



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

MEJORAMIENTO DE LA VARIABILIDAD DE MÁQUINAS ELABORADORAS  
SOBRE PARÁMETROS FÍSICOS DE CALIDAD MEDIANTE LA  
METODOLOGÍA *SIX SIGMA* EN LA EMPRESA DE PRODUCTOS DE  
CONSUMO MASIVO PCM

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingeniero en Producción Industrial.

Profesor Guía

Gabriel Eduardo Borja Vergara

Autor

Mauricio José Bahamonde Dávalos

Año

2015

### **DECLARACIÓN DE PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Gabriel Eduardo Borja Vergara

Ingeniero en Producción Industrial

1710324664

### **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

---

Mauricio José Bahamonde Dávalos

1717419301

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por haberme guiado llenándome de fortaleza para culminar este proyecto.

A mis padres, pilares fundamentales de mi vida, por su apoyo incondicional, su cariño, y dedicación.

A mi hermana, por su motivación, su ayuda y por siempre estar pendiente para lo que necesite.

A mi tutor de tesis, Gabriel Borja, por haber sido mi guía con sus conocimientos y sus constantes consejos.

Y a todas las personas que formaron parte de este proyecto.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por estar a mi lado en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar. A mis padres y hermana, quienes han velado por mí bienestar, siendo mi apoyo en todo momento.

## Resumen

Este trabajo de titulación tiene como objetivo mejorar la variabilidad de las máquinas elaboradoras de productos de consumo masivo en la empresa PCM. Con esta reducción se busca asegurar el indicador de calidad física, el cual depende de manera directa de la variabilidad del proceso de producción. Para el desarrollo de este proyecto se implementa la metodología de *Six Sigma* con su esquema de mejora de procesos DMAIC. Este esquema proporciona un marco sistemático para la mejora continua de los procesos y se compone de las etapas *Define, Measure, Analyze, Improve* y *Control*. Se cumplen con las etapas mencionadas y se define el foco de mejora sobre los parámetros de peso y circunferencia de los productos, los cuales se miden y analizan mediante el uso de diferentes herramientas estadísticas y de mejora continua. Como paso subsecuente, se implementan mejoras para mitigar las causas raíz de variación de los procesos y se desarrolla al personal en temas de variabilidad y mejora continua. Como resultado de estas etapas se logra alcanzar una mejora en la variabilidad de las máquinas, para lo cual se desarrolla indicadores simples de capacidad de proceso y se realiza un análisis financiero el cual resulta en un beneficio para PCM.

## **Abstract**

This project aims to improve the variability of the machines that produce mass consumption products in PCM factory. The goal of this improvement is to assure the physical quality index, which depends mainly of the variability of the production process. For the development of this project, Six Sigma methodology for process improvement DMAIC was implemented. This methodology provides a systematic framework for the continuous improvement of processes, and consist of the following phases: Define, Measure, Analyze, Improve and Control. The DMAIC is accomplished and the definition of the improvement focus is defined over the weight and circumference parameters, which are measured and analyzed with different statistical and continuous improvement tools. As a subsequent step, improvements were implemented to attack the root cause of the variation and production personnel was trained in variability and continuous improvement areas. As a result of this implementations, a significant improvement in the variability of the process was achieved, which can be verified by the application of simple indicators of process capability. A financial analysis was implemented which results in benefits for PCM.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1. METODOLOGÍA Y FASE DEFINE (DEFINIR).....	8
1.1. Calidad .....	8
1.2. <i>Six Sigma: Historia y Evolución</i> .....	14
1.3. Calidad en PCM .....	17
1.3.1. Calidad Visual .....	17
1.3.2. Calidad Física.....	18
1.4. Fase Define (Definir) .....	20
2. FASE MEASURE (MEDIR) .....	26
2.1. Conceptualización Fase Measure (Medir) .....	26
2.2. Estadística.....	28
2.2.1. Estadística Descriptiva.....	30
2.2.1.1. Distribuciones de Frecuencias .....	32
2.2.2. Estadística Inferencial.....	33
2.2.3. Representación Gráfica de los Datos .....	33
2.2.4. Introducción al Control Estadístico de Procesos .....	36
2.2.5. Gráficos de Control Estadístico de Procesos .....	37
2.2.6. Capacidad de Proceso.....	41
2.2.6.1. Índices de Capacidad de Proceso.....	42
2.2.6.2. La Métrica Six Sigma .....	44
2.2.6.3. Ejemplos de capacidad de proceso .....	46
3. FASE <i>ANALYZE</i> (Analizar).....	48
3.1. Análisis del Estado Actual del Proceso .....	48
3.1.1. Identificación de Causas Potenciales. ....	50
3.2. Análisis de Dispersión.....	56
3.3. Análisis Multivariable.....	57
4. ETAPA <i>IMPROVE</i> (MEJORAR).....	67

4.1. Capacitaciones o Quick Wins .....	67
4.1.1. <i>Workshop</i> Variabilidad .....	67
4.1.2. Mejora Continua en cuanto a Variabilidad .....	70
4.1.3. Indicador de Calidad Física .....	71
4.2. Control Estadístico de Procesos sobre el Peso de Materia Prima .....	72
4.3. Control Estadístico de Procesos con <i>Troubleshootings</i> .....	75
4.4. Implementación de un Indicador de Desempeño.....	82
4.5. Calibración y Entrenamiento del Controlador de Peso .....	85
4.6. Resultados de la Fase <i>Improve</i> (Mejoras alcanzadas) .....	85
5. FINANCIERO.....	92
5.1. Costo Unitario de Fabricación.....	92
5.2. Costo de las partes por millón de defectos por el parámetro de peso generados antes de la implementación. ....	95
5.3. Costos de defectos producidos por el parámetro de peso después de la implementación de las mejoras.....	99
5.4. Costo de las partes por millón de defectos por el parámetro de circunferencia generados antes de la implementación.....	100
5.5. Costos de defectos producidos por el parámetro de circunferencia después de la implementación de las mejoras ...	101
5.6. Estado de Flujo de Efectivo .....	103
5.7 Periodo de Recuperación de la Inversión.....	106
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	107
6.1. Conclusiones.....	107
6.2. Recomendaciones .....	109
REFERENCIAS.....	110
ANEXOS.....	114

## Índice de Figuras

Figura 1. Características críticas .....	21
Figura 2. La Estadística y sus partes.....	1
Figura 3. Estadística Descriptiva .....	31
Figura 4. Representación gráfica de datos .....	30
Figura 5. Curva Normal.....	38
Figura 6. Ejemplo de Gráfico de Control Estadístico de Procesos.....	39
Figura 7. Relación entre distribución normal y gráficos de control estadístico de procesos .....	39
Figura 8. Ejemplos de relación de índices de CP y CPK.....	43
Figura 9. Ejemplos de índices de capacidad relacionados con ppm de defectos. ....	45
Figura 10. Capacidad de proceso M01 Circunferencia actual.....	47
Figura 11. Capacidad de Proceso M04 Peso Actual .....	47
Figura 12. Diagrama de causa y efecto PCM.....	36
Figura 13. Diagrama de árbol del análisis de causas de alta variabilidad en procesos productivos de PCM.....	53
Figura 14. Dispersión peso vs circunferencia.....	57
Figura 15. Variables múltiples de M01 para peso por turno – mes .....	58
Figura 16. Variables de M01 para circunferencia por turno – mes.....	59
Figura 17. Variables de M04 para peso por turno – mes .....	60
Figura 18. Variables múltiple de M04 para circunferencia por turno – mes .....	60
Figura 19. Variables múltiple de M05 para peso por turno – mes .....	61
Figura 20. Variables múltiple de M05 para circunferencia por turno – mes .....	62
Figura 21. Variables múltiple de M06 para peso por turno – mes .....	63
Figura 22. Variables múltiple de M06 para circunferencia por turno – mes .....	64
Figura 23. Variables múltiples de M10 para peso por turno – mes .....	65
Figura 24. Variables múltiple de M10 para circunferencia por turno – mes .....	65
Figura 25. <i>Workshop</i> Variabilidad.....	69
Figura 26. Mentalidad travesaño de portería.....	71
Figura 27. Captura pantalla inicial CEP materia prima.....	73

Figura 28. Captura pantalla opciones de marca para máquina M06.....	73
Figura 29. Captura pantalla ingresos de pesos .....	74
Figura 30. Captura pantalla visualización de datos CEP.....	74
Figura 31. Captura pantalla principal de programa de ayudas visuales de reglas de CEP.....	76
Figura 32. Captura Pantalla de decisión de parámetros .....	77
Figura 33. Captura pantalla de reglas estadísticas para el parámetro de peso .....	77
Figura 34. <i>Troubleshooting</i> peso .....	78
Figura 35. <i>Troubleshooting</i> Peso Alto .....	79
Figura 36. <i>Troubleshooting</i> Peso Bajo .....	80
Figura 37. <i>Troubleshooting</i> de alta desviación estándar en Peso.....	81
Figura 38. Matriz de <i>Z short term</i> vs <i>Z shift</i> .....	84
Figura 39. Matriz de <i>Z short term</i> vs <i>Z shift</i> M01 Peso.....	87
Figura 40. Matriz <i>Z short term</i> vs <i>Z shift</i> M01 Circunferencia.....	87
Figura 41. Matriz <i>Z short term</i> vs. <i>Z shift</i> M04 Peso.....	87
Figura 42. Matriz <i>Z short term</i> vs <i>Z shift</i> M04 Circunferencia.....	88
Figura 43. Matriz <i>Z short term</i> vs. <i>Z shift</i> M05 Peso.....	88
Figura 44. Matriz <i>Zshort term</i> vs <i>Zshift</i> M05 Circunferencia.....	89
Figura 45. Matriz <i>Z short term</i> vs. <i>Zshift</i> M06 Peso.....	89
Figura 46. Matriz <i>Z short term</i> vs <i>Z shift</i> M06 Circunferencia.....	89
Figura 47. Matriz <i>Z short term</i> vs. <i>Z shift</i> M10 Peso.....	90
Figura 48. Matriz <i>Z short term</i> vs <i>Z shift</i> M10 Circunferencia.....	90
Figura 49. Costos de Producción .....	95
Figura 50. Resumen de Flujos de Efectivo.....	105

## Índice de Tablas

Tabla 1. Matriz comparación criterios .....	22
Tabla 2. Matriz de calificación de alternativas para criterio A.....	23
Tabla 3. Matriz de calificación de alternativas para criterio B.....	23
Tabla 4. Matriz de calificación de alternativas para criterio C. ....	23
Tabla 5. Matriz de calificación de alternativas para criterio D. ....	23
Tabla 6. Matriz de ponderación de alternativas y criterios. ....	24
Tabla 7. Diagrama SIPOC macro .....	25
Tabla 8. Diagrama SIPOC específico .....	27
Tabla 9. Resumen de niveles de CP .....	42
Tabla 10. Relación CP y CPK.....	43
Tabla 11. Resumen de estudio de capacidad de proceso por máquina y parámetro.....	49
Tabla 12. Resumen de estudio de capacidad de proceso por máquina y parámetro.....	49
Tabla 13. Resumen de análisis de capacidad de proceso para el parámetro de peso. ....	86
Tabla 14. Resumen de análisis de capacidad de proceso para el parámetro de circunferencia. ....	86
Tabla 15. Costos de Fabricación .....	94
Tabla 16. Partes por millón de defectos para Peso, antes de la implementación.....	96
Tabla 17. Costos de Reproceso .....	98
Tabla 18. Partes por millón de defectos por peso, después de la implementación.....	99
Tabla 19. Costo de defectos producidos por peso .....	100
Tabla 20. Partes por millón de defectos por circunferencia, antes de la implementación.....	101
Tabla 21. Partes por millón de defectos por circunferencia, después de la implementación.....	102
Tabla 22. Costo de defectos producidos por circunferencia.....	102

Tabla 23. Resumen Inversión Proyecto.....	103
Tabla 24. Estado de Flujo de Efectivo .....	104
Tabla 25. Valoración del Proyecto.....	104
Tabla 26. Cálculo del Periodo de Recuperación de la Inversión .....	106

## Introducción

Los productos de consumo masivo, como su nombre lo indica, son productos que se originan de la necesidad de satisfacer a una gran cantidad de personas. Con el fin de cumplir con esta gran demanda, los productos de consumo masivo necesitan ser producidos a gran escala y alta velocidad. Estos dos factores condicionan el proceso de producción, lo cual resulta en una alta variación en los productos, y en algunos casos, un alto impacto en la satisfacción del cliente.

En el presente trabajo de titulación se busca la optimización de la variabilidad de las máquinas elaboradoras de productos de consumo masivo en la fábrica PCM mediante el uso de una metodología sistemática, que sea de ayuda para analizar y determinar mejoras de una manera sencilla y organizada. Por esta razón se ha elegido la metodología DMAIC de *Six Sigma*, en la cual se contemplan cinco etapas para implementar una mejora. Estas cinco etapas son:

- *Define*: que significa definir.
- *Measure*: que significa medir
- *Analyze*: que significa analizar
- *Improve*: que significa mejorar
- *Control*: que significa controlar.

Este trabajo de titulación contempla cuatro primeras etapas como base a la propuesta de mejora implementada, con lo cual la última etapa "Control" queda en manos de la empresa PCM.

Para empezar, se explican brevemente los procesos productivos de la empresa PCM, con herramientas de mejora continua como: diagramas de procesos, SIPOC<sup>1</sup>, diagrama de espina de pescado, etc. También se explican las distintas

---

<sup>1</sup> SIPOC: gráfico para representar un proceso, y se compone de las etapas: Supplier o proveedor, Input o entrada, Process o proceso, Output o Salida y Customer o cliente.

maneras que tiene PCM para medir la calidad de sus procesos productivos y sus distintos indicadores de calidad.

Luego se procede a las etapas del DMAIC, comenzado por la etapa *Define* o definir, en la cual se determinan las características o parámetros críticos que serán analizados a lo largo de este trabajo de titulación.

Se continúa con la etapa *Measure* o medir, en donde se expone la situación actual de PCM en cuanto a las características críticas previamente definidas y se recopila toda la información posible del desempeño de PCM.

Posteriormente se desarrolla la etapa *Analyze* o analizar, en la cual, como su nombre lo indica, se analizan todos los datos recolectados en las etapas previas, mediante el uso de herramientas estadísticas y se proponen ideas de mejora rápida o *quick wins*. Con esta etapa se pretende obtener conclusiones para la propuesta final de mejora.

Con las características definidas, la información necesaria, y los datos analizados se procede a la etapa *Improve* o mejorar en la cual se propone e implementa las ideas de mejora definidas.

Finalmente, como se mencionó, este trabajo de titulación se desarrolla hasta la etapa *Improve*, dejando a la etapa Control a cargo de la gestión de PCM.

## **Antecedentes**

Los productos de consumo masivo, forman parte fundamental del comercio y la economía a nivel mundial, por ende, una gran cantidad de industrias giran alrededor de este negocio. Ya sea por la producción o por la distribución de este tipo de productos, existen empresas alrededor del mundo que se han dedicado a esto durante décadas. Sin embargo, no se puede hablar de ningún mérito

empresarial ni productivo sin antes mencionar el por qué estas empresas están actualmente donde están.

Sin lugar a duda, la época que marcó hitos en los sistemas productivos y económicos fue la del siglo XVIII, con la tan importante y conocida “Revolución Industrial”, que surgió en Inglaterra. La cúspide de esta revolución data de mediados del siglo XVIII hasta el siglo XIX, en donde máquinas y herramientas desplazaron a la producción artesanal que hasta entonces prevalecía. La agricultura pasó a segundo plano en el ámbito laboral, lo cual provocó que muchos obreros migraran a las grandes urbes en busca de trabajo en las numerosas fábricas que allí se plantaron.

Los inventos de la época fueron piezas claves en el desenvolvimiento de la revolución industrial, pero una máquina en particular fue decisiva para el desarrollo industrial. Ésta fue la máquina de vapor, que supuso la utilización de energía natural para su funcionamiento, dejando totalmente a un lado a la dependencia operativa del obrero. Marcando así el comienzo de una nueva era en el mundo de la producción. (Enciclopedia Cumbre, 1962, Tomo XI, p.195)

Esta nueva era provocó cambios drásticos en los obreros de la época; pasaron de manejar sus propios horarios de trabajo a cumplir con un horario determinado por los burgueses, de dedicarse por completo a la fabricación de un artículo, a elaborar solamente parte del mismo. Y así comenzó también la división de tareas. (La enciclopedia del estudiante, 2006. Tomo II, p 220)

Es importante conocer que uno de los detonantes de la revolución industrial fue la revolución comercial que tuvo cuentas a partir del siglo XV hasta el siglo XVIII. El hallazgo de nuevas rutas de navegación, el descubrimiento de América, y las buenas relaciones de comercio entre los países Europeos, llevo a los mismos a un auge del comercio. Inglaterra, país precursor de la revolución industrial, se vio particularmente beneficiado. (Lozano. 2004)

Otro detonante fue la acumulación de riquezas de los países europeos. Estos aprovecharon las ventajas del comercio de metales preciosos, la trata de esclavos a una tasa de rentabilidad muy alta, y la gran cantidad de navegaciones marítimas para generar riquezas, las cuales se acumularon a lo largo y ancho de Europa, especialmente en Inglaterra. (Lozano. 2004)

La expansión de la revolución industrial inició por los países vecinos a Inglaterra. Países como Francia y Bélgica fueron los primeros en ser parte de esta revolución. Sucesivamente, los cambios de la revolución industrial fueron llegando al resto de países de Europa como Holanda y Alemania. Países fuera de Europa que también se sumaron a la revolución fueron Estados Unidos en 1830 y luego Japón en 1868.

La gran pregunta es: ¿Qué pasó con los países latinoamericanos en la revolución industrial?, y específicamente: ¿Qué pasó con Ecuador? Al resto de países alrededor del mundo la revolución industrial tardó en llegar algunas décadas más que para las grandes potencias mundiales. Finalizado el siglo XVIII, el Ecuador vivía tiempos difíciles, en donde su principal arma comercial era la agricultura. Las clases pudientes consumían productos importados, ya que ni la demanda local se abastecía con productos locales. Las dos regiones principales, Costa con su ciudad principal Guayaquil y la Sierra con Quito, albergaban la mayor parte de la población del país, por lo tanto, fue en estas ciudades donde comenzó el desarrollo industrial.

No obstante, el desarrollo industrial no llegó de manera fácil. A principios del siglo XIX el gobierno ecuatoriano se vio obligado a imponer una ley para la protección de la industria, lo cual, en un principio no dio resultado debido a que esta ley era muy limitada. En el año 1922 se dictó la Ley de Fomento Industrial, la cual pretendía evitar la dependencia del mercado internacional. Esto fue logrado, y para la década de 1930 se evidenció una mejora económica.

Debido a la dificultad de progreso bajo el modelo de agricultor-exportador, el gobierno ecuatoriano generó una reforma a la ley de protección industrial. Esta contemplaba beneficios para la inversión extranjera y protección de los productos nacionales, con lo cual la industria empezó a desarrollarse. Sin embargo, no fue sino hasta la década de 1970 en donde el boom petrolero afianzó las relaciones comerciales con grandes multinacionales e impulsó el desarrollo industrial en varias zonas productivas del país. (Villamarín, 1994)

Gracias al desarrollo comercial, la industria ecuatoriana experimentó un crecimiento exponencial. A través de los años dicho crecimiento fue protagonizado por varios sectores, entre los que se destaca la manufactura que en la actualidad incluye entre otras, la producción de alimentos y bebidas, sustancias y productos químicos derivados del petróleo, fabricación de productos metálicos, maquinarias y equipos. Es así que todas sumadas representan el 0.34% de contribución al producto interno bruto según el Banco Central del Ecuador en su reporte de Estadísticas Macroeconómicas del mes de Diciembre 2013. Dentro de esta categoría entran productos demandados por la población para consumo diario y para satisfacer necesidades elementales, denominados productos de consumo masivo. Según el INEC, los principales productos de consumo masivo al año 2013 en el Ecuador son: productos alimenticios y bebidas, productos de tabaco, productos textiles, los cuales representan el 46.75% de los productos elaborados más representativos. (INEC, 2010)

Es así que la industria de productos de consumo masivo en el Ecuador es un sector productivo muy importante para el desarrollo económico del país. Según el censo nacional económico realizado por el INEC en el 2010, esta industria brinda alrededor de 250,000 plazas de trabajo alrededor de la nación. Desde la obtención de la materia prima hasta la distribución y entrega del producto terminado intervienen varias manos ecuatorianas que han sido parte de esta industria desde hace muchos años.

Habiendo visto la importancia del consumo masivo en el país, este trabajo de titulación centra su esencia en una compañía que se ha destacado en esta industria, denominada PCM. La cual opera en Ecuador desde la década de los setenta, ofreciendo productos de calidad para todo consumidor adulto gracias a importantes marcas posicionadas en el país. La compañía está asociada a “Afiliada Internacional” y en la actualidad cuenta con alrededor de 570 empleados, los cuales trabajan diariamente bajo estrictas normas operacionales impulsados por una visión desafiante.

Visión de Operaciones de PCM

*“Ser una empresa de Primera Clase que usa sus recursos de manera eficiente, cuida de su gente, satisface a sus clientes, alcanza sus objetivos y se desarrolla como una organización empoderada y comprometida”*

(PCM, Documentos internos, 2011)

## **Alcance**

El alcance de este trabajo de titulación se centra en el proceso de elaboración dentro de PCM. El análisis se realizará sobre las máquinas elaboradoras y sobre los cuatro parámetros principales de calidad, los mismos que son Peso (PP), Circunferencia (PC), Flujo (PR) y Ventilación (PV). Este proyecto tendrá lugar en un año calendario en el cual se desarrollarán las diferentes etapas del DMAIC, desde la definición de las variables críticas hasta la implementación de las mejoras propuestas.

## **Justificación**

La constante necesidad de producir bajo los más estrictos estándares de calidad, el trabajar siempre en la mejora continua y el continuar siendo una filial de clase mundial de “Afiliada Internacional”, ha incentivado este trabajo de titulación. Con la implementación de las mejoras propuestas en este trabajo de titulación se

espera reducir la variabilidad de los parámetros de las máquinas elaboradoras, con el objetivo de mejorar el indicador de calidad el cual está íntimamente ligado con los niveles de eficiencia del producto final.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Asegurar los parámetros de calidad de PCM, reduciendo la variabilidad del proceso de fabricación del producto en las máquinas elaboradoras, con el fin de establecer un proceso medible, controlado y estandarizado.

