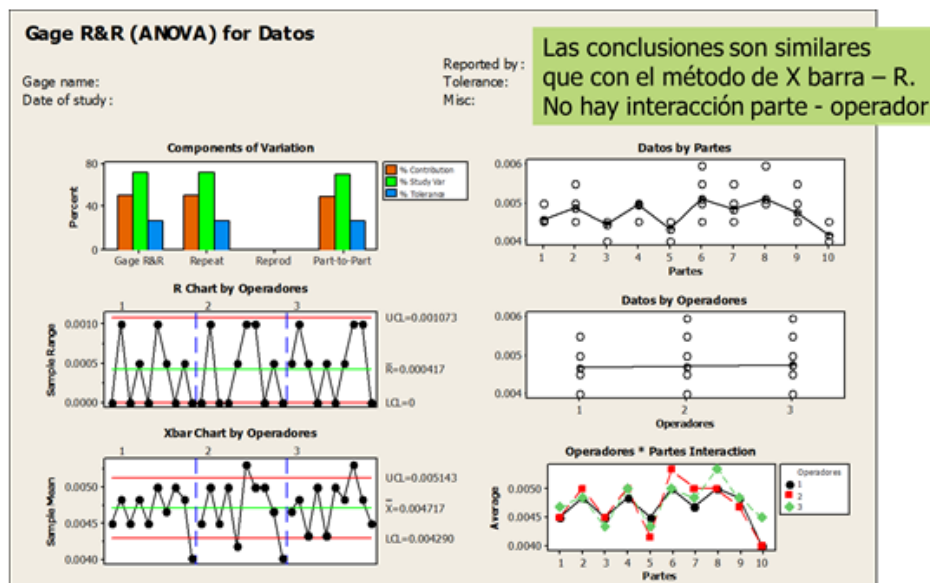


Figura 26 Resultados por medios del método gráfico.

Fuente: Elaboración propia con base a (Reyes, 2015,p.172)

### 2.8.3.2. Resultados de Automotive Industry Action Group (AIAG)

Se usan 5.15 sigmas o 99% de nivel de confianza.

% R&R <= 10%, con equipo usado para checar producto vs especificaciones. Ref. Tolerancia

“Si se usa para control del proceso, la referencia es la variación total del proceso.

Debe haber >= 5 categorías para asegurar una discriminación adecuada.” (Quality Council of Indiana:Measure-Data, 2014,p.52)

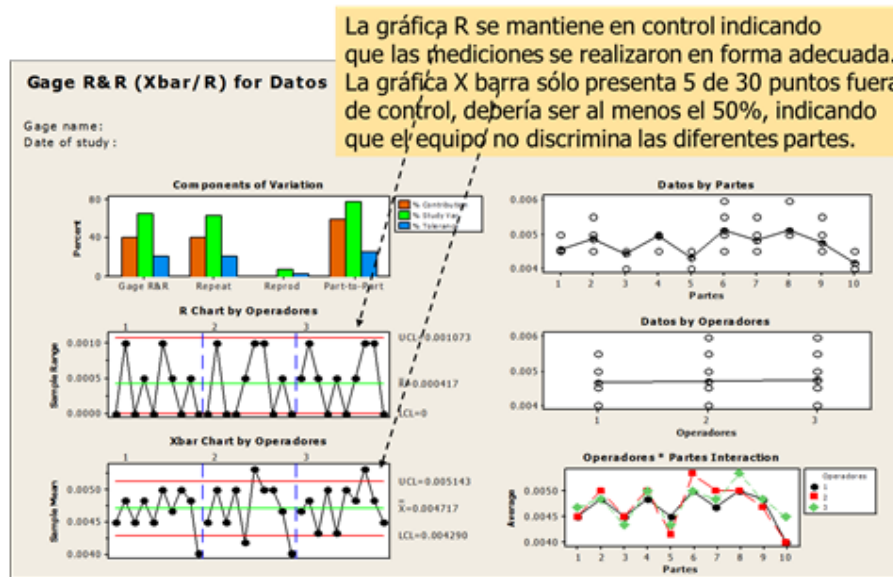


Figura 27 Método grafico del Análisis Repetibilidad y Reproducibilidad

Fuente: Elaboración propia con base a (Reyes, 2015,p.172)

En la figura 28 se pueden los resultados del Análisis Repetibilidad y Reproducibilidad por medio del método Análisis de Varianza.



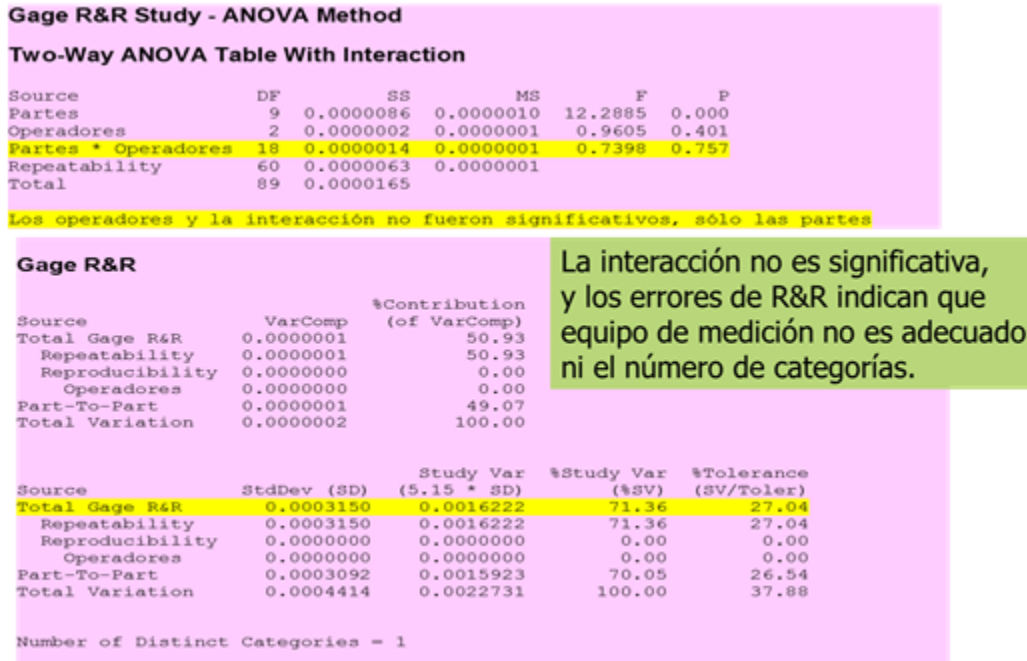


Figura 28 Resultados del Método de Análisis de Varianza

Fuente: Elaboración propia con base a (Reyes, 2015,p.173)

## 2.8.9. Capacidad de Proceso

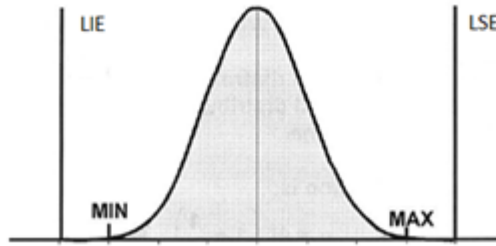
En la capacidad de proceso se verán los siguientes temas:

- Estudios de Capacidad
- Índices de Capacidad
- Índices de Desempeño

“La determinación de la capacidad de proceso requiere un patrón predictivo estadístico estable donde las causas de variación son comparadas con las especificaciones de ingeniería.” (Quality Council of Indiana: Measure-Statistics, 2014,p.49)

Un proceso capaz es aquel que se encuentra distribuido a lo largo de la curva normal y se encuentra dentro de los límites de especificación. El LSE es el límite superior de especificación y LIE es el límite inferior de especificación.

En la figura 29 se puede observar la dispersión que presenta bajo la curva normal y los límites de especificación.



**Figura 29 Comparación de la dispersión del proceso y los límites de especificación.**

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana: Measure Statistics, 2015,p.52)

El estudio de la capacidad de proceso incluye tres pasos:

- 1.- Planear la recolección de datos.
- 2.- Colectar los datos.
- 3.- Analizar la información que generan los datos.

El objetivo del control de proceso es para establecer el estado de control del proceso de manufactura y mantener ese estado en control a lo largo del tiempo.

Cuando los límites del proceso son comparados con los de especificación pueden resultar las siguientes acciones:

- Ninguna: los límites de proceso son similares a los de especificación.
- Cambiar las especificaciones: muchas de las veces las especificaciones no son realistas, es recomendable hablar con el cliente para realizar modificaciones.
- Centrar el proceso: cuando el proceso está distribuido a lo largo de los límites de especificación puede ser que centrándolo el proceso se encuentre dentro de las especificaciones.
- Reducir la variabilidad: muchas veces el proceso tiene distintos tipos de variación que son por lote a lote, pieza a pieza o variación de la máquina. Para un proceso que es complejo se puede utilizar un diseño experimental para identificar las fuentes de variación.

### 2.8.9.1. Identificar especificaciones y tolerancias

“Las especificaciones del proceso son determinadas por los requerimientos del cliente, estándares industriales o la gestión del departamento de ingeniería.

El estudio de la capacidad de proceso es usado para demostrar que tanto el proceso está centrado con los límites de especificación y con esto predecir si el proceso es capaz de cumplir con las tolerancias requeridas.” (Quality Council of Indiana:Measure-Statistics, 2014,p.55)

### 2.8.9.2. Índice de Capacidad

Este es un link directo entre el cálculo del Cp y el valor Z, en la tabla 5 se puede mostrar la conversión del Índice Cp, el valor Z y las ppm.

El proceso debe de mostrar las siguientes características:

- Estar centrado en X.
- Tiene dos especificaciones.
- Su distribución es normal.
- Cuando no hay significativos puntos en el promedio o desviación estándar.

Para determinar la Capacidad de Proceso, es necesario estimar el sigma:

$$\sigma_R = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

El sigma  $\sigma_R$  es un estimador para la capacidad de proceso y este proviene de la carta de control.

El índice de capacidad de proceso se define con la siguiente formula:

$$C_p = \frac{(USL - LSL)}{6\sigma_R}$$

La regla del Cp para que sea capaz es:

- Cpk >1.33 indica que el proceso está fabricando artículos que cumplen con las especificaciones.
- Cpk<1 indicaran que se están produciendo artículos fuera de las especificación.
- Cpk=0 o -0.1, indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.
- El proceso se considera centrado cuando este se mantiene centrado en los límites de especificación y el Cp=Cpk.

Tabla 6 Conversión de Capacidad de Proceso, Valores Z y Partes por millón

PPM / SIGMA / Cpk Conversion Table			
RECALL: PPM may or may not = DPMO. Only if each part has one defect type will they be the same value. If one PART has >1 defect opportunity then these values can be drastically different.			
*Converting to Cpk from a sigma level is an estimation since Cpk uses the USL or LSL, whichever is closest to the process mean. The opposite side that is not accounted for may have a tail that is unaccounted for.			
SIGMA LIMITS (long-term)	% POPULATION WITHIN LIMITS	PPM DEFECTIVE OUTSIDE LIMITS	Cpk*
+/- 0.6745 Sigma	50.00%	500,000	
<b>+/- 1.00 Sigma</b>	<b>68.27%</b>	<b>317,300</b>	<b>0.33</b>
<b>+/- 2.00 Sigma</b>	<b>95.45%</b>	<b>45,500</b>	<b>0.67</b>
+/- 2.36 Sigma	98.00%	20,000	0.79
<b>+/- 3.00 Sigma</b>	<b>99.73%</b>	<b>2,700</b>	<b>1.00</b>
+/- 3.12 Sigma	99.82%	1,800	1.04
+/- 3.19 Sigma	99.86%	1,400	1.06
+/- 3.23 Sigma	99.88%	1,200	1.08
+/- 3.29 Sigma	99.90%	1,000	1.10
+/- 3.35 Sigma	99.92%	800	1.12
+/- 3.54 Sigma	99.96%	400	1.18
+/- 3.71 Sigma	99.98%	200	1.24
+/- 3.89 Sigma	99.99%	100	1.30
<b>+/- 4.00 Sigma</b>	<b>99.9937%</b>	<b>63</b>	<b>1.33</b>
+/- 4.26 Sigma	99.9980%	20	1.42
+/- 4.42 Sigma	99.9990%	10	1.47
<b>+/- 4.50 Sigma</b>	<b>99.99966%</b>	<b>3.4</b>	<b>1.50</b>
+/- 4.75 Sigma	99.9998%	2	1.58
+/- 4.89 Sigma	99.9999%	1	1.63
<b>+/- 5.00 Sigma</b>	<b>99.99994%</b>	<b>0.6</b>	<b>1.67</b>
+/- 5.20 Sigma	99.99998%	0.2	1.73
+/- 5.32 Sigma	99.99999%	0.1	1.77
+/- 5.61 Sigma	99.999998%	0.02	1.87
+/- 5.73 Sigma	99.999999%	0.01	1.91
<b>+/- 6.00 Sigma</b>	<b>99.999999%</b>	<b>0.002</b>	<b>2.00</b>

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Measure-Statistics, 2015,p.62)

En la figura 30 se puede observar los distintos tipos del proceso.

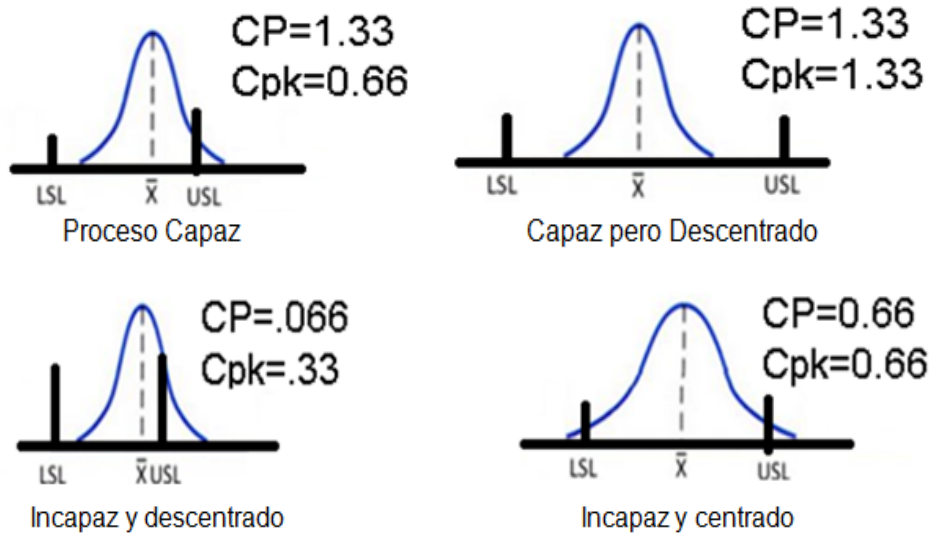


Figura 30 Tipos de Proceso

Fuente: Elaboración propia en base en (Quality Council of Indiana:Measure-Statistics, 2015,p.63)

Para obtener el Cpk se debe de tomar en cuenta la siguiente formula:

$$C_{pk} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_R} \text{ or } \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_R}$$

En el ejemplo 1 se muestra el cálculo del Cpk.

$$\mu=12$$

$$\sigma_R=2$$

$$LSE=16$$

$$LIE=4$$

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_R} = \frac{16 - 4}{6(2)} = \frac{12}{12} = 1$$
$$C_{pk \text{ upper}} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_R} = \frac{16 - 12}{3(2)} = \frac{4}{6} = 0.667$$
$$C_{pk \text{ lower}} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_R} = \frac{12 - 4}{3(2)} = \frac{8}{6} = 1.333$$
$$C_{pk \text{ min}} = C_{pk \text{ upper}} = 0.667$$

## 2.9. Fase de Analizar

En la fase de análisis se efectúa el análisis de los datos obtenidos en la fase de Medición con el propósito de conocer las relaciones causales o causas raíz del problema.

La información de este análisis nos proporcionará evidencias de las fuentes de variación y desempeño insatisfactorio, lo cual ayudará a la mejora del proceso.

En la fase de analizar se verán los siguientes temas:

- Diagrama Causa Efecto o Diagrama de Pescado.
- Análisis Multivariable.
- Análisis de Modo y Efecto de Falla.
- Prueba t-Student.
- Prueba de Fisher.

### 2.9.1. Diagrama Causa Efecto o Diagrama de Pescado

“El diagrama de pescado es una herramienta efectiva que nos ayuda a llegar a la causa raíz.” (Moses Juran , 1993,p.106)

Un diagrama de pescado nos ayuda:

- Desplegar de manera gráfica las posibles causas.
- Es llamado análisis de 4M's o Diagrama de Ishikawa.
- Muestra como varias causas interactúan.
- Siguiendo la lluvia de ideas se pueden generar ideas.

“Un diagrama de pescado consta de tres partes: Lluvia de ideas, priorización y el desarrollo del plan de acción. Generalmente se divide en 4M's (Maquina, método, Mano

de Obra y Material), ocasionalmente es expandido para analizar Medio Ambiente y Medición.” (Moses Juran , 1993,p.106)

En la figura 31 se muestra un diagrama de pescado básico.

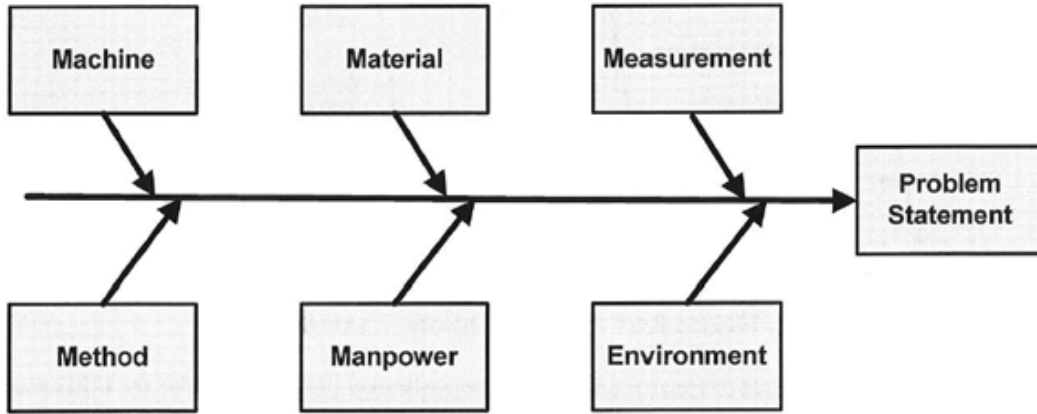


Figura 31 Diagrama de pescado básico.

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Analyze, 2015,p.109)

En la figura 32 se muestra un ejemplo de un diagrama de pescado en la cual analizan las causas que influyen para reducir los errores de recepción de material.

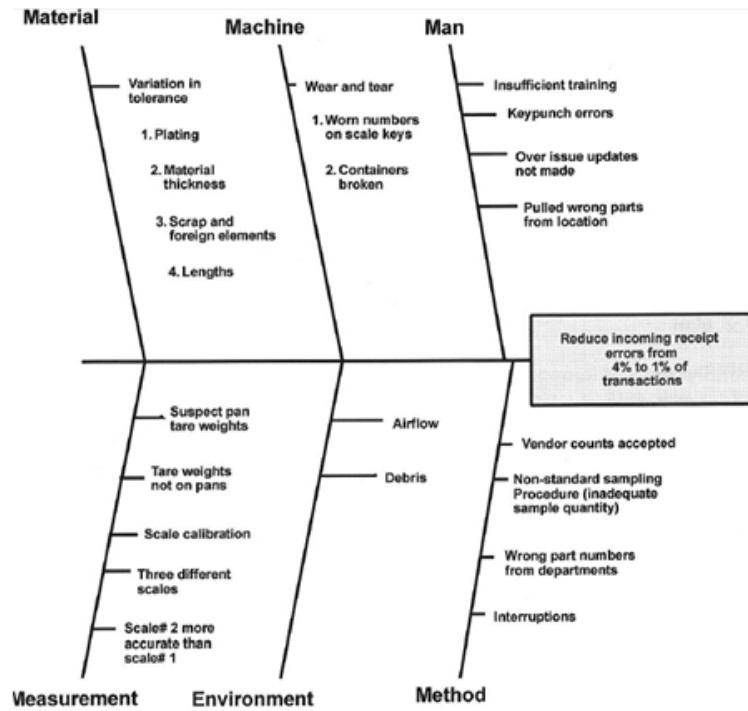


Figura 32 Ejemplo de diagrama de pescado.

Fuente: Elaboración propia con base a (Quality Council of Indiana: Analyze, 2015,p.110)

## 2.9.2. Análisis Multi-vari

“Las cartas Multi-Vari son prácticamente herramientas graficas en las cuales se ilustra la variación de las variables de entrada (x's) con respecto a las variables de salida (y's) o de respuesta, esto nos ayuda a ver todas las posibles fuentes de variación.” (The Black Belt Memory Jogger, 2002,p.127)

Las cartas Multi-Vari identifican tres principales familias de variación que pueden influenciar en la variabilidad del proceso, éstas son variación posicional, cíclica y temporal.

“Variación posicional. Se refiere a variaciones dentro de una misma pieza, variaciones producidas de un troquel a otro, dentro de un lote de piezas, de una máquina a otra, de un operador a otro, o de una planta a otra.” (The Black Belt Memory Jogger, 2002,p.56)

“Variación cíclica. Es la variación entre unidades de un mismo proceso, o variación entre grupos de unidades (lotes).” (The Black Belt Memory Jogger, 2002,p.127)

“Variación temporal. Variación de diferencia de tiempo (por ejemplo: de hora a hora, de día a día, de semana a semana, etc.), variación de una corrida de producción a otra, o variación de turno a turno.” (The Black Belt Memory Jogger, 2002,p.128)

Las cartas Multivari permiten observar en una sola carta el comportamiento de varias fuentes de variación. Para la teoría se anexa un archivo Cartas Multi-Vari.doc.

Ejemplo: Una empresa produce ejes para rotores eléctricos con diámetros de  $0.250 \pm 0.001$  mm, sin embargo el Cp es de 0.8 lo que significa que el proceso tiene una variabilidad excesiva.

La variabilidad considerada al tomar los datos se estima que proviene de las siguientes fuentes:

- Diferencia de diámetros en los extremos del eje izquierdo y derecho.
- Diferencia de diámetro máximo y mínimo en una misma posición que implica falta de redondez.
- Variación de una pieza a otra producida en forma consecutiva.
- Variación a lo largo del tiempo (largo plazo).

En la figura 33 se puede ver un ejemplo de una gráfica Multivariable en la que indica que existe una interacción entre el tipo de metal y la longitud de tiempo que es sinterizado.

La mayor resistencia a la compresión de metal tipo 1 se obtiene por sinterización durante 100 minutos, para metal Tipo 2 por sinterizado durante 150 minutos, y para el Metal Tipo 3 por sinterizado durante 200 minutos.

Para cuantificar esta interacción, podría seguir analizando estos datos utilizando técnicas como el análisis de la varianza o modelo lineal general.

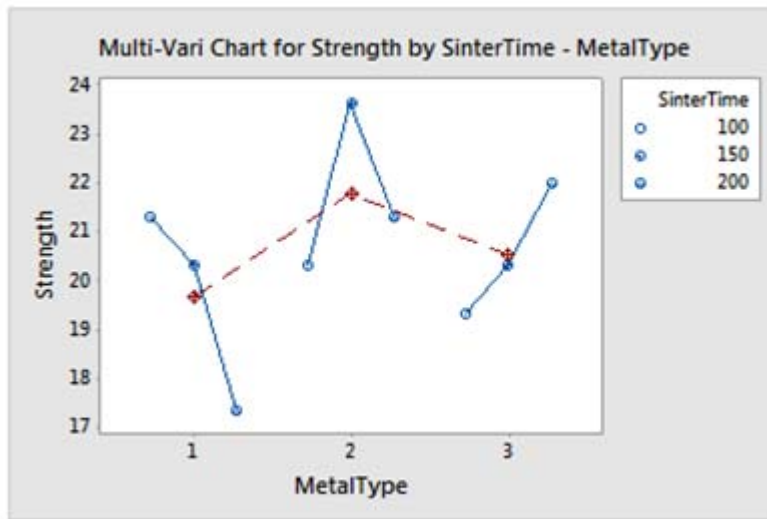


Figura 33 Ejemplo de Grafica Multi-Vari

Fuente: Elaboración propia con base a (Quality Council of Indiana: Analyze, 2015,p.17)

### 2.9.3. Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

“Un AMEF provee al diseño de ingeniería, ingeniería de confiabilidad, entre otros una técnica sistemática para analizar un sistema, subsistema o componente con un potencial o posible modo de falla. El AMEF es análisis detallado del sistema a nivel de componente, todos están catalogados como Modo de falla, efecto en la falla y la probabilidad de que la falla ocurra esto nos dará un índice de prioridad de riesgo llamado RPN.” (Quality Council of Indiana:Analyze, 2014,p.49)



### **2.9.3.1. Pasos para desarrollar el Análisis de Modo y Efecto de Falla**

Un ejemplo de AMEF completado se puede observar en la figura 27

- 1.- Asignar un folio o número al AMEF.
- 2.- Numero de parte u otra descripción.
- 3.- Responsable del diseño, producto o proceso.
- 4.- Persona responsable de la preparación del AMEF.
- 5.- El nivel de revisión del AMEF con el que debe de ser preparado.
- 6.- El subsistema o componente que debe de ser analizado.
- 7.- Función del componente.
- 8.- Potencial modo de Falla.
- 9.- Potencial efecto de la falla.
- 10.- Potencial causa de la falla.
- 11.- Acciones o contramedidas que se deben de efectuar para que no vuelva a ocurrir.
- 12.- P es la probabilidad de que el modo de falla ocurra el cual se maneja en una escala del 1 al 10, siendo 1 que no es posible que ocurra y 10 en el que hay una total certeza de que ocurra
- 13.- S es la severidad del efecto cuando ocurre, este tiene una escala del 1 al 10, siendo 1 un riesgo relativamente 1 y 10 un alto riesgo de seguridad para el consumidor.
- 14.- D es la detectabilidad la cual nos permite identificar debilidades potenciales. Este índice se maneja del 1 al 10, el 1 nos indica que el proceso tiene controles robustos y 10 que no se tienen controles en el proceso.
- 15.- El RPN es el número de prioridad de riesgo el cual se calcula Apartir de la multiplicación de  $(P)*(S)*(D)$ .
- 16.- Las acciones que se tomen deben de basarse en reducir el mayor RPN o el que tenga una mayor severidad.

El AMEF nos proporciona una disciplina al equipo de ingeniería para evaluar el producto detectar los modos de falla que se deben de tener consideración.

#### **Evaluación de Riesgo**

La evaluación del riesgo normalmente toma tres mediciones de falla, estas mediciones son:

- 1.- Severidad de la Falla (Tabla 7).

2.- Probabilidad u ocurrencia de la falla (Tabla 8).

3.- Detectabilidad de la Falla (Tabla 9).

La severidad de la falla generalmente se define como la categorización de la severidad la cual proviene de la MIL.STD-1629 Procedimiento para desarrollar los Modos de Falla.

Part No./Name: 37XT11-Lock Mech. P = Probability FMEA No. 43  
 Project: Re-design S = Seriousness Final Design Deadline: July 15, 2012  
 Other Departments: Shop Service, etc. D = Likelihood Prepared By: RCD  
 Subsystem Name: Quill Clamping Mechanisms RPN = Risk Priority Number Reviewed By: BLW  
 Suppliers Involved: Wilton and others FMEA Date: 6-15-12 Rev.  
 Design Responsibility: Bob Dovich

PART NUMBER NAME	FUNCTION	POTENTIAL FAILURE MODE(S)	POTENTIAL EFFECT(S) OF FAILURE	POTENTIAL CAUSE(S) OF FAILURE	CURRENT CONTROLS	RISK ASSESSMENT			RECOMMENDED CORRECTIVE ACTION(S)	ACTION(S) TAKEN	REVISED RISK ASSESSMENT				RESPONSIBLE DEPT OR INDIVIDUAL
						P	S	D			RPN	P	S	D	
WILTON POWER LOCK	CLAMP	LEAK	HOUSE-KEEPING	WEAR	ACCEPT SUPPLIER'S INFO	2	4	3	24	DISCUSS WITH SUPPLIER					
		LOSES CLAMPING FORCE (SHIFTING)	MACHINING PARTS OVERSIZE	SELECTED INADEQUATE SIZE POWER LOCK	ENG. STANDARD	2	4	4	32	PERFORM LOAD TESTS					
				MATERIALS & WORKMANSHIP	STD. Q.C.	1	4	2	8	NONE					
				OVER PRESSURE	NONE	2	4	2	16	REVIEW NEED FOR SYSTEM TO PREVENT OVER-PRESSURIZATION					
				PUMP SIZING	ENG. STANDARD	1	4	2	8	REVIEW PRESSURE DELIVERED IN FIELD AND ACTUAL NEED					

Figura 34 Ejemplo de un Análisis de Modo y Efecto de Falla

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana: Analyze, 2015,p.92)

### 2.9.3.2. Tipos de Análisis de Modo y Efecto de Falla

De acuerdo al Quality Council, se tienen 4 tipos de AMEF:

1. AMEF de Diseño: es desarrollado en los productos o servicios con un cierto nivel de diseño, el propósito es minimizar los efectos de la falla en el sistema.
2. AMEF de Proceso: es desarrollado por el proceso de manufactura, este es llevado a cabo por la fase de planeación de la calidad y junto con producción.
3. AMEF de Sistema.
4. AMEF funcional: se enfoca en el desempeño de una parte o dispositivo en lugar de las características específicas de las partes individuales.