### **Objetivos específicos**

- Analizar el sistema productivo de las máquinas elaboradoras mediante la metodología *Six Sigma*, con el propósito de establecer un proceso estandarizado y controlado.
- Proponer acciones rápidas de mejora sobre parámetros de calidad para obtener progresos sobre la marcha (*quick wins*).
- Implementar un sistema de control estadístico de procesos con los operadores para establecer una metodología de trabajo dentro de un ambiente controlado.
- Diseñar y evaluar indicadores de capacidad de proceso sobre las máquinas elaboradoras para evaluar su situación actual y futura.
- Realizar un estudio financiero costo - beneficio de las mejoras implantadas y de las mejoras a realizarse.

## CAPÍTULO 1

### 1. METODOLOGÍA Y FASE DEFINE (DEFINIR)

#### 1.1. Calidad

Cuando se pretende definir la palabra calidad, cada persona lo hace de manera distinta. Esto se da por que la calidad es subjetiva, es decir depende de cada persona, y esto se lo puede evidenciar en el significado que se presenta a continuación:

Según la ISO 9000 calidad no es más que el grado en que un grupo de características propias de un producto o servicio es capaz de satisfacer las necesidades del cliente. (ISO 9000:2005, 2005). Sin embargo, ¿Cuáles son las necesidades del cliente? Es ahí donde entra la subjetividad de cada persona o cliente lo que por consiguiente dificulta conceptualizar y parametrizar a la calidad, debido a que no se puede saber si las características de un producto o servicio van a satisfacer a absolutamente todas las personas que hagan uso del mismo.

Satisfacer a los clientes ha sido un tema extremadamente popular alrededor del mundo en el último siglo, y es en donde han aparecido gurús de la calidad que han aportado de manera significativa a la evolución de esta filosofía en los últimos años. Los gurús de la calidad más influyentes de la época son los siguientes:

- Edward Deming,

Nacido el 14 de octubre de 1900 en Wyoming, Estados Unidos, es sin lugar a duda una de las personas más influyentes en el mundo de la calidad. Su aporte a Japón en el desarrollo de la industria en la post guerra ha sido una de sus labores más grandes, aplicando métodos estadísticos para la resolución de problemas y la mejora continua,

llevando así a las industrias Japonesas a niveles de calidad extraordinarios. La necesidad de trabajar bajo principios estadísticos básicos es el corazón de las enseñanzas de Deming. Su mensaje dirigido principalmente al área administrativa de las empresas se sintetiza en los catorce principios gerenciales que ha manera de resumen expresan lo siguiente: se debe ser constante para el propósito de la mejora de un producto o servicio, se debe abolir la inspección en masa para asegurar la calidad, se debe implementar métodos modernos de entrenamiento e instaurar un programa de entrenamientos y educación, también se debe crear un ambiente en el que la alta dirección soporte todos estos temas, entre otros.

En reconocimiento a Deming se creó el famoso premio a la calidad E. Deming, el cual es otorgado a las empresas que han logrado destacarse de manera excepcional en este tema. Uno de los conceptos importantes que aportó Deming a la humanidad, es el del ciclo de Deming o también conocido como ciclo PHVA, planear, hacer, verificar, actuar, en el cual se basan muchas metodologías de mejora continua. Una de estas metodologías es la de *Six Sigma* en su esquema DMAIC. (ASQ, s.f.)

- Joseph M. Juran

Joseph Juran nació en Braila, Rumania, en el año de 1904. Durante sus setenta años de trabajador, Joseph M. Juran realizó importantes contribuciones al campo de la calidad y de la gestión de la misma. Su libro "El manual del control de calidad" es un clásico referente para los ingenieros de hoy en día. El revolucionó la filosofía japonesa de la gestión de calidad, aportando al desarrollo de la industria y ayudando al Japón a convertirse en una potencia industrial como lo es hoy en día. Joseph Juran fue el pionero en incorporar el aspecto humano a la

gestión de calidad, que es a lo que se conoce como “Gestión de la Calidad Total”.

Los aportes e ideas principales de Joseph Juran fueron las siguientes:

- Planificación de la calidad, que consistía en identificar quienes son los clientes, determinar las necesidades de los mismos y traducirlas al lenguaje propio de la organización, y optimizar las características del producto para satisfacer dichas necesidades.
  - Mejora de la Calidad, para eso desarrollar un proceso capaz de producir el producto, y optimizar dicho proceso.
  - Control de la calidad, para lo cual se debe probar que el proceso puede producir bajo condiciones de operación con la mínima inspección posible, y transferir el proceso al área de operaciones. (Skymark.s.f.)
- Philip Crosby

Tanto Deming como Juran fueron unos grandes pensadores en la revolución de la calidad, en donde Philip Crosby se dedicó a sociabilizar el término calidad con el objetivo de que este sea fácil de entender y utilizar. Crosby nació en 1926 en Wheeling, Virginia, Estados Unidos y popularizó la idea del “costo de la mala calidad”, en donde se puso en evidencia el verdadero costo de la mala calidad o de hacer las cosas mal.

Las ideas de mejora de Philip Crosby nacen de su experiencia con líneas de ensamblaje, en donde se enfocó principalmente en producir “cero defectos”, lo cual está muy ligado con el objetivo de la filosofía de *Six Sigma*. Sin embargo, Philip Crosby no tardó en concluir que

producir “cero defectos” no llegaría desde las líneas de ensamblaje, esto debía empezar desde la alta dirección, quienes tendrían que comprometerse con este objetivo, creando una atmosfera de trabajo adecuada y apoyando en todo momento el objetivo de “cero defectos”.

Los aportes de Philip Crosby se resumen en cuatro absolutos para la gestión de la calidad que son:

- La calidad está definida por la conformidad con los requisitos.
- Prevención es el causante de calidad, más no corrección.
- El estándar de desempeño tiene que ser “Cero defectos”, y de ninguna manera conformarse con casi cero defectos.
- La medida de la calidad es el Precio de las No conformidades mas no algún tipo de índice (Skymark. s.f.).

○ Kaoru Ishikawa

La mayoría de conceptos de Gestión de Calidad de Japón, así como también el desarrollo de su economía se debe principalmente al principio de copiar y mejorar, pero Kaoru Ishikawa se dedicó a desarrollar un sistema de gestión de calidad propio japonés. Nació en Tokio, Japón, en 1915. El desarrollo de una estrategia propia de calidad por parte de Ishikawa se basó en el estudio de la gestión de calidad no sólo desde el tope organizacional hasta sus bases sino tomando en cuenta todo el ciclo de vida del producto desde principio a fin, fue así como se diferenció del resto de pensadores y gurús de la calidad.

Uno de sus logros más populares fue el desarrollo del diagrama de causa – efecto, conocido también como el diagrama de Ishikawa, el

cual es una poderosa herramienta utilizada por especialistas y no especialistas en calidad, para la resolución de problemas.

Ishikawa se involucró en promover temas de calidad, para lo cual puso muchos esfuerzos en enseñar temas de control estadístico de calidad a los que no eran especialistas en la materia.

- Shigeo Shingo

El Dr. Shigeo Shingo fue una de las más grandes influencias en el control de calidad japonesa, sus contribuciones revolucionaron el sector industrial y consecuentemente influenciaron al hemisferio occidental. Shigeo Shingo nace en Saga, Japón, y si bien su nombre no es tan popular como el de los otros gurús de la calidad, sus principios son fundamentales en la industria moderna.

Durante su carrera el Dr. Shingo trabajó como consultor para grandes compañías como: Toyota, Bridgestone, Peugeot, AT&T. Los mayores aportes del Dr. Shigeo Shingo a la industria se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Justo a Tiempo (Just in Time).
- Cambio de herramientas en un solo dígito de minutos (SMED-Single Minute Exchange of Die).
- Zero Control de Calidad.

Debido a sus grandes aportaciones al mundo de la Ingeniería Industrial, la Universidad de Utah estableció el premio "Shingo Prize", el mismo que reconoce la excelencia en la manufactura. Este premio se lo ha llegado a comparar con el premio Nobel, en este caso para el

mundo de la manufactura, lo que sin lugar a duda es un reconocimiento muy merecido para el Dr. Shigeo Shingo (Vardeman. s.f.)

- Genichi Taguchi

Finalizada la segunda guerra mundial, las industrias de manufactura japonesas se encontraban luchando por salir adelante con recursos muy limitados. Taguchi nació en Tokamachi, Japón, en el año de 1924 y sus aportes a los procesos productivos ayudaron enormemente al desarrollo del país. Taguchi fue el primero en relacionar la calidad con los costos, fue quien revolucionó los procesos de manufactura mediante el ahorro de costos.

Taguchi entendía, como muchos otros ingenieros de la época, que existen ruidos o factores externos que afectan el desempeño de un proceso, pero fue él quien desarrollo métodos para identificar la fuente de dichos factores y así poderlos eliminar. Sus mayores contribuciones fueron las siguientes:

- La función pérdida. Esta función describe mediante una fórmula matemática el valor que cuesta una calidad rechazada. Esencialmente revela el valor que se está perdiendo al tener procesos productivos variables.
- Diseño de experimentos.
- Ingeniería Robusta. (Skymark. s.f.)

## 1.2. *Six Sigma: Historia y Evolución*

Tras analizar la importancia de la calidad en la historia, se puede profundizar en los conceptos de *Six Sigma*, que son fundamentales para el desarrollo de este trabajo de titulación. A finales de la década de los ochenta, *Six Sigma* sólo se conocía como un término estadístico, que empezó a tomar forma en la fábrica de Motorola. Sin embargo desde 1987 *Six Sigma* comenzó a expandirse a diferentes compañías que buscaban la excelencia en su desempeño. *Six Sigma* evolucionó de ser una técnica para resolver problemas a una estrategia de calidad y por último a una filosofía de producción. Esta filosofía no se dio a conocer sino hasta que Jack Welch de *General Electric* la adoptó como modelo de excelencia operacional en 1995.

La evolución de *Six Sigma* se remonta a sus inicios en los años setentas cuando una firma japonesa compra la fábrica de Motorola, la cual se dedicaba a la fabricación de televisores en los Estados Unidos. Con esta adquisición, los japoneses logran sustanciales mejoras, provocando que la fábrica produzca apenas un 5% de defectos. Es ahí cuando Motorola reconoce que su sistema de control de calidad era pésimo y deciden tomar a la calidad como algo de primer orden.

En 1984 se une a Motorola Mikel Harry, a quien se le conoce como autoridad líder de *Six Sigma*, tanto en la práctica como en la teoría. Mikel comienza a trabajar con Bill Smith, un ingeniero veterano de Motorola, quien escribe un artículo que llamó mucho la atención de la dirección de Motorola de aquel entonces, presidida por Bob Galvin. Este artículo afirma que Smith encontró una correlación entre la vida útil del producto y la cantidad de reproceso a la que fue sometido dicho producto en el proceso productivo; concluye que los productos que fueron realizados con el menor número de no conformidades eran los productos que mejor se comportaban en el uso diario. En ese momento el reto principal de la compañía se convirtió en desarrollar un método para eliminar las fallas y los reprocesos. Atacando este reto, Mikel Harry junto con Bill Smith

desarrollan una metodología para la resolución de problemas que se dividía en cuatro etapas: medir, analizar, mejorar y controlar. Posteriormente esta metodología se convierte en el camino para alcanzar una calidad *Six Sigma*.

En 1987, Motorola lanza un programa a largo plazo de calidad llamado “El programa de calidad *Six Sigma*”. Este programa definía que para alcanzar una calidad “*Six Sigma*” es necesario llegar a producir aproximadamente 3.4 defectos por millón de unidades producidas. Se estableció este nuevo estándar para todo, incluyendo productos, servicios, procesos y administración. A partir de esto, Motorola actualiza su meta de calidad y establece que en 1989 la calidad, tanto de sus productos como de sus servicios, mejore en diez veces, mientras que para 1991 ésta mejore cien veces y por último alcanzar un desempeño *Six Sigma* para 1992.

Con la implementación de *Six Sigma*, Motorola fue una de las primeras compañías en recibir el premio nacional de calidad Malcom Baldrige. Desde entonces *Six Sigma* ha llamado la atención de toda la industria, a pesar que en Motorola no era más que una metodología para resolver problemas.

Para lograr dicho objetivo, el siguiente paso en la evolución de *Six Sigma* se dio en 1988 cuando Harry quiso darle un empuje a la metodología a lo largo de Unisys Corp. En conjunto con el gerente de dicha compañía, Cliff Ames, concordaron en que la gente que forme parte de los proyectos de *Six Sigma* debe ser reconocida de algún modo. Dado que Ames y Harry como tal, eran fanáticos de las artes marciales decidieron que a las personas con habilidades para *Six Sigma* se las deberá reconocer como cinturón negro o “*Black Belts*”. A partir de esto surgen los diferentes términos para reconocer a la gente apta y preparada para realizar proyectos de *Six Sigma* como: *Champion*, *Master Black Belt*, y *Green Belt*

Posteriormente a inicios de la década de los noventa, el suceso más importante en la evolución de esta metodología toma lugar cuando Harry pasa a la compañía

Allied Signal, empresa dedicada a las telecomunicaciones, con su gerente ejecutivo Larry Bossody quien decidió adoptar e implementar *Six Sigma*. Bossody sugirió que la clave para ello era que los altos ejecutivos también debían entender esta metodología. Para responder a esta sugerencia, Harry adaptó *Six Sigma* para los altos mandos y para proyectos de alto impacto económico, y fue así que en Allied Signal Corp. se llevó a cabo un programa de *Six Sigma* integral a lo largo y ancho de la compañía.

Además de Motorola y Allier Signal Corp. que obtuvieron excelentes resultados con la implementación de *Six Sigma*, se suma a estas empresas *General Electric* con Jack Welch a la cabeza, quien, influenciado por Larry Bossody decidió convencer a los altos directivos para que implementaran esta metodología en toda la empresa. Welch realizó un análisis costo beneficio para convencer al consejo directivo de llevar a *General Electric* a niveles de desempeño *Six Sigma*, caso contrario el costo de oportunidad sería muy alto. (De alrededor de siete billones a diez billones de dólares.)

Consecutivamente, en Enero de 1996, Welch anuncia el lanzamiento de *Six Sigma* en GE, involucrando a absolutamente todo el personal, y comprometiendo a cada uno de ellos con este ambicioso proyecto, el cual tenía como objetivo alcanzar niveles *Six Sigma* en cinco años, lo que tomó a Motorola diez años.

Las contribuciones más importantes para *Six Sigma* por parte de *General Electric* fueron: el liderazgo demostrado para convencer a toda la compañía de la implementación de esta filosofía y el lograr cambiar todo el sistema de reconocimientos al personal el cual se basaba en un 60% en resultados económicos y en un 40% en resultados de los proyectos de *Six Sigma*.

A través del éxito obtenido por las organizaciones que implementaron *Six Sigma*, esta filosofía se convirtió en una de las más influyentes de la época. Basada en la resolución de problemas estadísticos y con un alto impacto en el desempeño organizacional y económico, *Six Sigma* es sin lugar a duda una filosofía de

producción que puede llegar a transformar por completo a una empresa, siempre que se cuente con el compromiso de todos y cada uno de los integrantes de la misma. (Process Quality Associates, 2006).

### **1.3. Calidad en PCM**

Se ha identificado la importancia de la calidad a través del tiempo y como ésta ha servido para cambiar el rumbo de muchas empresas a nivel mundial. Por ello se revisará cómo se interpreta la calidad en PCM. La empresa PCM se ha caracterizado por tomar a la calidad como un tema de suma importancia en sus operaciones. La satisfacción del cliente, y el cumplimiento de sus requisitos han sido un pilar fundamental en el desempeño de la misma, cumpliendo altos estándares de calidad de su afiliada internacional y adjudicándose la distinción de empresa modelo para las distintas filiales a nivel de Latinoamérica.

Dentro de PCM existen dos divisiones principales dentro del departamento de aseguramiento de la calidad. Estas son la división de calidad visual y la división de calidad física.

#### **1.3.1. Calidad Visual**

El cliente es el eje central de cualquier negocio, y la industria de consumo masivo no es la excepción. Cuando un cliente adquiere un producto de PCM, este pasa a ser parte de una experiencia en el deleite del mismo, y dentro de esta experiencia existen atributos visuales que se miden y comparan a nivel mundial a través de un indicador de calidad visual. Este indicador mide el número de “no conformidades” visuales que se presentan en una muestra de producto. Este muestreo se lo realiza siguiendo los lineamientos específicos por su afiliada internacional, y el mismo asegura la aleatoriedad de las muestras así como

también asegura que se tomen en cuenta todas las marcas que se producen de manera diaria.

Dentro de este indicador las “no conformidades” se ponderan por su severidad, la cual se define principalmente por la sensibilidad al consumidor, es decir, cuan notables sean estas para el cliente final. Por ejemplo, las manchas en el producto son consideradas una no conformidad grave debido a que estas son sensibles al consumidor, es decir el consumidor puede darse cuenta fácilmente que el producto está manchado o sucio.

De esta manera se controlan los atributos visuales bajo los cuales los productos son elaborados; en los últimos años PCM ha sido líder en la región manteniéndose dentro del top 5 a nivel mundial en este indicador, lo que ha sido alcanzado gracias a la dedicación, esfuerzo y empoderamiento de los colaboradores para el cumplimiento de los parámetros de calidad visual. Es por esto que este indicador se ha convertido en modelo de gestión para el resto de indicadores de la fábrica.

### **1.3.2. Calidad Física**

La calidad física es también parte importante de la calidad en PCM, ya que al consumir sus productos, se genera en el consumidor una experiencia con la cual se identifican cada una de las personas que usan estos productos, razón por la cual PCM ha logrado mantener la fidelidad de sus clientes a lo largo de su historia. Justamente ahí recae la importancia de asegurar que esa experiencia se replique en todos los productos de una misma marca, debido a que un consumidor vuelve a adquirir un mismo producto porque quiere repetir la experiencia percibida la primera vez que lo consumió.

Lograr replicar esta experiencia en todos los productos elaborados depende netamente de la calidad física de los mismos. Para esto existe una división del

departamento de calidad que se encarga de controlar las características físicas de sus productos mediante distintos parámetros, los cuales son:

- PC, parámetro que mide la circunferencia del producto.
- PP, parámetro que mide el peso del producto.
- PR, parámetro que mide la facilidad de flujo a través del producto.
- PF, parámetro que mide la firmeza del producto.

Al igual que para la división de calidad visual, para la calidad física también existe un indicador, el cual mide los parámetros mencionados de cada una de las marcas producidas en PCM. Posteriormente se realiza una ponderación con el volumen de producción y se calcula un parámetro de calidad física para toda la planta.

Este indicador de calidad física (ICF) tiene dos componentes principales: el *Offset*, que representa que tan distante se encuentra el promedio de los datos respecto al objetivo y el *Spread*, que no es más que la variabilidad que presenta el proceso.

Al contrario que con el indicador de calidad visual, el indicador de calidad física es uno de los puntos débiles de PCM, y tiene como reto mejorarlo replicando las buenas prácticas aplicables de su indicador de calidad visual. Es también sobre este indicador que se centra este trabajo de titulación, por lo que a continuación se describirá los pasos que se siguieron para el desarrollo del DMAIC.

#### 1.4. Fase Define (Definir)

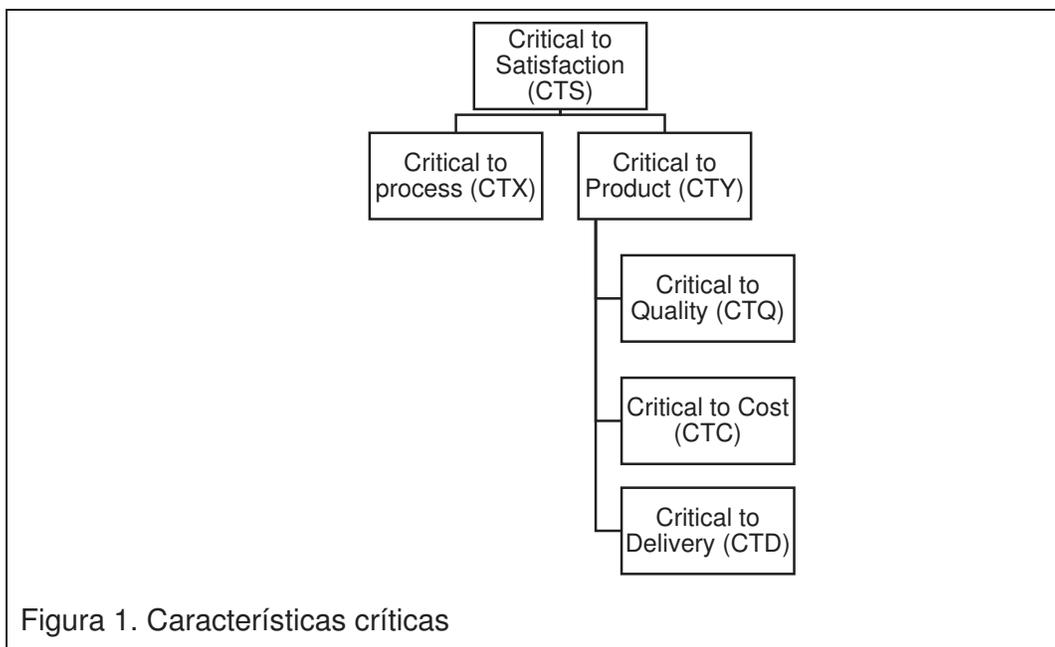
Una vez que se han definido conceptos clave de calidad, la historia de la metodología a ser utilizada y cómo se gestiona la calidad dentro de PCM, se puede proceder a la primera etapa dentro de la metodología DMAIC.

El objetivo de esta etapa de definición es establecer de manera clara y concisa, las características o parámetros críticos que van a ser analizados a lo largo de este trabajo de titulación. Es importante mencionar que la palabra crítica hace referencia al impacto que tienen dichas características o parámetros en la satisfacción del cliente.