**Tabla 7 Categorías de Severidad**

Efecto	Efecto en el Cliente	Calificación
Falla en el cumplimiento con requerimientos de Seguridad y/o Regulatorio	Modo de Falla potencial involucra algún incumplimiento con regulaciones gubernamentales sin advertencia	10
	Modo de Falla potencial involucra algún incumplimiento con regulaciones gubernamentales con advertencia	9
Pérdida o Degradación de alguna función primaria	Pérdida o Degradación de alguna función primaria inoperable	8
	Pérdida o Degradación de alguna función primaria pero operable	7
Pérdida o Degradación de alguna función secundaria	Pérdida o Degradación de alguna función secundaria pero con funciones inoperables	6
	Pérdida o Degradación de alguna función secundaria pero con niveles de desempeño reducido	5
Molestia o Incomodidad	El artículo no genera el confort y es notado por la mayoría de los clientes	4
	El artículo no genera el confort y es notado por muchos clientes	3
	El artículo no genera el confort y es notado por un número mínimo de clientes	2
Ninguno	Sin efecto perceptible	1

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Analyze, 2015,p.96)

**Tabla 8 Clasificación de Ocurrencia**

Probabilidad	Indices de Falla	Calificación
Muy alta : Fallas Persistentes	La falla es casi inevitable: 100 por mil ≥1 en 10	10
Alta: Fallas Frecuentes	50 por mil 1 en 20	9
	20 por mil 1 en 50	8
	10 por mil 1 en 100	7
Moderada : Fallas Ocasiones	2 por mil 1 en 500	6
	0.5 por mil 1 en 2 mil	5
	0.1 por mil 1 en 10,000	4
Poca	0.01 por mil 1 en 100,000	3
	< 0.001 por mil 1 en 1,000,000	2
Remota: La falla es improbable	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este proceso o con proceso casi idéntico.	1

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Analyze, 2015,p.96)

**Tabla 9 Categorías de Detectabilidad**

Detección	Criterio	Tipos de Inspección			Métodos de seguridad de Rangos de Detección	Calificación
		A	B	C		
Casi Imposible	Certeza Absoluta de No detección				No se puede detectar o no es verificada	10
Muy Remota	Los controles no lo detectarían				El control es logrado solamente con verificaciones indirectas o al azar	9
Remota	Los controles tienen poca oportunidad de detección				El control es logrado solamente con inspección visual	8
Muy Baja	Los controles tienen poca oportunidad de detección				El control es logrado solamente con doble inspección visual	7
Baja	Los controles pueden detectar				El control es logrado solamente con doble inspección visual	6
Moderada	Los controles pueden detectar				El control se basa en mediciones por variables después de que las partes dejan la estación, o en dispositivos Pasa No pasa realizado en el 100% de las partes después de que las partes han dejado la estación.	5
Altamente Moderada	Los controles tienen buena oportunidad para detectar				Detección de error en operaciones subsiguientes, o medición realizada en el ajuste y verificación de primera pieza (solo para causas de ajuste)	4
Alta	Los controles tienen buena oportunidad para detectar				Detección del error en la estación o detección del error en operaciones subsiguientes por filtros múltiples de aceptación: suministro, instalación, verificación. No puede aceptar parte discrepante	3
Muy alta	Controles casi seguros para detectar				Detección del error en la estación (medición automática con dispositivo de paro automático). No puede pasar la parte	2
Muy alta	Controles casi seguros para detectar				No se pueden hacer partes discrepantes porque el ítem ha pasado a prueba de errores dado el diseño del proceso/producto	1

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Analyze, 2015,p.97)

### 2.9.4. Pruebas de Hipótesis

“Otra manera de hacer inferencia es haciendo una afirmación acerca del valor que el parámetro de la población bajo estudio puede tomar. Esta afirmación puede estar basada en alguna creencia o experiencia pasada que será contrastada con la evidencia que nosotros obtengamos a través de la información contenida en la muestra.” (Quality Council of Indiana:Analyze, 2014,p.49)

Una prueba de hipótesis comprende cuatro componentes principales:

- Hipótesis Nula.
- Hipótesis Alternativa.
- Estadística de Prueba.
- Región de Rechazo.

La Hipótesis Nula, denotada como  $H_0$  siempre especifica un solo valor del parámetro de la población si la hipótesis es simple o un conjunto de valores si es compuesta (es lo que queremos desacreditar)

La Hipótesis Alternativa, denotada como  $H_a$  es la que responde nuestra pregunta, la que se establece en base a la evidencia que tenemos.

Como las conclusiones a las que lleguemos se basan en una muestra, hay posibilidades de que nos equivoquemos.

Dos decisiones correctas son posibles:

- Rechazar  $H_0$  cuando es falsa.
- No Rechazar  $H_0$  cuando es verdadera.

Dos decisiones incorrectas son posibles:

- Rechazar  $H_0$  cuando es verdadera.
- No Rechazar  $H_0$  cuando es falsa.

La Región de Rechazo es el conjunto de valores tales que si la prueba estadística cae dentro de este rango, decidimos rechazar la Hipótesis Nula

### **Conclusiones de una Prueba de Hipótesis:**

Si rechazamos la Hipótesis Nula, concluimos que “hay suficiente evidencia estadística para inferir que la hipótesis nula es falsa”

Si no rechazamos la Hipótesis Nula, concluimos que “no hay suficiente evidencia estadística para inferir que la hipótesis nula es falsa”

Los siguientes pasos nos ayudan a desarrollar una prueba de hipótesis:

- 1.- Definir el tema que debe de ser estudiado.
- 2.- Defina el objetivo.
- 3.- Establezca la hipótesis nula  $H_0$ .  $H_0: \mu\text{-antes} = \mu\text{-después}$ .
- 4.- Establezca la hipótesis alternativa  $H_a$ .  
 $H_a: \mu\text{-antes} \neq \mu\text{-después}$ .  
 $H_a: \mu\text{-antes} < \mu\text{-después}$ .  
 $H_a: \mu\text{-antes} > \mu\text{-después}$ .
- 5.- Determina la diferencia práctica.
- 6.- Establecer  $\alpha$  y  $\beta$ .

- 7.- Determinar el número de muestras.
- 8.- Recolectar el número de muestra para determinar el p-valor.
- 9.- Comparar el p-valor para determinar si se acepta la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$

**Tipos de Errores**

Cuando formulamos una conclusión basada en observaciones de una muestra pequeña, se pueden tener dos tipos de errores que son:

“Errores tipo I y Tipo II: Tipo I cuando se rechaza la  $H_0$  siendo verdadera, riesgo Alfa o riesgo del productor (probabilidad de rechazar un producto bueno dentro de su AQL, 5% típico).” (Quality Council of Indiana:Analyze, 2014,p.29)

“Tipo II cuando no se rechaza la  $H_0$  que es falsa, riesgo Beta o riesgo del consumidor (probabilidad de no rechazar un producto de calidad inaceptable, con fracción defectiva en LTPD).” (Quality Council of Indiana:Analyze, 2014,p.29)

Se asume que un valor pequeño para  $\alpha$  es deseable, sin embargo esto incrementa el riesgo  $\beta$ .

Para un mismo tamaño de muestra  $n$  ambos varían inversamente Incrementando el tamaño de muestra se pueden reducir ambos riesgos.

Los tipos de errores se pueden mostrar en la figura 35.

		Null Hypothesis	
		True	False
The Decision Made	Fail to Reject $H_0$	$p = 1 - \alpha$ Correct Decision	$p = \beta$ Type II Error
	Reject $H_0$	$p = \alpha$ Type I Error	$p = 1 - \beta$ Correct Decision

Figura 35 Tipos de Errores

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Analyze, 2015,p.29)

## Tipos de Pruebas de Hipótesis

Se tienen distintas pruebas de hipótesis, en la figura 36 se puede mostrar la matriz de selección de herramientas.

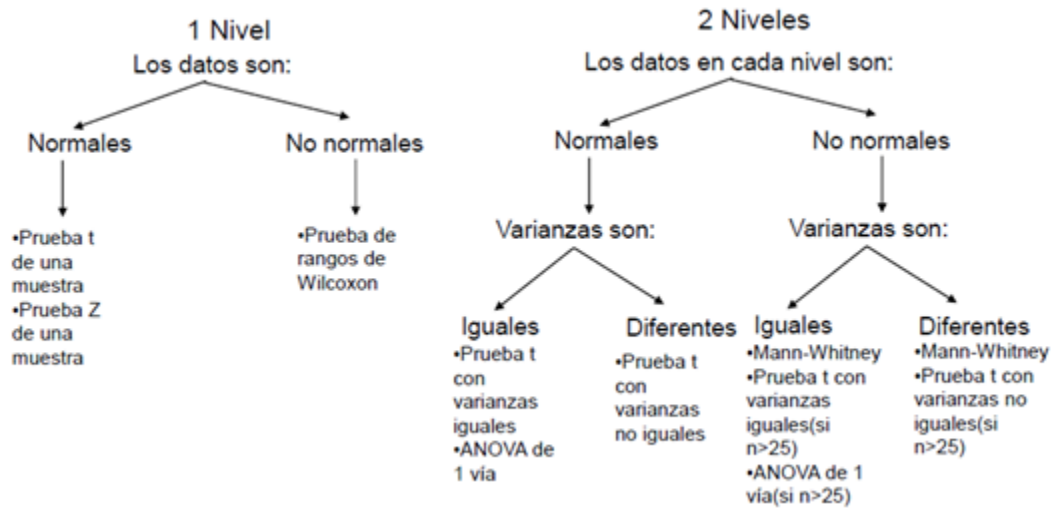


Figura 36 Matriz de selección de herramientas.

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Analyze, 2015,p.29)

### 2.9.4.1. Prueba t-Student

“La distribución t-student está formada por la combinación de una variable estándar aleatoria y la chi cuadrada aleatoria. “ (Quality Council of Indiana:Analyze, 2014,p.42)

Si la z es una variable aleatoria estándar y la chi cuadrada es una variable aleatoria con v grados de libertad, entonces la variable aleatoria tiene una distribución así:

$$t = \frac{z}{\sqrt{\frac{X^2}{v}}}$$

La distribución t es equivalente a la distribución F con 1 y v grados de libertad.

De una muestra aleatoria con n datos, la probabilidad puede ser:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

Ejemplo: la media de estos 15 datos es 495.13. La desviación estándar de la muestra es 8.467. La probabilidad de que la población sea más grande que 500 es igual al área debajo de la curva, con 14 grados de libertad.

<b>480</b>	<b>489</b>	<b>491</b>	<b>508</b>	<b>501</b>	$t = \frac{495.13 - 500}{8.467/\sqrt{15}} = 2.227$
<b>500</b>	<b>486</b>	<b>499</b>	<b>479</b>	<b>496</b>	
<b>499</b>	<b>504</b>	<b>501</b>	<b>496</b>	<b>498</b>	

De la tabla en el apéndice, el área debajo de la curva la probabilidad con 14 grados de libertad, hacia la izquierda de -2.227 es 0.0214. Al analizar las muestra de los 15 datos nos dice que hay un 2.14% de posibilidades de que la población sea mayor a 500.

Se corre en minitab el ejercicio y nos resulta:

**One-Sample T**

Test of  $\mu = 500$  vs  $> 500$

N	Mean	StDev	SE Mean	95% Lower Bound	T	P
15	495.13	8.47	2.19	491.28	-2.23	0.979

Al observar el valor p se puede concluir que la media de los datos no es mayor a los 500.

**2.9.4.2. Prueba de Fisher**

“La necesidad de un método estadístico de comparación de dos varianzas poblacionales es necesaria y es esto es cuando uno desea comparar la precisión de un dispositivo de medición a otro, o la estabilidad relativa de dos proceso de fabricación.” (Quality Council of Indiana:Analyze, 2014,p.57)

Cuando la X chi cuadrada aleatoria con  $v_1$  grados de libertad y Y es una chi cuadrada con variable aleatoria  $v_2$  grados de libertad, X y Y son independientes entonces:

$$F = \frac{X / v_1}{Y / v_2}$$

La función de densidad de probabilidad de la distribución F, se muestra en la figura 37.



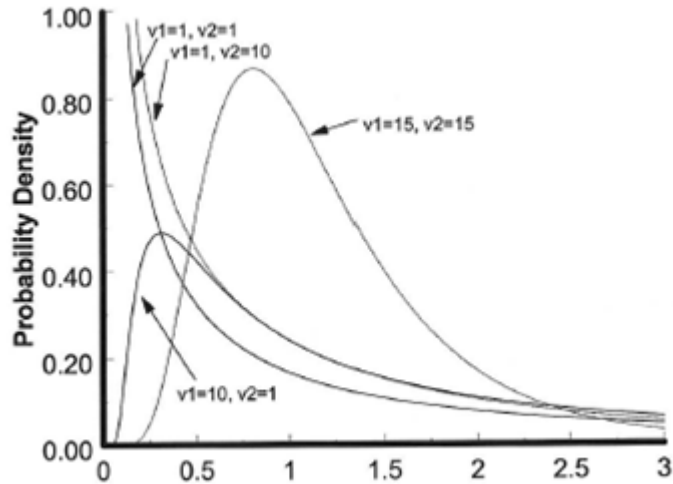


Figura 37 Función de densidad de Distribución F

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Analyze, 2015,p.47)

En el siguiente ejemplo se muestra la comparación de medias (t-student) y varianzas (Prueba de Fisher).

Se tienen dos basculas (estática vs dinámica) y se desea comprobar las medias y varianzas.

Ho: Varianza Estática = Varianza Dinámica

Ha: Varianza Estática ≠ Varianza Dinámica

Two-sample T for Estática vs Dinámica

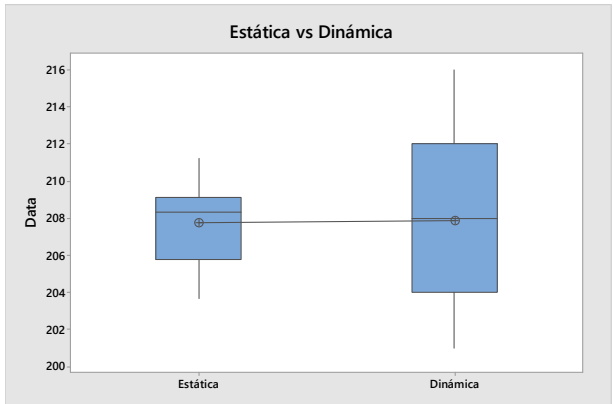
	N	Mean	StDev	SE Mean
Estática	20	207.75	2.11	0.47
Dinámica	20	207.90	4.66	1.0

Difference =  $\mu$  (Estática) -  $\mu$  (Dinámica)

Estimate for difference: -0.15

95% CI for difference: (-2.50, 2.20)

T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = -0.13 P-Value = 0.897 DF = 26



Al observar el valor se puede ver que hay diferencia significativa entre las varianzas

## **2.10. Fase de Mejora**

En la fase de Mejora se busca desarrollar, probar e implementar soluciones que atiendan a las causas raíz.

En la fase de mejora se manejarán las siguientes herramientas:

- Métodos LEAN.

### **2.10.1. Métodos LEAN**

“Varias técnicas de Lean Manufacturing son usadas en la fase de control de Seis Sigma para eliminar desperdicio como: 5’s, controles visuales, Kaizen, Kanban, Poka Yoke, Lecciones de un Punto, Elaboración de los Estándares Provisionales de Limpieza, Inspección y Lubricación y Estándares de Trabajo.” (Quality Council of Indiana:Improve, 2014,p.38)

#### **2.10.1.1. Lección de Un Punto ( OPL )**

“Las OPL son herramientas de enseñanza, extremadamente eficientes, porque son rápidas y enfocadas en algún tópico sobre el cual todos los miembros necesitan saber.

Es esencial que la persona que pasó la instrucción, haga un seguimiento para asegurarse que el conocimiento transmitido sea convertido en algo practicado todos los días.” (Curso de Facilitadores de TPM, 2013,p.24)

“Una lección punto a punto (OPL) es algo que toma cerca de 5 minutos, es una Lección de autoaprendizaje, diseñada por los miembros del equipo y cubre un aspecto sencillo del equipo o de la estructura de la máquina, del funcionamiento o método de inspección.” (Curso de Facilitadores de TPM, 2013,p.41)

#### **Propósitos de la Lección de un Punto**

Las lecciones punto a punto poseen tres propósitos

- Ayudar a desarrollar el conocimiento sobre equipos y habilidades y transmitir informaciones sobre mejoras y problemas específicos.
- Compartir informaciones importantes fácilmente cuando es necesario.
- Mejorar el desempeño del equipo como un todo.

Como utilizar la lección de Un Punto (OPL):

- 1 - Desarrollar e investigar las lecciones
- 2 - Elaborar sus propias hojas de lecciones
- 3 - Explíquelo a un compañero y certifíquese de que el aprendizaje ha sido efectivo y siga el proceso de aprendizaje de la OPL dentro de su equipo.
- 4- Procure hacer puntos claros que no tomen más de 10 minutos para explicar el tema

En la figura 46 se puede ver un ejemplo de una OPL.

**OPL**  
LECCIÓN DE UN PUNTO

Unilever Lerma

FOLIO: \_\_\_\_\_

TEMAS: **Máquinas QA**

PREPARADOR: **Rafael Rubio R.**

CONTENIDO: **426559**

Calidad  Seguridad  Problemas  Mejoras  Mantenimiento  DPM  Otros

**OBJETIVO:**

Establecer la relación entre Maquina y Defecto para asegurar la Calidad de los productos a través de los equipos

La Calidad esta altamente relacionada con las condiciones del equipo.  
Si la Calidad esta altamente relacionada con los equipos es necesario tomar medidas preventivas encontrando "Las condiciones para equipos con cero defectos".  
La forma de mantener los equipos en tales medidas preventivas es mediante las matrices QAVM de Mantenimiento de Calidad.

**Etapas de proceso de las líneas**

**PPRC**  
Programa de Puntos Críticos de la Línea

**C1** Origen del defecto

**C2** Relación de las 4M's Máquina, Método, Medición y Personas

La calificación de la severidad la obtenemos a partir del defecto que el defecto ocasiona a la Integridad del producto

La calificación de ocurrencia la obtenemos a partir de la matriz de Recomendación

Figura 38 Ejemplo de una Lección de un Punto (OPL)

Fuente: Elaboración propia con base en (Curso de Facilitadores de TPM, 2013,p.24)

### 2.10.1.2. Elaboración de los Estándares Provisionales de Limpieza, Inspección y Lubricación

“Consiste en la construcción de estándares provisionales de limpieza, inspección y lubricación que puedan ser ejecutados por operación en el sentido de garantizar que las condiciones básicas del equipo se mantengan.” (Curso de Facilitadores de TPM, 2013,p.42)

Se realiza el mapeo de todos los puntos de lubricación existentes en el equipo para que Mantenimiento Planeado capacite e instruya Mantenimiento Autónomo en cómo hacer la lubricación de estos puntos.

#### Objetivo

“Desarrollar condiciones básicas de actividades para impedir la deterioración de los equipos, garantizar el mantenimiento y gestión de la limpieza, lubricación e inspección.

Desarrollar estándar de acciones que permita el mantenimiento efectivo de las condiciones básicas de funcionamiento de los equipos creados por los propios operadores.” (Curso de Facilitadores de TPM, 2013,p.43)

Desarrollar controles visuales que faciliten las actividades de inspección, lubricación e inspección.

El diagrama muestra un estándar L.I.L.A. para un sistema de empaquetado de cajas. El título es "ESTANDAR L.I.L.A" y "5 de 8". El diagrama está dividido en varias secciones: "AD - 12" (con un diagrama de flujo), "SISTEMA DE ENCAJONADO DE ESTUCHE" (con una tabla de actividades) y "DETALLADO" (con una tabla de especificaciones). Los números 1-9 indican puntos clave de inspección, lubricación y limpieza.

AD - 12		SISTEMA DE ENCAJONADO DE ESTUCHE										DETALLADO							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Fuente: Elaboración propia con base en (Curso de Multiplicadores de TPM, 2013,p.44)

- 1.- Sistema en el que se aplica el Estándar L.I.L.A.
- 2.- Componentes del Sistema.

- 3.- Elementos del Sistema.
- 4.- Puntos de Limpieza.
- 5.- Puntos de Inspección.
- 6.- Puntos de Lubricación.
- 7.- Puntos de Ajuste y Apriete.
- 8.- Actividades que se deben de realizar en el estándar.
- 9.- Frecuencia en las que se deben de realizar las actividades del Estándar.

## **2.11. Fase de Controlar**

En la fase de control una vez implementadas las mejoras en nuestro proceso, el último paso es asegurar que las implementaciones se mantengan y estén siendo actualizadas a través del tiempo.

Las herramientas que se verán en esta fase son:

- Control Estadístico de Proceso.
- Plan de Control.

### **2.11.1. Control Estadístico de Proceso**

El control estadístico de proceso es una técnica para aplicar el análisis estadístico para medir, monitorear y controlar el proceso. El mayor componente del CEP es el uso de cartas de Control. La premisa básica del CEP es que todos los procesos están sujetos a la variación. (Quality Council of Indiana:Control, 2014,p.2)

Esta variación se clasifica en dos tipos de variación que son: Causas comunes de variación y Causas asignables de variación.

#### **2.11.1.1. Cartas de Control**

“Las cartas de control son las más poderosas herramientas para analizar la variación en la mayoría de los procesos tanto de manufactura como administrativos. Un proceso es considerado bajo control cuando los grupos graficados no exceden los límites de control superior e inferior. Cuando un proceso está en control es predecible.” (Quality Council of Indiana:Control, 2014,p.8)

### **Cartas de Control por Variables**

Estas miden características del proceso como temperatura, tamaño, peso, ventas, volumen, embarques, etc. (Quality Council of Indiana:Control, 2014,p.8)

#### **Tipos de Cartas de control:**

- Cartas X-R. (Cuando los datos pueden procesados).
- Cartas de Corrida. (Limitado a un solo punto).
- Cartas MR Cartas de promedio Móvil.
- X-MR Carta de Rangos Móviles.
- Cartas de Medianas.
- Cartas CUSUM.
- Cartas de Promedios móviles.
- Cartas EWMA

### **Cartas de control por Atributos**

Las cartas de control por atributos generalmente hacen una medición del total del proceso (número de reclamos, número de órdenes a tiempo, frecuencia de ausentismo, número de errores por letra.) (Quality Council of Indiana:Control, 2014,p.8)

Los tipos de carta de control son:

- Cartas p (Fracción de defectivos).
- Cartas np (Numero de defectivos).
- Cartas c (Numero de defectos).
- Cartas u (Numero de defectos por unidad).

### **Términos de las Cartas X-R**

N: tamaño de muestra.

X: promedio de las lecturas en una muestra.

X: promedio de promedios

R (Rango): La diferencia entre el valor máximo y el mínimo.

R (Rango): Promedio de rangos.

LIC/LSC: Límite Inferior y Superior de Control.

### 2.11.1.2. Pasos para construir una Carta de Control

- 1.- Determinar el tamaño de muestra y la frecuencia del muestreo.
- 2.- Colectar de 20 a 25 conjuntos de muestras.
- 3.- Calcular el promedio de cada uno de los conjuntos de muestras.
- 4.- Calcular el rango de cada uno de los conjuntos de muestras.
- 5.- Calcular el promedio de promedios.
- 6.- Calcular el promedio de los rangos.
- 7.- Calcular los límites de control:

$$\bar{X} \text{ chart: } UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

$$R \text{ chart: } UCL_R = D_4 \bar{R} \quad LCL_R = D_3 \bar{R}$$

- 8.- Graficar los datos e interpretarlos por causas especiales o asignables.

n	A <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>
2	1.88	0	3.27	1.13
3	1.02	0	2.57	1.69
4	0.73	0	2.28	2.06
5	0.58	0	2.11	2.33
6	0.48	0	2.00	2.53

En la figura 47 se puede ver un ejemplo de una Carta de Control X-R.

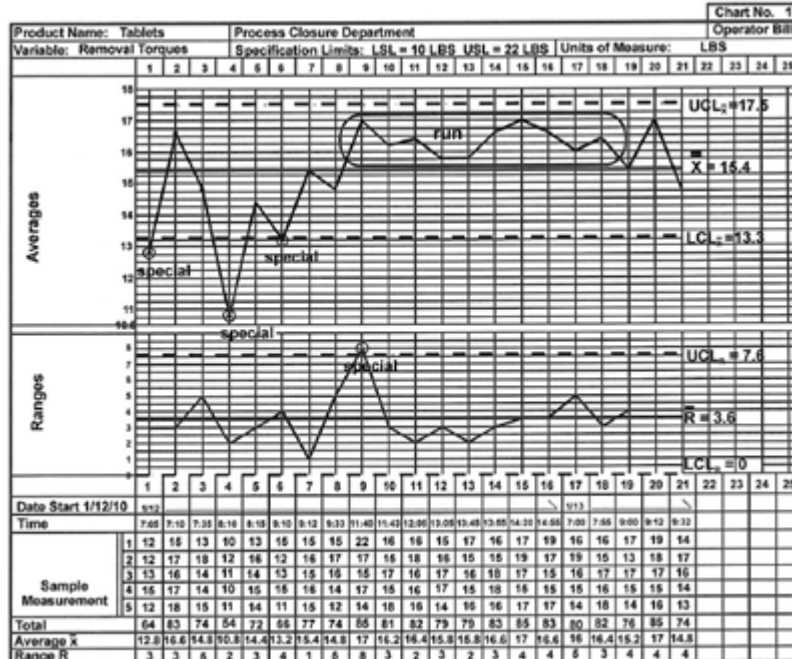


Figura 39 Ejemplo de una Carta de Control de Medias y Rangos (X-R).

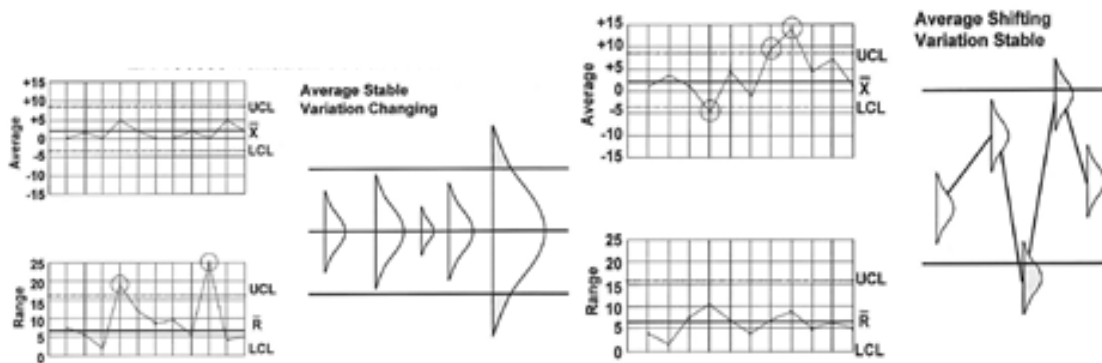
Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.12)

### 2.11.1.3. Análisis de las Cartas de Control

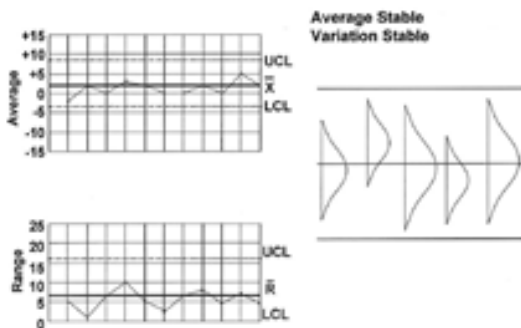
Cuando un proceso está fuera de control, es cuando las causas especiales de variación se presentan en las cartas de promedios y rangos. Estas causas especiales pueden ser detectadas y eliminadas para que el proceso se encuentre bajo control. (Quality Council of Indiana:Control, 2014,p.8)

Las condiciones para que un proceso esté en control son las siguientes:

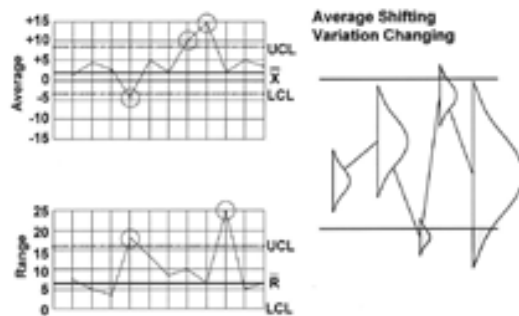
- 1.- La media del proceso está fuera de control.
- 2.- Variación del proceso fuera de control.



- 3.- Media y variación fuera de control.

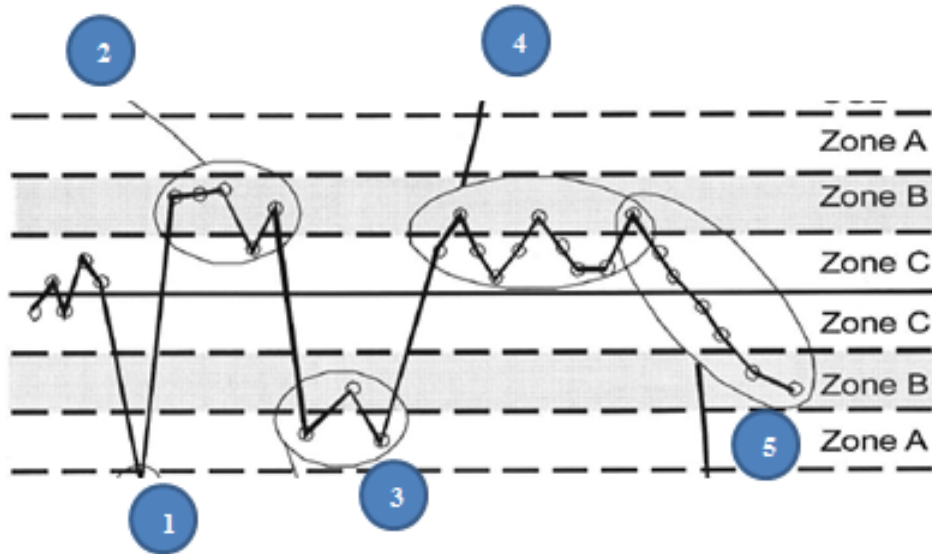


- 4.- Proceso en Control.



Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.33)

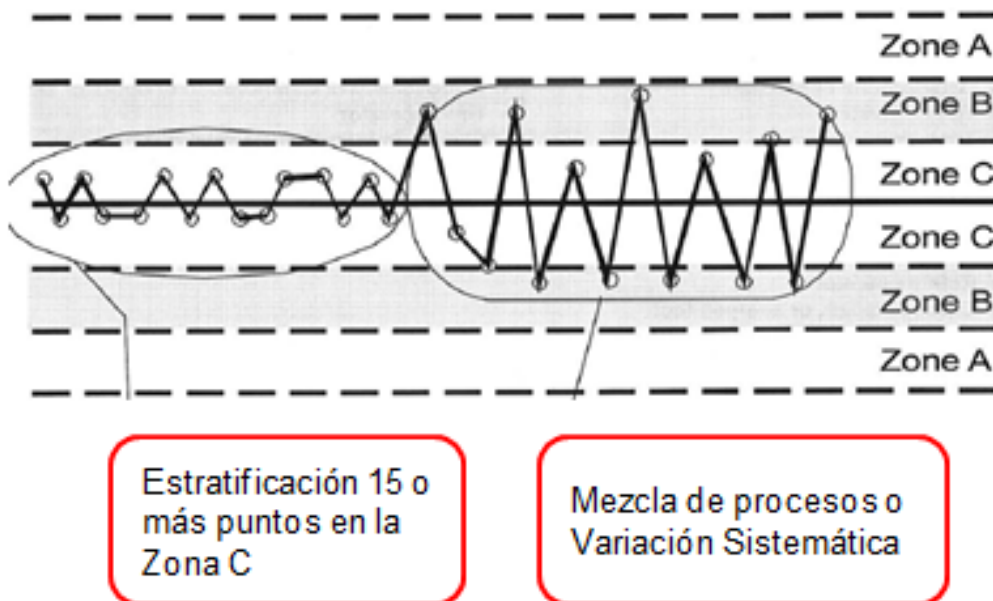




Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.35)

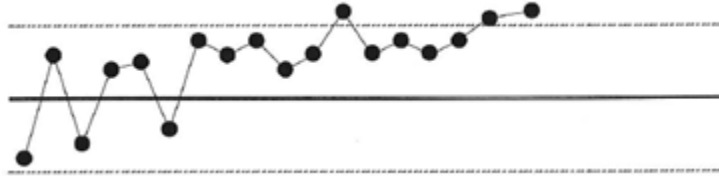
- 1.- Puntos fuera de los límites de control.
- 2.- 4 o 5 puntos en la Zona B.
- 3.- 2 o 3 puntos en la Zona A.
- 4.- 8 puntos consecutivos en un solo lado de la línea central.
- 5.- 6 o más puntos con tendencia ascendente o descendente.

### Patrones Inusuales



Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.35)

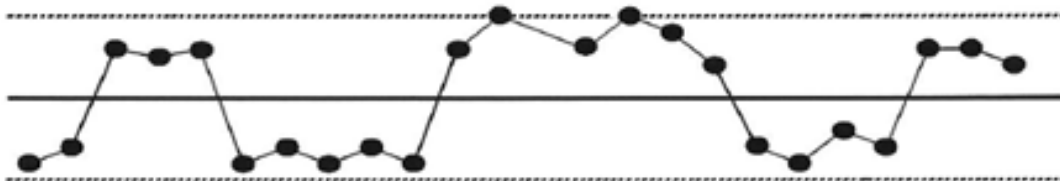
## Tendencias



Causas de la Carta de Medias	Causas de la Carta de Rangos
Deterior de la Máquina Operador Cansado Herramienta Dañada	Deterioro de la Máquina Operador Cansado Material defectuoso
<b>Acciones Correctivas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Restauración de la Máquina.</li> <li>• Encontrar la Causa raíz con el operador.</li> <li>• Rotación del Personal.</li> <li>• Cambio y Reparación del Herramental</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.36)

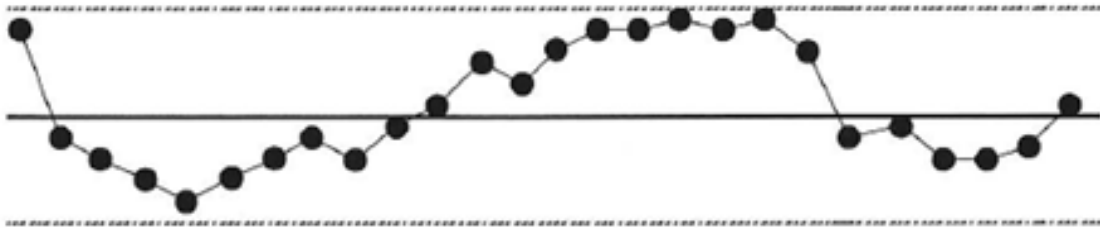
## Saltos en el proceso



Causas de la Carta de Medias	Causas de la Carta de Rangos
Cambios en las proporciones del material Nuevo operador o máquina. Modificación del método o proceso de producción	Cambio de material Cambio de método Cambio del operador Cambio del Método de Inspección
<b>Acciones Correctivas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar las condiciones de la máquina.</li> <li>• Examinar los métodos e instrucción del operador.</li> <li>• Mantener la consistencia del material.</li> <li>• Investigar la fuente del material.</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.36)

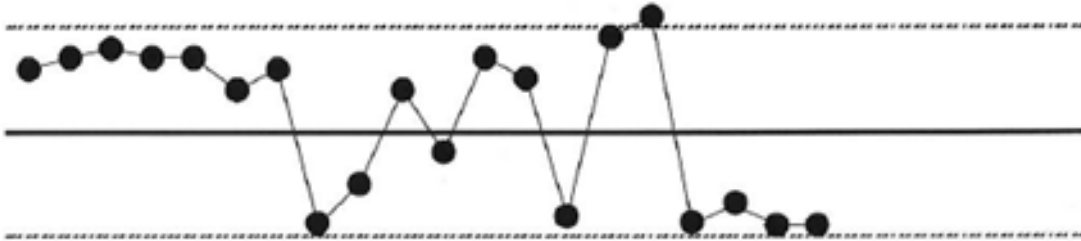
### Ciclos Recurrentes



Causas de la Carta de Medias	Causas de la Carta de Rangos
Humedad Temperatura Operador Cansado Rotación de Personal	Operador Cansado Herramental Dañado
<p style="text-align: center;"><b>Acciones Correctivas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotación del Personal.</li> <li>• Evaluación de las condiciones de la máquina.</li> <li>• Reemplazar o reparar la herramienta.</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.37)

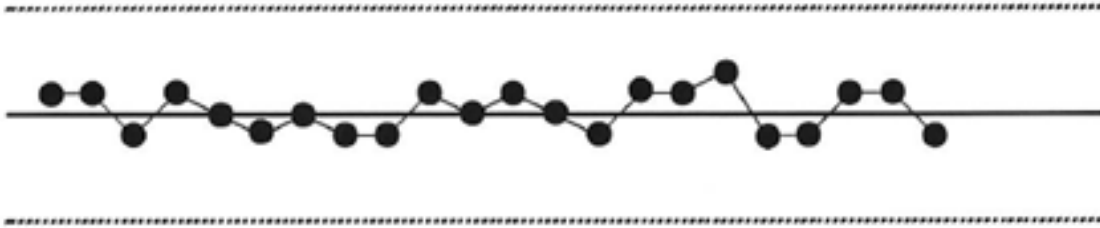
### Puntos fuera y cerca de los límites de control



Causas de la Carta de Medias	Causas de la Carta de Rangos
Sobrecontrol Diferencias sistemáticas en la calidad del material. Diferencias sistemáticas en los métodos de prueba o equipos	Mezcla de distintos tipos de calidad de materiales
<p style="text-align: center;"><b>Acciones Correctivas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar los límites de control.</li> <li>• Investigar la variación del material.</li> <li>• Elaborar procedimientos y pruebas.</li> <li>• Eliminar sobre ajuste del operador.</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.37)

## Falta de Variabilidad



Causas de la Carta de Medias	Causas de la Carta de Rangos
Calculo incorrecto de los límites de control Mejora en el proceso después de haberlo calculado	Colectar cada muestra de diferentes lotes. Mejora en el proceso después de haberlo calculado
<p style="text-align: center;"><b>Acciones Correctivas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar los límites de control.</li> <li>• Validar instrumentos de medición.</li> <li>• Validar las mejoras realizadas.</li> <li>• Verificar la adecuada medición.</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.38)

## 2.12. Plan de Control

El plan de control es un documento en el cual se describe las características críticas de calidad, las X's o y's críticas de las partes o del proceso. Este sistema de monitoreo y control nos ayuda a conocer la variación del producto o proceso y reducirla. El plan de control no puede reemplazar a las instrucciones de trabajo del operador o los estándares operacionales. Cada parte o proceso debe de tener un plan de control. (Quality Council of Indiana:Control, 2014,p.49)

### Tipos de Plan de Control

Para el sector automotriz, ISO/TS 16949:2002 y la Planeación Avanzada de la Calidad se identifican tres fases del plan de control:

- Plan de Control Prototipo.
- Plan de Control de Prolanzamiento.
- Plan de Control de Producción. (Quality Council of Indiana:Control, 2014,p.49)

## **Organización del Plan de Control**

Se deben de tener algunas consideraciones en la fase de conclusión de un proyecto las cuales son:

- Identificar el dueño del proceso.
- Involucrar al equipo en plan de control.
- Crear nuevas instrucciones y procedimientos de trabajo.
- Notificar y entrenar al personal involucrado.
- Asegurarnos de que el entrenamiento sea efectivo.
- Tener un acuerdo entre los miembros del equipo y los dueños de proceso.

## **Recursos del Plan de Control**

Se debe de tener un número de entradas, recursos para contribuir al entendimiento, puesta en marcha y control de las partes o del proceso. A continuación se enlistan algunas de ellas:

- Diagrama de Flujo de Proceso.
- Sistema AMEF de Proceso y de Diseño.
- Análisis Causa Efecto.
- Características especiales del Cliente.
- Lecciones Aprendidas.
- Conocimiento del proceso.
- Revisiones del Diseño.
- Despliegue de la Función de Calidad.
- Diseño de Experimentos.
- Aplicaciones Estadísticas.
- Estudios Multi-vari.

En la figura 40 se muestra un ejemplo de un Plan de Control.

Plan de Control													
Plan de Control para:											Página:		
Número de Plan de Control						Miembros del Equipo				Fecha de Emisión:			
Dueño de Proceso										Fecha de Revisión:			
Parte/Proceso	Pasos del Subproceso	Variables de Entrada Clave	Variables de Salida Clave	Características Especiales	Especificaciones	Técnica de Medición	Capacidad de la Medición	Tamaño de la Muestra	Frecuencia de la Muestra	Cpk Inicial	Persona responsable de la medición	Método de Control	Plan de Reacción

Figura 40 Ejemplo de Plan de Control

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.54)

### Descripción de un Plan de Control

- 1.- Tipo de Plan de control: es necesario especificar el tipo de plan de control el cual puede ser para un prototipo, pre-lanzamiento o producción.
- 2.- Folio del Plan de Control.
- 3.- Miembros del Equipo.
- 4.- Quien elaboro el Plan de Control, en este caso puede ser el Black Belt o el dueño del proceso.
- 5.- Paginas en las que está desplegado el Plan de Control.
- 6.- Fecha de emisión.
- 7.- Fecha de revisión.
- 8.- Parte o proceso del Plan de Control.
- 9.- Subproceso: como esta descrito la parte o subproceso del Plan de Control.
- 10.- Variables de entrada Claves.
- 11.- Características especiales.
- 12.- Especificaciones: estas pueden ser la que maneje Manufactura, el departamento de Ingeniería las cuales deben de ser monitoreadas y controladas.
- 13.- Análisis del Sistema de Medición.
- 14.- Capacidad del sistema de Medición.
- 15.- Tamaño de la muestra.

- 16.- Frecuencia del muestreo.
- 17.- Cpk Inicial.
- 18.- Persona responsable de la medición.
- 19.-Método de Control.
- 20.- Plan de Reacción: Describe que hacer cuando las variables se encuentran fuera de los parámetros de control.

En la figura 41 se muestra un ejemplo de un Plan de Control.

Control Plan (Example)													
Control Plan for: Black Belt Primer													
Control number: BB-001					Team members: Glenn, Wes, Tim, Odis, Bill				Page: 1 of 1				
									Original date: August 20, 2012				
Contact person (typically Process Owner): Bill					Revision date: January 20, 2013								
Part/Process	Subprocess step	Key input variable (X)	Key output variable (Y)	Special characteristic note	Specifications	Measurement/ gage technique	Gage capability	Sample size	Sample frequency	Initial C <sub>pk</sub>	Person responsible for measurement	Control method	Reaction plan
Primer	Receive binders	ring metal			Heavy duty slant	visual	NA	5	lot	NA	clerk	checklist	Notify Bill contact
		binder fabric			10320 Gunny Sak	Arrestoxx Master	10%	5	lot	1.5	clerk	checklist	Notify Bill contact supplier
		binder print			PMS 492 (Red)	Pantone color	10%	5	lot	1.5	clerk	checklist	Notify Bill contact supplier
		binder width			3.13" +/- 0.03"	steel ruler	6%	5	lot	1.7	clerk	checklist	Notify Bill contact supplier
		binder height			11.63" +/- 0.03"	steel ruler	6%	5	lot	1.7	clerk	checklist	Notify Bill contact supplier

Figura 41 Ejemplo de Plan de Control

Fuente: Elaboración propia con base en (Quality Council of Indiana:Control, 2015,p.57)

## **Capítulo 3 Aplicación de Metodología Lean Seis Sigma en la Línea 4 FD-6**

### **3.1. Introducción**

En este capítulo se revisara el proyecto de mejora propuesto en este trabajo.

El proyecto busco utilizar las herramientas de Lean Seis Sigma para la optimización del proceso de envasado de cubos extruidos elaborado en una industria de alimentos en México.

Por tal motivo se desarrollarán las fases de definición, medición, análisis, mejora y control. En cada una de estas fases se revisarán las etapas que las conforman mostrando los resultados de su aplicación.

A continuación se presenta el desarrollo de la aplicación de la metodología DMAIC para poder establecer si se cumple la hipótesis de poder solucionar el problema planteado en este trabajo con la aplicación de dicha metodología y, con esto, poder cubrir los objetivos ya mencionados.

### **3.2. Programa de Actividades**

“Este diagrama nos muestra las actividades o eventos en función del tiempo y del costo. Cada actividad es mostrada con una barra horizontal la cual tiene la fecha de inicio y final.” (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.60)

El diagrama de Gantt incluye:

- Carta que son fáciles de entender.
- Cada barra representa una actividad.
- Es simple cambiar el diagrama.
- Puede ser construido con el mínimo de información.
- El diagrama muestra el progreso contra lo programado.

Como se puede observar en la figura 42 se establece el programa de trabajo para el proyecto en el cual se contemplan actividades clave que van desde la justificación del proyecto, definir el equipo de trabajo y las fases que emplea la metodología Lean Seis Sigma.





### 3.3. Fase de definición

Con el fin de identificar el problema a resolver y estratificarlo tanto como sea posible, se desarrollan a continuación las etapas de esta fase: identificación de clientes externos e internos, determinación de los CTQ's del proyecto, selección del problema, impacto en el negocio, descripción del problema, definición del proyecto, alcance del proyecto, selección del equipo de trabajo, plan de comunicación y plan de actividades.

#### 3.3.1. Carta de Proyecto

Una vez determinadas las oportunidades, principalmente reducción de pérdidas, y el área de trabajo en el cual se desarrollará el proyecto, se realizó un Project Charter (Ver tabla 10), esta indica el nombre del proyecto, los alcances, metas estimadas a cumplir, nombres del equipo de trabajo, clientes (gerentes del negocio), recursos disponibles y plazos de cada etapa.

**Tabla 10 Carta de Proyecto**

Proyecto		Situación Actual			Acciones claves	
Reducción de sobredosificado en producto terminado de caldo en cubo		De enero a diciembre del 2014 se tiene una pérdida por sobrellenado de \$7, 442, 361.22 pesos en las líneas de cubos. La línea 4 presentó un sobrellenado promedio de 1.74% equivalente a \$1,788,963 pesos .			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reunir equipo multidisciplinario</li> <li>- Establecer los parámetros de proceso para la elaboración de los productos con códigos 35404, 923716, 146655, 146659 elaborados en la L4.</li> <li>- Implementar contramedidas</li> <li>- Entregar resultados validados por finanzas en los productos mencionados.</li> <li>- Alinear los resultados y seguimiento con los pilares de WCM involucrados en el proceso.</li> </ul>	
<b>Mediciones/Objetivo/Meta</b>						
Objetivo: Reducir el sobrellenado en las 4 presentaciones en formato de 24 cubos de la L4 teniendo como porcentaje máximo permitido 0.8 %.						
El sobredosificado se calcula en base al contenido real menos contenido neto entre el contenido neto, estos resultados se mandan mensualmente a finanzas quien nos retroalimenta con la pérdida monetaria y el pilar de Cost Deployment						
Impacto Valor	Grado Dificultad	Gente necesaria para Implementar	Tiempo para Implementar			Recursos/Costos para Implementar
			Etapa	Inicio	Fin	
Alto	Alto	Esmeralda Hidalgo- Producción Misael Castillo-Producción Arturo Díaz- Mantenimiento Raúl Rubio - Calidad Hugo Cuevas- Calidad	Definir	15/12/14	15/01/15	Reunir al equipo de trabajo Tiempo para seguimiento Pruebas con la línea de empaque Validar etapa de control del proyecto Análisis de la causa raíz Implementar contramedidas Entrenamiento a operadores
			Medir	16/01/15	07/02/15	
			Analizar	08/02/15	21/03/15	
			Mejorar	22/03/15	25/04/15	
			Controlar	26/04/15	26/09/15	
<b>Barreras:</b>		<b>Mitigadores:</b>			<b>Recursos actualmente asignados al problema:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Resistencia al cambio por parte de las personas de operación</li> <li>*Falta de recursos para correr las pruebas en la línea de envasado</li> <li>*Falta de inversión para implementar mejoras en la línea</li> <li>*Cambio de equipo de trabajo</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seguimiento en piso con las personas involucradas.</li> <li>-Sensibilización a personal de manufactura mediante compromiso de Líderes de piso (pláticas de 5 minutos y reconocimiento en junta de comunicación de indicadores)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipo de trabajo</li> <li>Reuniones para determinar la causa raíz</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen , 2015,p.2)

### 3.3.2. Diagrama de Alto Nivel (SIPOC)

A continuación se resume la información anterior en un mapa del proceso (SIPOC):

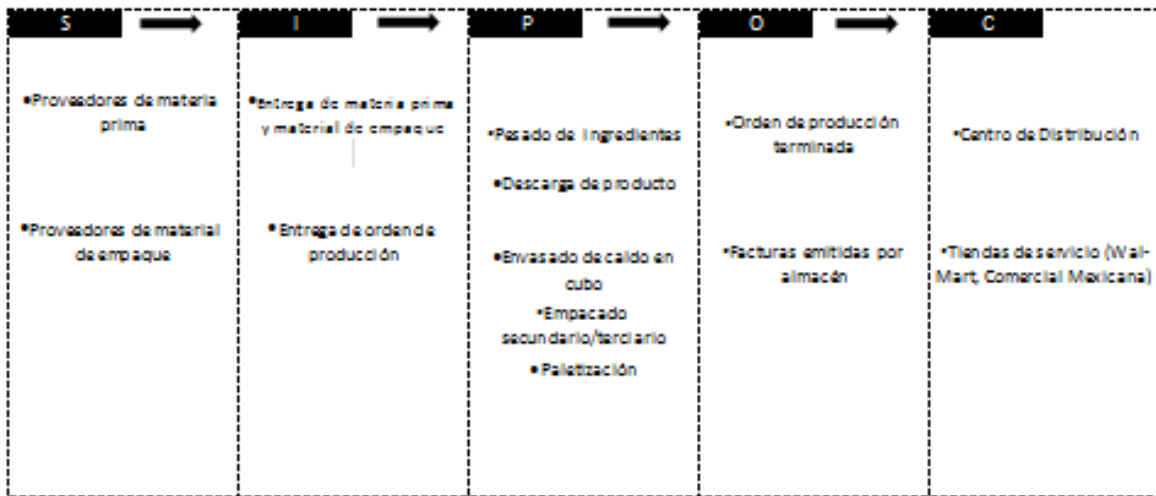


Figura 43 Diagrama de Alto Nivel (SIPOC)

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.3)

En la figura 43 se aprecia un análisis SIPOC para la línea de fabricación, donde describe los principales componentes del proceso, proveedores de cada etapa, entradas que corresponden a cada una de las etapas desde que son materias primas hasta que llegan a la etapa de transformación, salidas y consumidor final. Al observar las etapas de proceso (P) y sus salidas se aprecia un problema común, cada una de ellas tiene pérdidas de ingredientes y producto.

### 3.3.3. Identificación de Críticos para la Calidad (CTQ's)

Generalmente la satisfacción del cliente es considerada como uno de los pilares fundamentales para evaluar el proceso. Por eso es necesario investigar hasta obtener realmente lo que el cliente necesita.

En la figura 44 se observa un diagrama de árbol, donde la necesidad del cliente fue definida según los requerimientos de mercado y estándares propios de la fábrica de cubos, los conductores corresponden a las etapas del proceso y en la última columna se aprecian los factores críticos de calidad los cuales aseguran los requerimientos del cliente.

Cualquier mejora en el proceso tendiente a reducir las pérdidas, no deber tener como consecuencia el cambio de tales elementos claves para la calidad del producto que el consumidor valora.

<b>Identificación de CTQ's</b>			
<b>Tipo de Cliente</b>	<b>Cliente Especifico</b>	<b>Descripción de CTQ</b>	<b>Requerimientos</b>
<b>Externo</b>	<b>Consumidor</b>	<b>Caducidad</b>	<b>Vida Útil de 12 meses</b>
	<b>Consumidor</b>	<b>Material de Empaque Secundario</b>	<b>El contenido de producto corresponde al material de empaque</b>
<b>Interno</b>	<b>Aseguramiento de Calidad</b>	<b>Cumplimiento con los requerimientos regulatorios</b>	<b>Contenido Neto =264 gr</b>
			<b>0.05 % de unidades con menos de 259g de acuerdo al muestreo de aceptación</b>
			<b>0 unidades con menos de 253 gr</b>
	<b>Manufactura</b>	<b>Estuches con el menor sobrellenado posible</b>	<b>Sobrellenado promedio por estuche de 0.8%</b>
		<b>Rendimiento por Lote elaborado</b>	<b>≥ 3030 estuches por lote elaborado</b>

Figura 44 Árbol de Críticos para la Calidad

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.4)

### 3.4. Fase de Medir

En la fase de Medir se enfoca a seleccionar una o más características para ser medidas, definiendo cómo serán medidas, estableciendo un plan de recolección de datos y la ejecución de recolección de datos.

En la etapa de medición se presentaran los siguientes temas:

- Características del proceso.
- Colección de datos.

- Sistemas de medición.

### 3.4.1. Diagrama de Flujo de Proceso

Se elabora el Mapa de proceso en donde se colocan todas las etapas del proceso desde la recepción de materiales, formulación, mezclado, envasado y paletizado del producto como se puede ver en la figura 45.

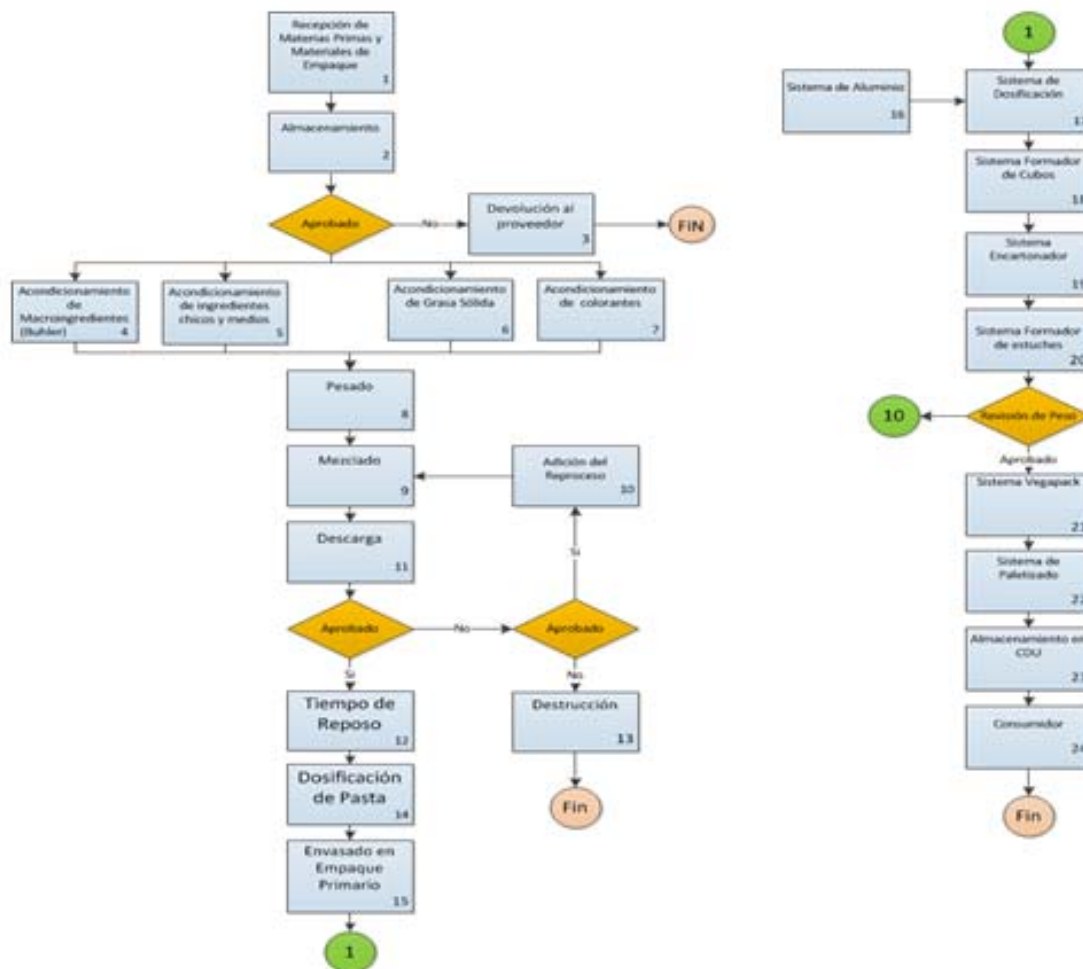


Figura 45 Mapa de Proceso

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.4)

### 3.4.2. Matriz Causa Efecto

La matriz Causa Efecto nos ayuda a priorizar la importancia de los procesos de entrada clave. (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.30)

En base al Mapa de proceso (Figura 45) y el árbol de Críticos para la Calidad (Figura 44) se construyó la Matriz Causa Efecto, de la siguiente forma:

1.- Listado de las variables de salida clave del proceso (KPOV's), los cuales son Contenido Neto= 264 grs, Sobrellenado por estuche de 0.8% y 3030 estuches por lote elaborado.

2.- Asignar un numero de priorización de importancia para el cliente para cada salida clave del proceso la cual parte de 1 (bajo) al 10 (alto). La priorización se establece de la siguiente forma:

CTQ's	Priorización
Contenido Neto= 264 grs.	2
Sobrellenado por estuche de 0.8%.	10
3030 estuches por lote elaborado.	6

3.- Colocar el listado de las variables clave de entrada (KPIV's).

- Mezclado.
- Dosificación de Pasta.
- Sistema de Dosificación.
- Acondicionado de macroingredientes.
- Almacenamiento.
- Acondicionado de microingredientes.
- Acondicionado de grasa.
- Acondicionado de Colorantes.
- Devolución de proveedor.
- Adición de Reproceso.
- Descarga de Producto Semielaborado.
- Sistema de Aluminio.
- Sistema Encartonador.
- Sistema Formador de Estuches.
- Sistema Vegapack.
- Sistema de Paletizado.
- Almacenamiento en Centro de Distribución Unilever.
- Recepción de Materias Primas y Empaque.

4.- Asignar por medio de un consenso el número 1 (bajo) al 10 (alto) el efecto de cada variable de entrada (KPIV's) en cada variable de salida (KPOV's) en la celda que corresponda. (Ver figura 46)

Entradas del Proceso	CTQ's Relacionados con el Sobrellenado		
	3	1	2
	Contenido Neto=264 grs	Sobrellenado por estuche de 0.8%	3030 estuches por lote grado.
	2	10	5
Mezclado.	2	2	2
Dosificación de Pasta.	2	2	2
Sistema de Dosificación.	10	10	10
Acondicionado de macroingredientes.	0	0	0
Almacenamiento.	0	0	0
Acondicionado de microingredientes.	0	0	0
Acondicionado de grasa.	2	2	2
Acondicionado de Colorantes.	2	2	2
Devolución de proveedor.	0	0	0
Adición de Reproceso.	2	2	2
Descarga de Producto Semielaborado.	0	0	0
Sistema de Aluminio.	0	0	0
Sistema Encartonador.	0	0	0
Sistema Formador de Estuches.	0	0	0
Sistema Vegapack.	0	0	0
Sistema de Paletizado.	0	0	0
Almacenamiento en Centro de Distribución Unilever.	0	0	0
Recepción de Materias Primas yEmpaque.	0	0	0

Figura 46 Relación de Variables de Entrada (KPIV's) y Variables de Salida (KPOV's)

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.5)

7.- Para cada columna de variable de entrada (KPIV's) en la matriz, multiplicar el valor de prioridad de proceso de salida (KPOV) que se encuentra en la fila superior por el valor efecto (KPIV's) en cada celda y la suma en la fila para calcular un total para el variable de entrada (KPIV) y llegar a un consenso sobre que variables de entrada (KPIV's) deben recibir atención prioritaria. (Ver Figura 47).

Entradas del Proceso	CTQ's Relacionados con el Sobrellenado			Total
	3	1	2	
	Contenido Neto=264 grs	Sobrellenado por estuche de 0.8%.	3030 estuches por lote elaborado.	
	2	10	6	
Mezclado.	1	1	1	18
Dosificación de Pasta.	1	1	1	18
Sistema de Dosificación.	10	10	10	180
Acondicionado de macroingredientes.	0	0	0	0
Almacenamiento.	0	0	0	0
Acondicionado de microingredientes.	0	0	0	0
Acondicionado de grasa.	1	1	1	18
Acondicionado de Colorantes.	1	1	1	18
Devolución de proveedor.	0	0	0	0
Adición de Reproceso.	1	1	1	18
Descarga de Producto Semielaborado.	0	0	0	0
Sistema de Aluminio.	0	0	0	0
Sistema Encartonador.	0	0	0	0
Sistema Formador de Estuches.	0	0	0	0
Sistema Vegapack.	0	0	0	0
Sistema de Paletizado.	0	0	0	0
Almacenamiento en Centro de Distribución Unilever.	0	0	0	0
Recepción de Materias Primas y Empaque.	0	0	0	0

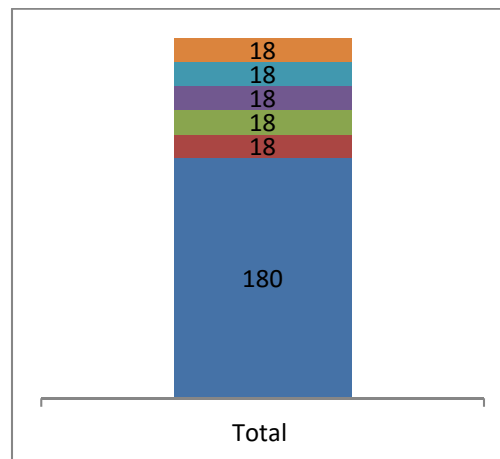
**Figura 47 Calificación de las Variables de Entrada (KPIV's)**

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.7)

El resultado de la matriz Causa Efecto es:

**Tabla 11 Priorización de Entradas del Proceso**

Entradas del Proceso	Total
Sistema de Dosificación.	180
Dosificación de Pasta.	18
Mezclado.	18
Acondicionado de grasa.	18
Acondicionado de Colorantes.	18
Adición de Reproceso.	18



**Figura 48 Pareto de Priorización de Entradas**

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.8)



Al revisar la priorización el Sistema de Dosificación es el más Crítico por lo que la etapa de análisis se centrara en este sistema.

### 3.4.3. Análisis del Sistema de Medición (MSA)

Asumiendo que se asegura la exactitud y la sensibilidad, es deseable determinar los componentes de la varianza de un sistema de medición: repetibilidad, reproducibilidad y proceso. (Quality Council of Indiana:Measure-Data, 2014,p.48)

Preparación:

Para llevar a cabo el estudio de repetibilidad y reproducibilidad es necesario realizar el arreglo con el cual se va a efectuar el estudio, el arreglo quedaría de la siguiente forma:

Los datos para la medición son 5 estuches, 3 operadores y cada uno realizara 3 mediciones por estuche, dando un total de 45 mediciones. Las cuales se pueden ver en la tabla 13.

Introducimos el arreglo en Minitab (Ver figura 49)

Sample	Sample Name
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

Appraise	Appraiser Name
1	1
2	2
3	3

Figura 49 Diseño del Arreglo

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.9)

**“Método del rango:** Este método no cuantifica la repetibilidad y la reproducibilidad por separado, más bien los evalúa en forma combinada, sin embargo es un método rápido.

Método de medias rango: Calcula la variabilidad total del sistema de medición y permite separar las variabilidades de repetibilidad, reproducibilidad y de las partes.” (Quality Council of Indiana:Measure-Data, 2014,p.49)

**“Método de ANOVA:** Es el método más exacto, calcula la variabilidad total del sistema de medición y permite separar las variabilidades de repetibilidad, reproducibilidad y de las partes. En adición, permite determinar la variabilidad de la interacción entre partes y evaluadores.” (Quality Council of Indiana:Measure-Data, 2014,p.49)

**Tabla 12 Datos del Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad**

RunOrder	Parte	Operador	Medición	RunOrder	Parte	Operador	Medición	RunOrder	Parte	Operador	Medición
1	5	1	570.75	16	5	1	570.7	31	5	1	570.7
2	1	1	570.7	17	4	1	570.9	32	4	1	570.9
3	2	1	570.75	18	5	1	570.8	33	2	1	570.75
4	5	1	570.8	19	1	1	570.7	34	5	1	570.8
5	4	1	570.9	20	2	1	570.8	35	1	1	570.7
6	3	2	570.7	21	5	2	570.8	36	1	2	570.7
7	1	2	570.7	22	4	2	570.9	37	5	2	570.8
8	5	2	570.8	23	2	2	570.8	38	2	2	570.8
9	2	2	570.75	24	1	2	570.7	39	4	2	570.9
10	4	2	570.9	25	5	2	570.7	40	5	2	570.7
11	5	3	570.8	26	2	3	570.75	41	1	3	570.7
12	2	3	570.8	27	5	3	570.7	42	5	3	570.8
13	5	3	570.7	28	1	3	570.7	43	5	3	570.7
14	1	3	570.7	29	4	3	570.9	44	2	3	570.8
15	4	3	570.9	30	5	3	570.8	45	4	3	570.9

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.10)

En la figura 50 se puede observar el análisis del sistema de medición por el método gráfico.

Los resultados de la corrida son los siguientes:

- Los componentes de la variación se encuentran en las piezas evaluadas.
- La grafica R se mantiene en control indicando que las mediciones se realizaron de manera adecuada.
- La grafica X presenta todos los puntos fuera de control indicando que el equipo no discrimina las diferentes partes.
- La interacción de las partes y los operadores no presenta variación.
- Las partes son las que contribuyen a la variación.

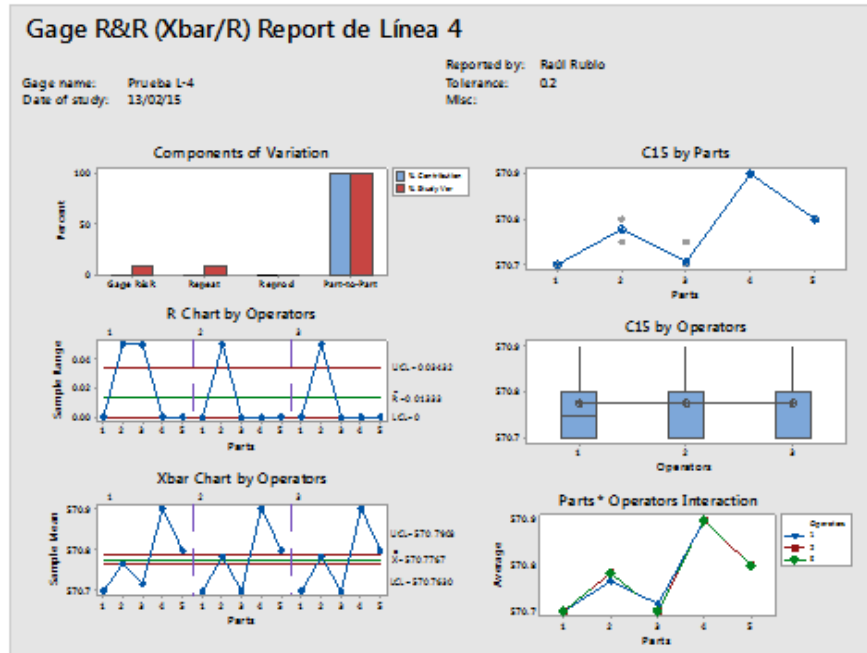


Figura 50 Método Gráfico.

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.11)

Para el método ANOVA se puede ver que la variación de las partes es significativa. Casi el total de la variación se encuentra en la interacción de las partes. Como se puede ver en la figura 51. Por lo que el sistema de medición es aceptable.

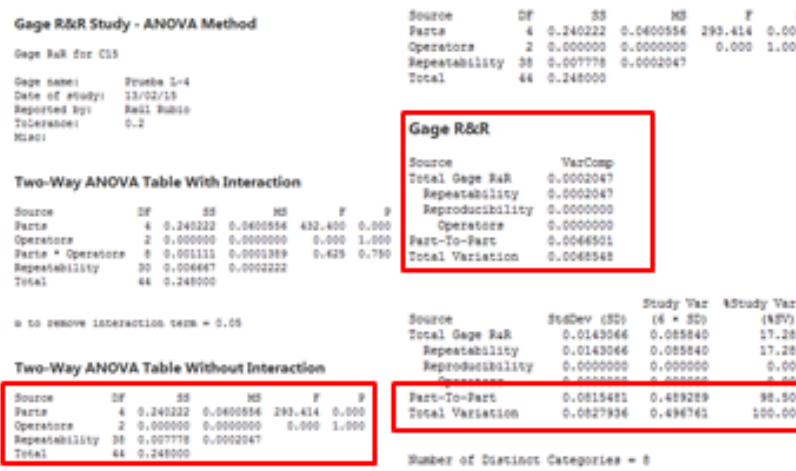


Figura 51 Método Análisis de Varianza (ANOVA).

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.11)

### 3.4.4 Capacidad de Proceso

La determinación de la capacidad de proceso requiere un patrón predictivo estadístico estable donde las causas de variación son comparadas con las especificaciones de ingeniería. (Quality Council of Indiana: Measure-Statistics, 2014,p.49)

Antes de realizar el análisis de capacidad del proceso inicial, se comprobó la normalidad de los datos utilizando el programa estadístico Minitab 17.

Se definen los límites de especificación en base al LEQAP Tabla de Pesos de Contenido Neto, el cual es un documento interno de Unilever en donde se pueden ver todos los pesos de los productos que se realiza en la planta.

A continuación se muestra en las figuras 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58 y 59 el análisis de Capacidad de los 4 productos que se elaboran en la línea 4 los cuales son 35404, 923716,146655 y 146859.

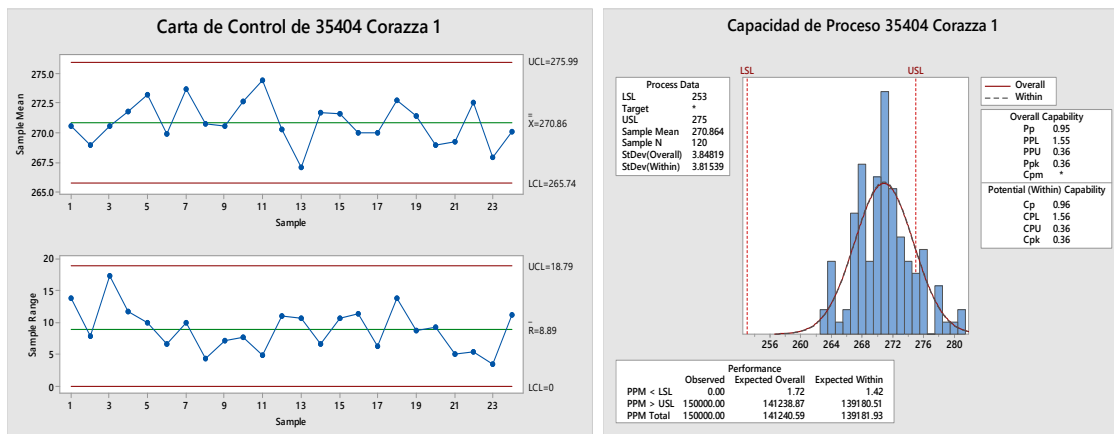


Figura 52 Carta de Control y Capacidad de Proceso de 35404 Corazza 1

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.12)

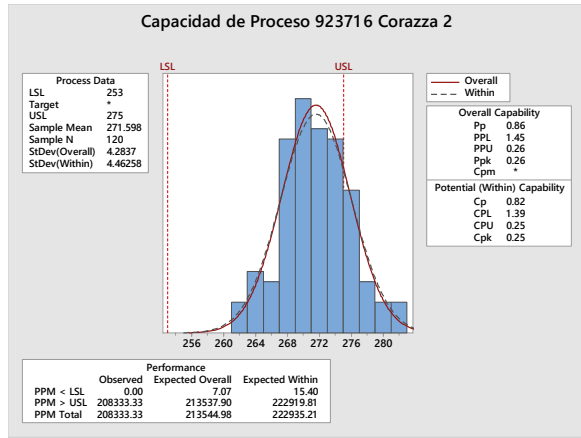
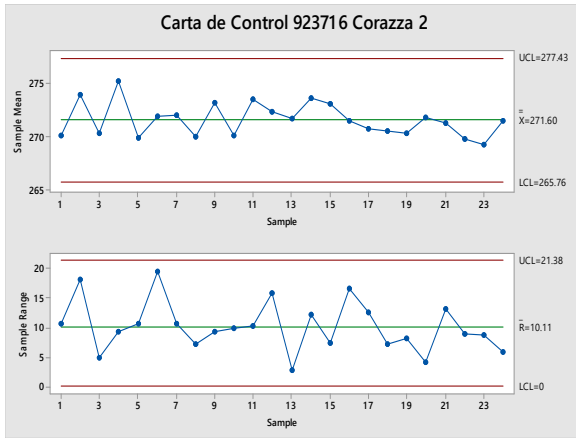


Figura 53 Carta de Control y Capacidad de Proceso de 923671 Corazza 2

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.12)

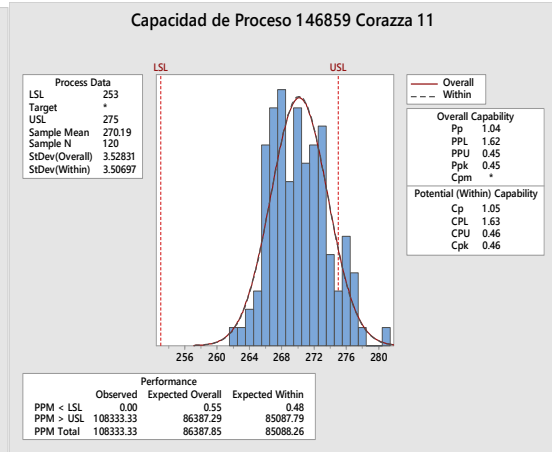
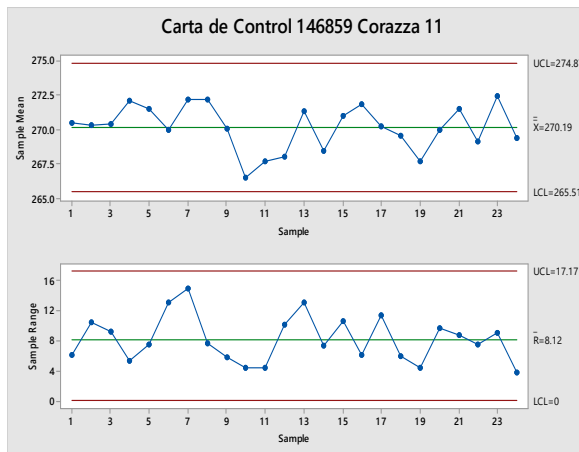


Figura 54 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Corazza 11

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.12)

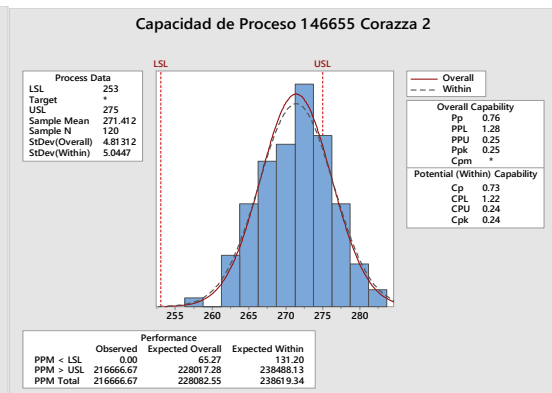
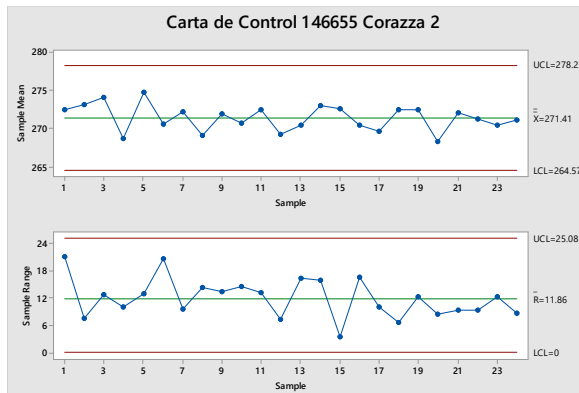


Figura 55 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146655 Corazza 2

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.12)

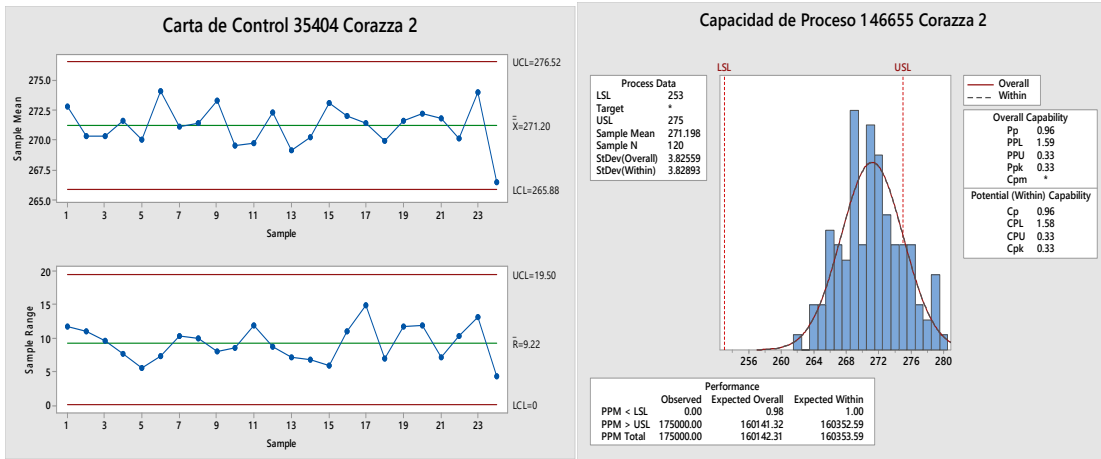


Figura 56 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146655

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen , 2015,p.14)

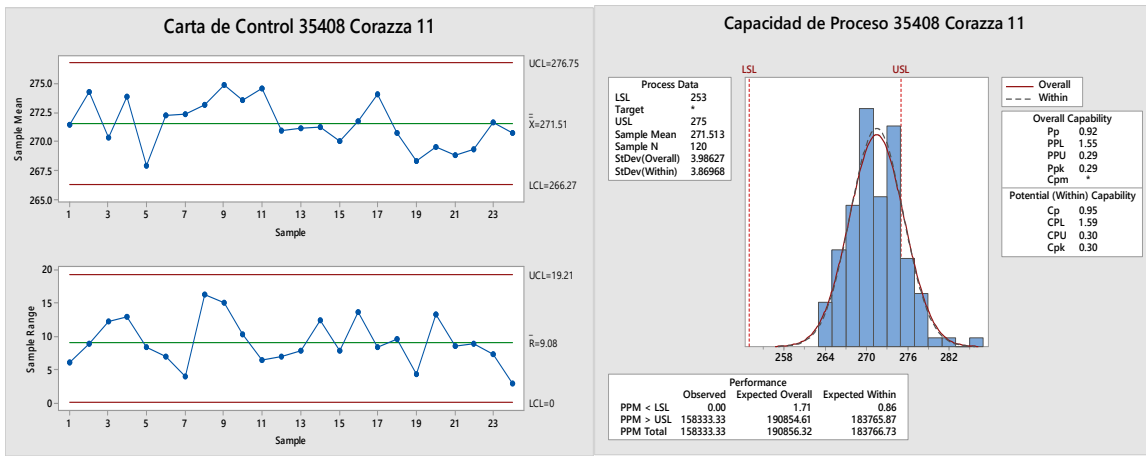


Figura 57 Carta de Control y Capacidad de Proceso 35405 Corazza 11

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen , 2015,p.14)

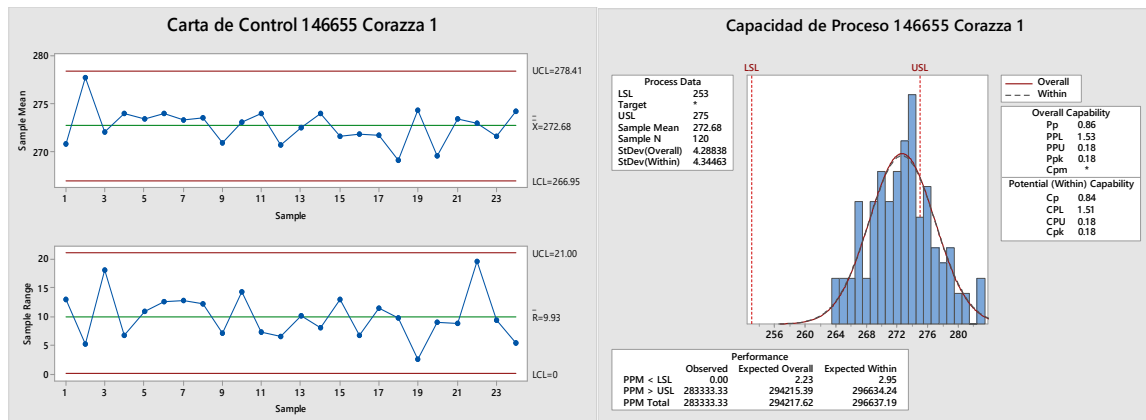
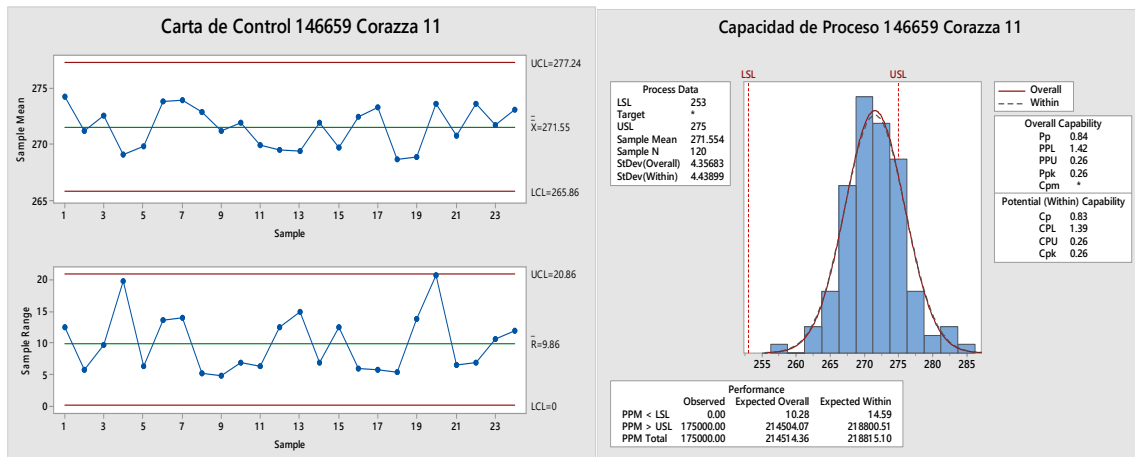


Figura 58 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146655 Corazza 1

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen , 2015,p.14)



**Figura 59 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Corazza 11**

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen , 2015,p.14)

Se pueden apreciar dos curvas, la curva de color rojo (within) representa una predicción de capacidad de corto plazo, la curva de color negro con línea punteada representa una predicción de largo plazo. Se obtuvo una media de 271.6 grs y una desviación estándar a largo plazo de 4.35 grs.

Las tablas inferiores de la gráfica indican que el 21.8 % de las pérdidas registradas en el largo plazo serán sobre 275 grs y un 21.4% en el corto plazo en el área de fabricación de cubos.

De los resultados de capacidad se obtiene un Cpk de 0.26, este valor al ser < 1, indica que el proceso inicial no es capaz, es decir existe mucha variabilidad en los datos del proceso.

Los defectos por millón de oportunidades totales, a largo plazo, fueron de 218,800 con este valor se ingresa en la tabla del anexo 6 según (Rath Strong, 2000,p.56), obteniéndose un sigma de proceso inicial de 1.83.

Este valor es bastante bajo y representa un rendimiento de proceso de 62.9%.

<b>PPM / SIGMA / Cpk Conversion Table</b>			
RECALL: PPM may or may not = DPMO. Only if each part has one defect type will they be the same value. If one PART has >1 defect opportunity then these values can be drastically different.			
*Converting to Cpk from a sigma level is an estimation since Cpk uses the USL or LSL, whichever is closest to the process mean. The opposite side that is not accounted for may have a tail that is unaccounted for.			
<b>SIGMA LIMITS (long-term)</b>	<b>% POPULATION WITHIN LIMITS</b>	<b>PPM DEFECTIVE OUTSIDE LIMITS</b>	<b>Cpk*</b>
+/- 0.6745 Sigma	50.00%	500,000	
<b>+/- 1.00 Sigma</b>	<b>68.27%</b>	<b>317,300</b>	<b>0.33</b>
<b>+/- 2.00 Sigma</b>	<b>95.45%</b>	<b>45,500</b>	<b>0.67</b>
+/- 2.36 Sigma	98.00%	20,000	0.79
+/- 3.00 Sigma	99.73%	2,700	1.00
+/- 3.12 Sigma	99.82%	1,800	1.04
+/- 3.19 Sigma	99.86%	1,400	1.06
+/- 3.23 Sigma	99.88%	1,200	1.08
+/- 3.29 Sigma	99.90%	1,000	1.10
+/- 3.35 Sigma	99.92%	800	1.12
+/- 3.54 Sigma	99.96%	400	1.18
+/- 3.71 Sigma	99.98%	200	1.24
+/- 3.89 Sigma	99.99%	100	1.30
<b>+/- 4.00 Sigma</b>	<b>99.9937%</b>	<b>63</b>	<b>1.33</b>
+/- 4.26 Sigma	99.9980%	20	1.42
+/- 4.42 Sigma	99.9990%	10	1.47
<b>+/- 4.50 Sigma</b>	<b>99.99966%</b>	<b>3.4</b>	<b>1.50</b>
+/- 4.75 Sigma	99.9998%	2	1.58
+/- 4.89 Sigma	99.9999%	1	1.63
<b>+/- 5.00 Sigma</b>	<b>99.99994%</b>	<b>0.6</b>	<b>1.67</b>
+/- 5.20 Sigma	99.99998%	0.2	1.73
+/- 5.32 Sigma	99.99999%	0.1	1.77
+/- 5.61 Sigma	99.999998%	0.02	1.87
+/- 5.73 Sigma	99.999999%	0.01	1.91
<b>+/- 6.00 Sigma</b>	<b>99.9999998%</b>	<b>0.002</b>	<b>2.00</b>

Figura 60 Tabla de Conversión Capacidad Real del Proceso, Valores Sigma y Partes por Millon.

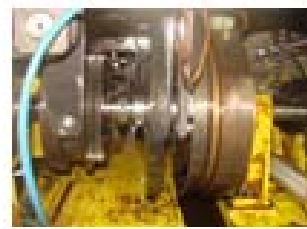
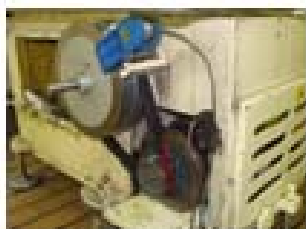
Fuente: Elaboración propia con base en (Unilever Quality Standard, 2015,p.23)

### 3.5. Fase de Analizar

#### 3.5.1. Principio de funcionamiento de la máquina.

La máquina envasadora #4 FD-6 cuenta con los siguientes sistemas:

- Sistema Motriz: es el encargado de dar la transmisión mecánica a todos los sistemas con los que cuenta la máquina.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2013,p.14)



- Sistema de Aluminio: su función es la de desbobinar el empaque primario, cortarlo y posicionarlo en la mesa de alveolos para envasar el producto.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2013,p.14)

- Sistema de Dosificación: este sistema se encarga de solicitar producto a la tolva de dosificación, pasarlo a través de un sistema de cavidades “revolver” y dosificarlo en la mesa de alveolos.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2013,p.18)

- Mesa de Alveolos: esta se encarga de cerrar el empaque primario y transportarlo al Sistema Encartonador.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2013,p.28)

- Sistema Encartonador: una vez que se agrupan los cubos en la placa de transporte el operador alimenta constantemente la torreta de estuches para colocar los cubos en el empaque secundario y dirigirlo a la banda de pegado en la cual se sella el material secundario.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2013,p.39)

- Tecno Europa: es el sistema de chequeo de peso el cual rechaza los pesos altos o bajos de acuerdo a los parámetros que se establezcan.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2013,p.49)

- Codificador Domino: este equipo codifica al 100% los estuches que se generen de la máquina FD-6.
- Sistema Vegapack: una vez codificados los estuches se van a las bandas de alimentación de estuches que alimentan a su vez el estratificador, el cual agrupa los estuches de tal manera que se alimenten los corrugados con el producto para después sellarlos y mandarlos a la banda secundaria para después paletizar las cajas.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2013,p.55)

El origen del problema es el Sistema de Dosificación por lo que más adelante se mostraran los componentes de este sistema a nivel de detalle.