Existen diferentes tipos de características que se pueden definir en esta etapa y se explican a continuación:

- El DMAIC tiene como enfoque principal atacar las características críticas a la satisfacción del cliente conocidas con las siglas CTS por su significado en inglés "*Critical to Satisfaction*".
- Estas CTS se desdoblan en parámetros de desempeño del producto/servicio, que son las CTY o "*Critical to Product*" y las CTX que son las "*Critical to Process*".
- Las principales características críticas para el producto CTY son:
  - Críticas para la calidad (CTQ o "*Critical to Quality*").
  - Críticas para el costo (CTC o "*Critical to Cost*").
  - Críticas para la entrega (CTD o "*Critical to Delivery*").

Estas características se explican de manera gráfica a continuación:



Para determinar las características críticas y el enfoque de mejora dentro de PCM, se tomaron en cuenta las necesidades de la empresa al inicio del periodo de estudio, concluyendo que el foco de mejora serán los parámetros de calidad física de los productos. Estos parámetros incluyen el peso, la circunferencia, la facilidad de flujo y a través del producto y la ventilación. Para reducir el alcance y que el presente proyecto genere un mayor impacto se utilizó una herramienta de mejora llamada matriz de priorización.

Una matriz de priorización sirve para establecer una prioridad entre los miembros del equipo y llegar a un acuerdo considerando criterios sobre los cuales se calificará a cada una de las alternativas planteadas. La matriz de priorización para decidir cuál o cuáles parámetros de calidad física son los de mayor impacto se presenta a continuación y la misma considera cuatro criterios de calificación:

- El efecto de ese parámetro sobre el resto de parámetros de calidad física, es decir, se considera la afectación del rendimiento de un parámetro sobre el resto.

- El impacto de ese parámetro en la satisfacción del cliente, como se mencionó anteriormente, el foco del DMAIC es la satisfacción del cliente y hay que considerarlo parte de la matriz de priorización.
- El impacto de ese parámetro sobre el costo de fabricación; siempre el costo va a ser uno de los motores principales para las organizaciones.
- El impacto de dicho parámetro sobre la calidad visual del producto; este es un aspecto que también se debe considerar debido a que no se puede descuidar esta parte de la calidad en PCM.

Para la primera matriz se enlista los cuatro criterios y se los compara entre sí, con esto se pondera cada uno de los criterios con los cuales más adelante se calificará a cada una de las alternativas.

Tabla 1. Matriz comparación criterios

	A	B	C	D	Suma	Porcentaje
<b>CRITERIO A: Efecto sobre el resto de parámetros físicos</b>		3	3	5	11	18.3%
<b>CRITERIO B: Impacto sobre la satisfacción del cliente</b>	7		5	5	17	28.3%
<b>CRITERIO C: Impacto sobre el costo</b>	7	5		9	21	35.0%
<b>CRITERIO D: Impacto sobre la calidad visual</b>	5	5	1		11	18.3%

Con la primera matriz se concluye que los criterios más importantes son el impacto en la satisfacción del cliente, como era de esperarse, y el impacto sobre el costo. (Correa de Moura, s.f., p.175)

Posteriormente se procede a calificar a las cuatro alternativas para cada uno de los criterios.

Tabla 2. Matriz de calificación de alternativas para criterio A.

<b>CRITERIO A: Efecto sobre el resto de parámetros físicos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Suma</b>	<b>Porcentaje</b>
1. Alternativa 1: PP		7	9	9	25	41.7%
2. Alternativa 2: PC	3		9	5	17	28.3%
3. Alternativa 3 PR	1	1		3	5	8.3%
4. Alternativa 4 PF	1	5	7		13	21.7%

Tabla 3. Matriz de calificación de alternativas para criterio B.

<b>CRITERIO B: Impacto sobre la satisfacción del cliente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Suma</b>	<b>Porcentaje</b>
1. Alternativa 1: PP		5	5	5	15	25.0%
2. Alternativa 2: PC	5		5	5	15	25.0%
3. Alternativa 3 PR	5	5		5	15	25.0%
4. Alternativa 4 PF	5	5	5		15	25.0%

Tabla 4. Matriz de calificación de alternativas para criterio C.

<b>CRITERIO C: Impacto sobre el costo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Suma</b>	<b>Porcentaje</b>
1. Alternativa 1: PP		7	7	7	21	35.0%
2. Alternativa 2: PC	3		7	5	15	25.0%
3. Alternativa 3 PR	3	3		5	11	18.3%
4. Alternativa 4 PF	3	5	5		13	21.7%

Tabla 5. Matriz de calificación de alternativas para criterio D.

<b>CRITERIO D: Impacto sobre la calidad visual</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Suma</b>	<b>Porcentaje</b>
1. Alternativa 1: PP		3	5	3	11	18.3%
2. Alternativa 2: PC	7		7	5	19	31.7%
3. Alternativa 3 PR	5	3		3	11	18.3%
4. Alternativa 4 PF	7	5	7		19	31.7%

Tabla 6. Matriz de ponderación de alternativas y criterios.

	A. Criterio 1	B. Criterio 2	C. Criterio 3	D. Criterio 4	
	0.183	0.283	0.350	0.183	<b>Porcentaje</b>
<b>1. Alternativa 1: PP</b>	0.417	0.250	0.350	0.183	<b>30.3%</b>
<b>2. Alternativa 2: PC</b>	0.283	0.250	0.250	0.317	<b>26.8%</b>
<b>3. Alternativa 3 PR</b>	0.083	0.250	0.183	0.183	18.4%
<b>4. Alternativa 4 PF</b>	0.217	0.250	0.217	0.317	24.4%

Por último se realiza una matriz en la cual se pondera cada una de las calificaciones obtenidas de las cuatro alternativas por el peso de cada uno de los criterios, como se puede observar en la Tabla 6. Con esto se obtiene las alternativas o parámetros priorizados, dando como resultado que los parámetros de peso y circunferencia son los que cumplen en mayor parte con los criterios establecidos y por ende los que van a causar un mayor impacto el momento en el que se analice dichas variables, logrando así un mayor impacto sobre el producto final.

La alta dirección y las partes interesadas concuerdan que el análisis se lo debe realizar sobre los dos parámetros priorizados anteriormente. Como producto de este consenso las próximas fases de este trabajo de titulación se las realizarán sobre el peso y la circunferencia de los productos de PCM.

Prosiguiendo con la etapa *Define* o definir se utilizará una segunda herramienta de mejora llamada diagrama SIPOC macro, por sus siglas en ingles *Supplier* o Proveedor, *Input* o Entrada, *Process* o Proceso, *Output* o Salida y *Customer* o Cliente. En el siguiente grafico se expresa de manera general o macro al proceso de estudio, se lo diagrama de manera clara y sencilla con el objetivo de visualizar las fronteras del mismo, desde sus proveedores hasta los clientes y de esta manera contextualizar el enfoque del proyecto en PCM.

El proceso de enfoque de este trabajo de titulación es el proceso de elaboración de productos, el cual cuenta con cinco máquinas elaboradoras que a partir de ahora las conoceremos como M1, M4, M5, M6, M10. Las entradas y salidas de dicho proceso, así como también los clientes y proveedores se pueden evidenciar en el diagrama SIPOC macro presentado a continuación.

Tabla 7. Diagrama SIPOC macro

<b>Suppliers</b>	<b>Inputs</b>	<b>Process</b>	<b>Outputs</b>	<b>Customers</b>
Proveedores directos (internos, externos)	Entradas del proceso (informaciones y materiales)	Etapas básicas del proceso	Salida del proceso (materiales e informaciones)	Clientes del proceso (internos / externos)
Productores agrícolas a lo largo del país, proveedores de agregados	Información sobre las especificaciones del producto, materia prima cruda.	<b>Inicio: Preparación de materia prima</b>	Materia prima lista para proceder a elaboración	Proceso de Elaboración
Proceso de preparación de materia prima	Materia prima lista, preparada de acuerdo a especificaciones	<b>Elaboración de productos de consumo masivo en PCM</b>	Productos elaborados, listos para proceder al empaque	Proceso de Empaque
Proceso de elaboración	Productos elaborados, de acuerdo a especificaciones y estándares de calidad	<b>Final: Empaque y almacenamiento</b>	Productos empacados en presentaciones de SKU 1 y SKU 2	Distribución y ventas
Proveedores de material de empaque			Productos empacados en cajas para su distribución	

Cómo se puede evidenciar en el diagrama SIPOC macro, el proceso de elaboración de productos de consumo masivo en PCM tiene como proveedor el proceso de preparación de materia prima, el cual entrega materia prima lista la cual es preparada de acuerdo a especificaciones. Una vez realizado el proceso, el mismo realiza productos elaborados listos para el proceso cliente que es el de empaque. Una vez diagramado el proceso se puede evidenciar las fronteras del mismo y tener una claridad sobre el área de aplicación.

## CAPITULO 2

### 2. FASE MEASURE (MEDIR)

La metodología DMAIC de *Six Sigma*, brinda un esquema ordenado de trabajo y ayuda a mantener un foco sobre los procesos que se desea mejorar, esto se logra mediante la aplicación de las diferentes fases que el DMAIC ofrece. Para proseguir con este esquema se procederá con la fase *Measure* o medir; en esta etapa se busca recopilar toda la información relevante sobre la situación actual de los procesos, y especialmente del desempeño actual de las características críticas previamente definidas.

#### 2.1. Conceptualización Fase Measure (Medir)

Los objetivos de la etapa *Measure* son: recolectar datos suficientes de los procesos para evaluar su desempeño, estimar la variabilidad del proceso y compararla con la tolerancia, verificar si el proceso es capaz de producir bajo especificaciones, y de acuerdo a la información obtenida, confirmar o revisar el foco de mejora establecida en la etapa *Define*.

A continuación se presenta un diagrama SIPOC específico del proceso de elaboración dentro de PCM. Este diagrama ayudará a entender de mejor manera el proceso de elaboración mediante la exposición de las diferentes interacciones de las partes esenciales del proceso.

Tabla 8. Diagrama SIPOC específico

Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
Proveedores directos (internos, externos)	Entradas del proceso (informaciones y materiales)	Etapas básicas del proceso	Salida del proceso (materiales e informaciones)	Clientes del proceso (internos/externos)
Proceso de preparación de materia prima 1	Materia prima lista 1, preparada de acuerdo a especificaciones	<b>Tamizado y ordenado de materia prima 1</b>	Materia prima 1 tamizada y ordenada para la siguiente etapa	Formación del subproducto 2
Tamizado y ordenado de materia prima 1	Materia prima tamizada y ordenada para la formación	<b>Formación de subproducto 1</b>	Subproducto 1 listo para corte	Etapas de corte
Formación de subproducto 1	Subproducto 1 listo para corte	<b>Corte de subproducto 1</b>	Subproducto 1 listo para ensamble	Etapas de ensamble
Proceso de preparación de materia prima 2	Materia prima lista 2, preparada de acuerdo a especificaciones	<b>Preparación de materia prima 2</b>	Materia prima 2 lista para la siguiente etapa	Formación de subproducto 2
Proceso de preparación de materia prima 2	Materia prima lista 2, preparada de acuerdo a especificaciones	<b>Formación de subproducto 2</b>	Subproducto 2 listo para corte	Etapas de ensamble
Formación de subproducto 2	Subproducto 2 listo para corte	<b>Corte de subproducto 2</b>	Subproducto 2 listo para ensamble	Etapas de ensamble
Formación de subproducto 1	Subproducto 1	<b>Ensamble</b>	Productos elaborados listos para proceder a empaque	Empaque
Formación de subproducto 2	Subproducto 2			

Para la recolección de datos de los parámetros previamente definidos se debe utilizar un método confiable, representativo, aleatorio, y preciso del desempeño de las máquinas en todos los turnos de trabajo, y por supuesto también en el rango de tiempo establecido para el análisis de este trabajo de titulación.

Dentro del análisis DMAIC aplicado en este trabajo de titulación, la estadística forma un rol muy importante, desde la recolección de datos hasta el control de las mejoras implementadas, la estadística se aplica de manera frecuente y en sí

gran parte de los análisis realizados se basan en métodos estadísticos. Es por esto que se procederá con la definición de términos de estadística descriptiva que serán aplicados a lo largo de este trabajo de titulación.

## **2.2. Estadística**

En el mundo de las investigaciones existen innumerables situaciones en donde se encuentran disponibles series de números para su análisis, la estadística es una ciencia que analiza series de datos, por lo tanto es fundamental para el estudio o la investigación de poblaciones numéricas. Se dice que los datos pueden ayudar a deducir características importantes sobre el fenómeno de estudio, sin embargo por si solos son inútiles y no brindan información, por lo tanto es necesario contar con métodos que permitan extraer información relevante para su análisis. La estadística brinda dichos métodos, los cuales serán aplicados a lo largo y ancho de este trabajo de titulación. Existen varias definiciones del término estadística, sin embargo una de las que contiene la esencia de este trabajo de titulación es la siguiente:

“La Estadística es el estudio científico relativo al conjunto de métodos encaminados a la obtención, representación y análisis de observaciones numéricas, con el fin de describir la colección de datos obtenidos, así como inferir generalizaciones acerca de las características de todas las observaciones y tomar las decisiones más acertadas en el campo de su aplicación.”(García y Matus, s.f, p27).

La estadística se clasifica en dos categorías principales que son: la estadística descriptiva y la estadística inferencial. En la aplicación de este trabajo se utilizarán parte de estas dos categorías las cuales se resumen en el grafico a continuación:

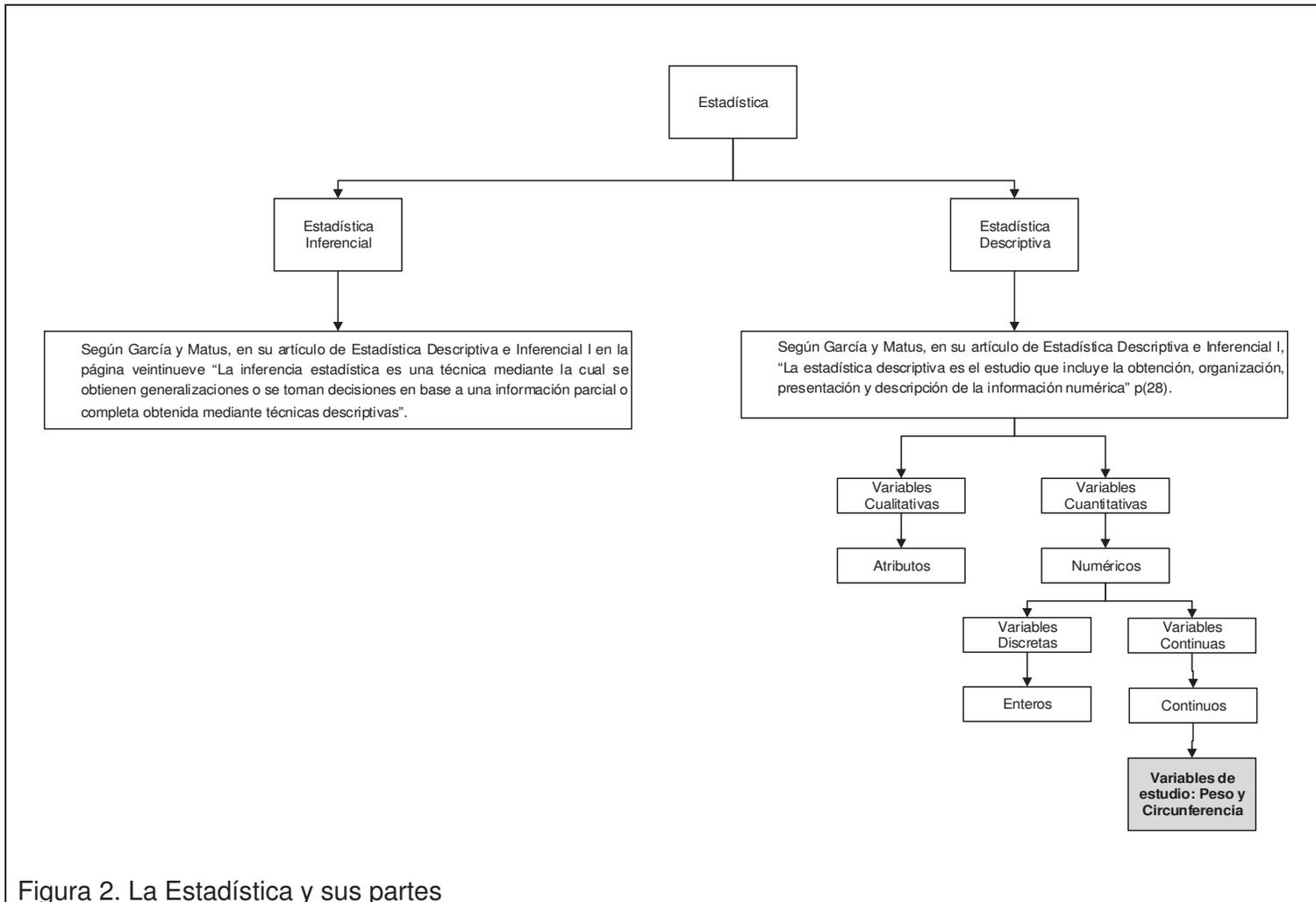


Figura 2. La Estadística y sus partes

### 2.2.1. Estadística Descriptiva

La estadística descriptiva se origina a finales de la edad media, cuando apareció la necesidad de llevar registros de información de los habitantes de cada uno de los estados, así como también de los recursos que cada estado poseía. Esta necesidad provocó el desarrollo de técnicos especializados en la obtención y clasificación de información.

A finales del siglo XVII ya se realizaba una especialidad de lo que hoy se conoce como censo, en el cual se registraba y clasificaba información de la mortalidad de las personas, lo cual ayudó principalmente a las compañías de seguros a establecer primas de sus seguros de vida.

Según García y Matus, en su artículo de Estadística Descriptiva e Inferencial I, "La estadística descriptiva es el estudio que incluye la obtención, organización, presentación y descripción de la información numérica" (s.f, p. 28).

La información numérica que tanto se ha mencionado se conoce también como variables de estudio, y dentro de la estadística descriptiva estas pueden ser cuantitativas y cualitativas. Las variables cuantitativas son variables que pueden medirse, es decir, tienen un valor numérico. Mientras que las variables cualitativas no se pueden medir numéricamente y suelen llamarse atributos.

Aterrizando estos conceptos, cabe mencionar que dentro de este trabajo de titulación las variables que se analizarán son variables cuantitativas, estas pueden ser discretas, si toman valores numéricos enteros, y continuas, si es que adoptan valores numéricos cualquiera. Tanto el peso como la circunferencia son parámetros que pueden tomar cualquier valor numérico positivo, es decir son variables cuantitativas continuas.

Continuando con nociones y temas relevantes de estadística descriptiva, se enlistarán conceptos importantes para el estudio del comportamiento de variables, empezando por definir al individuo, que no es más que cualquier elemento que contiene información sobre el fenómeno o la variable de estudio. Un conjunto o grupo de estos individuos forman una población, mientras que una muestra es un subconjunto que se selecciona de la población de estudio.

Dentro de la estadística descriptiva se estudian medidas de posición, las cuales permiten conocer varias características de la población en estudio. Estas medidas se clasifican en: medidas de posición central y medidas de posición no centrales. (Aulafácil, 2000).

El resumen de la clasificación de estas medidas se expone en el siguiente gráfico:

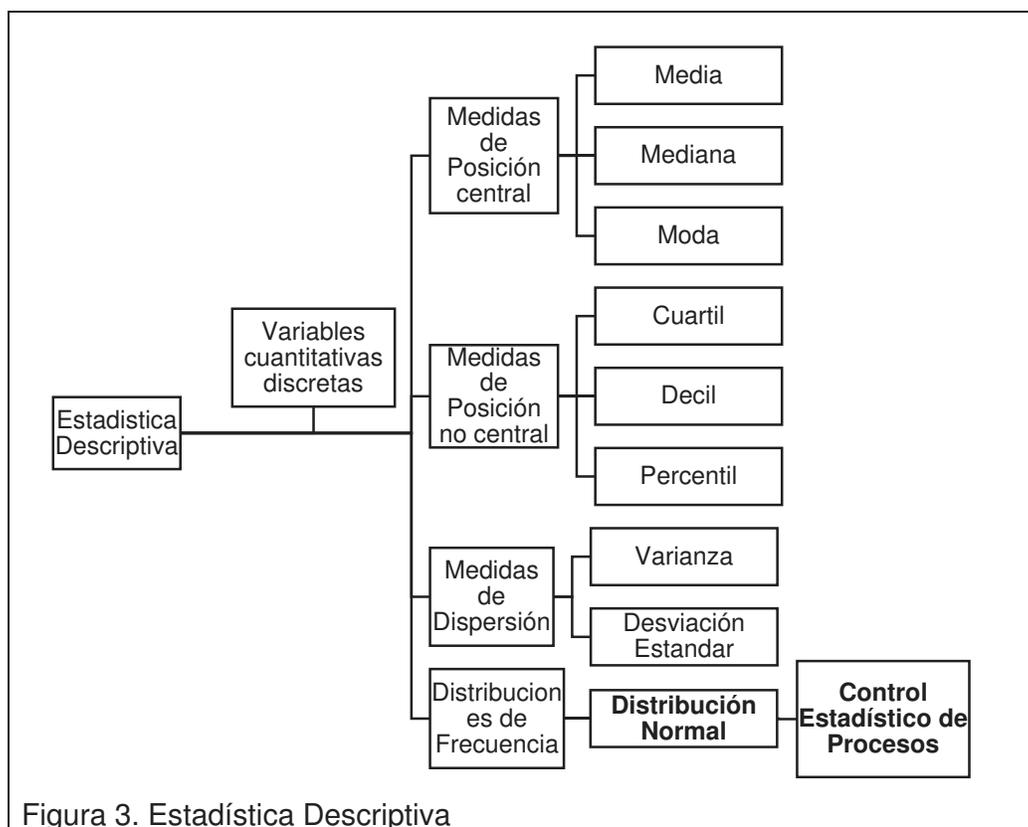


Figura 3. Estadística Descriptiva

### 2.2.1.1. Distribuciones de Frecuencias

Como se observa en la Figura 3 dentro de la estadística descriptiva se resalta un tema de suma importancia para este trabajo de titulación que es el de las distribuciones de frecuencias.

Las medidas de dispersión analizan el comportamiento de la distribución de los datos, es decir de la frecuencia de aparición de los mismos; estas vienen de la mano de las distribuciones de frecuencias, que no son más que modelos preestablecidos de distribuciones, de las cuales se conocen características y comportamientos típicos que son muy útiles el momento de analizar variables que sigan dichas distribuciones.