Mecanismo de transmisión a martillos de dosificado: empezando con un engrane motriz transmitiendo potencia por medio del eje a un excéntrico el cual mueve una tijera haciendo bajar o subir los tirantes para que los matillos entren y salgan.

Como se puede ver en la figura 61.

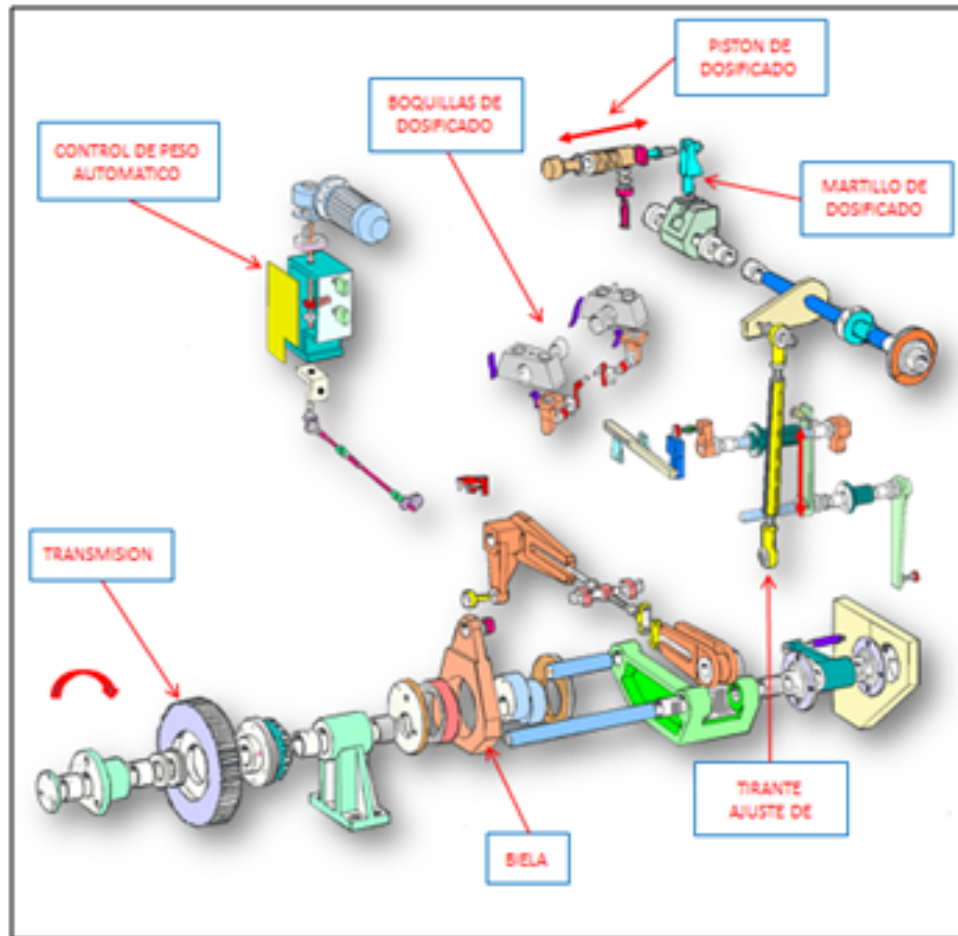


Figura 61 Sistema de Dosificación.

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2014,p.5)

### 3.5.2. Componentes del Sistema de Dosificación

- 1.- Al empezar a girar el eje principal hay movimiento al excéntrico (biela) generando un movimiento lineal al tirante de accionamiento de matraca o trinquete.
- 2.- Al subir el tirante y mover la matraca o trinquete las uñas ajustan en cavidades del husillo girando este último aproximadamente 72° y solo cuando baja el tirante, es decir el movimiento del husillo-revolver es de forma intermitente.

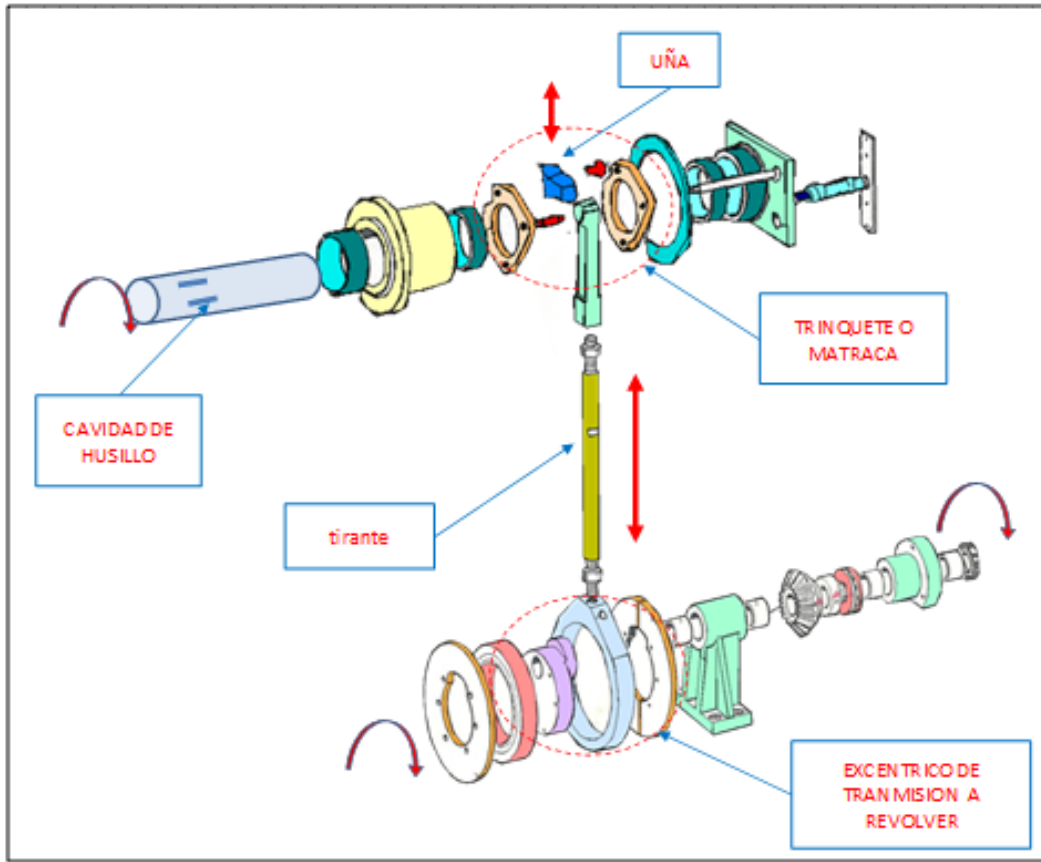


Figura 62 Esquema del Sistema de Dosificación.

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2014,p.9)

### 3.5.3. Revolver

- 1.- El revolver o núcleo cuenta con 20 cavidades para los pistones de dosificado 10 izquierdos y 10 derechos.
- 2.- Los pistones de dosificado giran junto con el revolver es decir también de forma intermitente, durante el recorrido los pistones entran y salen de forma longitudinal ayudados por levas en cada extremo del revolver
- 3.- En la parte superior del revolver entra la pasta a los pistones y en la parte inferior es expulsada al ser empujados los pistones por los martillos de dosificado.

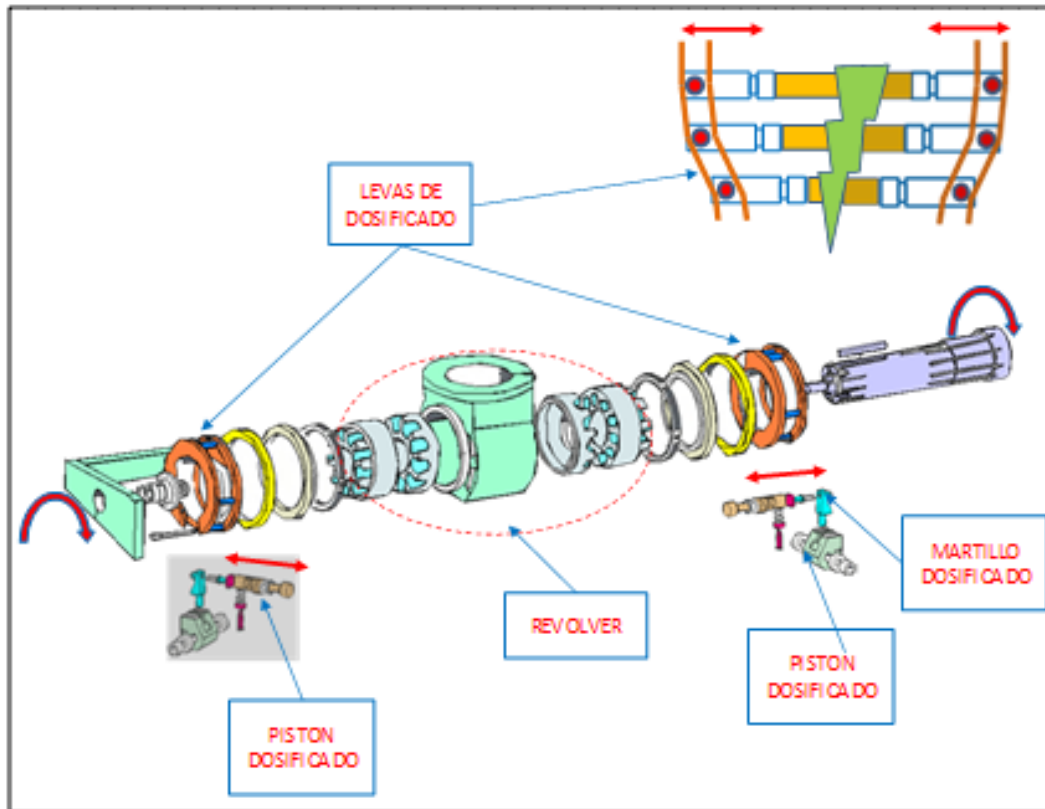


Figura 63 Revolver

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2014,p.12)

### 3.5.4. Boquillas de Dosificación

Las boquillas de dosificado son elementos los cuales direccionan la pasta y en uno de los extremos tienen válvulas (cortadores) las cuales abren o cierran permitiendo o no el paso de la pasta o del producto.

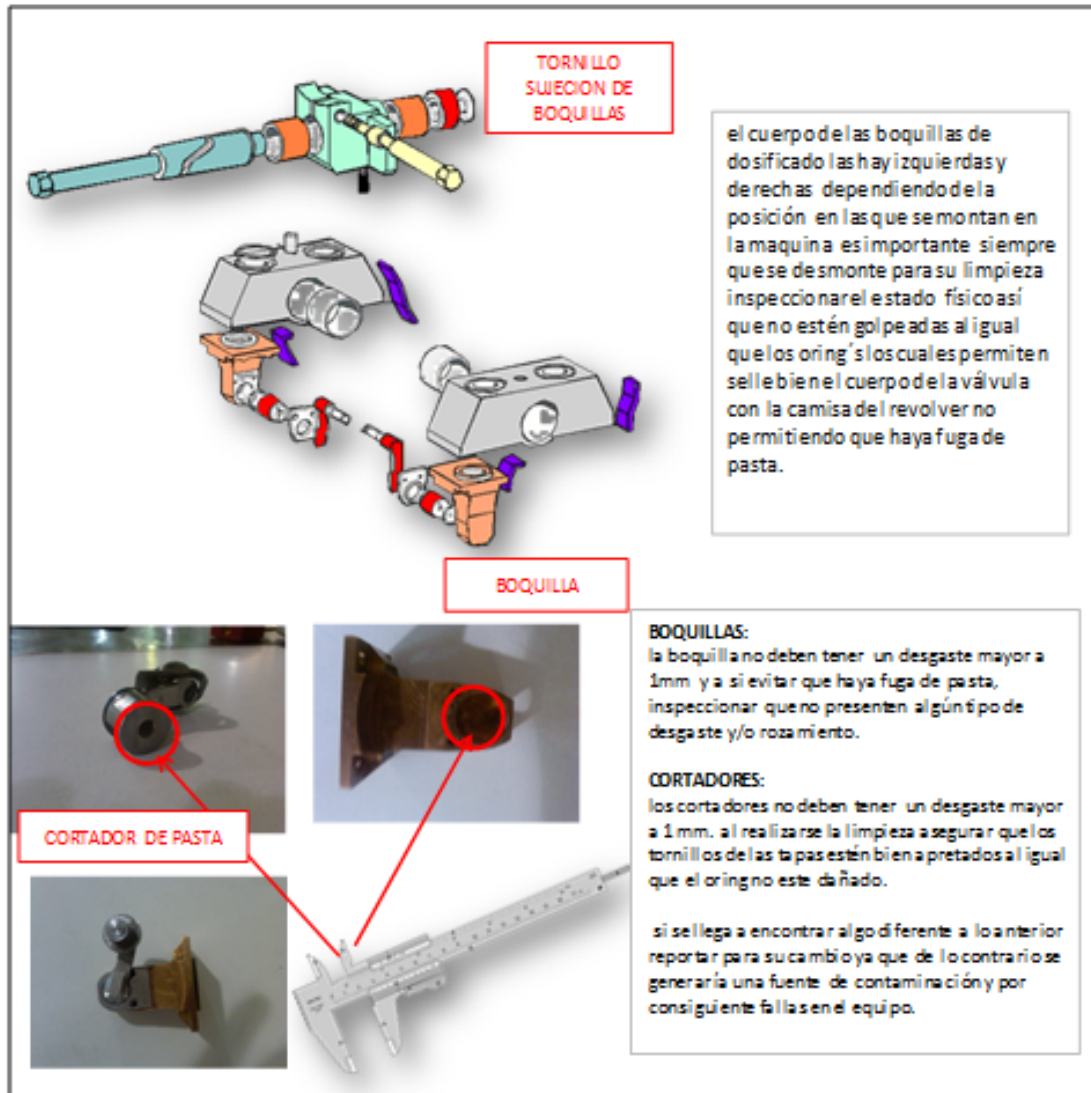


Figura 64 Boquillas de Dosificación.

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2014,p.18)

### 3.5.5. Lamina Razadora

Lamina con cavidades por las cuales pasan las boquillas de dosificado la principal función es bajar el cubo de papel con pasta y evitar que se quede pegado en la boquilla

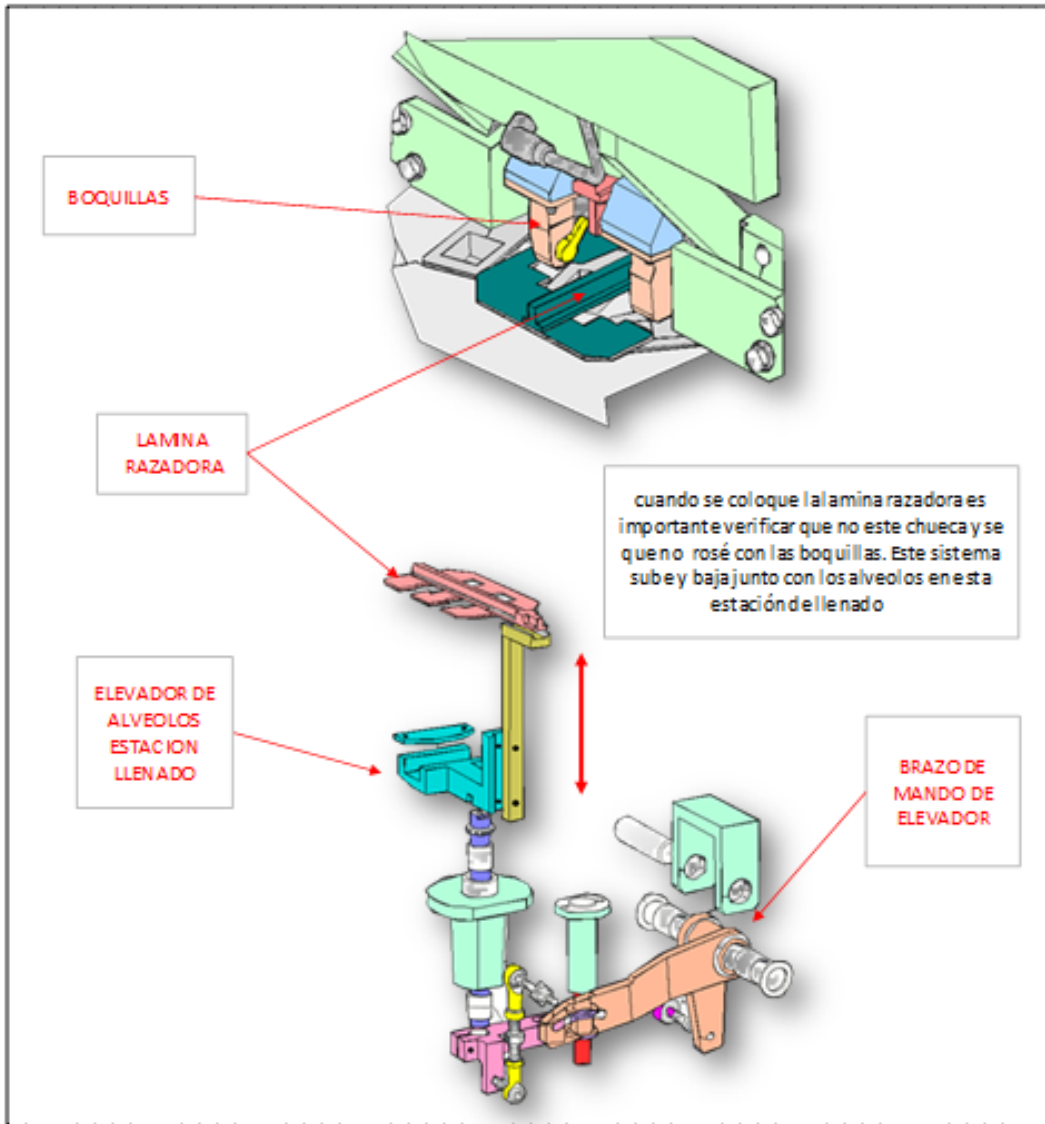


Figura 65 Lamina Razadora.

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional , 2014,p.28)

### 3.5.6. Brazo de Accionamiento de Boquillas

Conjunto de brazos los cuales son movidos por medio de una leva transmitiendo movimiento hasta mover las horquillas de accionamiento de boquillas para abrir o cerrar y permitir el paso de pasta o bloqueo de la misa respectivamente.

Rodajas: tienen como elementos rodantes unos cilindros muy largos con respecto a su diámetro denominados agujas la aplicación es grandes cargas radiales, siendo adecuado para montajes con reducido espacio y gran precisión el centrado.

Por lo regular este tipo de rodamientos no tienen pista interna, las agujas son montadas sobre la flecha en que ha de rodar este.

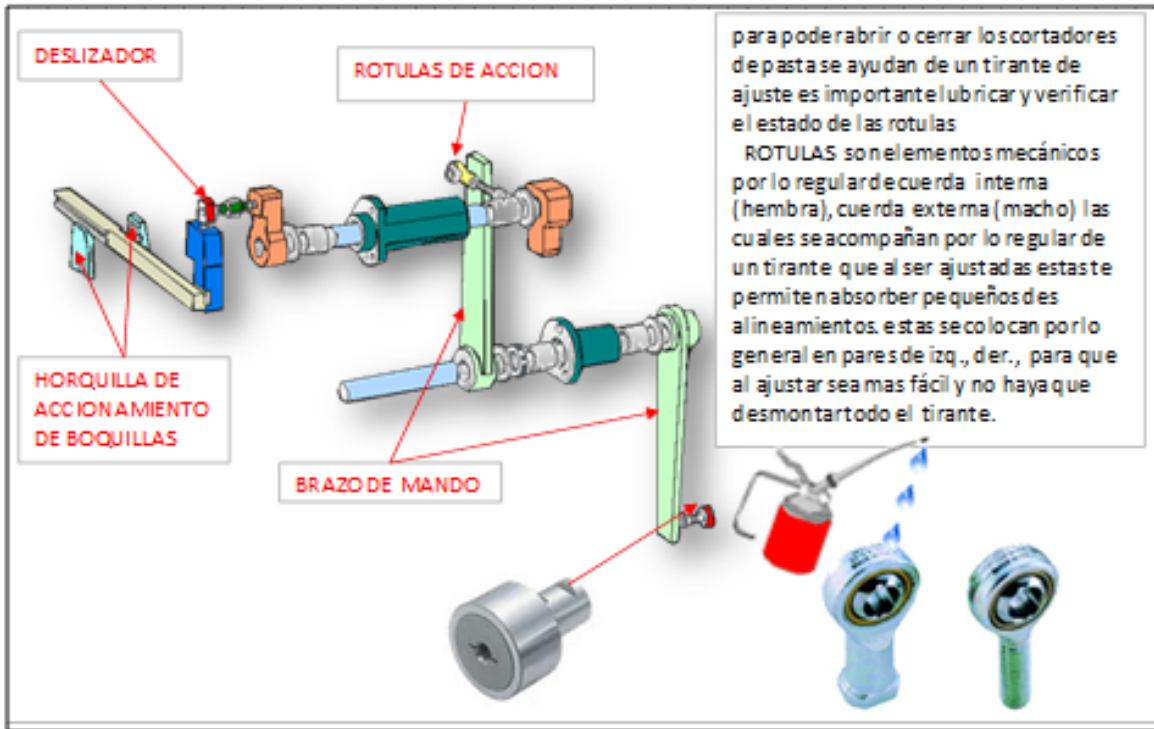


Figura 66 Brazo de Accionamiento de Boquillas.

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2014,p.35)

### 3.5.7. Transmisión a Revolver

Conjunto de mecanismos los cuales dosifican la pasta por medio de extrusión, permitiendo subir o bajar el peso ya sea individual o en conjunto.



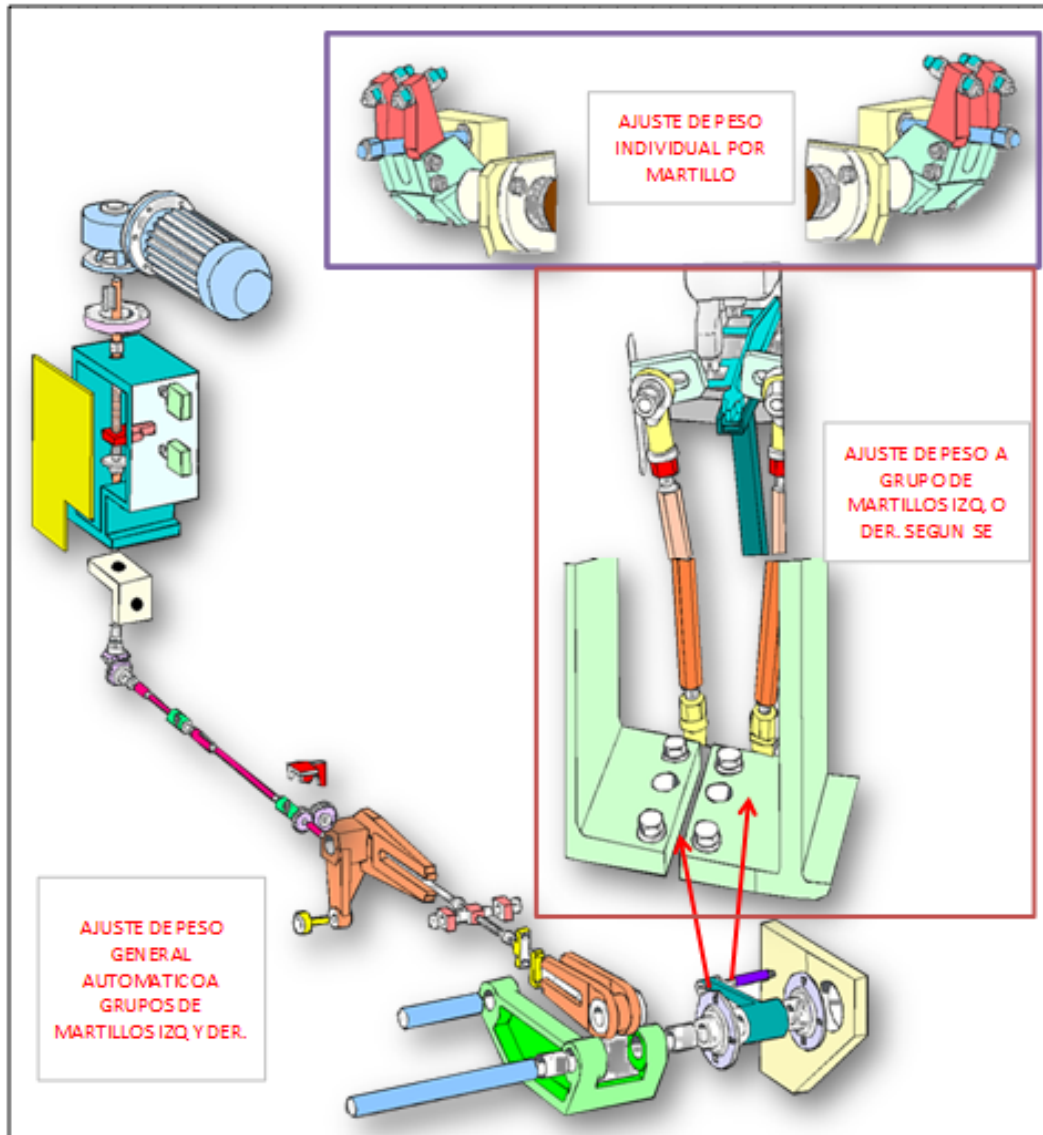


Figura 67 Ajuste de Peso del Sistema de Dosificación.

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional , 2014,p.44)

### 3.5.8. Diagrama Causa Efecto o Diagrama de Pescado

Un diagrama de pescado consta de tres partes: Lluvia de ideas, priorización y el desarrollo del plan de acción. Generalmente se divide en 4M's (Maquina, método, Mano de Obra y Material), ocasionalmente es expandido para analizar Medio Ambiente y Medición. (Moses Juran , 1993,p.106)

En la figura 68 se puede ver el Diagrama Causa Efecto que va a dirigido para el Sistema de Dosificación de la Línea envasadora.

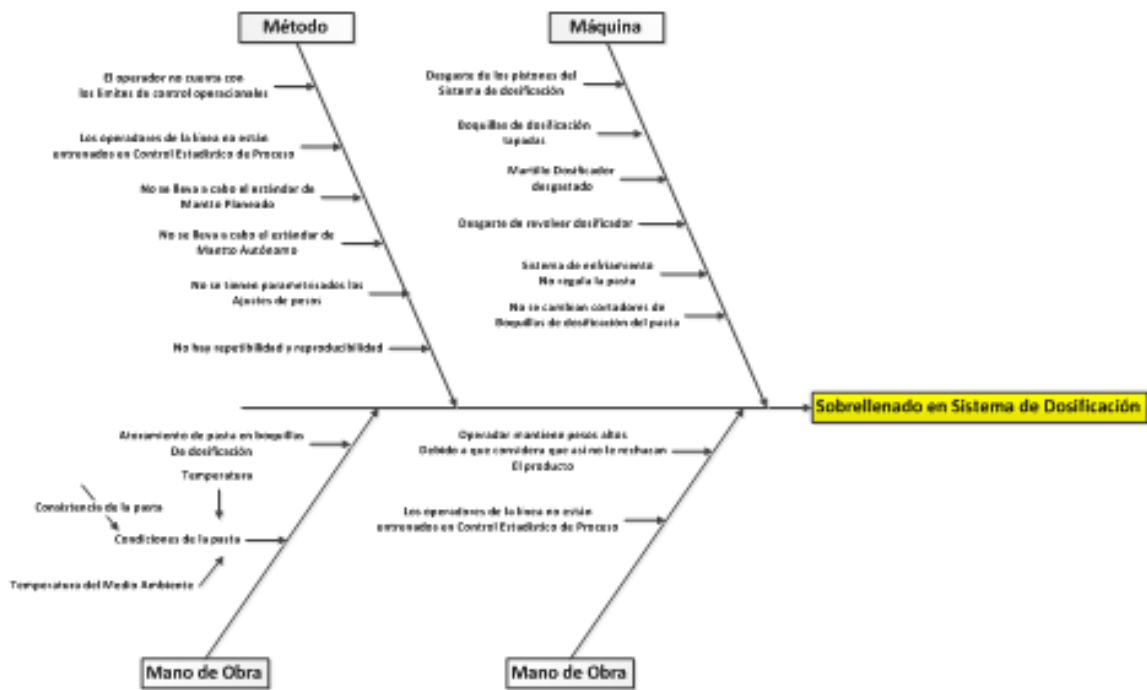


Figura 68 Diagrama Causa Efecto del Sistema de Dosificación.

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.21)

En la figura 69 se puede ver la comprobación de las causas raíces las que se encuentran en rojo pasan a la Matriz Causa Efecto II.

	Hipótesis	Comprobación de la Hipótesis	Es causa Raíz	Comentarios
Máquina	Desgaste de Pistones de Sistema de Dosificación	Los pistones aun no se han cambiado debido a que no se ha hecho el mantenimiento planeado	SI	Restauración del Equipo
	Boquillas de Dosificación Tapadas	Se realiza una limpieza periódica de las boquillas de dosificación	NO	---
	Martillo Dosificador Desgastado	Los pistones aun no se han cambiado debido a que no se ha hecho el mantenimiento planeado	SI	Restauración del Equipo
	Desgaste de Revolver Dosificador	El revolver no presenta desgaste pero es necesario cambiarlo	SI	Restauración del Equipo
	Sistema de Enfriamiento no da la temperatura para regular la pasta	Se revisa el sistema de enfriamiento y este da la temperatura necesario para regular la pasta.	NO	---
	No se cambian los cortadores de pasta	Se hace un cambio cada semana de los cortadores según el estándar de mantenimiento planeado	NO	---
Método	El operador no cuenta con los límites de control	Los límites de control se encuentran obsoletos (Julio 2014)	SI	Pasan a la Matriz Causa Efecto II
	Los operadores de la línea no están entrenados en Control Estadístico de Proceso	Es necesario elaborar un re-entrenamiento debido a que los operadores no interpretan las cartas de control y la capacidad de proceso	SI	Pasan a la Matriz Causa Efecto II
	No se lleva a cabo el mantenimiento planeado	Se revisa el programa de mantenimiento planeado en el cual no se han cambiado tirantes, martillo, boquillas y revolver.	SI	Restauración del Equipo
	No se lleva a cabo el mantenimiento autónomo	No se tiene establecidas las frecuencias de limpieza del sistema de dosificación en general	SI	Restauración del Equipo
	No se tienen establecidos parámetros de ajustes de peso	El ajuste de peso se lleva a cabo por la experiencia de cada operador	SI	Pasan a la Matriz Causa Efecto II
	No hay repetibilidad y reproducibilidad	Se realiza un estudio R&R resultando que la variación es por las piezas	NO	---
Material	Condiciones de la pasta	Se revisan los pasos de formulación y mezclados sin presentar anomalía alguna	NO	---
	Ahorramiento de pasta en boquillas de dosificación	Se realiza una limpieza periódica de las boquillas de dosificación	NO	---
Mano de Obra	Operador mantiene pesos altos debido a que considera que así no le rechazan el producto	Se realiza entrevista al operador en la que comenta que mantiene los pesos altos por temor al rechazo por parte de Calidad	SI	Pasan a la Matriz Causa Efecto II
	Los operadores de la línea no están entrenados en Control Estadístico de Proceso	Es necesario elaborar un re-entrenamiento debido a que los operadores no interpretan las cartas de control y la capacidad de proceso	SI	Pasan a la Matriz Causa Efecto II

Figura 69 Comprobación de las causas raíz.

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.22)

### 3.5.9. Diagrama Causa Efecto II

La matriz Causa Efecto nos ayuda a priorizar la importancia de los procesos de entrada clave. (Quality Council of Indiana:Define, 2014,p.30)

En la figura 70 se puede observar el diagrama Causa Efecto II en la cual se tomara como entradas las causa raíces y las que salgan con un numero alto de priorización pasaran al AMEF.

Entradas del Proceso	CTQ's Relacionados con el Sobrellenado			Total
	3	1	2	
	Contenido Neto=264 grs	Sobrellenado por estuche de 0.8%.	3030 estuches por lote elaborado.	
	2	10	6	
Desgaste de Pistones de Sistema de Dosificación	5	5	5	90
Martillo Dosificador Desgastado	5	5	5	90
Desgaste de Revolver Dosificador	1	1	1	18
El operador no cuenta con los límites de control	5	5	5	90
Los operadores de la línea no están entrenados en Control Estadístico de Proceso	5	5	5	90
No se lleva a cabo el mantenimiento planeado	5	5	5	90
No se lleva a cabo el mantenimiento autónomo	10	10	10	180
No se tienen establecidos parámetros de ajustes de peso	10	10	10	180
Operador mantiene pesos altos debido a que considera que así no le rechazan el producto	10	10	10	180
Los operadores de la línea no están entrenados en Control Estadístico de Proceso	10	10	10	180

Figura 70 Matriz Causa Efecto.

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.23)

### 3.5.10. Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Un AMEF provee al diseño de ingeniería, ingeniería de confiabilidad, entre otros una técnica sistemática para analizar un sistema, subsistema o componente con un potencial o posible modo de falla. El AMEF es análisis detallado del sistema a nivel de componente, todos están catalogados como Modo de falla, efecto en la falla y la probabilidad de que la falla ocurra esto nos dará un índice de prioridad de riesgo llamado RPN. (Quality Council of Indiana:Analyze, 2014,p.49)

En base a los resultados de la Matriz Causa Efecto II estos se colocan en el AMEF (Ver figura 71, 72 y 73).



U Unilever		Componente Sistema de Dosificación ITEM 20,21,22,23 y 24 Grupo de Trabajo Kaizen de Línea 4		Responsable Raúl Rubio R. Fecha 12/02/2015		AMEF No. 1 Página 2 de 3 Preparado por: Raúl Rubio R. Fecha de AMEF original		Knoor									
Etapas del Proceso	Modo de Falla Potencial	Efecto de la Falla	Severidad	Clase	Causa de la Falla Potencial	Proceso Actual				Acciones Recomendadas	Responsable y Fecha de Terminación	Resultado de las Acciones					
						Controles de Prevención	Défecto a Mitig.	Controles de Detección	Ocu. medida			N.P.M.	Acciones Tomadas	Seve. actual	Ocu. medida	Défecto a Mitig.	N.P.M.
No se tiene a salvo el funcionamiento del sistema de Dosificación	Diferencia en el sistema de pesados (No de Vidas 20)	Presencia de Falla en el sistema de pesados. Peseo al 50% por no de pesados que los en los días, según parámetro de los límites operacionales.	4	M	El operador no hace cambio de los parámetros de Dosificación una vez que se cumplen con un día de pesados.	Se hace un URSI (URS) para la limpieza y control del equipo.	7	Impresión manual por medio del estándar ULS.	4	112	Cambio de parámetros de Dosificación. Se toman las Dimensiones de los pesados y se ingresan en el ULS para una futura revisión.	Orlando Díaz 17/02/15 Remberto Hidalgo 18/02/15	Se actualizan las Dimensiones en el estándar ULS.	0	2	0	12
	Diferencia en el sistema de Trovitas (No de Vidas 40)	Diferencia en el sistema de pesados. Diferencia en el sistema de pesados. Diferencia en el sistema de pesados.	4	M	No se toman en cuenta los límites superior del tamaño para hacer el cambio y la diferencia inferior para 100%.	Se hace un URSI (URS) para el cambio y manejo del sistema de Dosificación.	7	Revisión en base al estándar ULS para los cambios de los parámetros.	5	24	Cambio de Trovitas. Se toman las Dimensiones de la parte superior e inferior de las Trovitas para actualizar el ajuste de los pesos.	Orlando Díaz 10/02/15 Remberto Hidalgo 18/02/15	Se actualizan el estándar ULS las Dimensiones de las Trovitas y se ajustan en cada Impresora por el estándar ULS.	0	2	0	12
	Máxima Diferencia de peso en el sistema de pesados de los marfiles de Dosificación por un parámetro de los límites operacionales.	Máxima Diferencia de peso en el sistema de pesados. Diferencia en el sistema de pesados. Diferencia en el sistema de pesados.	4	M	No se tiene en cuenta la diferencia de la altura y de la longitud de la punta del marfile.	Se hace un URSI (URS) para el cambio y manejo del sistema de Dosificación.	7	Revisión en base al estándar ULS para los cambios de los parámetros.	5	24	Se toman las Dimensiones de la parte superior e inferior de las Trovitas para actualizar el ajuste de los pesos.	Remberto Hidalgo 18/02/15	Se actualizan el estándar ULS las Dimensiones de las Trovitas y se ajustan en cada Impresora por el estándar ULS.	0	2	0	12
Los operadores de la línea no se han entrenado en Central Biotecnológica de Procesos	Peseo por encima de los límites operacionales.	De ajuste de los pesos por encima de los límites operacionales por un parámetro de los límites operacionales.	4	M	Se tiene la capacitación de que URSI (URS) para la limpieza y control del equipo.	URSI (URS) para la limpieza y control del equipo.	7	No se cuenta con Programa de entrenamiento a operadores en Central Biotecnológica de Procesos.	6	100	Se realiza entrenamiento a los operadores en Central Biotecnológica de Procesos haciendo énfasis en la importancia e interpretación.	Raúl Rubio 11/02/15	Se le da seguimiento durante dos meses a los operadores sobre la ejecución del Central Biotecnológica.	0	2	0	12
Los operadores de la línea no se han entrenado en Central Biotecnológica de Procesos	Peseo por encima de los límites operacionales.	Baja calidad de la materia prima de pesados. Diferencia en el sistema de pesados. Diferencia en el sistema de pesados.	4	M	No se cuenta con programa de capacitación para los operadores.	Programa de entrenamiento mandatorio a operadores.	7	No se cuenta con Programa de entrenamiento a operadores en Central Biotecnológica de Procesos.	6	100	Se realiza entrenamiento a los operadores en Central Biotecnológica de Procesos haciendo énfasis en la importancia e interpretación.	Raúl Rubio 11/02/15	Se le da seguimiento durante dos meses a los operadores sobre la ejecución del Central Biotecnológica.	0	2	0	12

Figura 72 Análisis de Modo y Efecto de Falla del Sistema de Dosificación Parte 2.

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.24)



Componente Sistema de Dosificación  
 ITEM: 20, 21, 22, 23 y 24  
 Grupo de Trabajo: Kaizen de Línea 4

Responsable: Raúl Rubio R.  
 Fecha: 12/02/2015

AMEP No.: 1  
 Página: 3 de 3

Preparado por: Raúl Rubio R.

Fecha de AMEP original:



Etapas del Proceso	Modo de Falla Potencial	Efecto de la Falla	Severidad	Clase	Causas de la Falla Potencial	Proceso Actual				N.P.M.	Acciones Recomendadas	Responsable y Fecha de Terminación	Resultado de las Acciones				
						Controles de Prevención	Detectabilidad	Controles de Detección	Contaminación				Acciones Tomadas	Severidad	Clase	Detectabilidad	N.P.M.
No se lleva a cabo el mantenimiento del sistema de los tanques de dosificación	Fallas por exceso del 1.0% de la solución de	Descomposición del material y del equipo por debajo de la especificación de proceso. -Grosor insuficiente. -Forma, tamaño. -Cambio de la composición por el mal uso o cantidad del material de proceso	4	M	Falta de limpieza de los Residuos de Dosificación	Instrucción UICM 010312 para la limpieza y verificación del equipo	7	Programa de Limpieza Total del equipo cada fin de semana UICM 010312	5	140	Se actualiza en el estándar U.I.C. la frecuencia de limpieza de cada fin de semana a cada tres días en una limpieza parcial del equipo	Romero de H. De Igo 11/02/15	Se actualizan los Impresos y los Transmisiones en los estándares U.I.C.	0	1	0	02
			4	M	Faltas de Dosificación en residuos de polvo	Instrucción UICM 010312 para la limpieza y verificación del equipo	7	Programa de Limpieza Total del equipo cada fin de semana UICM 010312	5	140	Se actualiza en el estándar U.I.C. la frecuencia de limpieza de cada fin de semana a cada tres días en una limpieza parcial del equipo	Romero de H. De Igo 11/02/15	Se actualizan los Impresos y los Transmisiones en los estándares U.I.C.	0	1	0	02
			4	M	Bloqueo de Residuos en parte superior de	Instrucción UICM 010312 para la limpieza y verificación del equipo	7	Programa de Limpieza Total del equipo cada fin de semana UICM 010312	5	140	Se actualiza en el estándar U.I.C. la frecuencia de limpieza de cada fin de semana a cada tres días en una limpieza parcial del equipo	Romero de H. De Igo 11/02/15	Se actualizan los Impresos y los Transmisiones en los estándares U.I.C.	0	1	0	02
			4	M	Obstrucción de material y Temples Gases	Orden de Mantenimiento Planificado	7	Impreso de Visualización de verificación de material y Temples Gases	5	140	Cambio de material y Temples Gases Se agrega en el estándar U.I.C. la impresión del material y los Temples Gases	Ortiz de Oca 18/02/15 Romero de H. De Igo 18/02/15	Se actualizan los Impresos y los Transmisiones en los estándares U.I.C.	0	1	0	02

Figura 73 Análisis de Modo y Efecto de Falla del Sistema de Dosificación Parte 3.

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.25)

### 3.5.11. Carta Multi-vari de Sistema de Dosificación

Las cartas Multi-Vari son prácticamente herramientas graficas en las cuales se ilustra la variación de las variables de entrada (x's) con respecto a las variables de salida (y's) o de respuesta, esto nos ayuda a ver todas las posibles fuentes de variación. (The Black Belt Memory Jogger, 2002,p.127)

Las cartas Multi-Vari identifican tres principales familias de variación que pueden influenciar en la variabilidad del proceso, éstas son variación posicional, cíclica y temporal.

La variabilidad considerada al tomar los datos se estima que proviene de las siguientes fuentes:

- \*\* Diferencia de martillos 1,2 ,3 y 4
- \*\* Diferencia entre tirantes.
- \*\* Variación a lo largo del tiempo (largo plazo)

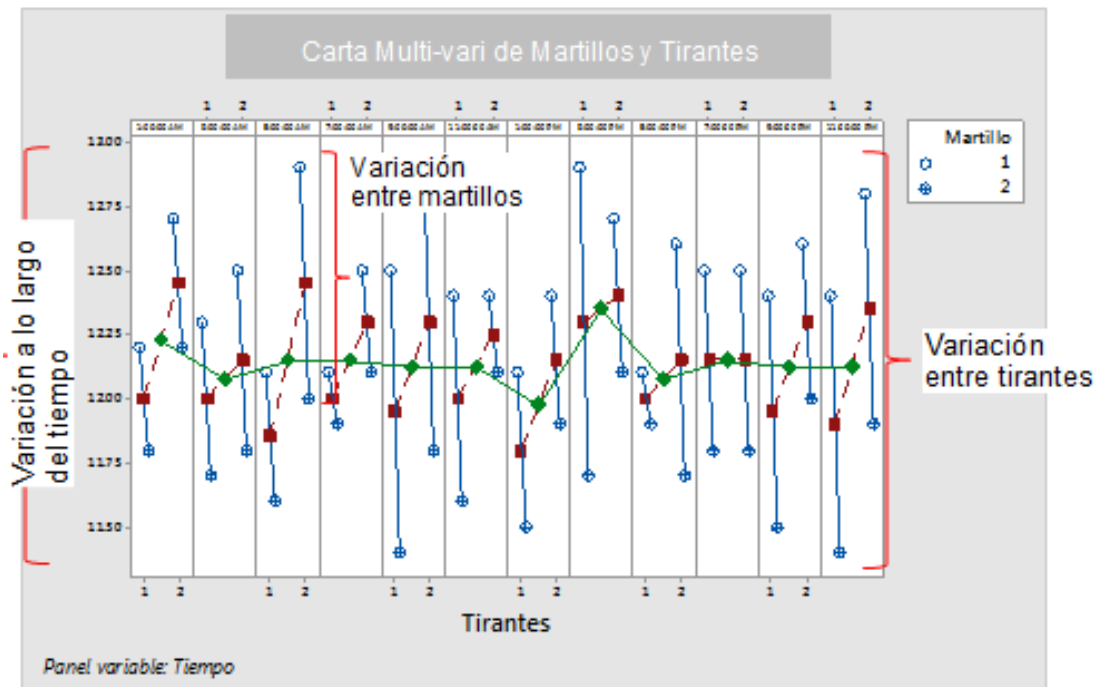


Figura 74 Carta Multi-Vari.

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipos de Trabajo Kaizen, 2015,p.26)



Como se puede observar en la figura 74 los tirantes y los martillos contribuyen a la variación sobrellenado del proceso, la variación entre martillos es de 0.8 grs y entre tirantes es de 1.1 grs, se establece en el estándar de Mantenimiento Planeado y se realiza el cambio de los tirantes y martillos.

En la figura 75 se puede ver la reducción de la variación en los elementos del sistema de dosificación ya que la variación entre martillos es de 0.2 grs y entre tirantes es de 0.4 grs.

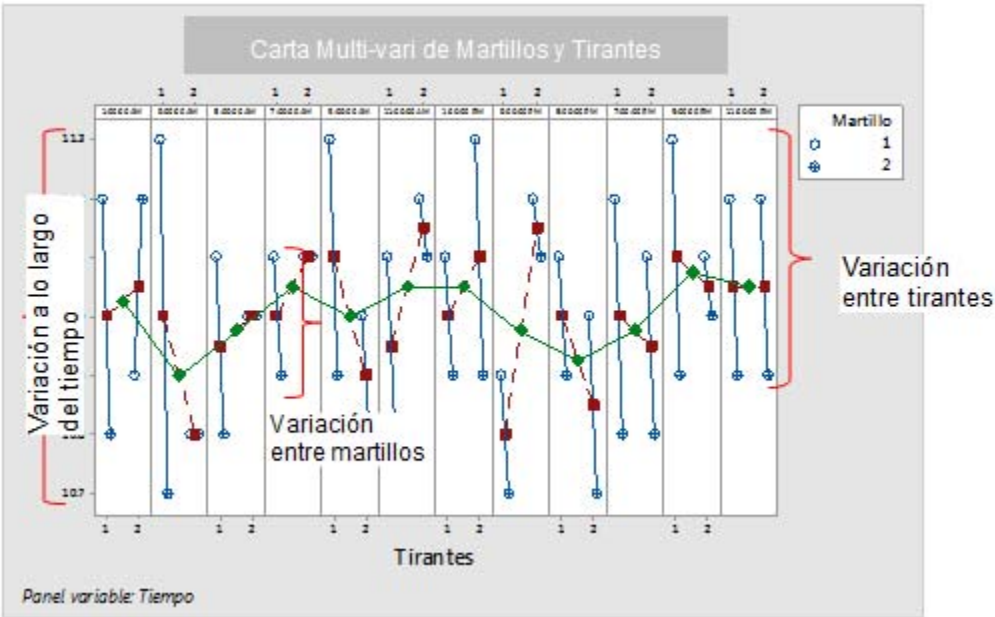


Figura 75 Carta Multi-Vari.

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipos de Trabajo Kaizen, 2015,p.26)

**3.5.12. Prueba t-Student y Fisher para Componentes de Sistema de Dosificación**

En base al cambio de martillos y tirantes del sistema de Dosificación se desea saber si esto influye en el peso de los cubos.

De esta forma se realiza la Prueba t-Student y Fisher para comprobar dicha Hipótesis

Hipótesis Nula

Ho:  $\mu = \mu_0$

La restauración de los componentes del sistema de dosificación no influye en el peso de los cubos.

## Hipótesis Alternativa

Ha:  $\mu_0 < \mu$

La restauración de los componentes del sistema de dosificación si influye en la reducción del peso de los cubos.

Dónde:

$\mu$ : Componentes antes de la Restauración del Sistema de Dosificación.

$\mu_0$ : Componentes después de la Restauración del Sistema de Dosificación.

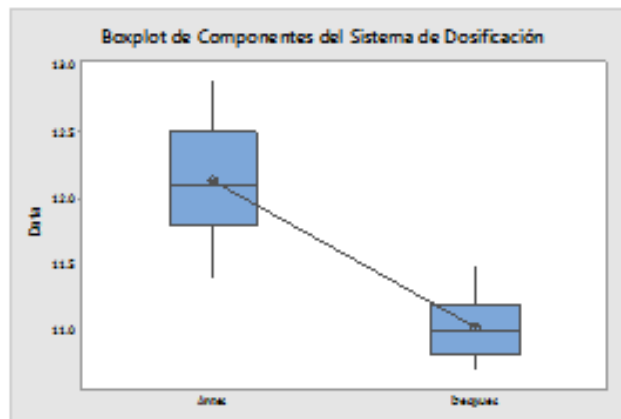
Se realiza el análisis estadístico en el programa de Minitab y nos arroja el siguiente resultado.

```
      N   Mean  StDev  SE Mean
Antes  48  12.137  0.413   0.060
Despues 48  11.033  0.226   0.033

Difference =  $\mu$  (Antes) -  $\mu$  (Despues)
Estimate for difference:  1.1042
95% CI for difference:  (0.9686, 1.2398)
T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = 16.23  P-Value = 0.000  DF = 72
```

La restauración de los componentes del sistema de dosificación si influye en la reducción del peso de los cubos. Por lo que se acepta la Hipótesis Alternativa  $\mu_0 < \mu$  con un p-value de 0.000.

Se puede observar el Diagrama de Caja en el que la media de los componentes antes de la restauración es más alta que después de los cambios en los martillos y tirantes.



Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.27)

$H_0: \sigma^2 = \sigma^2_0$   
 $H_a: \sigma^2 > \sigma^2_0$

Dónde:  
 $\sigma^2$ : Varianza de los componentes antes de la Restauración del Sistema de Dosificación.  
 $\sigma^2_0$ : Varianza de los Componentes después de la Restauración del Sistema de Dosificación.

Se realiza el análisis estadístico en el programa de Minitab y nos arroja el siguiente resultado:

Method

Null hypothesis  $\sigma(\text{Peso}) / \sigma(\text{Antes}) = 1$   
 Alternative hypothesis  $\sigma(\text{Peso}) / \sigma(\text{Antes}) \neq 1$   
 Significance level  $\alpha = 0.05$

F method was used. This method is accurate for normal data only.

Statistics

Variable	N	StDev	Variance	95% CI for StDevs
Peso	48	0.175	0.031	(0.146, 0.219)
Antes	48	0.413	0.171	(0.344, 0.518)

Ratio of standard deviations = 0.423  
 Ratio of variances = 0.179

95% Confidence Intervals

Method	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
F	(0.317, 0.565)	(0.100, 0.320)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F	47	47	0.18	0.000

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.27)

**Conclusión**

La Varianza de los Componentes después de la Restauración del Sistema de Dosificación es menor a la varianza de los componentes antes de la Restauración del Sistema de Dosificación.

Por lo que se acepta la Hipótesis Alternativa  $H_a \sigma^2 > \sigma^2_0$ .

**3.5.12. Prueba t-Student y Fisher para Boquillas de Dosificación**

Se realiza el cambio de material de las boquillas de dosificación, el material que hoy se ocupa en las boquillas de dosificación presenta una constante fuente de contaminación (fuga de pasta), el material de las boquillas de dosificación es:

- SAE 62 el cual es una aleación de uso general con antifricción de gran resistencia para condiciones fuertes de trabajo y alta carga. Es duro con gran resistencia al desgaste al ataque químico-ácido y a la corrosión ambiental.
- El material nuevo es Dura Aluminio este tiene una Aleación ligera de aluminio con magnesio, cobre y manganeso que es tan duro como el acero y tiene gran resistencia mecánica.

Se monitoreo cada final de turno el resultado de las fuentes de contaminación con la aleación SAE 62 y Dura Aluminio dando el siguiente resultado:

**Tabla 13 Resultados de la Fuente de Contaminación**

SAE 62		Dura Aluminio	
4.00	3.34	1.96	0.45
2.35	1.66	1.42	3.00
4.91	1.40	1.66	2.00
6.64	2.86	1.50	1.38
6.51	3.20	0.20	2.03
7.41	0.94	0.98	0.22
0.83	3.55	2.58	2.87
4.11	3.82	1.77	1.11
6.34	4.73	2.33	1.20
2.67	3.89	1.14	4.63

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.28)

Por lo que se realiza una prueba t-Student para determinar qué Tipo de Boquilla tiene una menor fuente de contaminación.

Ho:  $\mu = \mu_0$

La fuente de contaminación de la Boquilla de Dosificación con SAE 62 es igual a la Boquilla de Dosificación con Dura Aluminio.

Ha:  $\mu > \mu_0$

La fuente de contaminación de la Boquilla de Dosificación con SAE 62 es mayor a la Boquilla de Dosificación con Dura Aluminio.

Dónde:

$\mu$ : Boquilla de Dosificación con SAE 62.

$\mu_0$ : Boquilla de Dosificación con Dura Aluminio.

Se realiza el análisis estadístico en el programa de Minitab y nos arroja el siguiente resultado.

Two-sample T for SAE 62 vs Dura Aluminio

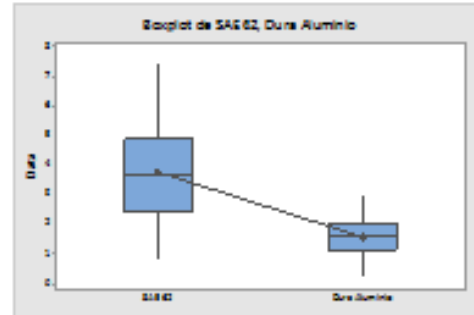
	N	Mean	StDev	SE Mean
SAE 62	20	3.76	1.91	0.43
Dura Aluminio	20	1.571	0.789	0.16

Difference =  $\mu$  (SAE 62) -  $\mu$  (Dura Aluminio)

Estimate for difference: 2.187

95% CI for difference: (1.235, 3.139)

T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = 4.73 P-Value = 0.000 DF = 25



## Conclusiones

La media  $\mu$  = SAE 62 es mayor que la  $\mu_0$  = Dura Aluminio por lo que se acepta la Hipótesis Alternativa con un p-value de 0.000.

Las boquillas con Dura Aluminio proporcionan una menor fuga de pasta por lo que se incluyen en el estándar de Mantenimiento Planeado.

## 3.6. Fase de Mejorar

### 3.6.1. Estándares Provisionales de Limpieza, Inspección y Lubricación

Consiste en la construcción de estándares provisionales de limpieza, inspección y lubricación que puedan ser ejecutados por operación en el sentido de garantizar que las condiciones básicas del equipo se mantengan. (Curso de Facilitadores de TPM, 2013,p.42)

Derivado del AMEF se incluyen estas actividades en el Check List LILA:

Punto	Componente	Actividad	Tipo de Actividad	Frecuencia	Responsable
20	Martillos y Templadores	Eliminar residuos de pasta	Limpieza	Dos veces a la semana	Operador
		Inspección de desgaste de Martillo, Rotulas y Tornillería	Inspección		
21	Pistones de Dosificación	Eliminar residuos de pasta	Limpieza		
		Tapas y Opressor en buen estado	Inspección		
22	Revolver de Dosificación	Eliminar residuos de pasta	Limpieza		
		Ajustar con llave española de 13 mm y 20 mm	Ajuste		
		Eliminar residuos de pasta	Limpieza		
23	Boquillas de Dosificación	Boquillas, Cortadores y Tornillos en buen estado	Inspección		

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Autonomo, 2015,p.1)

En la figura 76 se encuentran marcados con amarillo los cambios realizados en el Check List LILA y en el Estándar LILA de Mantenimiento Autónomo.

FECHERO		LUBRIFICACIÓN				INSPECCIÓN				LUBRIFICACIÓN				INSPECCIÓN				LUBRIFICACIÓN				INSPECCIÓN											
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	...																																
15	...																																
16	...																																
17	...																																
18	...																																
19	...																																
20	...																																
21	...																																
22	...																																
23	...																																
24	...																																
25	...																																
26	...																																

Figura 76 Check List Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste.

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Autonomo, 2015,p.2)

LÍNEA 4		ESTÁNDAR L.I.L.A												PÁG 04					
		SISTEMA DE DOSIFICACIÓN												PROPÓSITO GENERAL:					
		LUBRIFICACIÓN			INSPECCIÓN			AJUSTE			REPLAZO DE PARTES			TIPO DE DEFECTOS		TIPO DE DEFECTOS			
		LUBRIFICACIÓN			INSPECCIÓN			AJUSTE			REPLAZO DE PARTES			TIPO DE DEFECTOS		TIPO DE DEFECTOS			
		LUBRIFICACIÓN			INSPECCIÓN			AJUSTE			REPLAZO DE PARTES			TIPO DE DEFECTOS		TIPO DE DEFECTOS			
	17																		
	18																		
	19																		
	20																		
	21																		
	22																		
	23																		
	24																		

Figura 77 Estándar Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste.

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Autonomo, 2015,p.4)

### 3.6.2. Restauración del Equipo

Derivado del Plan de Acción se realizaron las siguientes restauraciones al Sistema de Dosificación.

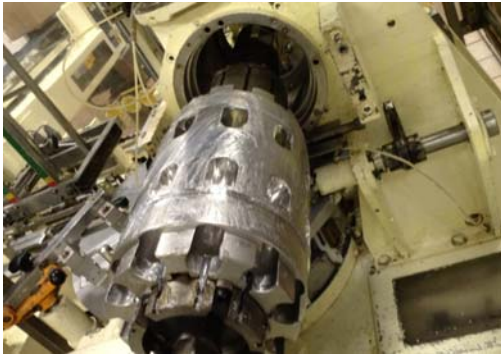
Cambio de martillos y templadores.

Cambio de las pistas.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2015,p.2)

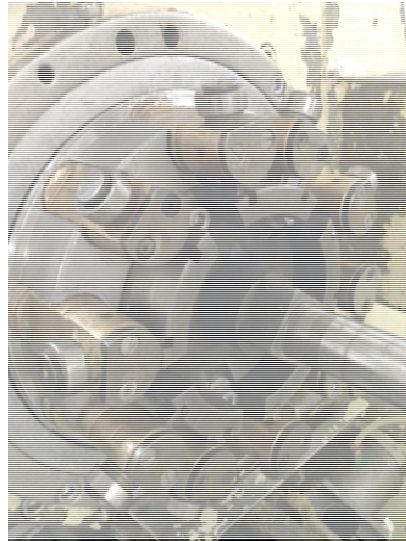
Cambio de Revolver de dosificación.



Cambio de Tirantes.



Cambio de Pistones de dosificación.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2015,p.2)

### 3.6.3. Actualización del Estándar de Mantenimiento Planeado

El estándar de mantenimiento planeado permite visualizar los sistemas y componentes de una línea el tipo de actividades a realizar, acciones que se deben de tomar en caso de encontrar alguna condición que no se cumpla y la frecuencia con la que se va a realizar la actividad. (Curso de Facilitadores de TPM, 2013,p.40).