La relevancia de las distribuciones de frecuencia dentro de este trabajo de titulación se centra en las distribuciones continuas uniformes. Una distribución uniforme puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo, su función de densidad es aquella función que permite saber la probabilidad de cada uno de los puntos del intervalo, y el modelo de distribución continua más utilizado es el de la distribución normal.

El modelo de la distribución normal es el más usado debido a que la mayoría de los fenómenos se comportan de dicha manera. Esta distribución se identifica debido a que los datos se distribuyen formando una campana, alrededor de un valor central que coincide con la media de la distribución, dicha campana se conoce como la campana de Gauss.

Las propiedades o características de la distribución normal están definidas por dos parámetros: la media, que se representa con la letra griega miu " $\mu$ ", y es donde justamente se ubica el centro de la campana de Gauss; y por la varianza representada con la letra griega sigma elevada al cuadrado " $\sigma^2$ ", o sigma cuadrado, la cual indica que tan dispersos se encuentran los datos de la media. Es importante mencionar a la distribución normal debido a que la teoría de la capacidad de proceso que va a ser utilizada en este trabajo de titulación se basa

en una presunción de normalidad de los datos, sin la cual no tiene validez. Es también relevante debido a que de esta distribución parten los principios de control estadístico de procesos que se exponen más adelante.

### **2.2.2. Estadística Inferencial**

Una vez que se posee la información suficiente sobre las variables del fenómeno de estudio, se necesitan métodos distintos a los descriptivos para realizar un análisis de los datos. La estadística inferencial resume estos métodos, los cuales profundizan el análisis dependiendo del objeto de estudio.

Según García y Matus, en su artículo de Estadística Descriptiva e Inferencial I en la página veintinueve “La inferencia estadística es una técnica mediante la cual se obtienen generalizaciones o se toman decisiones en base a una información parcial o completa obtenida mediante técnicas descriptivas”.

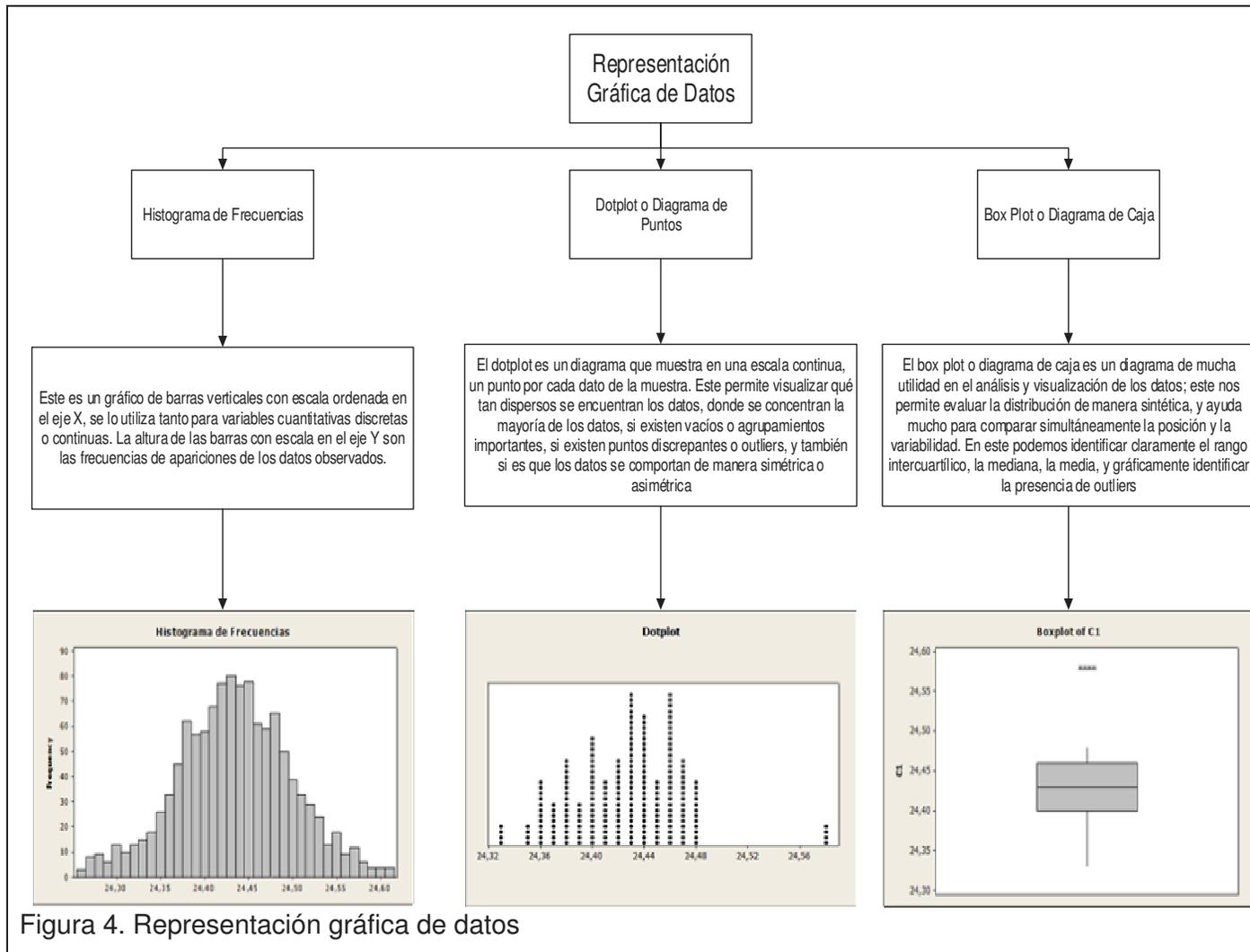
Es por esto que la estadística inferencial también forma parte fundamental de este trabajo de titulación, ya que sin ella no se lograría tomar decisiones sobre la información obtenida. Cabe mencionar que la rama de estadística inferencial se la utilizará en la fase de análisis, una vez que la situación actual del proceso se encuentre medida.

### **2.2.3. Representación Gráfica de los Datos**

Una vez que se ha conceptualizado los temas de estadística tanto descriptiva como inferencial, es importante mencionar las formas que se utilizarán en este trabajo de titulación para la representación gráfica de los datos.

Visualizar los datos de manera clara es un paso fundamental para el análisis, muchas veces los datos pueden no ser claros y difíciles de leer o de interpretar

la verdadera información que ellos acarrean. Es por eso que visualizarlos de una manera gráfica ayudará a detectar anomalías en las mediciones, así como también aumentará en nivel de retención de la información. Para esto existen algunos gráficos de mucha utilidad que se exponen a continuación.



#### 2.2.4. Introducción al Control Estadístico de Procesos

Anteriormente se menciona a las distribuciones de frecuencia como parte fundamental de la estadística descriptiva debido a su aplicación en este trabajo de titulación. Estas distribuciones de frecuencias se las grafica mediante histogramas de frecuencias y tienen una alta relación con los gráficos de control estadístico que se exponen a continuación.

El control estadístico de proceso tuvo sus inicios en los años veinte con el Dr. Walter A. Shewhart, quien nació el 18 de marzo de 1891 en New Canton, Illinois, Estados Unidos. El Dr. Shewhart fue el primer miembro honorifico de la ASQ<sup>2</sup>, y fue quien unió las disciplinas de la estadística, la ingeniería y la economía, al Dr. Shewhart pasó a conocerse como el padre del control de calidad. El elemento más tangible de la unión de estas disciplinas fue el gráfico de control, una herramienta simple pero de mucha utilidad en el mundo del control de la calidad. Él creó esta herramienta debido a que aseguraba que la falta de información era lo que provocaba que un proceso esté fuera de control y mediante los gráficos de control estadístico logró captar la información necesaria para el estudio del proceso. (ASQ, s.f.)

El auge del control estadístico de procesos como tal, se dio en la segunda guerra mundial para el control de la calidad en la fabricación de municiones y otros productos estratégicamente importantes. Sin embargo el uso del control estadístico de procesos tuvo un ocaso el momento en que terminó la guerra, y no fue sino hasta el auge de la industria japonesa en la década de los sesenta en donde retomó fuerzas y permanece vigente hasta hoy en día. Muchas técnicas de control estadístico de procesos han sido redescubiertas por firmas estadounidenses, como por ejemplo la filosofía de *Six Sigma* (ASQ, s.f.).

El Dr. Shewhart identificó dos fuentes de variación en el comportamiento de los procesos a lo largo del tiempo. La primera es la variación propia, inherente al proceso y estable en el tiempo; a esta fuente de variación, el Dr. Deming la

---

<sup>2</sup> ASQ. American Society for Quality

bautizó como causas comunes de variación. Las causas comunes de variación determinan la variabilidad característica de cada proceso, están siempre presentes y afectan a cada resultado del proceso. Si un proceso se encuentra solo bajo causas comunes de variación entonces se considera un proceso controlado o estable, en donde sus datos tienden a ser previsibles. La segunda fuente de variación es la que el Dr. Shewhart denominó variación descontrolada o asignable, la cual fue renombrada por el Dr. Deming como causas especiales de variación; estas son causas ajenas al propio proceso y afectan a los resultados ocasionalmente. Por lo general este tipo de causas suelen ser aisladas fácilmente ya que de igual manera son fácilmente identificables. Estas causas especiales de variación alteran la distribución natural del proceso provocando que el mismo sea imprevisible.

Basado en su experiencia con un sinnúmero de procesos y soportado por las leyes de la estadística, el Dr. Shewhart creó los gráficos o diagramas de control justamente para graficar los datos de los procesos en el tiempo y de esta manera identificar causas comunes y causas especiales de variación.

### **2.2.5. Gráficos de Control Estadístico de Procesos**

Para explicar los gráficos de control y sus partes, es necesario hacer referencia a la distribución normal y sus diferentes propiedades, ya que es en esta distribución en donde se basa el análisis de este trabajo de titulación.

Como se mencionó anteriormente una variable sigue una distribución normal cuando su gráfica de distribución de frecuencias forma una campana, alrededor de un valor central, la media denotada con la letra griega Miu ( $\mu$ ) y bajo una desviación estándar denotada con la letra griega Sigma ( $\sigma$ ). A continuación se presenta un gráfico explicativo de estas propiedades.

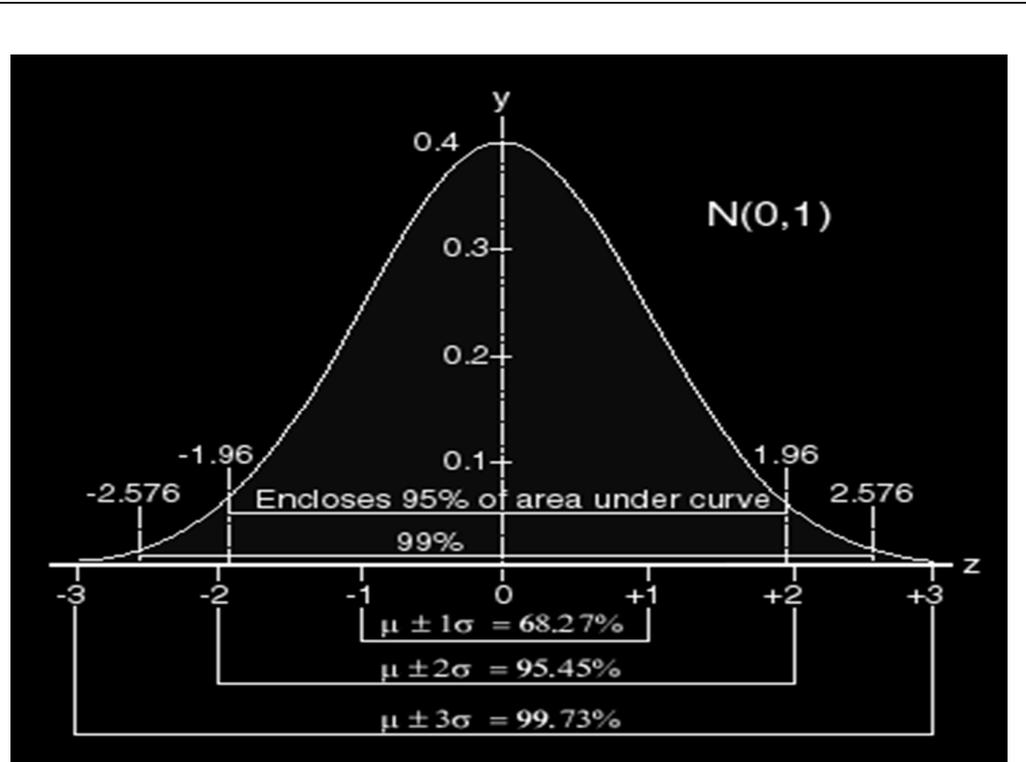


Figura 5. Curva Normal  
 Witke, 2014. (s.f.). Tomado De  
<http://www4.nau.edu/microanalysis/microprobe/img/Gaussian.gif>

Una de las propiedades principales de la distribución normal, es que el 68.27% de los datos entran en la zona de más menos el primer sigma, el 95.45% de los datos caen dentro de la zona de más menos dos sigma y el 99.73% de los datos están dentro de la zona de más menos tres sigma. Esta propiedad se aplica debido a que la distribución normal es una distribución geométrica, es decir idéntica para los valores positivos y negativos de la desviación estándar.

A través de la distribución normal y sus componentes se construyen los gráficos de control estadístico que se basan en los siguientes elementos:

- Línea de tiempo.
- Media.
- Límite de Control Superior LCS.
- Límite de Control Inferior LCI.
- Puntos de medición.

Estos elementos se los puede apreciar en la figura a continuación:

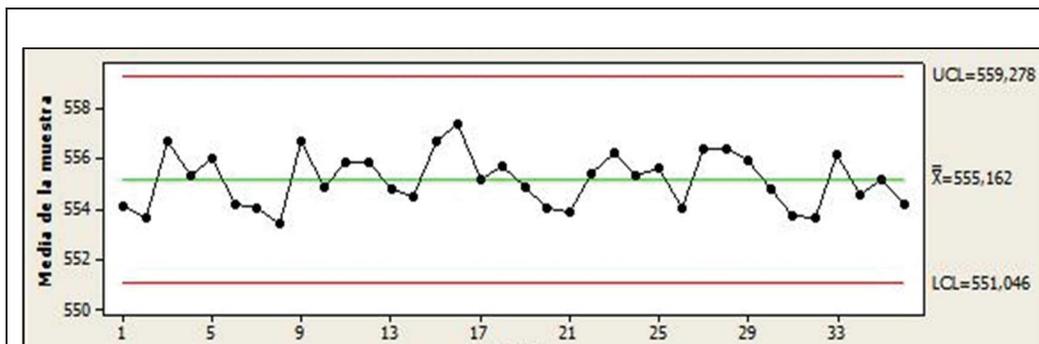


Figura 6. Ejemplo de Gráfico de Control Estadístico de Procesos  
Adaptado de PCM.(2013)

La manera en que se relacionan la distribución normal con las gráficas de control estadístico se representa en la siguiente figura:

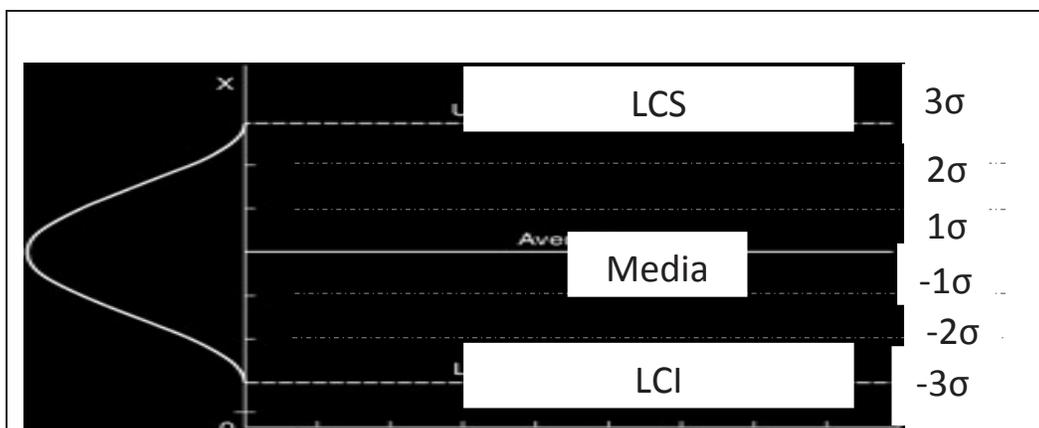


Figura 7. Relación entre distribución normal y gráficos de control estadístico de procesos

Stamatis, (s.f.), Adaptado de <http://flylib.com/books/en/3.194.1.172/1/>

De esta manera las mediciones o variables van formando la distribución normal en sus límites de control. Como se aludió anteriormente, el fin y objetivo de los gráficos de control es brindar la información necesaria para detectar causas de variación, ya sean comunes o especiales. Actualmente existen algunos métodos para la detección de inestabilidades de los procesos mediante el análisis de los gráficos de control estadístico de procesos.

Dentro de PCM se ha establecido reglas para el control estadístico de proceso independientes para cada parámetro de calidad física. Debido a que en la etapa previa *Define* se estableció el enfoque en los parámetros de peso (PP) y Circunferencia (PC), se definirán las reglas de control estadístico para estas dos variables. En este trabajo de titulación se utilizará una adaptación de los métodos desarrollados por Western Electric, algunas de esas reglas estadísticas aplicables a este trabajo de titulación son:

- Parámetro de Peso:
  - Una medición por encima o por debajo del valor de  $\pm 3$  sigma LCS o LSI.
  - Dos mediciones por encima o por debajo del valor de 3 sigmas LCS o LSI.
  - Nueve mediciones consecutivas en el mismo lado mayor a 2 sigmas o menor a -2 sigmas.
  
- Parámetro de Circunferencia
  - Una medición por encima o por debajo del valor de  $\pm 3$  sigma.
  - Dos de tres mediciones consecutivas por encima o por debajo del rango de  $\pm 2$  sigma.
  - Cuatro de cinco puntos por encima o por debajo del valor de  $\pm 1$  sigma.

Existen algunos tipos de gráficos de control estadístico de procesos, los cuales se usan dependiendo de la información disponible y de la naturaleza del proceso analizado. Entre los principales gráficos y los utilizados en PCM, se encuentran los gráficos de la Media y los gráficos de Desviación Estándar, estos gráficos son muy útiles ya que permiten controlar tanto la posición (media) como la variabilidad del proceso, respectivamente.

Cabe mencionar que dentro de PCM se utiliza la teoría de los subgrupos racionales de Shewhart, esta teoría recomienda que el tamaño de los subgrupos por los cuales se grafica un punto en los gráficos de control sea de dos a cinco, ya que lo que se busca es tener una muestra lo más homogénea posible libre de causas especiales.

Dentro de PCM se tiene un procedimiento de recolección de datos para el control de calidad en el proceso. Este utiliza máquinas de medición llamadas “CONCAL” que representan las siglas para control de calidad en línea. El proceso de producción cuenta con dos de estas máquinas, las cuales cuentan con tres módulos, el primero es para la medición de peso, el segundo para la medición de circunferencia y el tercero para la medición de flujo.

Con la ayuda de los “CONCAL” los operadores de las máquinas elaboradoras son los encargados de colocar muestras de cinco productos cada veinte minutos. Por cada una de estas mediciones de cinco productos los “CONCAL” transfieren dicha información a un computador y producen un punto para el control estadístico de procesos. Este muestreo se considera suficientemente representativo sobre el desempeño de la máquina, tanto para las políticas de calidad de PCM como también para las mediciones y registros históricos.

#### **2.2.6. Capacidad de Proceso**

Una vez que se ha definido el alcance del proyecto así como también las características críticas a ser analizadas dentro de PCM es de mucha utilidad realizar un análisis de capacidad de proceso, pero primero ¿Qué es capacidad de proceso?

Capacidad de proceso no es más que la facultad que tiene un proceso para producir bajo especificaciones. Es también el comportamiento natural

presentado por el proceso cuando todas las causas especiales de variación se han eliminado. (Correa de Moura, s.f, p. 307)

En la etapa de *Measure* o medición es muy común aplicar el análisis de capacidad de procesos, pero dentro de este trabajo de titulación se lo utilizará en múltiples etapas debido a su gran utilidad. En esta fase se la aplicará para medir el estado actual de las diferentes máquinas en donde se enfocará el análisis. Es importante mencionar que se deben eliminar las causas especiales de variación para proseguir con el estudio de capacidad de proceso; con esto se asegura minimizar y eliminar las causas especiales y que estas no afecten a las mediciones para el análisis de este trabajo de titulación.

### 2.2.6.1. Índices de Capacidad de Proceso

Una vez que el proceso se encuentra controlado y solo bajo causas comunes de variación, se puede realizar el estudio de capacidad de proceso mediante índices de capacidad, los principales son el índice Cp, y el Cpk. El índice Cp es el más común cuando se realiza este tipo de análisis, lo que hace este índice es medir que tan capaz es el proceso de producir bajo especificaciones, un proceso con un índice Cp mayor a 1 quiere decir que la variación natural es menor que la tolerancia. La parte negativa del índice Cp es que no considera el centrado del proceso, por lo cual se necesita de otro índice llamado Cpk, que evalúa el desplazamiento de la media en relación a la tolerancia. La siguiente tabla muestra un resumen de los niveles de Cp en un proceso.

Tabla 9. Resumen de niveles de CP

Niveles de Cp	
Cp < 1	Variación del proceso mayor a la tolerancia
Cp = 1	Variación del proceso igual a la tolerancia
Cp > 1	Variación del proceso menor a la tolerancia

Tomado de: Correa de Moura, s.f, p. 320.

Un ejemplo de la relación entre el índice  $C_p$  y  $C_{pk}$  se presenta a continuación:

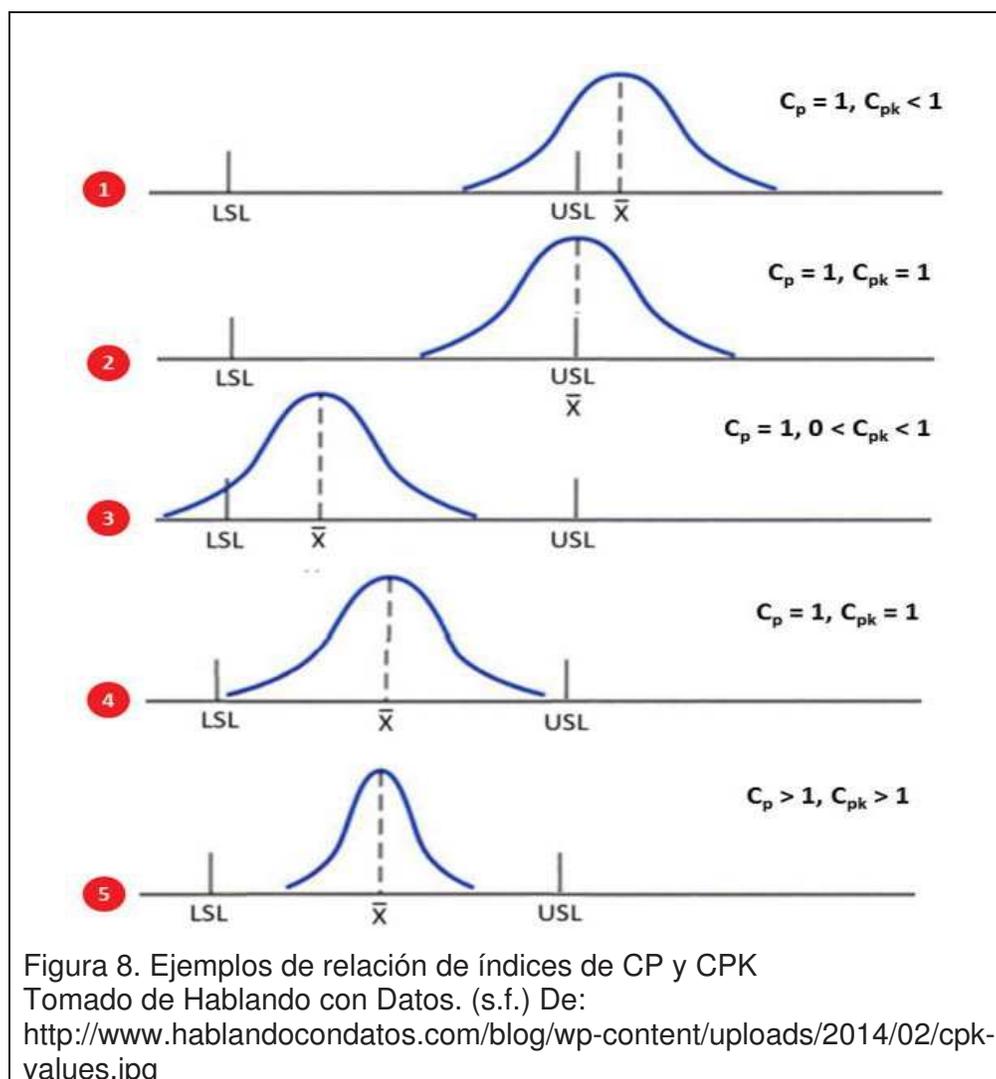


Tabla 10. Relación CP y Cpk

Tabla de relación $C_p$ y $C_{pk}$	
Caso 1	Proceso fuera de especificación y descentrado hacia el límite superior
Caso 2	Proceso fuera de especificación y descentrado hacia el límite superior
Caso 3	Proceso fuera de especificación y descentrado hacia el límite inferior
Caso 4	Proceso cumple con especificaciones sin embargo podría mejorar
Caso 5	Proceso cumple con especificación y se encuentra centrado

Para el cálculo de los índices de Cp y Cpk se usan las siguientes formulas:

$$Cp = \frac{\text{Límite Superior de Especificación} - \text{Límite Inferior de Especificación}}{6\sigma} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$Cpk = \text{mínimo entre:}$

$$\left[ \frac{\text{Límite Superior de Especificación} - \text{Media}}{3\sigma}, \frac{\text{Media} - \text{Límite Inferior de Especificación}}{3\sigma} \right] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Como parte del análisis que se realizará en este trabajo de titulación también se trabajará con otro tipo de índices de capacidad llamados *Z bench*. Este indicador realiza una comparación es decir un “*benchmark*” del comportamiento del proceso con la distribución normal estándar con media cero y desviación estándar de uno. Por ejemplo para un proceso con un *Z bench* igual a 2.48 se realiza la siguiente relación:

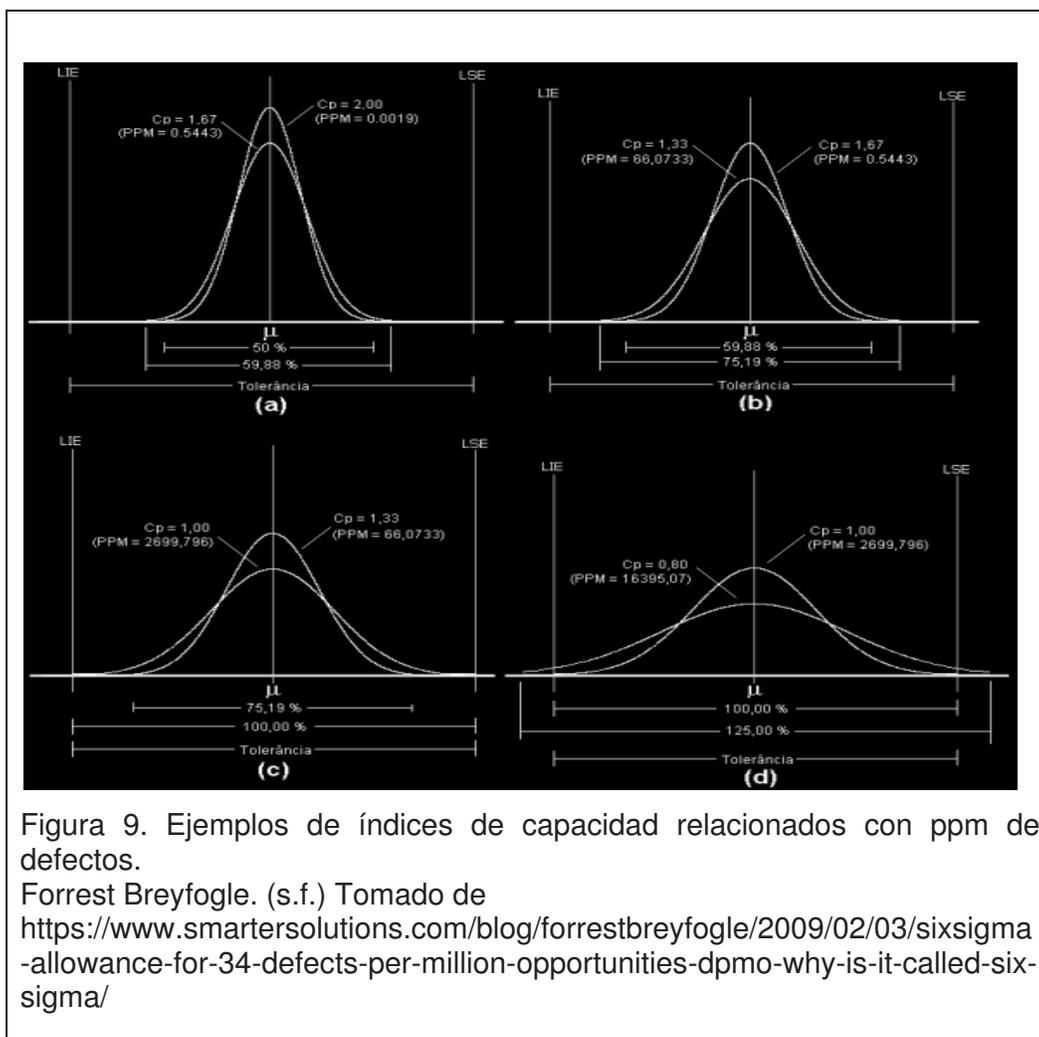
- $Z \text{ bench} = 2.48$
- $P(z < 2.48) = 0.9973$
- 99.73% de las mediciones dentro de especificación.

Este índice de capacidad de proceso se llevara de la mano con los índices Cp y Cpk a lo largo de este trabajo de titulación, la relevancia de este índice se observará en la etapa de Analyze y también en la fase *Improve*.

### 2.2.6.2. La Métrica Six Sigma

Definidos los conceptos de capacidad de proceso y sus respectivos índices, cabe mencionar cuando un proceso se lo considera con un rendimiento de *Six Sigma*. Un proceso con un índice Cp igual a 2 y un índice Cpk de 1.5 se lo considera un proceso con rendimiento *Six Sigma*, el cual solo producirá 3.4 partes por millón de defectos. (Correa de Moura, s.f, p. 34)

El siguiente gráfico muestra una clara representación del comportamiento de la curva normal bajo distintos niveles de  $C_p$ , por lo tanto con distintas partes por millón (ppm) de defectos.



Para el cálculo de capacidad de proceso en este trabajo de titulación se utilizará dos softwares, Excel y Minitab. Cabe recalcar que en Minitab el cálculo de los índices de capacidad  $C_p$  y  $C_{pk}$  a los que se hizo referencia anteriormente, son índices a largo plazo, o también llamados "overall" y para este trabajo de titulación será analizado de manera mensual. Dentro de Minitab a estos índices se los llama  $P_p$  y  $P_{pk}$ .

En términos de *Z bench* un proceso con rendimiento *Six Sigma* tiene un *Z bench* de 4.5 que se obtiene mediante la siguiente relación:

- $Z\ bench = 4.5$
- $Pr(z > 4.5) = 1 - P(z < 4.5) = 0.0000034$
- 3.4 PPM defectuosas o fuera de especificación igual a un rendimiento *Six Sigma*

Se han definido los conceptos principales utilizados en este trabajo de titulación así como también los métodos principales de medición, cumpliendo con los objetivos de la etapa *Measure* basados en el estudio de capacidad de proceso que se analizará en la siguiente etapa. Con esto se evalúa el desempeño actual del proceso y se verifica su capacidad de producir bajo especificaciones.

### **2.2.6.3. Ejemplos de capacidad de proceso**

A continuación se presenta a manera de ejemplo los gráficos de capacidad de proceso que se realizó para cada una de las máquinas y para cada parámetro definido. Como se mencionó anteriormente los resultados de dichos estudios se analizarán en la siguiente etapa sin embargo es importante exponer de donde salen esos números, dado que estos gráficos exponen las especificaciones de productos se los presenta a manera de ejemplo para mantener la confidencialidad de PCM.

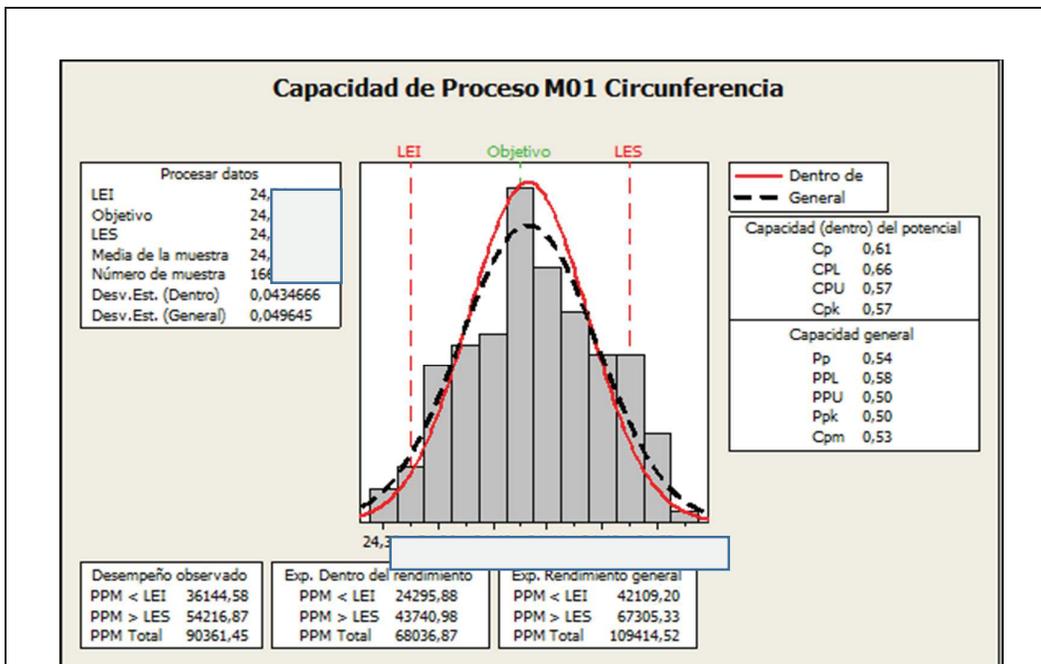


Figura 10. Capacidad de proceso M01 Circunferencia actual

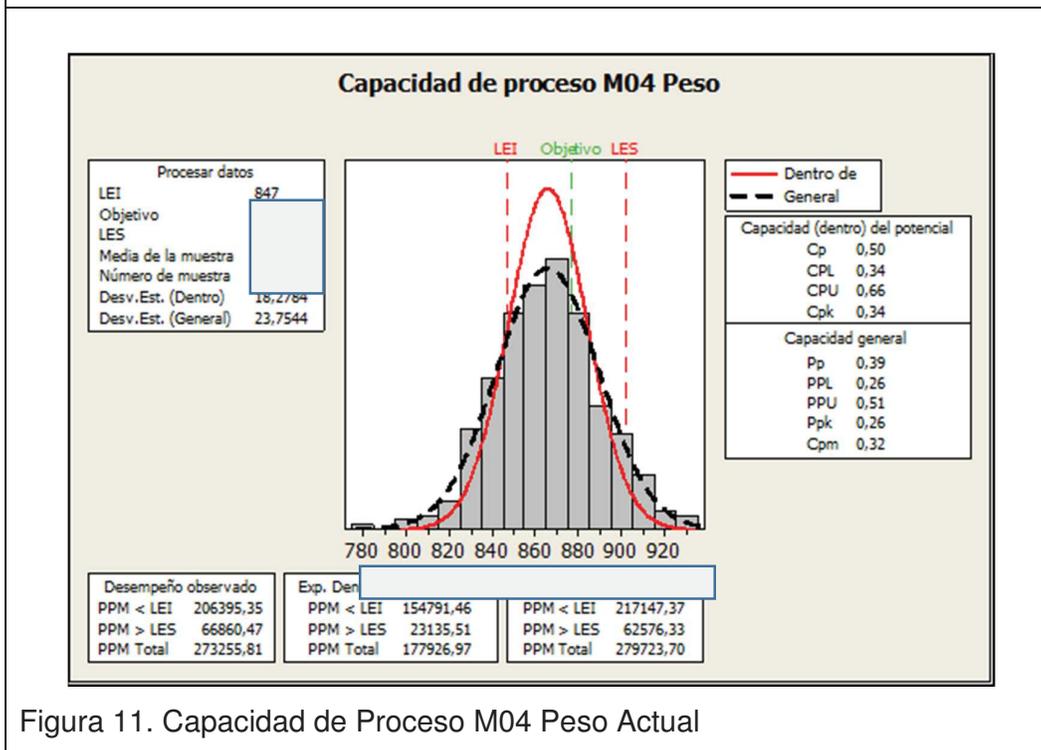


Figura 11. Capacidad de Proceso M04 Peso Actual

Con esta etapa cumplida, se concluye que el foco de mejora se mantiene sobre los parámetros de peso y circunferencia, los cuales seguirán siendo eje fundamental de este trabajo de titulación.

## CAPITULO 3

### 3. FASE ANALYZE (Analizar)

Para continuar con la secuencia del DMAIC, se procede a la fase *Analyze*, para la cual se ha definido el foco de mejora sobre los parámetros de calidad física de peso y circunferencia en PCM. Se ha culminado también la etapa *Measure* en donde se ha revisado conceptos claves de estadística y se han definido los métodos utilizados para medir el proceso productivo que es en donde se focaliza este trabajo de titulación.

Con esta información se levanta el estado actual del proceso el cual se analizará en esta etapa. Los objetivos de la misma son: analizar la situación actual del proceso, identificar causas potenciales de variación, seleccionar las causas principales, entender la situación del proceso, identificar fuentes de variación y por ultimo identificar oportunidades de mejora rápida o *quick wins*.

#### 3.1. Análisis del Estado Actual del Proceso

Para proceder al análisis del estado actual del proceso se procederá a examinar la información de la fase *Measure* en el periodo inicial de estudio, específicamente se utilizará la capacidad de proceso para resumir el estado del mismo, la variabilidad existente y la capacidad para producir bajo especificación.

Para el estudio de capacidad de proceso se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- Previo al análisis de capacidad de proceso se verificó normalidad de los datos mediante pruebas de hipótesis basadas en la teoría de Ryan-Joiner la cual acepta una normalidad para un p-value mayor a 0.1.

- Se realizó esta verificación para cada una de las máquinas y para cada parámetro, debido a que la capacidad de proceso se basa en la normalidad de los datos por lo cual es imprescindible realizar dicha verificación.
- Es importante mencionar que se realizó una discriminación de “*Outliers*” o puntos discrepantes mediante el grafico de caja o box plot con la ayuda del software estadístico Minitab.

A continuación se presenta una tabla de resumen de dicho estudio para los dos parámetros priorizados en la etapa *Define*.

Tabla 11. Resumen de estudio de capacidad de proceso por máquina y parámetro.

<b>Resumen de Estudio de Capacidad de Proceso por Máquina y Parámetro</b>		
<b>Parámetro de Peso</b>		
<b>Máquina</b>	<b>Cp</b>	<b>Cpk</b>
M01	0.68	0.59
M06	0.71	0.67
M04	0.39	0.26
M05	0.48	0.29
M10	0.92	0.75

Tabla 12. Resumen de estudio de capacidad de proceso por máquina y parámetro.

<b>Resumen de Estudio de Capacidad de Proceso por Máquina y Parámetro</b>		
<b>Parámetro de Circunferencia</b>		
<b>Máquina</b>	<b>Cp</b>	<b>Cpk</b>
M01	0.54	0.5
M06	0.61	0.56
M04	0.56	0.44
M05	0.60	0.57
M10	0.54	0.47

Cómo se observa en las tablas resumen el rendimiento de las máquinas con respecto al desempeño *Six Sigma* se encuentra muy alejado. Para cerrar la brecha entre el estado actual del proceso y el objetivo de este trabajo de titulación se continuará el análisis mediante el uso de herramientas como el diagrama causa y efecto o también conocido como espina de pescado, el diagrama de árbol, gráfico de dispersión, y un análisis multi variable. Con la aplicación de dichas herramientas se busca lo siguiente:

- Determinar causas potenciales del comportamiento actual del proceso.
- Identificar oportunidades de mejora rápidas o *quick wins* que se presentarán en este capítulo.

### **3.1.1. Identificación de Causas Potenciales.**

Una de las herramientas básicas en un proyecto de *Six Sigma* es la de análisis de causa y efecto. Esta herramienta en sí es parte del desarrollo del DMAIC y es de suma importancia debido a que resaltarán los focos de mejora para alcanzar el objetivo de reducir la variabilidad en las máquinas elaboradoras.

Para la aplicación del diagrama de espina de pescado o diagrama de Ishikawa se utilizarán cinco categorías principales para asignar las posibles causas por las cuales el proceso de producción de PCM se encuentra con una alta variabilidad.

Las categorías utilizadas son las siguientes: Método, Máquina, Medición, Medio Ambiente, y Material. Como se puede evidenciar todas las categorías comienzan con la letra "M", por tal motivo a esta herramienta se la conoce también como el gráfico de las cinco Ms.

Cabe recalcar que para el desarrollo de este diagrama se realizó un taller o “*workshop*” con operadores y personal técnico, mecánico y eléctrico, con los cuales se discutió cada una de las causas posibles asignables al problema de alta variabilidad

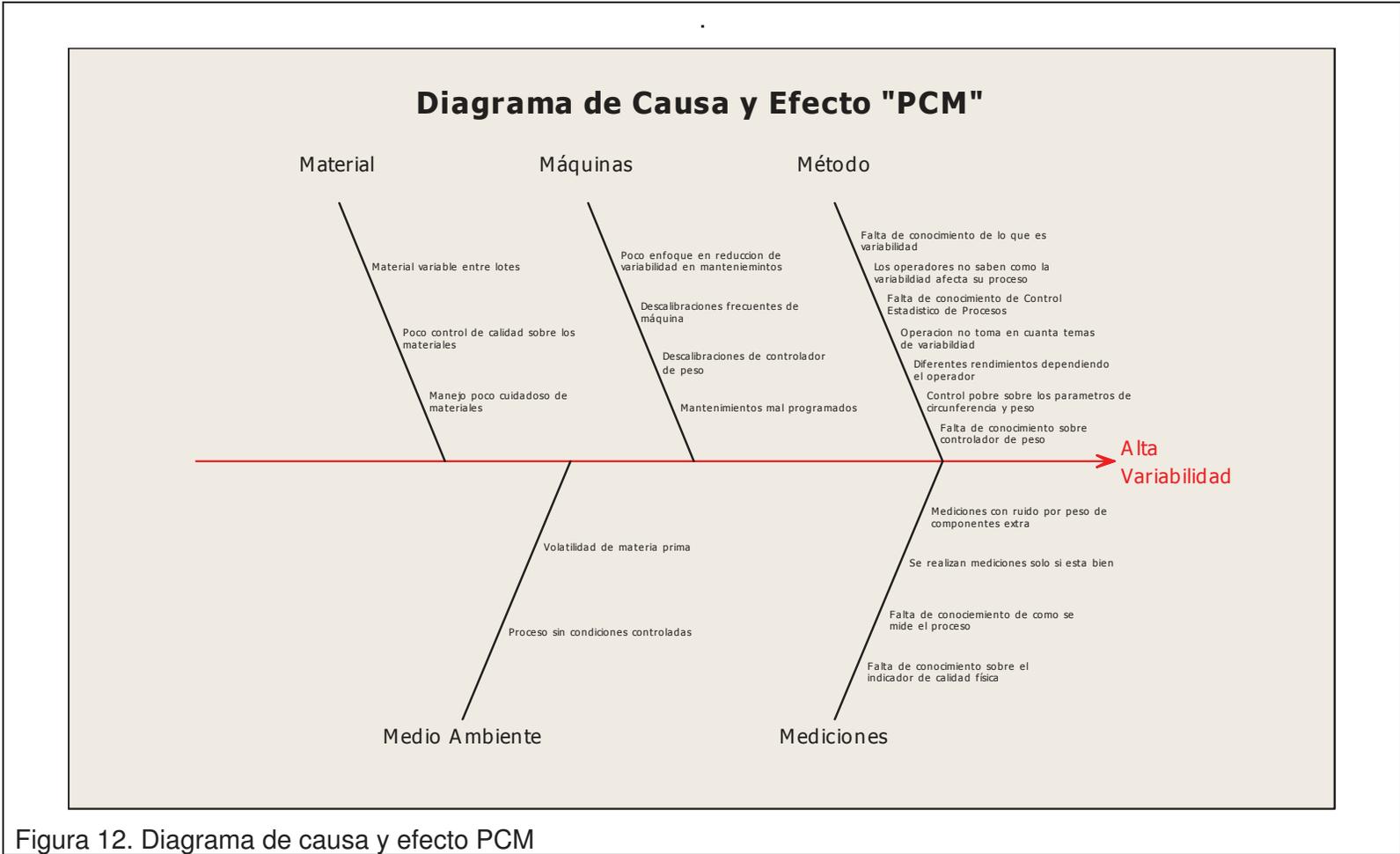


Figura 12. Diagrama de causa y efecto PCM

En el diagrama de causa y efecto presentado se puede observar las diferentes categorías que influyen en el efecto de una alta variabilidad del proceso de producción dentro de PCM. Si bien se observan causas asignadas a todas las categorías propuestas, este trabajo de titulación no cubrirá las categorías de medio ambiente, ni material. La razón por la cual se excluye medio ambiente se debe a que un reajuste o acondicionamiento del proceso de producción está fuera de presupuesto. Por otro lado, el material tampoco se toma en cuenta como punto de mejora ya que es ajeno al proceso de producción y depende netamente de los proveedores.