Dentro de las actividades que se agregaron al Estándar de Mantto Planeado son:

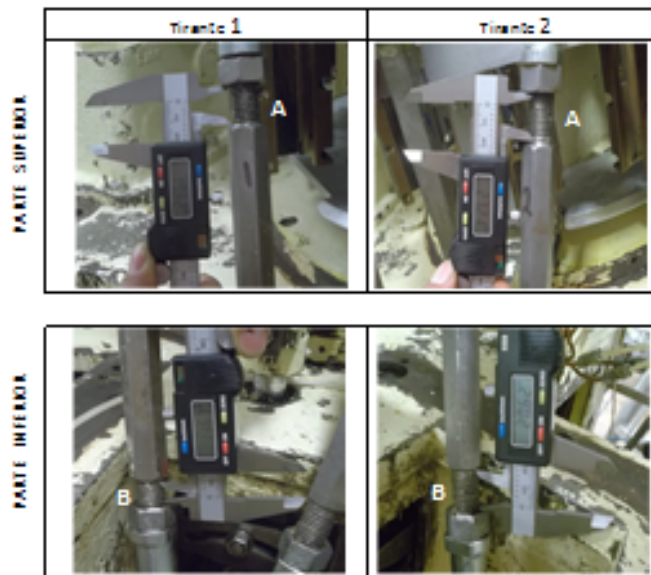
- Se modifica el material de las boquillas pasando de un SAE62 a un Dura Aluminio.
- Se establece en el programa de mantenimiento planeado la frecuencia de cambio del revolver.

### 3.6.4. Estandarización de Componentes del Sistema de Dosificación

Se toman las dimensiones de la parte superior e inferior de los tirantes para estandarizar el ajuste de los pesos.

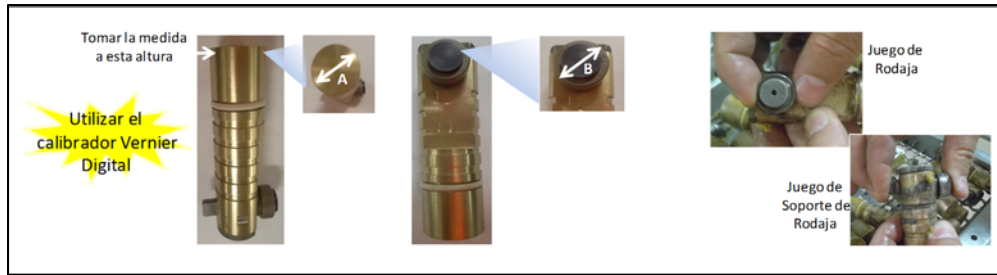
# Tirante	Distancia Superior (A) (mm)	Distancia Inferior (B) (mm)
1	19.82	13.67
2	23.21	20.62

Forma de tomar las medidas



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Autonomo, 2015,p.2)

Se toman las dimensiones de los pistones (Ver tabla 14 )



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Autonomo, 2015,p.2)

Tabla 14 Mediciones de los Pistones

# PISTÓN	DIÁMETRO DE PISTÓN (A) (mm)	DIÁMETRO DE RODAJA (B) (mm)	RODAJA CON JUEGO (sí/no)	RODAJA BLOQUEADA (sí/no)	JUEGO EN SOPORTE DE RODAJA	CAMBIO DE ORRINGS
1	29.77	19.98	no	no	no	sí
2	29.77	19.98	no	no	no	sí
3	29.63	19.98	no	no	no	sí
4	29.83	20.06	no	no	no	sí
5	29.73	19.98	no	no	no	sí
6	29.76	19.98	no	no	no	sí
7	29.75	19.95	no	no	no	sí
8	29.77	19.98	no	no	no	sí
9	29.77	19.98	no	no	no	sí
10	29.77	19.98	no	no	no	sí
11	29.72	9.98	no	no	no	sí
12	29.83	20.06	no	no	no	sí
13	29.63	19.98	no	no	no	sí
14	29.83	20.06	no	no	no	sí
15	29.76	19.95	no	no	no	sí
16	29.83	20.06	no	no	no	sí
17	29.63	19.98	no	no	no	sí
18	29.74	19.95	no	no	no	sí
19	29.75	19.95	no	no	no	sí
20	29.73	19.98	no	no	no	sí

Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Autonomo, 2015,p.2)

Se estandarizan las boquillas de dosificación para cada Corazza, cavidad del revólver y martillos.



ESTÁNDAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO

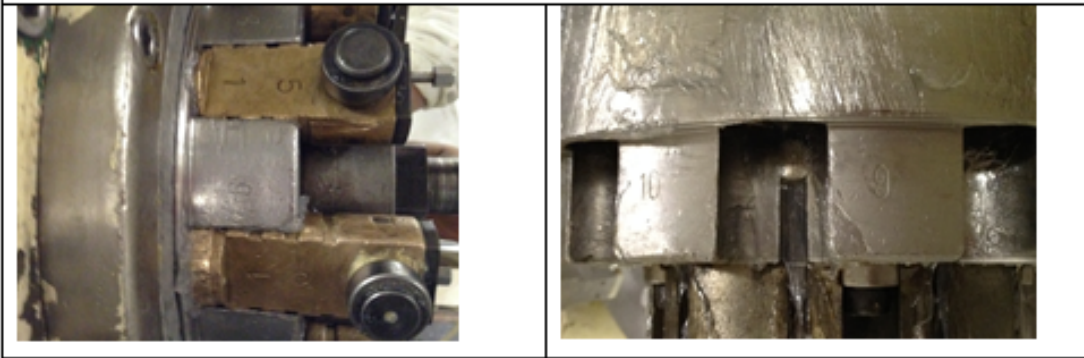


UBICACIÓN: KNORR		EQUIPO: FC-02; C1, C2, C11 L4		Responsable: MARTO ROSA		día-12																
No. DE TARCA	SISTEMA	COMPONENTES	ELEMENTOS	Sistema trabajo						INSPECCIÓN	NORMA DE INSPECCIÓN	METODO DE INSPECCIÓN	diagnostico						Contramedida en caso de anomalía		Periodicidad	
				M	E	RDV	CM	UM	LU				SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	Si	No
41	Dosificación		FLECHA	X		X		X		RLEDA	DEBETE NOMINALE 2 MM ENTRE LAFLECHA		X	X		X		CAMBIO FLECHA	0	12 M		
42			FLECHA	X			X	X		RLEDA	DEBETE NOMINALE 2 MM ENTRE LAFLECHA		X	X		X		CAMBIO FLECHA	10	12 M		
43			CUERPO DESOQUILLA	X		X	X	X	X		REVISION DECUERPO DE SOQUILLA	DEBETE 0.05 MM DE CUERPO		X	X		X		CAMBIO CUERPO DESOQUILLA	2	12 M	
44			CAMBIO SOQUILLA	X			X			REVISION DECUERPO DE SOQUILLA	DEBETE ENTRE LA SOQUILLA Y EL CUERPO NOMINALE 0.1 MM		X	X		X		CAMBIO SOQUILLA DE SERIE O CURULUMINO	05	CM		
45			REVISION DE CORTADORES	X		X		X		REVISION DECORTADOR	DEBETE EN LOS CORTADORES NOMINALE 0.1 MM		X	X		X		CAMBIO DE CORTADOR	05	CM		
46			CAMBIO DE CORTADORES	X			X	X	X	CAMBIO DECORTADOR	DEBETE EN LOS CORTADORES NOMINALE 0.1 MM		X	X		X		CAMBIO DE CORTADOR	05	CM		
47			CAMBIO BULB PARA LA FLECHA	X			X		X	BULB	NO DEBE HABER DEBETE EN EL BULB NI EN LA FLECHA		X	X		X		CAMBIO DE BULB	0	12 M		
48			CAMBIO RODAMIENTO EN EL FLECHA	X			X			RODAMIENTOS			X	X		X		CAMBIO DE RODAMIENTOS	0	12 M		
49			PERNO DE PERNO	X			X			PERNO	DEBETE EN LA ROTA DEL PERNO		X	X		X		CAMBIO DE PERNO	25	3M		
50			PERNO DE FLECHA DE CORTADOR	X			X			PERNO	DEBETE EN LA ROTA DEL PERNO		X	X		X		CAMBIO DE PERNO	25	3M		
51		FLECHA PORTA BULBOS	X		X		X		RLEDA	DEBETE NOMINALE 2 MM ENTRE LAFLECHA		X	X		X		CAMBIO DE FLECHA	0	12 M			
52		FLECHA PORTA BULBOS	X			X	X		RLEDA	DEBETE NOMINALE 2 MM ENTRE LAFLECHA		X	X		X		CAMBIO DE FLECHA	10	12 M			
53		RODAMIENTOS DE FLECHA PORTA BULBOS	X			X		X	RODAMIENTOS	DEBETE EN LOS RODAMIENTOS NOMINALE 0.1 MM		X	X		X		CAMBIO DE RODAMIENTOS	0	12 M			
54		RODAMIENTOS DE FLECHA PORTA BULBOS	X			X		X	RODAMIENTOS	DEBETE EN LOS RODAMIENTOS NOMINALE 0.1 MM		X	X		X		CAMBIO DE RODAMIENTOS	1	CM			
55		TRAFLECHAS DE ROTULOS DE TRAFLECHA	X		X				TRAFLECHA	NO DEBE HABER DEBETE EN EL TRAFLECHA NI EN LA ROTULA		X	X		X		CAMBIO DE TRAFLECHA	05	CM			
56		TRAFLECHAS DE ROTULOS DE TRAFLECHA	X			X			TRAFLECHA	NO DEBE HABER DEBETE EN EL TRAFLECHA NI EN LA ROTULA		X	X		X		CAMBIO DE TRAFLECHA	2	CM			
				REVOLVER	X		X	X		PUREZA DE REVOLVER	NO DEBE HABER DEBETE EN LA PUREZA DEL REVOLVER		X	X		X		CAMBIO DE REVOLVER	2	12 M		

Figura 78 Estándar de Mantenimiento Planeado.

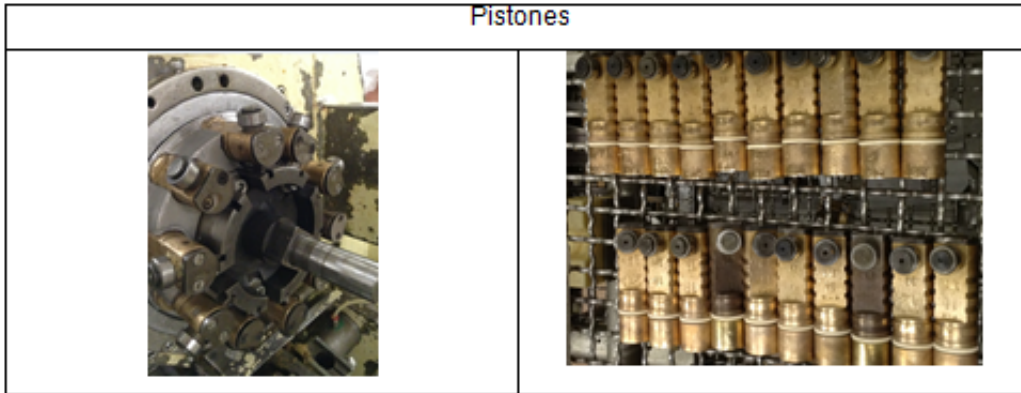
Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional , 2015,p.2)

### Cavidades del Revolver



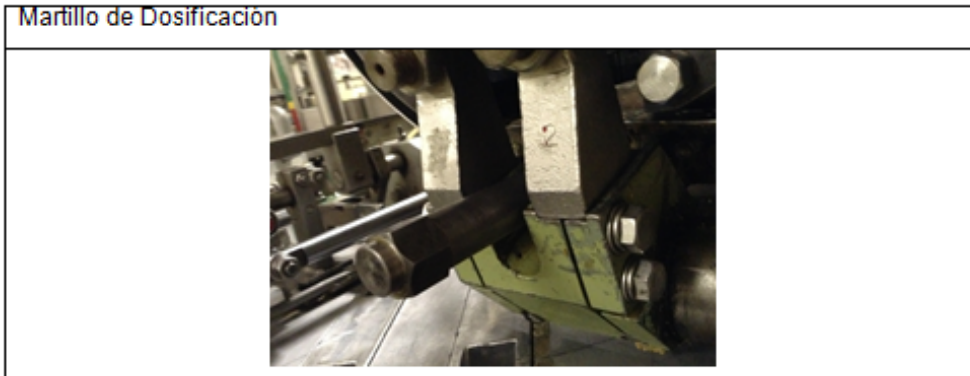
Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Autonomo, 2015,p.2)

### Pistones



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Autonomo, 2015,p.2)

### Martillo de Dosificación



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Autonomo, 2015,p.2)

Cambio de material de las boquillas de dosificación de SAE 62 a Duraluminio.

Sae 62	Duraluminio
Es una aleación de uso general con antifricción de gran resistencia para condiciones fuertes de trabajo y alta carga. Es duro con gran resistencia al desgaste al ataque químico-ácido y a la corrosión ambiental; resiste presiones hidráulicas aun con agua salada.	Aleación ligera de aluminio con magnesio, cobre y manganeso que es tan duro como el acero y tiene gran resistencia mecánica.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mantenimiento Profesional, 2015,p.2)

Se realiza entrenamiento a los operadores en Control Estadístico de Proceso haciendo énfasis en la importancia e interpretación.



Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.39)

### 3.7. Fase de Controlar

En la fase de control una vez implementadas las mejoras en nuestro proceso, el último paso es asegurar que las implementaciones se mantengan y estén siendo actualizadas a través del tiempo.

Las herramientas que se verán en esta fase son:

- Control Estadístico de Proceso.
- Plan de Control.

#### 3.7.1. Control Estadístico de Proceso

En las figuras 79,80, 81, 82, 83, 84, 85 y 86 se pueden ver las cartas de control y la habilidad del proceso de los productos 35404 y 146659 durante los meses de marzo, abril, mayo y junio del 2015, después de implementarse las contramedidas.

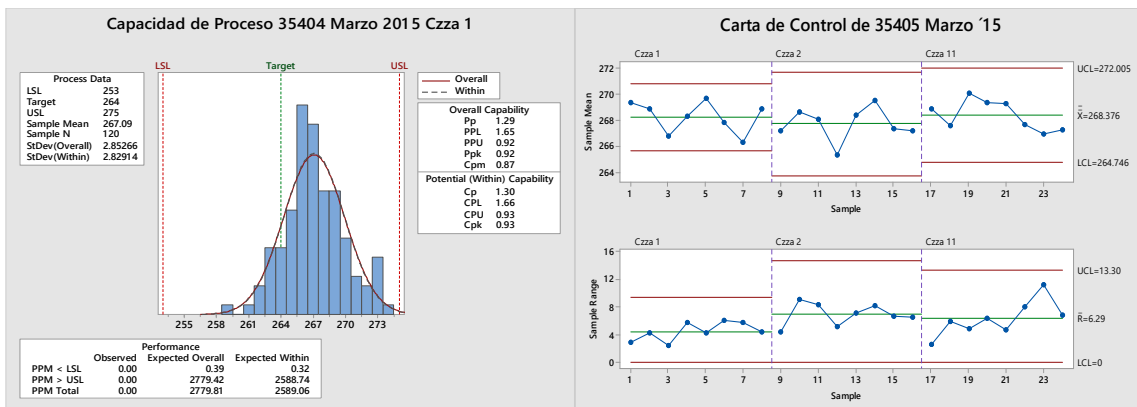


Figura 79 Carta de Control y Capacidad de Proceso Marzo '15.

Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.1)

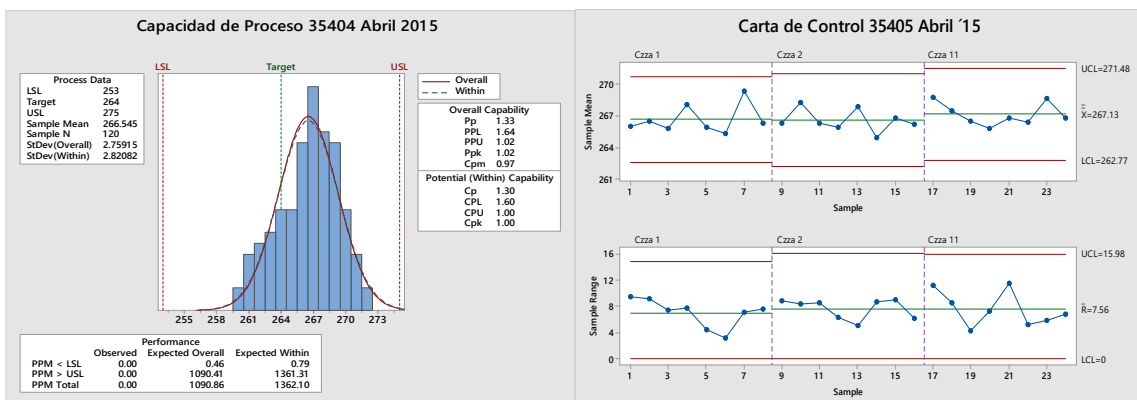


Figura 80 Carta de Control y Capacidad de Proceso Abril '15.

Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.1)

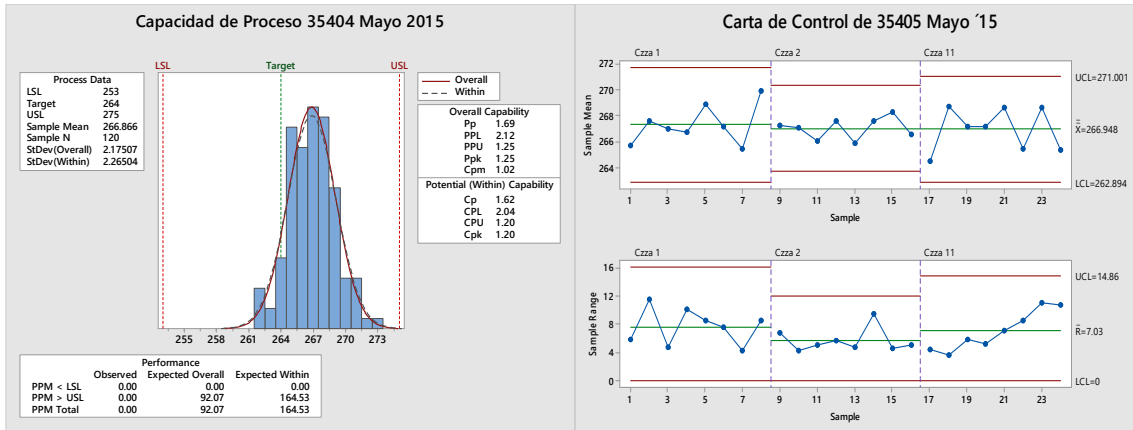


Figura 81 Carta de Control y Capacidad de Proceso Mayo '15.

Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.1)

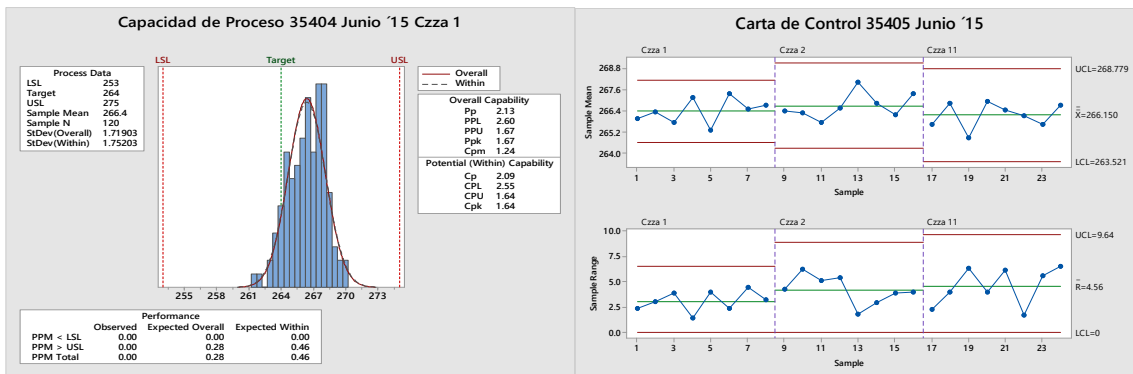


Figura 82 Carta de Control y Capacidad de Proceso Junio '15.

Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.2)

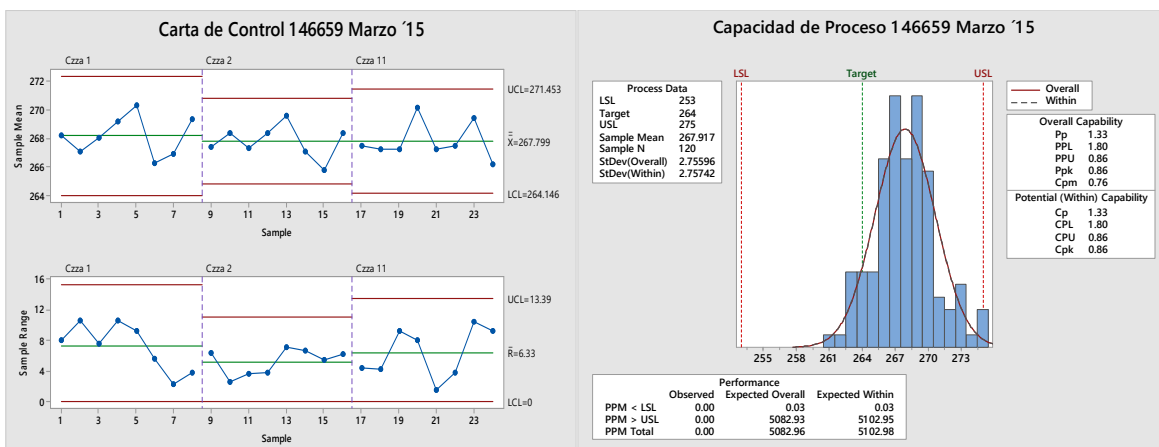


Figura 83 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Mar '15.

Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.2)

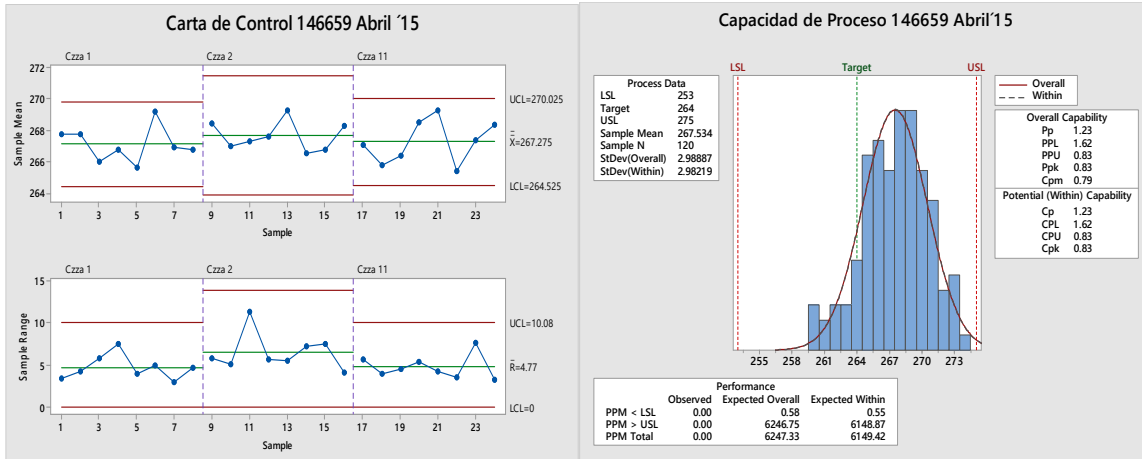


Figura 84 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Abr '15.

Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.2)

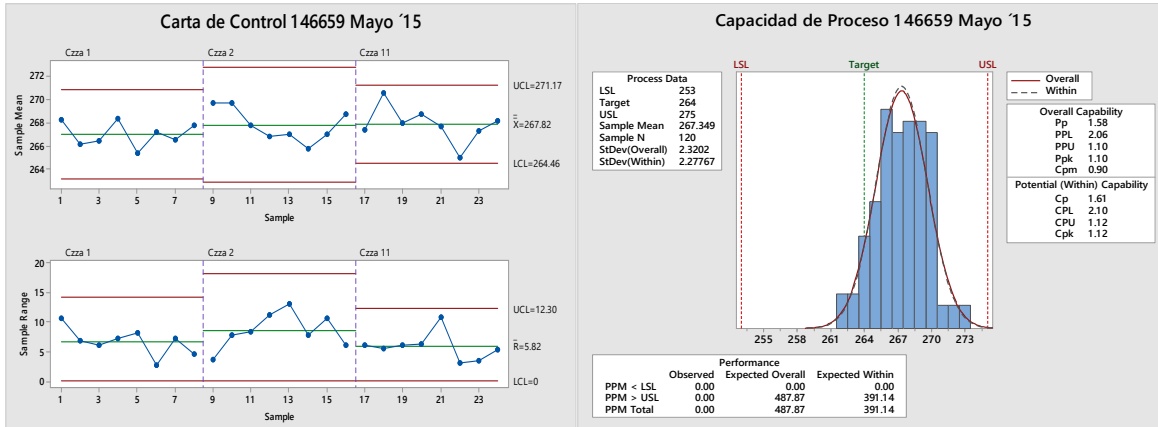


Figura 85 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Mayo '15.

Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.3)

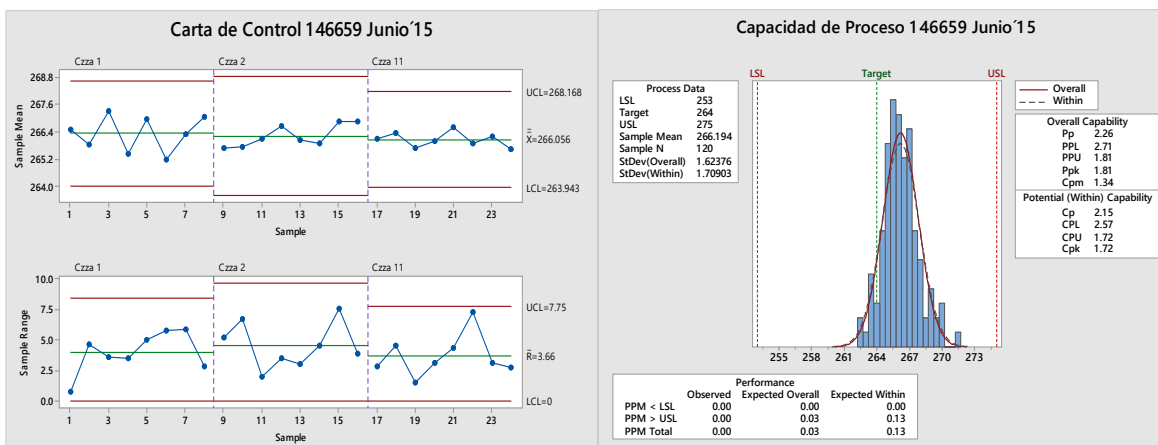


Figura 86 Carta de Control y Capacidad de Proceso 146659 Jun '15.

Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.3)



En la tabla 15 se puede observar la habilidad del proceso después de las contramedidas implementadas.

**Tabla 15 Habilidad de Proceso, ppm y Valores Sigma**

Marzo					Abril			
Código	Cp	Cpk	ppm	Valor Sigma	Cp	Cpk	ppm	Valor Sigma
35404	1.08	1.01	2184	2.97	1.18	1.05	1600	3.15
35408	1.19	1.04	1800	3.12	1.15	1.09	1100	3.26
146659	1.05	1.01	2184	2.97	1.09	1.01	2,184	2.97
923716	1.09	0.98	1647	3.26	1.16	1.06	1400	3.19

Mayo					Junio			
Código	Cp	Cpk	ppm	Valor Sigma	Cp	Cpk	ppm	Valor Sigma
35404	1.27	1.01	2184	2.97	1.41	1.21	300	3.61
35408	1.31	1.19	300	3.63	1.38	1.22	320	3.68
146659	1.21	1.11	900	3.43	1.48	1.28	150	3.79
923716	1.25	1.19	300	3.63	1.43	1.25	130	3.79

Fuente: Elaboración propia con base en (Departamento de Aseguramiento de Calidad, 2015,p.3)

De los resultados de capacidad del proceso final se obtiene un Cpk que va de 1.01 en marzo a 1.28 de junio mejor que el obtenido inicialmente de 0.81 el obtener un valor > 1, indica una baja variabilidad del proceso.

Los defectos por millón de oportunidades totales, a largo plazo, disminuyeron de 317,300 a 2.184 con este valor se ingresa en la tabla y se obtiene un sigma de proceso final de 2.97. Este valor en términos de rendimiento representa un 99,73%, mejor al valor obtenido inicialmente de 68.7%.

### 3.7.2. Plan de Control

Derivado del AMEF, se genera el Plan de Control para el Sistema de Dosificación el cual se muestra en la figura 87.