En consecuencia, este trabajo de titulación se concentrará en las categorías de Método y Mediciones las cuales expresan las siguientes causas:

- Falta de conocimiento de lo que es variabilidad.
- Falta de conocimiento en el manejo de Control Estadístico de Procesos.
- Diferentes rendimientos del proceso dependiendo del operador.
- Control pobre sobre los parámetros de circunferencia y peso.
- Falta de conocimiento sobre el uso del controlador de peso.
- Mediciones con ruido por peso de componentes extra.
- Se realizan mediciones solo si el proceso está bien.
- Falta de conocimiento de cómo se mide el proceso.
- Falta de conocimiento sobre el indicador de calidad física.

Se establecerán planes de acción enfocados a las causas previamente mencionadas, de esta manera se mantendrá un enfoque sobre el problema de alta variabilidad.

A continuación se presenta un “Diagrama de Árbol” para profundizar el análisis en las categorías de método y medición previamente definidas. Este diagrama de árbol sirve para explicar los vínculos racionales entre diferentes niveles de detalle de un tema específico. Este también facilita la expansión y síntesis del pensamiento asegurando un tratamiento completo y coherente debido a que permite visualizar la real complejidad involucrada en el tema. (Correa de Moura, s.f, p. 350).

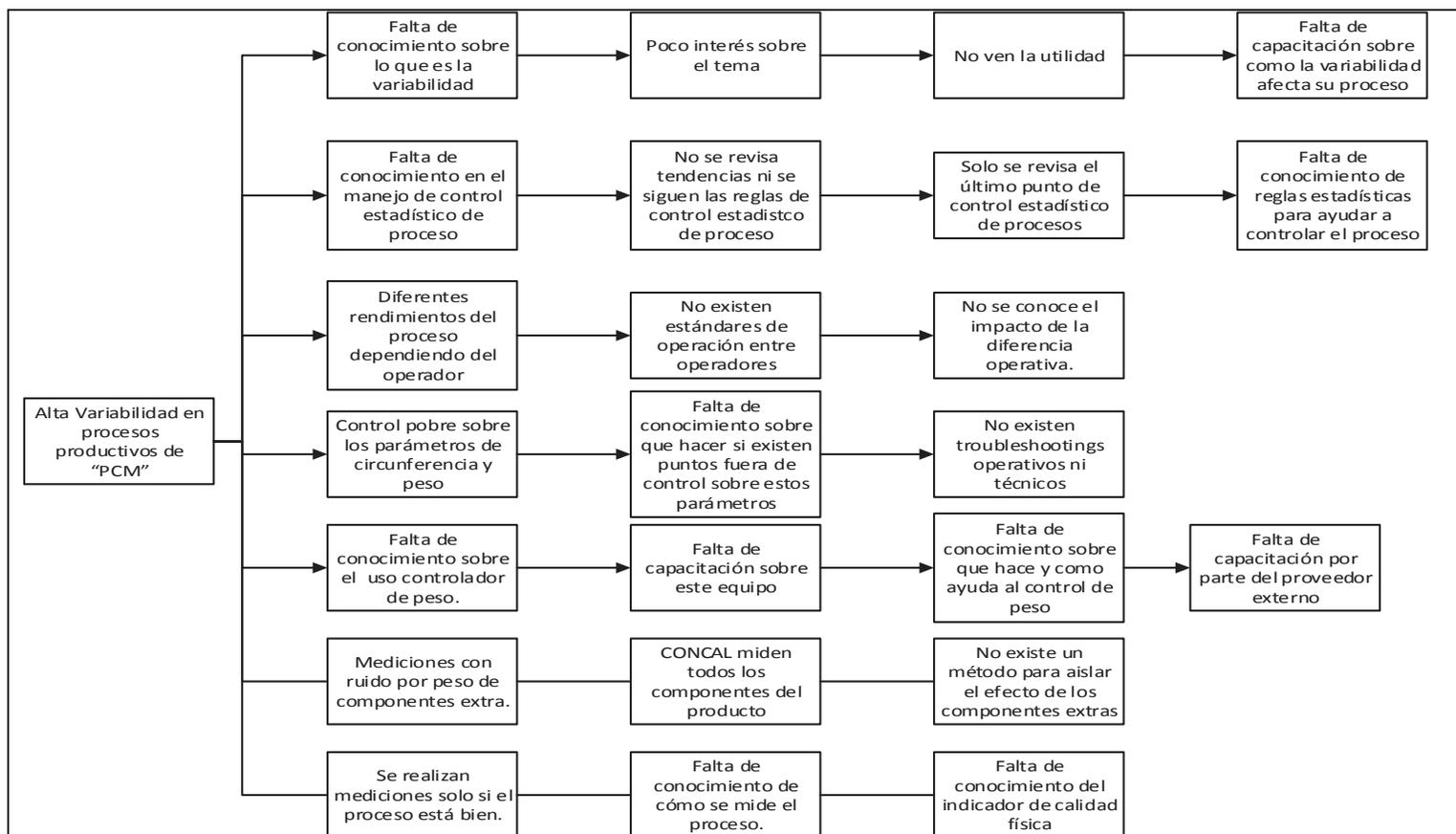


Figura 13. Diagrama de árbol del análisis de causas de alta variabilidad en procesos productivos de PCM

En el diagrama de Árbol se ha identificado las causas raíz de cada uno de los componentes de las categorías Método y Medición del diagrama de espina de pescado. De esta manera se profundiza el análisis lo cual ayuda a establecer un enfoque para los planes de acción presentados en la siguiente etapa de *Improve*.

Resumiendo las causas raíz identificadas, se concluye que existe una falta de capacitación en el personal en temas de variabilidad, control estadístico de procesos y de cómo esto afecta a su labor diaria. Es importante focalizar esfuerzos en este punto debido a que las personas trabajan día a día en el proceso de producción y contribuyen directamente con la consecución de objetivos, por lo cual su desarrollo y crecimiento es muy importante no solo para la mejora del desempeño sino también para mantener niveles altos de motivación y compromiso de la gente. Cuando las personas se dan cuenta que se está invirtiendo en su formación sin lugar a dudas se sentirán mejor con la empresa y colaborarán con las herramientas de mejora que se desarrollen en beneficio del proceso.

En las causas analizadas previamente también es importante recalcar las diferencias operativas entre los grupos de trabajo lo que está ocasionando diferentes rendimientos del proceso. Esto ejerce un impacto significativo a fin de cuentas ya que al no existir estándares de operación para el control de parámetros de calidad física se corre el riesgo de que el proceso se vuelva inestable. Por esta razón, también se ha seleccionado a este punto como un foco de mejora en la siguiente etapa.

### **3.2. Análisis de Dispersión**

Para continuar con la etapa *Analyze* se realizará un análisis de dispersión de las variables de estudio, el cual sirve para analizar si existe o no una relación entre dichas variables y saber si es que la una es dependiente de la otra o si existe algún tipo de comportamiento asociado. Para realizar este análisis nuevamente se recurrirá al programa *Minitab*, el cual ayuda a realizar el gráfico de dispersión

presentado a continuación. Para este gráfico se han tomado datos del primer periodo de estudio.

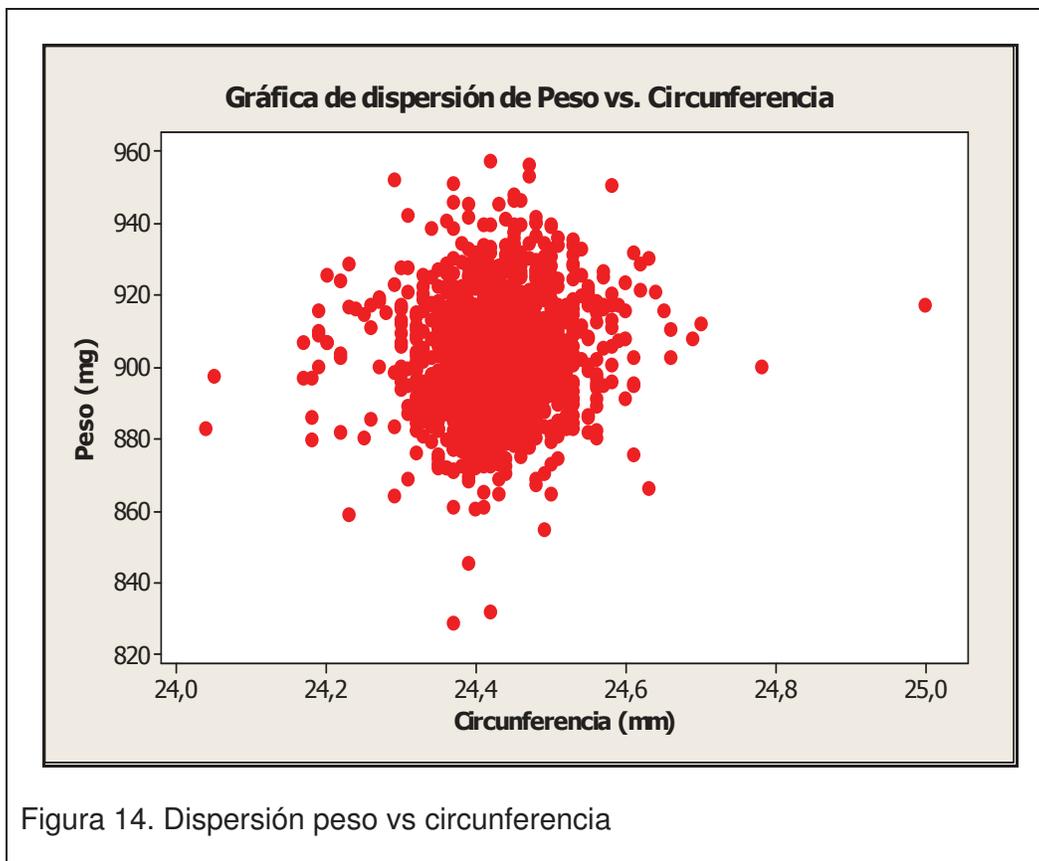


Figura 14. Dispersión peso vs circunferencia

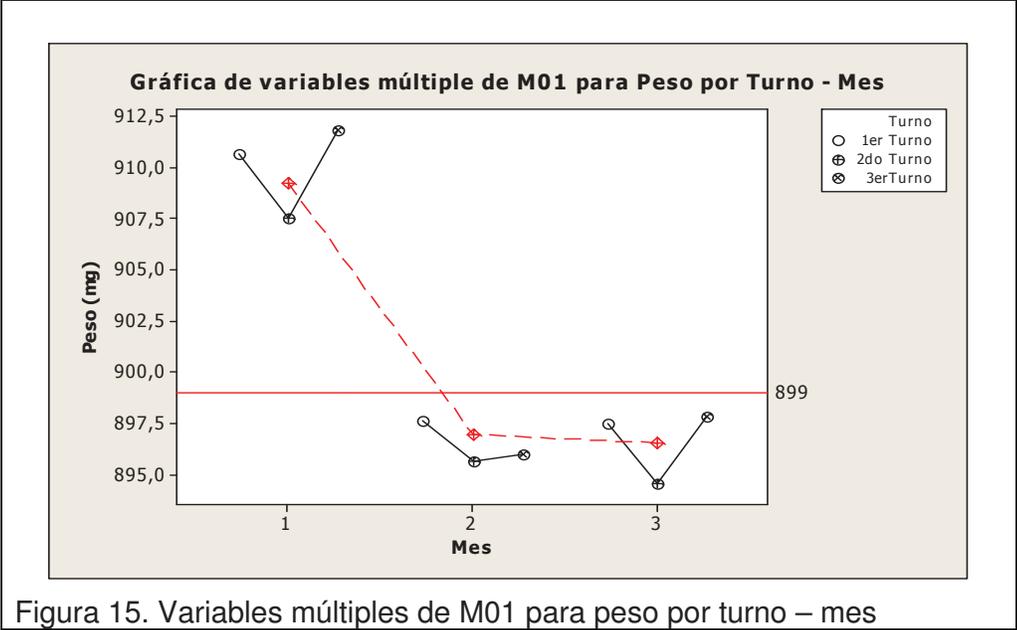
En el gráfico de dispersión se observa un comportamiento totalmente independiente de las variables de estudio, se evidencia una concentración alrededor del 24.4 mm en cuanto a la circunferencia independientemente de los valores de peso.

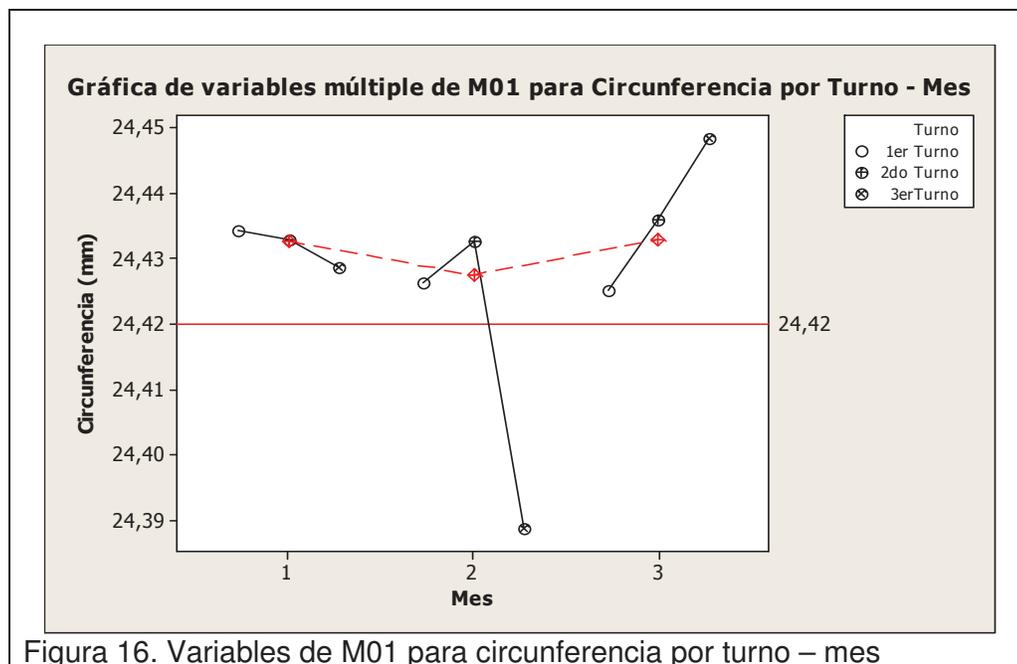
### 3.3. Análisis Multivariable

Para concluir la etapa *Analyze* se presenta un análisis multivariable para cada una de las máquinas. Un análisis multivariable es de mucha utilidad ya que permite de una manera rápida y eficiente determinar causas de variación que afecten a los parámetros de estudio. En dicho análisis se utiliza gráficos que

representan variables las cuales podrían tener injerencia o afectación sobre los parámetros de peso y circunferencia. Para la aplicación del análisis multivariable se realizó un seguimiento de las variables de peso y circunferencia durante un periodo de tres meses, que comprenden también tres turnos de trabajo distribuidos en el siguiente horario: 1er turno de 6:00 am a 14:00 pm, 2do turno de 14:00 pm a 22:00 pm y el 3er turno de 22:00 pm a 6:00 am. El objetivo de este ejercicio fue evaluar la variación de peso y circunferencia en los diferentes turnos de producción y asociarlos al rendimiento de cada máquina en busca de oportunidades de mejora.

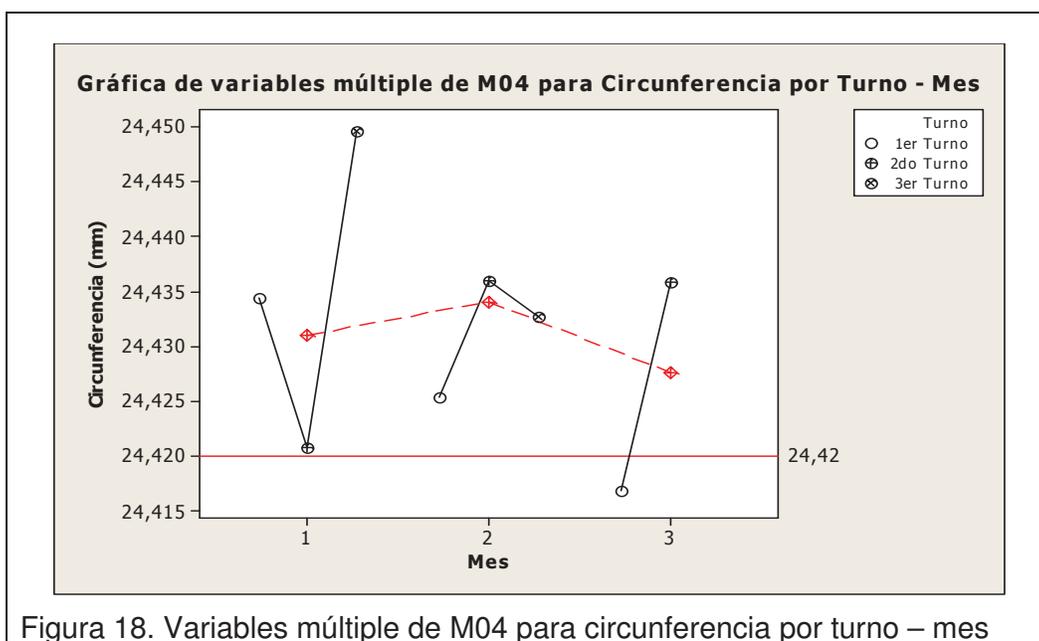
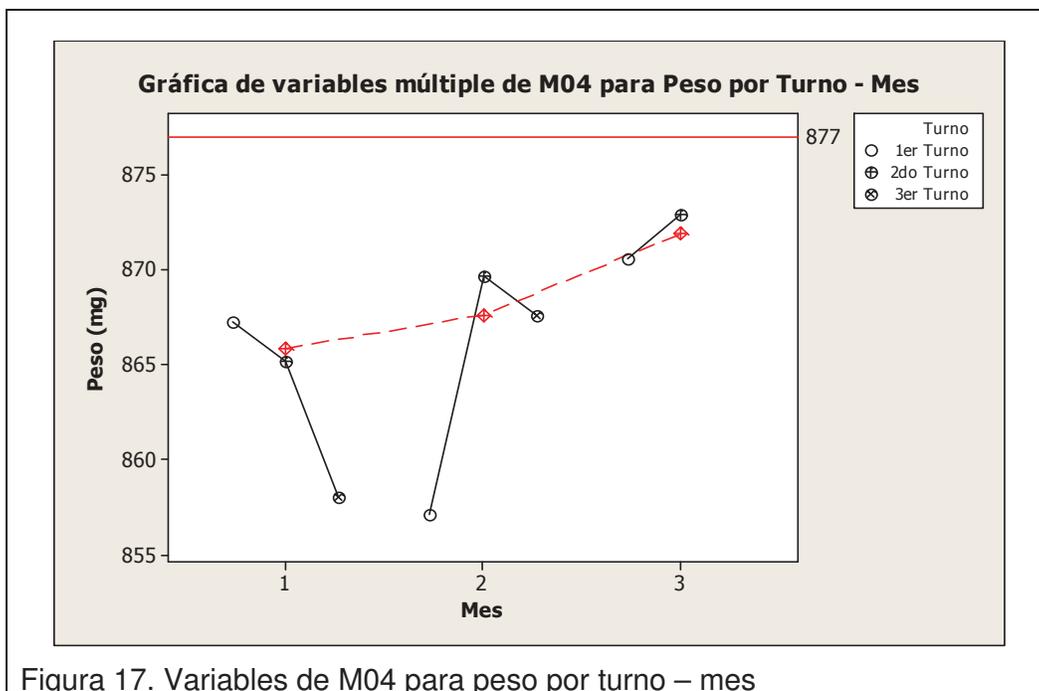
La máquina M01 tuvo el siguiente comportamiento para peso y para circunferencia:





Como se puede observar en la Figura 15, se evidencia una variación considerable de peso entre el primer mes en relación al resto de meses, sin embargo el comportamiento entre turnos no se muestra demasiado variable ya que se observan diferencias de 3 miligramos lo cual está dentro de tolerancia. Para la variable de circunferencia en la Figura 16 se observa un comportamiento estable dentro del primer mes de análisis durante los tres turnos, sin embargo en el segundo y tercer mes la variación entre turnos se vuelve considerable.

A continuación se presenta el análisis multivariable para la máquina M04.



En la Figura 17 se observa un comportamiento variable en los tres meses de análisis de los cuales los dos primeros meses presentan también una alta variación entre turnos de trabajo. También se observa que esta máquina trabajó muy por debajo del objetivo de 877 miligramos. En cuanto a la variable de circunferencia de igual manera se advierte que esta máquina presenta un

comportamiento poco estable entre turnos y en términos generales por encima del objetivo.

Para la máquina M05 se obtuvo los siguientes gráficos:

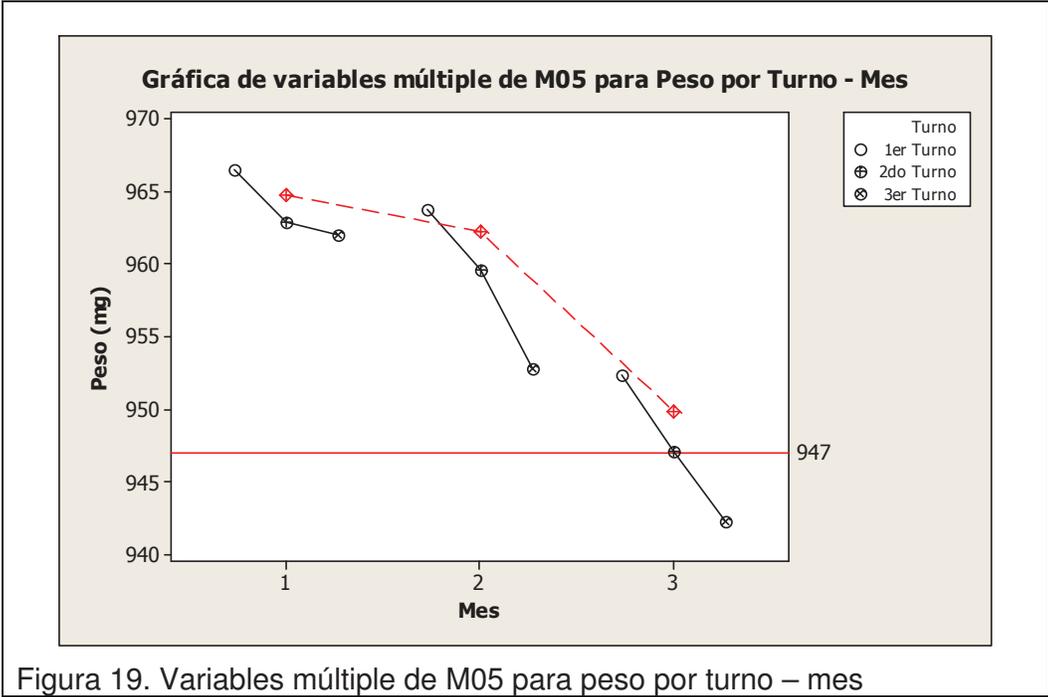


Figura 19. Variables múltiple de M05 para peso por turno – mes

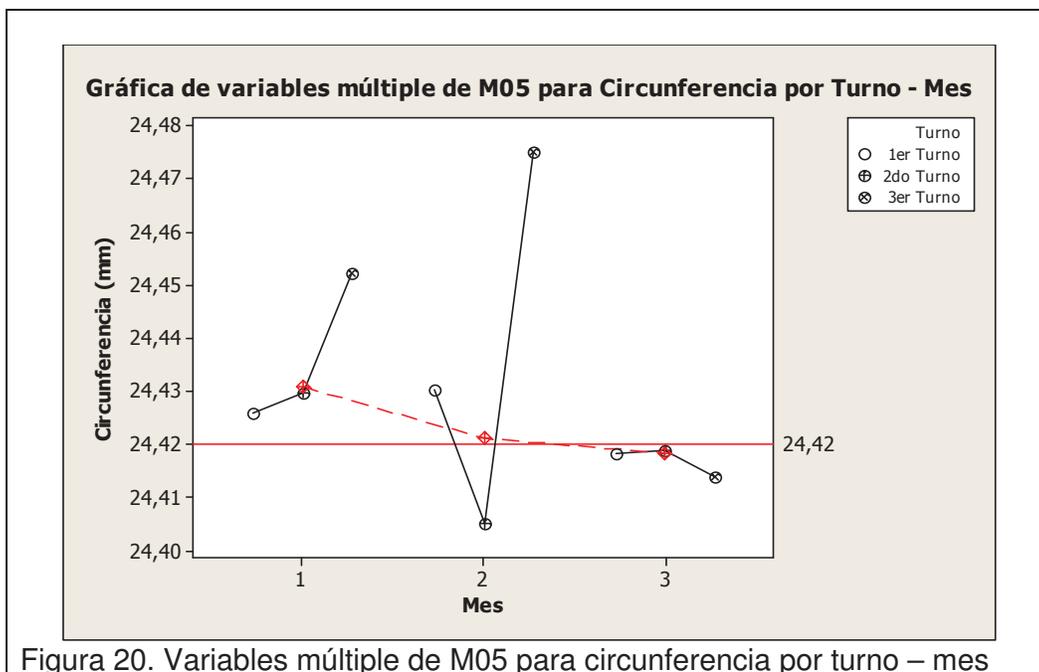
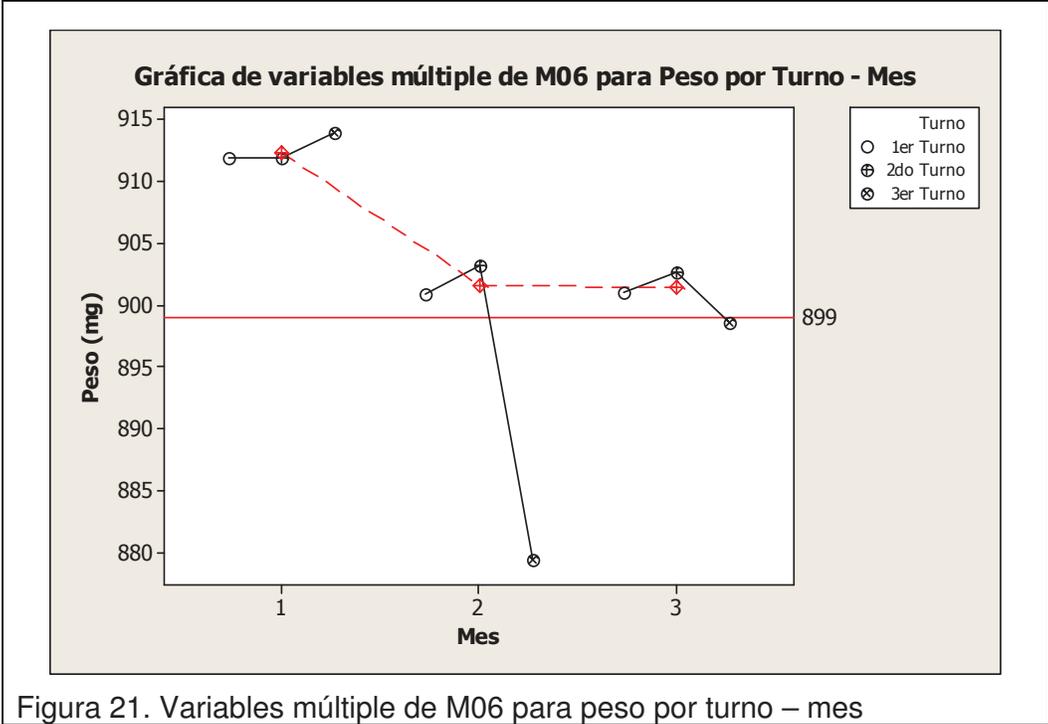


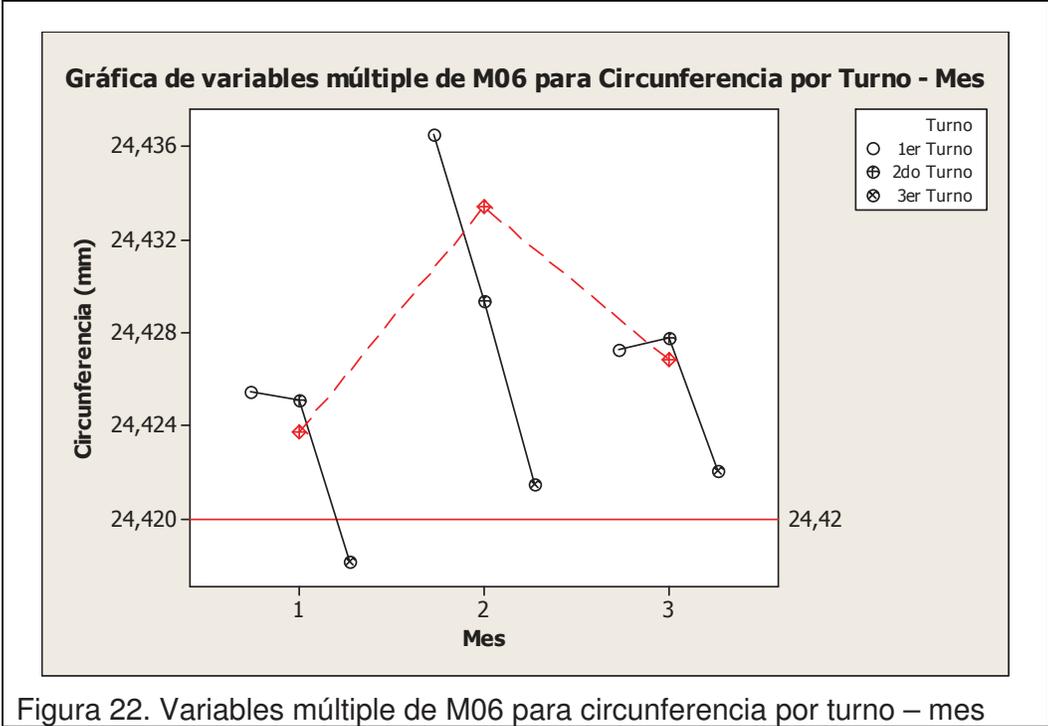
Figura 20. Variables múltiple de M05 para circunferencia por turno – mes

Esta máquina presenta un comportamiento más estable que las otras entre turnos en cuanto a peso se refiere (Figura 19), también se puede observar que en el tercer mes se trabajó mucho más cerca al objetivo tanto para peso como para circunferencia (Figura 20).

La máquina M06 presentó el siguiente comportamiento:



Para el parámetro de peso en la Figura 21 esta máquina presenta un comportamiento estable en el mes uno y tres, siendo este último el más cercano al objetivo y con menos variación entre turnos.



En cuanto a circunferencia (Figura 22) esta máquina presenta un comportamiento muy variable e inclusive por encima del objetivo en los tres meses de análisis.

Por último se presentan los gráficos multivariados de la máquina M10:

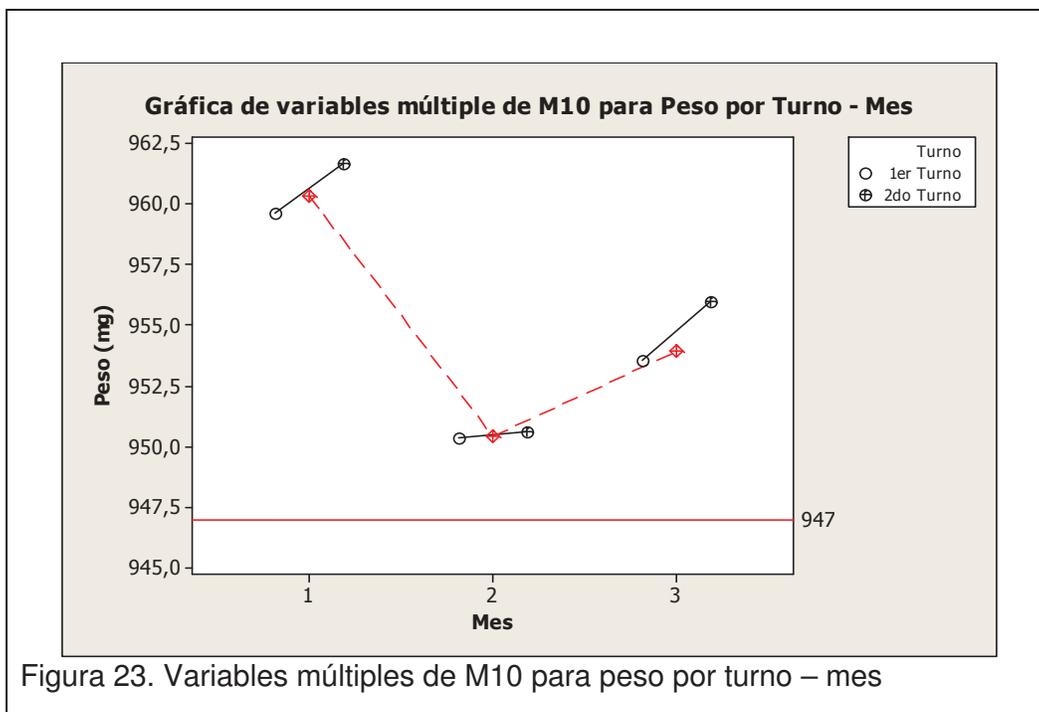


Figura 23. Variables múltiples de M10 para peso por turno – mes

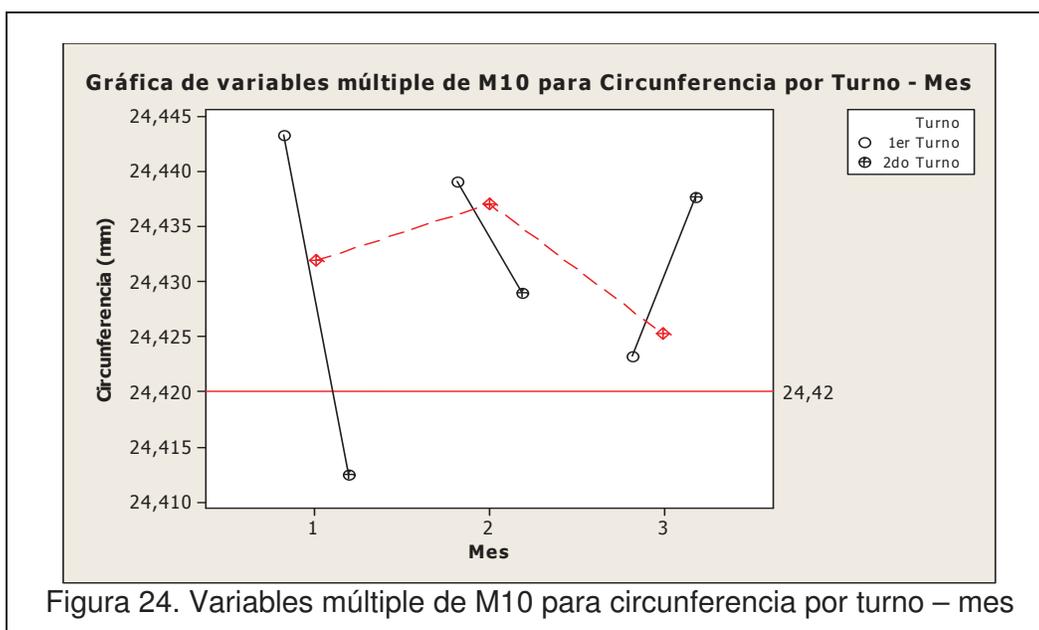


Figura 24. Variables múltiples de M10 para circunferencia por turno – mes

Esta máquina presenta un mejor comportamiento en el parámetro de peso en la comparación de turnos (Figura 23), sin embargo en los tres meses de análisis se ha trabajado por encima del objetivo. En cuanto al parámetro de circunferencia (Figura 24) se observa un comportamiento muy variable entre turnos, en especial el primer mes, también se observa que se trabajó por encima del objetivo.

Tras haber analizado el estado actual del proceso y el rendimiento de las diferentes máquinas en PCM, se pudo determinar las causas principales de variación en el proceso con la ayuda de los operadores y de las diferentes herramientas de análisis aplicadas. Con la etapa *Analyze* concluida, se comprende de mejor manera la variación del proceso entre turnos y en los diferentes meses de análisis. Con esta información y con el levantamiento de causas principales de variación se procederá a la fase *Improve* en donde se aplicarán diferentes mejoras al proceso con el objetivo de reducir su variabilidad.

## CAPITULO 4

### 4. ETAPA *IMPROVE* (MEJORAR)

El foco principal de la etapa *Improve* se basará en el análisis de causas identificadas en la etapa previa, y se atacarán cada una de estas mediante diferentes planes de acción los cuales se detallan en este capítulo. Los objetivos principales de esta etapa son: atacar cada una de las causas de alta variación en el proceso mediante la implementación de planes de acción con un impacto positivo sobre el mismo y la ejecución de *quick wins* identificados en la etapa previa, así como también el desarrollo del personal en temas de mejora continua.

#### 4.1. Capacitaciones o Quick Wins

Uno de los principales planes de acción de este trabajo de titulación trata acerca del desarrollo del personal; es importante mencionar y dejar en claro que son los operadores quienes pasan su jornada diaria de ocho horas junto a las máquinas y su desempeño influye directamente en el cumplimiento de objetivos e indicadores. Por tal razón se vio la necesidad de desarrollar al personal operativo y técnico en temas de variabilidad y mejora continua y aplicar esta acción de manera inmediata (*quick wins*) a través de un plan de entrenamiento, el cual se lo implementó en los tres turnos de trabajo.

##### 4.1.1. *Workshop* Variabilidad

El plan mencionado se enfocó en instruir al personal operativo y técnico a través de talleres o *workshops* sobre el concepto de variabilidad y de cómo ésta afecta al proceso. El primer *workshop* se realizó a lo largo de toda la planta con una duración de tres horas por turno. Es importante mencionar que se contó con la participación y respaldo de la alta dirección para validar el plan de entrenamiento

y destinar los recursos necesarios para que éste se implemente de manera óptima. El contenido que se trató en este *workshop* fue el siguiente:

- Entendiendo la variación.
- Como la variación afecta mi proceso.
- Causas de variación.
  - Causas comunes.
  - Causas especiales.
- Dinámicas y ejercicios de variabilidad
- Evaluación de conocimientos adquiridos

A continuación se observan imágenes de este primer taller.



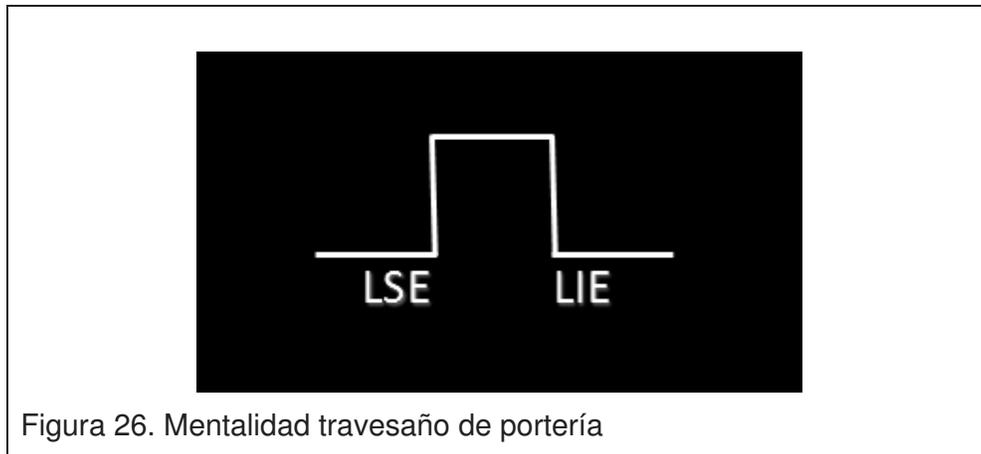
la primera etapa los jugadores pueden mover el embudo tratando de llegar al objetivo, una vez concluida la primera etapa se observa la dispersión de los datos en el papel aluminio y se los compara con la segunda etapa en la cual a los jugadores no se les permite mover el embudo. Por medio de esta dinámica se concluye que muchas veces por querer alcanzar un objetivo aumenta la variación del proceso ya que se incluye una causa especial de variación (Figura 25). Estas capacitaciones también incluyeron una evaluación para demostrar el conocimiento adquirido, la cual es también requisito dentro de PCM para considerarla como horas de capacitación dictadas durante el año.

Finalmente se logró el objetivo de aclarar varios conceptos que se tenían mal interpretados, con la participación activa de operadores y del departamento técnico tanto eléctrico como mecánico. Adicionalmente se logró establecer las causas comunes y las causas especiales de variación que afectan al proceso y con esto se enfatizó la importancia de trabajar sólo bajo causas comunes para poder mejorar continuamente.

#### **4.1.2. Mejora Continua en cuanto a Variabilidad**

Una vez que los operadores y el personal técnico tuvieron claro los conceptos básicos de variabilidad se realizó una segunda etapa de este taller el cual incluyó los siguientes temas:

- **Mentalidad travesaño de portería:** Mentalidad de trabajo que se opone a la mejora continua ya que se conforma con estar dentro de los límites de control.



- Función pérdida de Taguchi: Mentalidad a la cual se quiere llegar, ya que reta a mejorar aun estando dentro de los límites de control. Cualquier desviación del objetivo ya se considera una perdida.
- Ejercicios prácticos.
- Evaluaciones de conocimiento adquirido.

En esta segunda etapa se introdujeron estos dos conceptos de variabilidad que causan un gran impacto en cómo la gente piensa respecto a este tema y específicamente en el no conformarse con estar dentro de los límites de control sino que siempre ir más allá y buscar acercarse cada vez más al objetivo.

#### 4.1.3. Indicador de Calidad Física

Para continuar con la implementación de *quick wins* se realizó un nuevo entrenamiento el cual tuvo como objetivo aumentar el conocimiento de la gente sobre cómo se mide el proceso.

Los temas fundamentales de esta nueva capacitación fueron:

- Indicador de calidad física ICF.

- Afectación de variabilidad o Spread sobre el indicador.
- Aclaración sobre las mediciones para el control estadístico de proceso.
- Evaluaciones de conocimiento adquirido.

Como parte de este entrenamiento se aclaró el tema de las mediciones en los “CONCAL” para el control estadístico de procesos, con esto se logró que los operadores ingresen datos según el método establecido de medición y no se limiten a registrar los datos solo si el proceso marcha bien. Es importante mencionar que lo que no se mide no se controla y lo que no se controla no mejora, por esta razón se han enfocado esfuerzos en capacitar a los colaboradores en este en este indicador y que se den cuenta cómo la variabilidad o *Spread* tiene una afectación directa sobre el desempeño del proceso.