Plan de Control												
Plan de Control para:			Sistema de Dosificación							Página:		1 de 1
Número de Plan de Control			0-0042	Miembros del Equipo				Fecha de Emisión:		19/09/2015		
Dueño de Proceso			Esmeralda Hidalgo	Equipo de Reducción de Sobrellenado L-4				Fecha de Revisión:		21/09/2015		
Parte/Proceso	Pasos del Subproceso	Variable de Entrada Clave	Características Especiales	Especificaciones	Técnica de Medición	Tamaño de la Muestra	Frecuencia de la Muestra	Cpk Inicial	Persona responsable de la medición	Método de Control	Plan de Reacción	
Sistema de Dosificación	Boquillas	Cambio de Boquillas	Desgaste entre la Boquilla y el Cortador no mas de 0.1 mm	<0.1 mm	Calibrador Vernier	1	1 vez cada 6 meses	NA	Mantenimiento Planeado	Estándar de Mantenimiento Planeado	Realizar el cambio una vez que presente el desgaste de 0.1 mm	
		Limpieza de Boquillas de Dosificación	Superficie libre de residuos	Visual	Visual	1	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Parar la línea y realizar la limpieza	
		Boquilla, Cortador y O-Ring en buen estado	Inspección de los componentes	Visual	Visual	1	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Realizar la limpieza conforme a los establecido en el	
	Revolver	Cambio de Revolver	Cavidades del revolver sin fracturas	Visual	Visual	1	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Realizar la limpieza conforme a los establecido en el	
		Limpieza de Revolver	Eliminar residuos de pasta	Visual	Visual	1	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Parar la línea y realizar la limpieza	
		Guías de revolver	Inspección del buen estado de las guías	Visual	Visual	4	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Parar la línea y realizar la limpieza	
	Martillos	Cambio de martillos	Desgaste de martillo no mas de 0.2 mm	<0.2 mm	Calibrador Vernier	1	1 vez cada 6 meses	NA	Mantenimiento Planeado	Estándar de Mantenimiento Planeado	Realizar el cambio una vez que presente el desgaste de 0.1 mm	
		Limpieza de Martillos	Eliminar residuos de pasta	Visual	Visual	4	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Parar la línea y realizar la limpieza	
		Inspección de Martillos	Martillos y tornillería en buen estado	Visual	Visual	4	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Parar la línea y realizar la limpieza	
		Longitud de la punta	Distancia de la punta	16 mm	Calibrador Vernier	4	1 vez cada semana	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Ajustar a la distancia especificada	
		Longitud de la cuerda	Distancia de la cuerda	20 mm	Calibrador Vernier	4	1 vez cada semana	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Ajustar a la distancia especificada	
	Tirantes	Cambio de Tirantes	Desgaste no mayor de 1 mm	1 mm	Calibrador Vernier	1	1 vez cada 6 meses	NA	Mantenimiento Planeado	Estándar de Mantenimiento Planeado	Realizar el cambio una vez que presente el desgaste de 0.1 mm	
		Distancia Inferior de Tirantes	Longitud de la punta	16 mm	Calibrador Vernier	1	1 vez cada semana	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Ajustar a la distancia especificada	
		Distancia Superior de Tirantes	Longitud de la cuerda	20 mm	Calibrador Vernier	1	1 vez cada semana	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Ajustar a la distancia especificada	
	Pistones	Cambio de pistones	Desgaste no mayor de 1 mm	<1 mm	Calibrador Vernier	20	1 vez al año	NA	Mantenimiento Planeado	Estándar de Mantenimiento Planeado	Realizar el cambio una vez que presente el desgaste de 1 mm	
		Limpieza de pistones	Eliminar residuos de pasta	Visual	Visual	20	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Parar la línea y realizar la limpieza	
		Colocar pistones de acuerdo a la cavidad que le corresponda	Ayuda Visual	Visual	Visual	20	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Verificar la colocación de los pistones	
		Inspección de dimensiones	Diametro de Pistón	29.77 mm	Calibrador Vernier	1	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Ajustar a la distancia especificada	
		Inspección de dimensiones	Diametro de Rodaja	20.02 mm	Calibrador Vernier	1	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Ajustar a la distancia especificada	
		Cambio de o rings	Desgaste y mal ensamble de o rings	Visual	Visual	1	Cada 3 días	NA	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Verificar el estado de los o rings	
	Verificador de peso	Ajuste de pesos	Verificar el peso de los estuches	Encontrarse dentro de los limites de control	>261 grs y <267 grs	Chegador de peso	130	Cada media hora	1.38	Mantenimiento Autonomo	Estándar de Mantenimiento Autonomo	Si esta fuera de los limites de control parar la línea y ajustar el peso
Bascula Varpe		Colocar parámetros de peso	Encontrarse dentro de los limites de control	>261 grs y <267 grs	Chegador de peso	1	Cada mes	1.34	Mantenimiento Planeado	Estándar de Mantenimiento Planeado	Parar la línea y colocar los limites señalados por calidad	

Figura 87 Plan de Control del Sistema de Dosificación.

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.42)

## Resultados del Proyecto

En la tabla 16 se puede observar la proyección de ahorros del 2015 para los productos 35404, 35408, 146659 y 923716. El ahorro anual si se mantienen las mejoras alcanzadas será de \$1, 127,919.5.

Tabla 16 Ahorros reportados de L-4.

Producto	Czas	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
35404	1	\$ 8,906.4	\$ 3,516.4	\$ 6,638.0	\$ 7,801.1	\$ 12,848.5	\$ 9,696.5	\$ 8,998.3	\$ 8,138.0	\$ 7,300.0
	2	\$ 6,326.8	\$ 3,476.9	\$ 6,765.4	\$ 5,531.1	\$ 8,962.4	\$ 8,341.6	\$ 10,479.9	\$ 8,328.0	\$ 8,400.0
	11	\$ 4,432.3	\$ 6,826.9	\$ 9,124.2	\$ 4,743.6	\$ 8,092.2	\$ 9,338.2	\$ 9,637.3	\$ 7,074.0	\$ 7,500.0
35408	1	\$ 289.5	----	----	----	----	\$ 1,003.0	\$ 2,739.8	----	----
	2	\$ 979.2	----	----	----	----	\$ 2,708.7	\$ 2,836.1	----	----
	11	\$ 1,306.8	----	----	----	----	\$ 2,616.3	\$ 2,473.9	----	----
146659	1	\$ 1,743.2	\$ 1,850.4	\$ 1,879.6	\$ 888.4	----	----	----	\$ 1,202.1	\$ 1,385.0
	2	\$ 7,482.5	\$ 3,810.4	\$ 1,674.2	\$ 2,181.4	----	----	----	\$ 1,088.6	\$ 2,300.0
	11	\$ 2,353.4	\$ 2,740.4	\$ 3,478.6	\$ 2,542.0	----	----	----	\$ 1,381.7	\$ 1,900.0
923716	1	\$ 678.8	\$ 1,086.1	\$ 1,312.5	\$ 2,114.8	----	----	----	\$ 2,048.5	\$ 1,945.0
	2	\$ 331.8	\$ 1,514.9	\$ 1,690.7	\$ 1,986.8	----	----	----	\$ 2,214.6	\$ 1,644.0
	11	\$ 642.0	\$ 3,043.3	\$ 1,557.1	\$ 2,906.8	----	----	----	\$ 1,778.3	\$ 2,800.0
Total		\$35,502.72	\$29,865.63	\$34,320.23	\$30,698.01	\$29,903.09	\$33,723.23	\$37,165.30	\$33,513.78	\$34,774.00

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.43)

De la tabla anterior se tuvo un costo por sobrellenado de \$264,695 lo cual significa que se tuvo un ahorro de \$ 798,679.81, como se puede ver en la tabla 16, Sobrellenado L-4 2014 vs 2015.

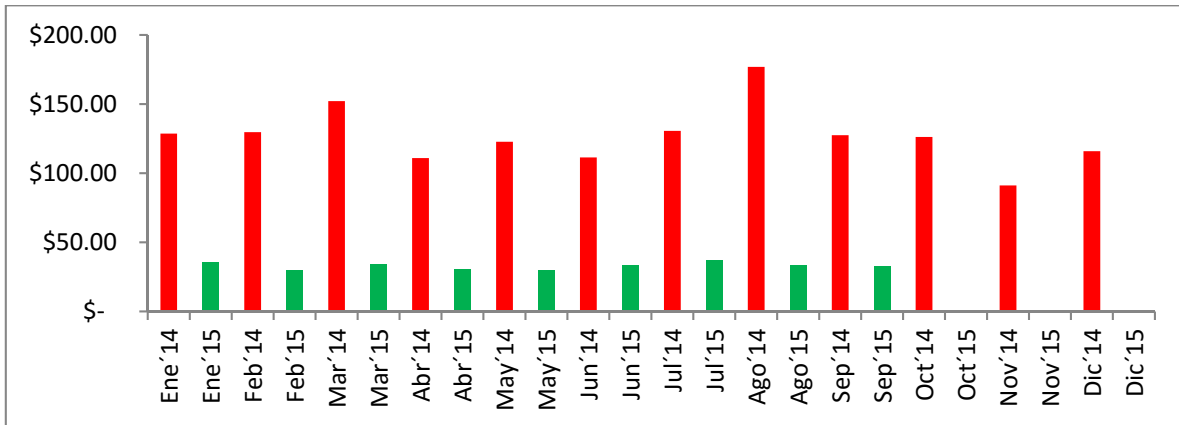
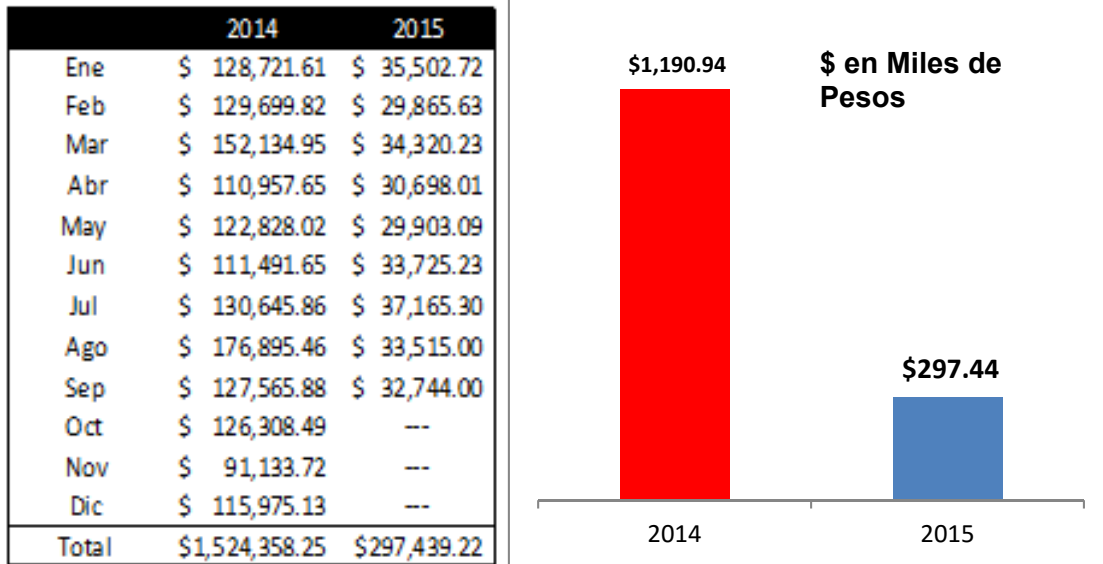


Figura 88 Costo de Sobrellenado 2014 vs 2015

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.43)

Se tiene un ahorro del 75%, se revisa la carta de proyecto en la cual se colocó como objetivo reducir el 50% por lo que el objetivo es más que satisfactorio.

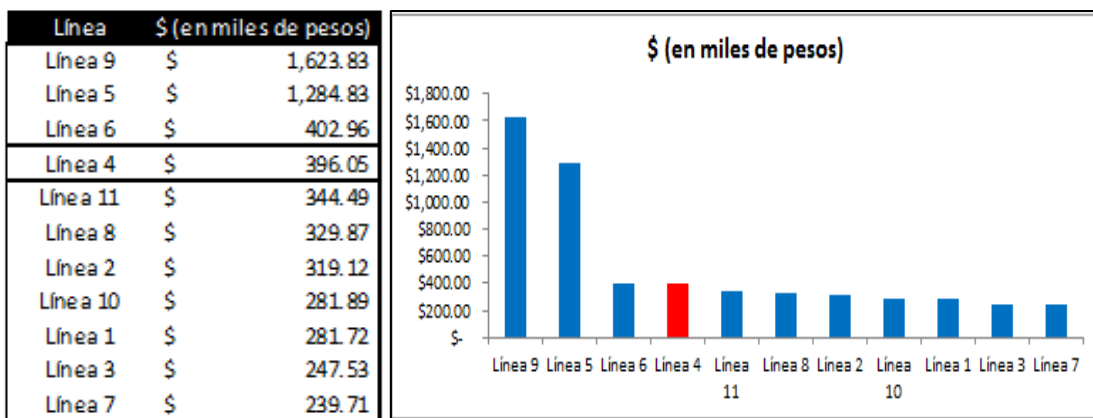
**Tabla 17 Costo por Sobrellenado 2014 vs 2015**



Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.44)

Al observar el Pareto de pérdidas por sobrellenado se puede ver que la Línea 4 ocupa el cuarto lugar de las líneas de cubos por perdida de sobrellenado. (Ver tabla 18 y Figura 89).

**Tabla 18 Líneas con Sobrellenado**



**Figura 89 Costo de sobrellenado por Línea**

Fuente: Elaboración propia con base en (Equipo de Trabajo Kaizen, 2015,p.44)

## Conclusiones

En base al objetivo y a los resultados obtenidos se concluye que se cumple a las dos hipótesis planteadas que son:

### Hipótesis 1

Ho:  $\sigma_1 = \sigma_2$ .

Aplicando la metodología DMAIC en la Línea 4 de envasado de Cubos FD-600 no se reduce la variabilidad del proceso de llenado.

Ha:  $\sigma_2 < \sigma_1$ .

Aplicando la metodología DMAIC en la Línea 4 de envasado de Cubos FD-600 se reduce la variabilidad del proceso de llenado.

Dónde:

$\sigma_1$  es la variación inicial del proceso +6 de llenado.

$\sigma_2$  es la variación final del proceso de llenado después de aplicar la metodología Lean Seis Sigma.

Se acepta la Hipótesis Alternativa (Ha) con la aplicación de la metodología Lean Seis Sigma, se logró reducir la variabilidad del proceso de llenado en un 62%. Al inicio de la investigación, la desviación estándar de proceso era de 5.12 y al final se redujo a 1.94. Esta reducción de la variabilidad, permitió centrar el proceso en el target, sin incumplir con los requerimientos regulatorios de la NOM 002 SCFI.

### Hipótesis 2

Ho:  $\mu_1 = \mu_2$ .

Aplicando la metodología DMAIC en la Línea 4 de envasado de Cubos FD-600 no se reduce el Costo de sobredosificado en producto terminado.

Ha:  $\mu_1 < \mu_2$ .

Aplicando la metodología DMAIC en la Línea 4 de envasado de Cubos FD-600 se reduce el Costo de sobredosificado en producto terminado.

Dónde:

$\mu_1$  es el costo promedio de sobrellenado de la Línea 4 de envasado de Cubos FD-600.

$\mu_2$  es el costo promedio de sobrellenado de la Línea 4 de envasado de Cubos FD-600 después de la aplicación de la metodología Lean Seis Sigma.

Se acepta la Hipótesis Alternativa ( $H_a$ ) con la aplicación de la metodología Lean Seis Sigma, se logró reducir el costo promedio de sobrellenado de la Línea 4 de envasado de Cubos FD-600. Al inicio de la investigación, el costo mensual de sobrellenado era de \$132,326.17 y al final se redujo a \$33,048.8.

Esta reducción del costo de sobrellenado, permitió cumplir con el objetivo establecido en la carta de proyecto y con el Pilar de Costo, sin incumplir con las fechas establecidas.

Con las mejoras logradas, se tuvo un ahorro para el periodo de Enero-Septiembre del 2015 de \$ 893,501 pesos.

De lo analizado en este trabajo, se recomiendan los siguientes puntos para la aplicación correcta de esta metodología:

- Utilizar para las cuestiones estadísticas un programa como minitab.
- Seguir el orden de las fases de la metodología, evitando el tratar de obtener la solución al problema desde la fase de definición.
- Recordar que la metodología debe aplicarse a procesos que están bajo control a fin de poder lograr mejoras y, no tratar de aplicar la metodología para poner un proceso en control.
- Es importante llevar una planeación adecuada de actividades y tiempos para poder asegurar que se obtendrán los resultados requeridos.
- Los miembros del equipo de implementación requieren comprometerse con el proyecto, dado que será una actividad adicional al trabajo del día a día.
- Una vez que los miembros del equipo conocen la metodología, serán capaces de aplicarla en sus actividades del día a día, y no sólo en los proyectos asignados.

## Bibliografía

Anthony Jiju. (2006,p.6). *Design for Six Sigma: a Breakthrough business improvement strategy for achieving competitive advantage*. Work Study.

Anthony Roux. (2011,p.5). *Net Content Technical Features (Fillers, Weighing Devices, Statistical Test)*. *Technical Instruction*.

Anthony Roux. (2011,p.6). *Net Content Technical Features (Fillers, Weighing devices, Statistical Tests)*.

Curso de Facilitadores de TPM. (2013,p.24). *Pilar de Mantenimiento Autonomo Paso 1 Limpieza e Inspección*. Lerma: Unilever.

Curso de Facilitadores de TPM. (2013,p.24). *Pilar de Mantenimiento Autonomo Paso 1 Limpieza y Inspección*. Lerma.

Curso de Facilitadores de TPM. (2013,p.40). *Pilar de Mantenimiento Planeado*. Lerma: Manufacturing Excellence (ManEx).

Curso de Facilitadores de TPM. (2013,p.41). *Pilar de Mantenimiento Autonomo Paso 3 Elaboración de Estandares de Limpieza, Inspección y Lubricación*. Lerma.

Curso de Facilitadores de TPM. (2013,p.42). *Pilar de Mantenimiento Autonomo Paso 3 Elaboración de Estandares de Limpieza, Inspección y Lubricación*. Lerma.

Curso de Facilitadores de TPM. (2013,p.43). *Pilar de Mantenimiento Autonomo Paso 3 Elaboración de Estandares de Limpieza, Inspección y Lubricación*. Lerma.

Curso de Multiplicadores de TPM. (2013,p.44). *Pilar de Mantenimiento Autonomo Paso 1 Limpieza e Inspección*. Lerma: Unilever.

David Gardin. (1998,p.58). *Managing Quality: The Strategyc and Competitive Edge*. New York.

David Nowicki. (2008,p.48). *On the optimal selection of process alternatives*. *Int. J. Production Economics*.

Departamento de Aseguramiento de Calidad. (2015,p.1). *Reporte de Carta de Control y Capacidad de Proceso L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Departamento de Aseguramiento de Calidad. (2015,p.2). *LEQAF 0-054 Registro de Control Estadístico de Proceso*. Lerma: Unilever.

Departamento de Aseguramiento de Calidad. (2015,p.2). *Reporte de Cartas de Control y Capacidad de Proceso L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Departamento de Aseguramiento de Calidad. (2015,p.3). *LEQAF 0-54 Registro de Control Estadístico de Proceso*. Lerma: Unilever.

Departamento de Aseguramiento de Calidad. (2015,p.3). *Reporte de Cartas de Control y Capacidad de Proceso L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Departamento de Aseguramiento de Calidad. (2015,p.3). *Reporte de Habilidad de Maquina de L-4*. Lerma: Casos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen . (2015,p.14). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen . (2015,p.2). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.1). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.10). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.11). *Reducción de Sobrellenado L-4*.Lerma:Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.12). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.21). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.22). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.23). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.24). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.24). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.25). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.27). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.28). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.3). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.



Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.39). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.4). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.42). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.43). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.44). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.5). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.5). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.7). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.8). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipo de Trabajo Kaizen. (2015,p.9). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Equipos de Trabajo Kaizen. (2015,p.26). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.

Forest Breyfogle. (2003,p.23). *Smarter Solution Using Statistical Methods Implementing Six Sigma*. Hardcover.

Forest Breyfogle. (2003,p.6). *Implementing Six Sigma, 2nd ed.:* Smarter Solutions Using Statistical Methods. New York: John Miley & Sons.

George Eckes. (2001,p.6). *The six sigma revolution*. Nueva York: John Miley & Sons.

Gopal Kanji. (2008,p.12). *Reality Check of Six Sigma for Business Excellence*. Sheffield: Total Quality Management.

Jeffries Hull. (2003,p.7). *A new Approach to Process Control for a botting plant*. *Journal of Materials Processing Technology*. New York.

Kim Crabtree. (2004,p.61). Peaceful Coexistence? Exploring the relationship between the heavyweight methodologies of Six Sigma and LEAN. APICS-The Performance Advantage.

Lindsay Geddes. (1993,p.7). *Through the Customer's Eyes*. New York: Amacom.

Mantenimiento Autonomo. (2015,p.1). *Estándar de Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste de Línea 4*. Lerma: Planta Lerma.

Mantenimiento Autonomo. (2015,p.2). *Estándar de Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste de Línea 4*. Lerma: Planta Lerma.

Mantenimiento Autonomo. (2015,p.2). *LEMA 0-49 Estándar de Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste Línea 4*. Lerma: Departamento de Mantenimiento Autonomo.

Mantenimiento Autonomo. (2015,p.4). *Estándar de Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste de Línea 4*. Lerma: Planta Lerma.

Mantenimiento Profesional . (2014,p.28). *Principio de Funcionamiento del Sistema de Dosificación L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.

Mantenimiento Profesional . (2014,p.44). *Principio de Funcionamiento del Sistema de Dosificación L-4 FD-6*. Lerma: Corazza .

Mantenimiento Profesional . (2015,p.2). *LEMP 0-025 Estándar de Mantenimiento Planeado* . Lerma: Departamento de Mantenimiento Planeado.

Manteimiento Profesional. (2013,p.14). *Principio de Funcionamiento L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.

Mantenimiento Profesional. (2013,p.18). *Principio de Funcionamiento L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.

Mantenimiento Profesional. (2013,p.28). *Principio de Funcionamiento de L-4 FD-6*.Lerma: Corazza.

Mantenimiento Profesional. (2013,p.39). *Principio de Funcionamiento L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.

Mantenimiento Profesional. (2013,p.49). *Principio de Funcionamiento L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.

Mantenimiento Profesional. (2013,p.55). *Principio de Funcionamiento L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.

Mantenimiento Profesional. (2014,p.12). *Principio de Funcionamiento del Sistema de Dosificación L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.

Mantenimiento Profesional. (2014,p.18). *Principio de Funcionamiento del Sistema de Dosificación L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.

Mantenimiento Profesional. (2014,p.35). *Principio de Funcionamiento del Sistema de Dosificación L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.

- Mantenimiento Profesional. (2014,p.5). *Principio de Funcionamiento del Sistema de Dosificación L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.
- Mantenimiento Profesional. (2014,p.9). *Principio de Funcionamiento del Sistema de Dosificación L-4 FD-6*. Lerma: Corazza.
- Mantenimiento Profesional. (2015,p.2). *Orden de Trabajo MP 0-021 Línea 4*. Lerma: Departamento de Mnatenimiento.
- Mantenimiento Profesional. (2015,p.23). *Reducción de Sobrellenado L-4*. Lerma: Proyectos de Mejora Enfocada.
- Marcio Almeida. (2015,p.21). *Statistical Process Control*. Ciudad de México: Quality Standards.
- Michael Brassad. (2002,p.2). *The Black Belt Memory Jogger*. Salem: Six Sigma Academy.
- Mikel Harry. (1998,p.15). *Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profiability*. ASQ.
- Moses Juran . (1993,p.106). *Quality Planning and Analysis* . New York : Mc Graw Hill.
- Nolan Moen. (1991,p.30). *Improving Quality Through Planed Experimentation*. New York: Mc Graw Hill.
- NOM-002. (2011,p.1). *Productos preenvasados-Contenido Neto-Tolerancias y Métodos de Verificación*. Distrito Federal: NOM.
- Ortiz Rodríguez. (2006,p.73). Implementación de la Metodología Kaizen para Incrementar el Rendimiento de la Madera en una Empresa Exportadora de Productos de Balsa.*Revista Tecnológica ESPOL*, 73-78.
- Pande Newman. (2000,p.34). *The Six Sigma Way*. New York: Mc Graw Hill.
- Pilar Mejora Enfocada. (2015,p.4). *Árbol de Perdidas por Desperdicio*. Lerma: Unilever.
- Primitivo Reyes. (2015, p.11). *Opción Terminal*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.
- Primitivo Reyes. (2015, p.26). *Opción Terminal*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.
- Primitivo Reyes. (2015,p.38). *Opción Terminal*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.
- Quality Council of Indiana: Analyze. (2015,p.110). *Certificate Six Sigma Black Belt*. Indiana: ASQ.
- Quality Council of Indiana: Analyze. (2015,p.17). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana: Analyze. (2015,p.92). *Certificate Six Sigma Black Belt*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana: Define. (2014, p. 22). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana: Define. (2014, p. 34). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana: Define. (2014,p.36). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana: Enterprise. (2014,p.19). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana: Enterprise. (2014,p.9). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana: Measure-Statistics. (2014, p. 8). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana: Measure-Statistics. (2014,p.49). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2014,p.29). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2014,p.42). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2014,p.49). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2014,p.49). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2014,p.57). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2014,p.58). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2015,p.109). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2015,p.29). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2015,p.47). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2015,p.96). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Analyze. (2015,p.97). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2014, p.2). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2014,p.2). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2014,p.49). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2014,p.8). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2015,p.12). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2015,p.33). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2015,p.35). *Certificate Six Sigma Black Belt* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2015,p.36). *Certificate Six Sigma Black Belt*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2015,p.37). *Certificate Six Sigma Black Belt*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2015,p.38). *Certificate Six Sigma Black Belt*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2015,p.54). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Control. (2015,p.57). *Certificate Six Sigma Black Belt*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014, p.34). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.23). *The Certificate Sigma Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.30). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.31). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.35). *Certificate Six Sigma Black Bet Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.36). *Certificate Six Sigma Black Belt*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.36). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.38). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.4). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: GOAL/QP.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.45). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.5). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.5). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.6). *The Certificate Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.60). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.61). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Define. (2014,p.7). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Enterprise. (2014,p.12). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Enterprise. (2014,p.14). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Enterprise. (2014,p.14). *The Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Enterprise. (2014,p.16). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Enterprise. (2014,p.3). *The Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Enterprise. (2014,p.52). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Enterprise. (2014,p.7). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Enterprise. (2014,p.7). *Certificate Six Sigma Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Enterprise. (2014,p.7). *The Certificate Six Sigma Black Belt Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Improve. (2014,p.38). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Improve. (2015,p.40). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure. (2014,p.14). *The Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure Data. (2014,p.25). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure Data. (2014,p.48). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure Statistics. (2015,p.52). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure-Data. (2014,p.24). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure-Data. (2014,p.25). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure-Data. (2014,p.48). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure-Data. (2014,p.49). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure-Data. (2014,p.52). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure-Statistics. (2014,p.55). *Certificate Six Sigma Primer* . Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure-Statistics. (2015,p.62). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Quality Council of Indiana:Measure-Statistics. (2015,p.63). *Certificate Six Sigma Black Belt Primer*. Indiana: ASQ.

Rahaman Bari. (2008,p.25). *Flow Investigation of the Product fill valve of filling machine*. Journal of Food Engineering.

Rath Strong. (2000,p.56). *Rath & Strong's Six Sigma Pocket Guide*. Lexington: Rath & Strong Management Consultants.

Reyes. (2015,p.172). *Opción Terminal*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.

Reyes, P. (2015,p.163). *Opción Terminal*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.

Reyes, P. (2015,p.163). *Opción Terminal*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.

Reyes, P. (2015,p.28). *Opción Terminal*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.

Shao Fowler. (2000,p.56). *Determining the optimal target for a Process with multiple*. *Int J. Production Economics*. International Journal of Production Economics.

Snee Roland. (1999,p.9). *Why should Statisticians Pay Attention to Six Sigma*.

Sung Ming-Hsien. (2011,p.45). *Applyng Six Sigma to manufacturing processes in the Scientific Research and Essays*. Department of Industrial Engineering and Management.

Talavera, J. (2015,p.1). *Mapeo de Procesos Knorr Cubos*. Unilever Planta Lerma: Pilar WCM/QA.

Talavera, Juan. (2015,p.2). *Mapeo de Procesos Knorr Cubos*. Unilever Planta Lerma: Pilar WCM/QA.

Talavera, Juan. (2015,p.3). *Mapeo de Procesos Knorr Cubos*. Unilever Planta Lerma: Pilar WCM/QA.

The Black Belt Memory Jogger. (2002,p.10). *A pocket guide for Six Sigma Sucess*. Salem: GOAL/QPC.

The Black Belt Memory Jogger. (2002,p.127). *A pocket guide for Six Sigma Success*. Salem: GOAL/QPC.

The Black Belt Memory Jogger. (2002,p.127). *A pocket guide for Six Sigma Success*. Salem: GOAL/QPC.

The Black Belt Memory Jogger. (2002,p.128). *A pocket guide for Six Sigma Success*. Salem: GOAL/QPC.

The Black Belt Memory Jogger. (2002,p.2). *A pocket guide for Six Sigma Sucess*. Salem: GOAL/QPC.



The Black Belt Memory Jogger. (2002,p.56). A pocket guide for Six Sigma Success. Salem: GOAL/QPC.

The Black Belt Memory Jogger. (2002,p.7). *A pocket guide for Six Sigma Success*. Salem: GOAL/QPC.

The Black Belt Memory Jogger. (2002,p.77). A pocket guide for Six Sigma Success. Salem: GOAL/QPC.

The Black Belt Memory Jogger. (2002,p.8). A pocket guide for Six Sigma Success. Salem: GOAL/QPC.

The Black Belt Memory Jogger. (2002,p.9). A pocket guide for Six Sigma Success. Salem: GOAL/QPC.

Vitner Giller. (2006,p.78). *A proposed Method for the Packaging of plant Cuttings to reduce Overfilling*. Biosystems Engineering.

Zu Frendendall, L. &. (2008,p.48). *The evolving Theory of Quality Management: The Role of Six Sigma*. Clemson, USA: Journal of Operations Management.