#### **4.2. Control Estadístico de Procesos sobre el Peso de Materia Prima**

Uno de los principales ruidos que afectan al parámetro de peso es que los “CONCAL” realizan mediciones sobre el peso completo del producto final, el cual incluye materia prima, aditamentos de empaque e insumos. Estos dos últimos en particular disminuyen la confiabilidad de las mediciones obtenidas debido a que su peso es extremadamente variable.

Es aquí donde se enfocó el siguiente plan de acción, que consistió en desarrollar un Control Estadístico de Procesos (CEP) sobre las mediciones de peso de materia prima exclusivamente, para aislarlas de los efectos de ruido de los demás componentes. Con la participación activa de operadores e inspectores de calidad se creó un método para el pesaje exclusivo de materia prima el cual consiste en retirar diez productos antes de que sean adheridos a sus componentes extras y con estos realizar un pesaje en balanzas. Una vez realizado dicho pesaje se ingresan los datos en un programa desarrollado en Excel para el registro de estos pesos, el mismo que cuenta con animaciones en

*Visual Basic* para la programación de las diferentes macros. A continuación se presentan imágenes del programa desarrollado.

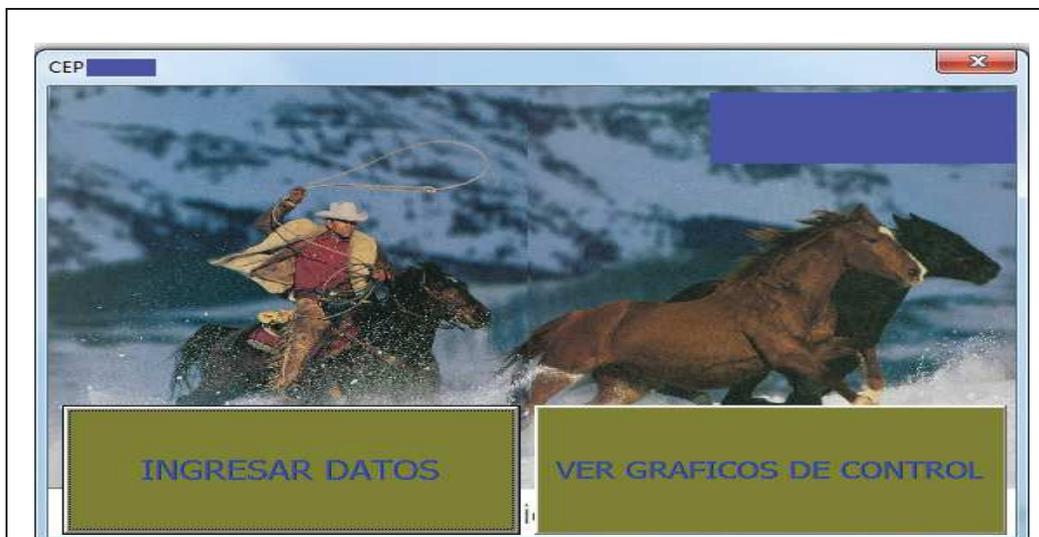


Figura 27. Captura pantalla inicial CEP materia prima

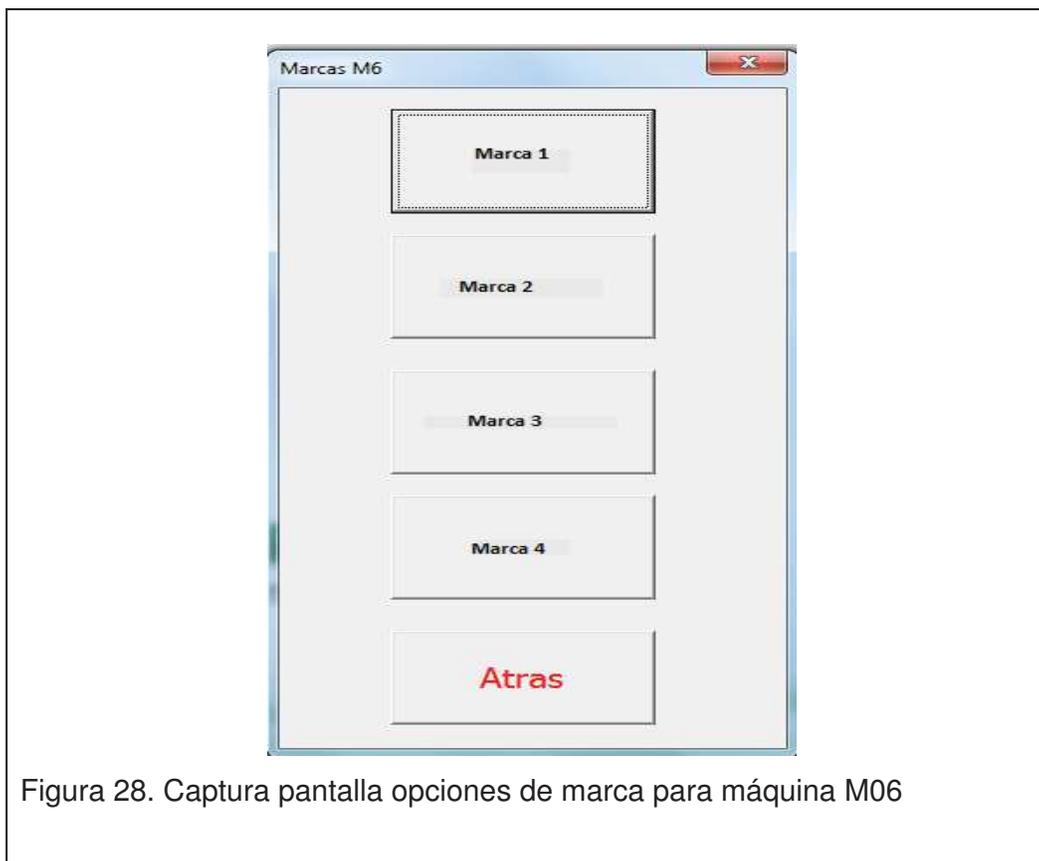


Figura 28. Captura pantalla opciones de marca para máquina M06



Figura 29. Captura pantalla ingresos de pesos

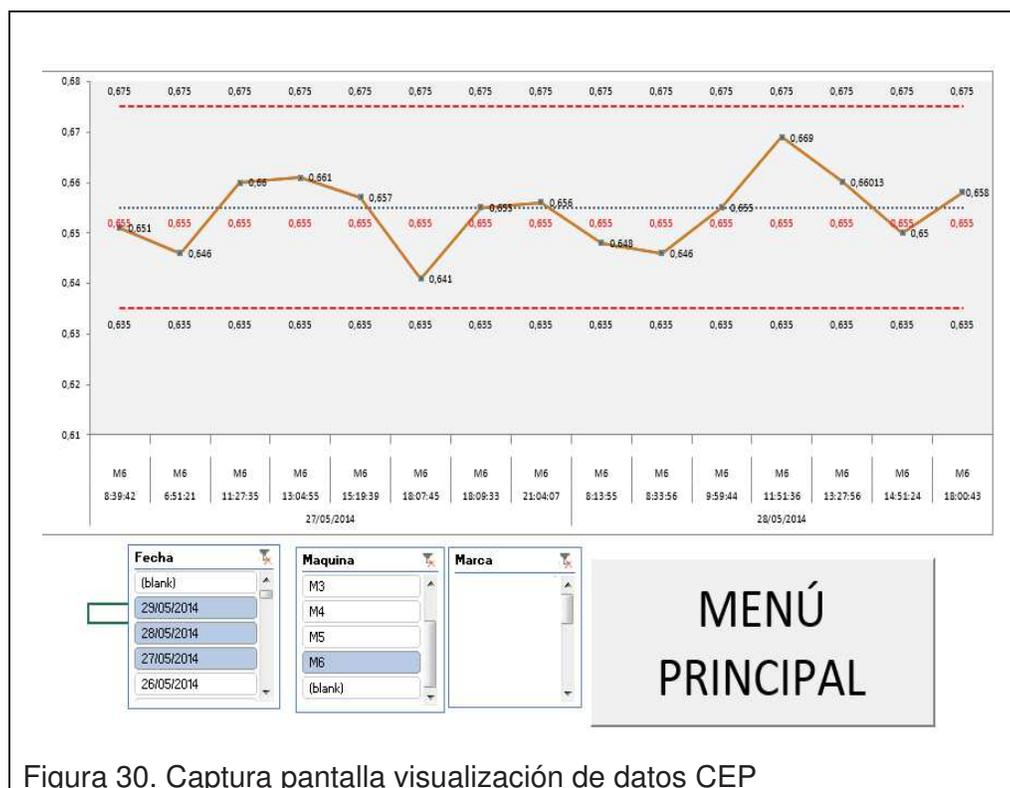


Figura 30. Captura pantalla visualización de datos CEP

Como se observan en las Figuras 27, 28, 29 y 30 el programa se divide en dos partes principales, siendo la primera la interfaz ingreso de datos de peso de materia prima y la segunda la visualización de los gráficos de control. En la parte de ingreso de datos los operadores tienen la opción de seleccionar cualquiera de las máquinas en la que estén trabajando, y según esto se despliega la

siguiente pantalla de las marcas correspondientes a cada máquina. Una vez seleccionada la marca aparece la pantalla para el ingreso de datos los cuales posteriormente se pueden observar desplegados en un gráfico X-barras.

Con la ayuda de este programa se pudo establecer un control estadístico de procesos sobre la materia prima la cual se controla cuando se mide el parámetro de peso dentro de PCM. El registro de datos y la visualización gráfica de los puntos se realiza una vez cada veinte minutos, con lo cual se alinea al método de medición de los "CONCAL". De esta manera se ha logrado evitar la variabilidad ingresada en las mediciones por los componentes extras o aditamentos y se ha logrado controlar de mejor manera el parámetro de peso.

#### **4.3. Control Estadístico de Procesos con *Troubleshooting***

Hasta el momento dentro de la etapa *Improve* se han implementado *quick wins* mediante entrenamientos en diferentes temas que ayudan al desempeño del proceso, además de la puesta en marcha de un programa de CEP sobre la materia prima. A continuación se presenta otro plan de acción que se implementó para la mejora de la variabilidad del proceso de elaboración dentro de PCM.

Una de las causas de variación identificadas en la etapa *Analyze* fue la falta de conocimiento y manejo de CEP, por lo que, además de capacitar al personal en esta metodología, se implementó un plan de acción complementario para anclar los conocimientos adquiridos por los grupos de trabajo.

Sin duda alguna, dentro del CEP, es un reto el recordar todas las reglas estadísticas de control, y hacerlo en el día a día representa una complicación aún más grande tanto para los operadores de las máquinas como para los inspectores de calidad. Por tal motivo se atacó este inconveniente mediante el uso de ayudas visuales que faciliten el manejo de las diferentes reglas estadísticas aplicadas en PCM, las cuales se mencionan en el inciso 2.2.5 del capítulo 2.

El programa creado consiste en una primera pantalla en la cual se selecciona la situación a la que se está enfrentando el operador.

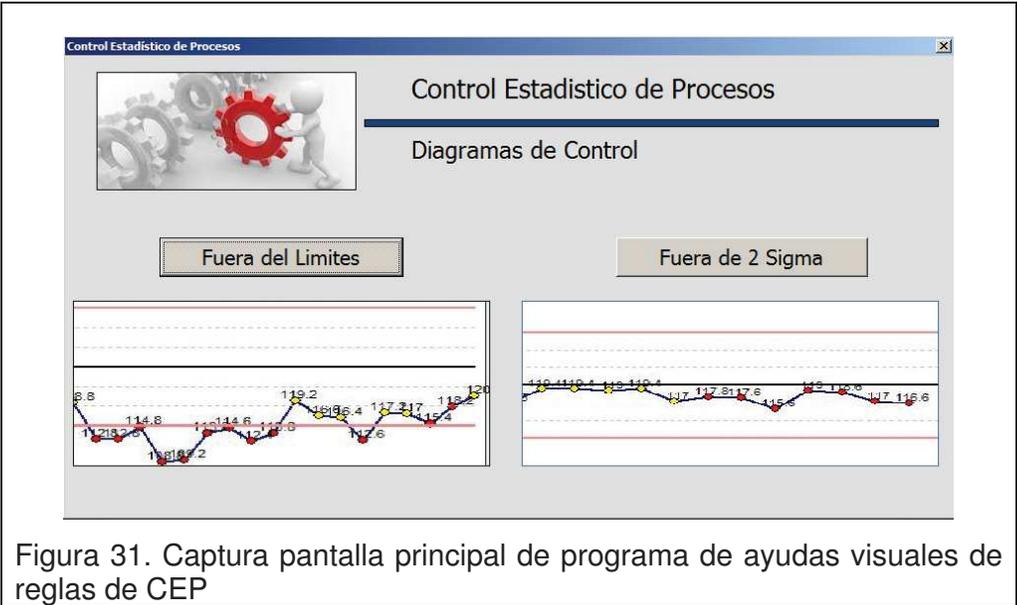


Figura 31. Captura pantalla principal de programa de ayudas visuales de reglas de CEP

Luego se despliega otra pantalla en donde se elige el parámetro de calidad física sobre el cual se está teniendo problemas, para el ejemplo se selecciona primero la opción “fuera de límites” (Figura 31), seguido del parámetro de peso (Figura 32).

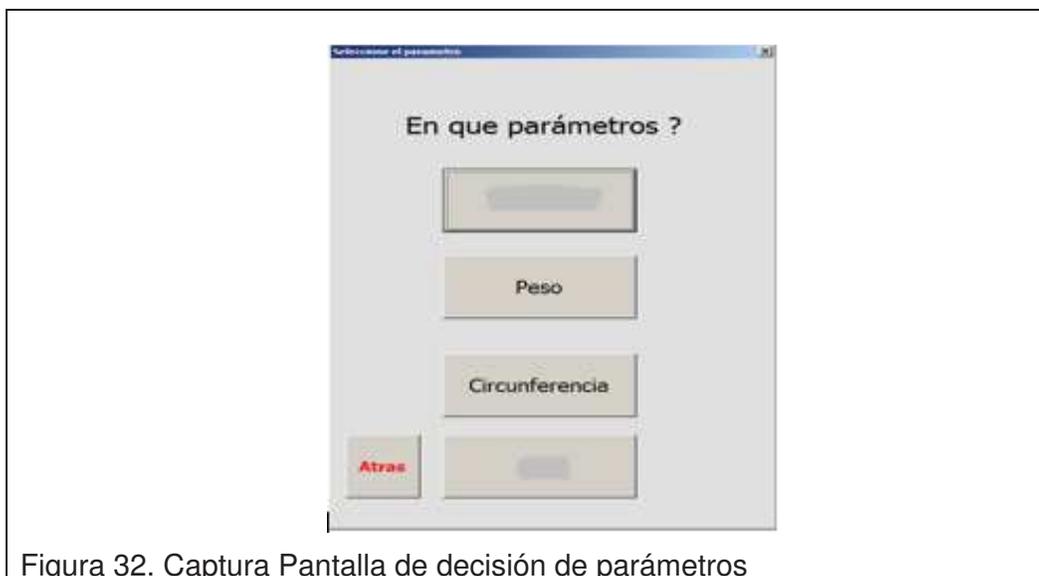


Figura 32. Captura Pantalla de decisión de parámetros

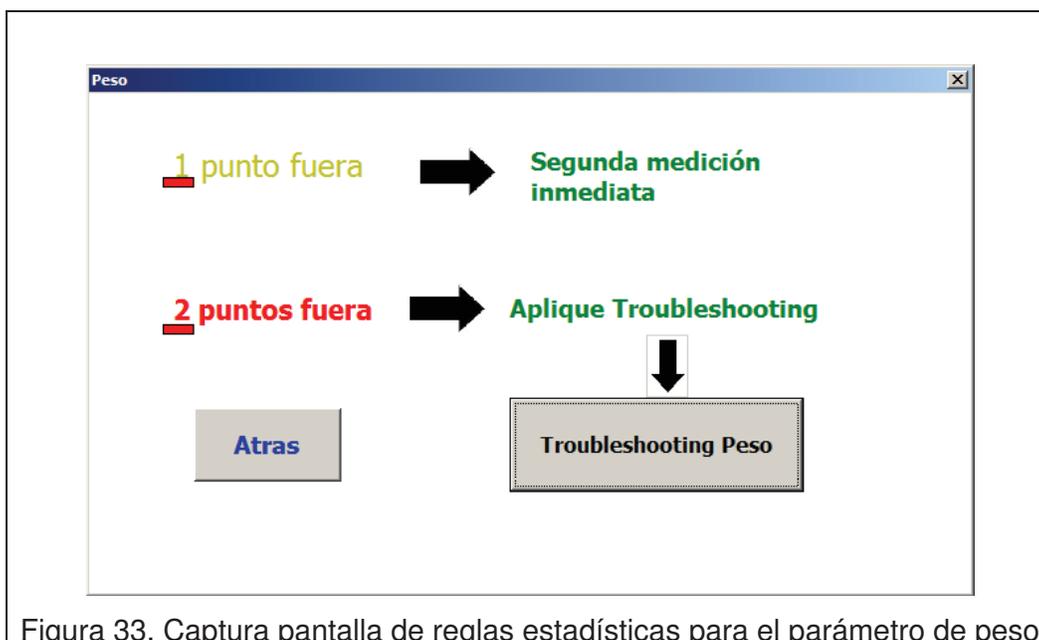


Figura 33. Captura pantalla de reglas estadísticas para el parámetro de peso

Como se puede observar en la Figura 33, una vez que se selecciona el parámetro, aparece una nueva ventana con las reglas estadísticas aplicadas y lo que el operador debería hacer en cada caso, para lo cual se incluye un enlace al *troubleshooting* que se presenta a continuación.

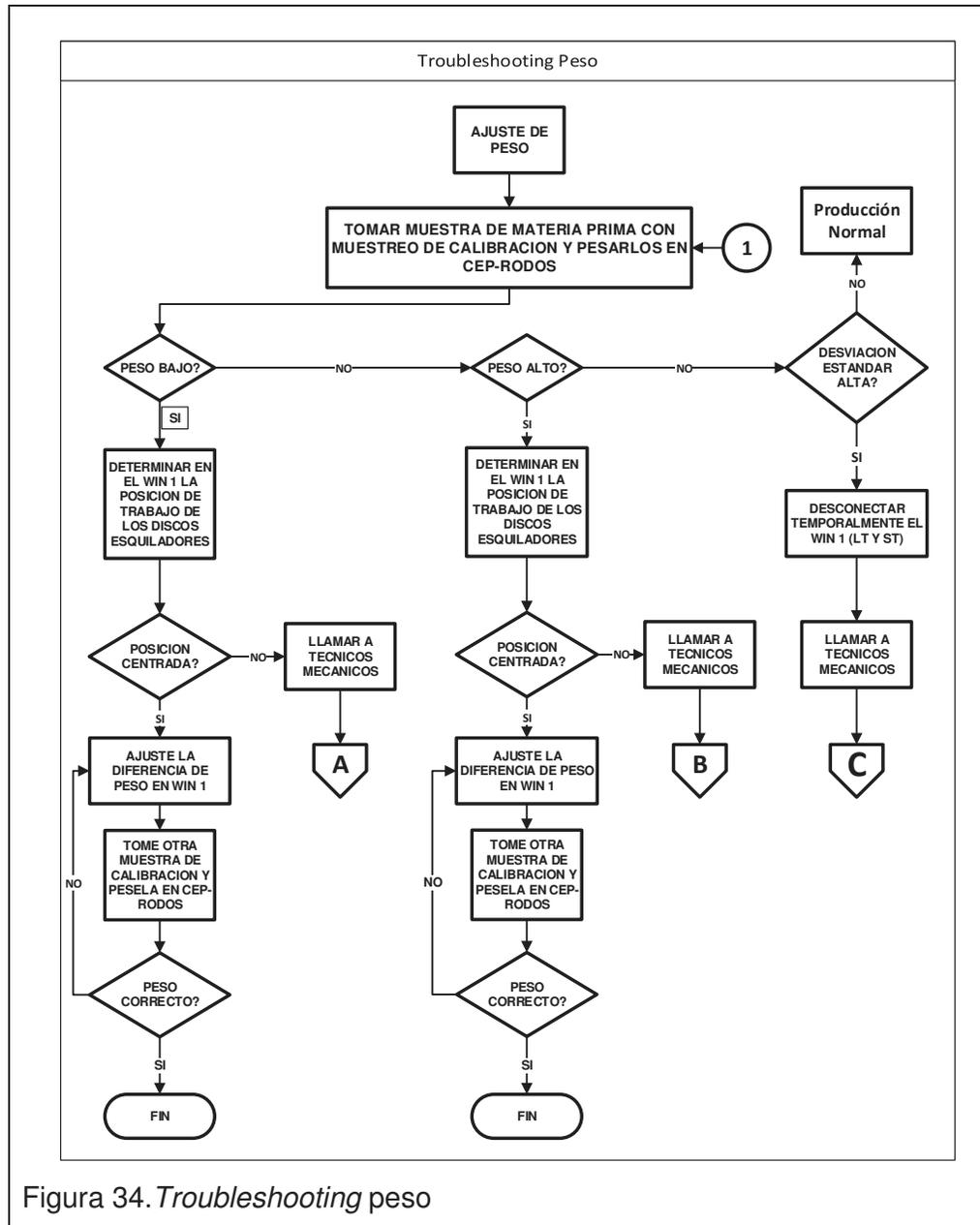


Figura 34. *Troubleshooting* peso

Este *troubleshooting* (Figura 34) incluye todas las opciones posibles para un problema en el parámetro de peso, al igual que un enlace hacia un *troubleshooting* técnico en el caso que sea necesario. En la primera alternativa el operador debe escoger con qué problema se está enfrentando: peso alto, peso bajo, o alta desviación estándar, y posteriormente él debe seguir la secuencia lógica hasta solucionar el inconveniente por cuenta propia o requerir el soporte del departamento técnico, el cual también cuenta con flujogramas propios de

asistencia para su correcta intervención. Estos *troubleshootings* técnicos se presentan a continuación, el flujograma A es para cuando existen problemas de peso alto (Figura 35), el flujograma B para peso bajo (Figura 36) y el flujograma C para desviación estándar alta (Figura 37).

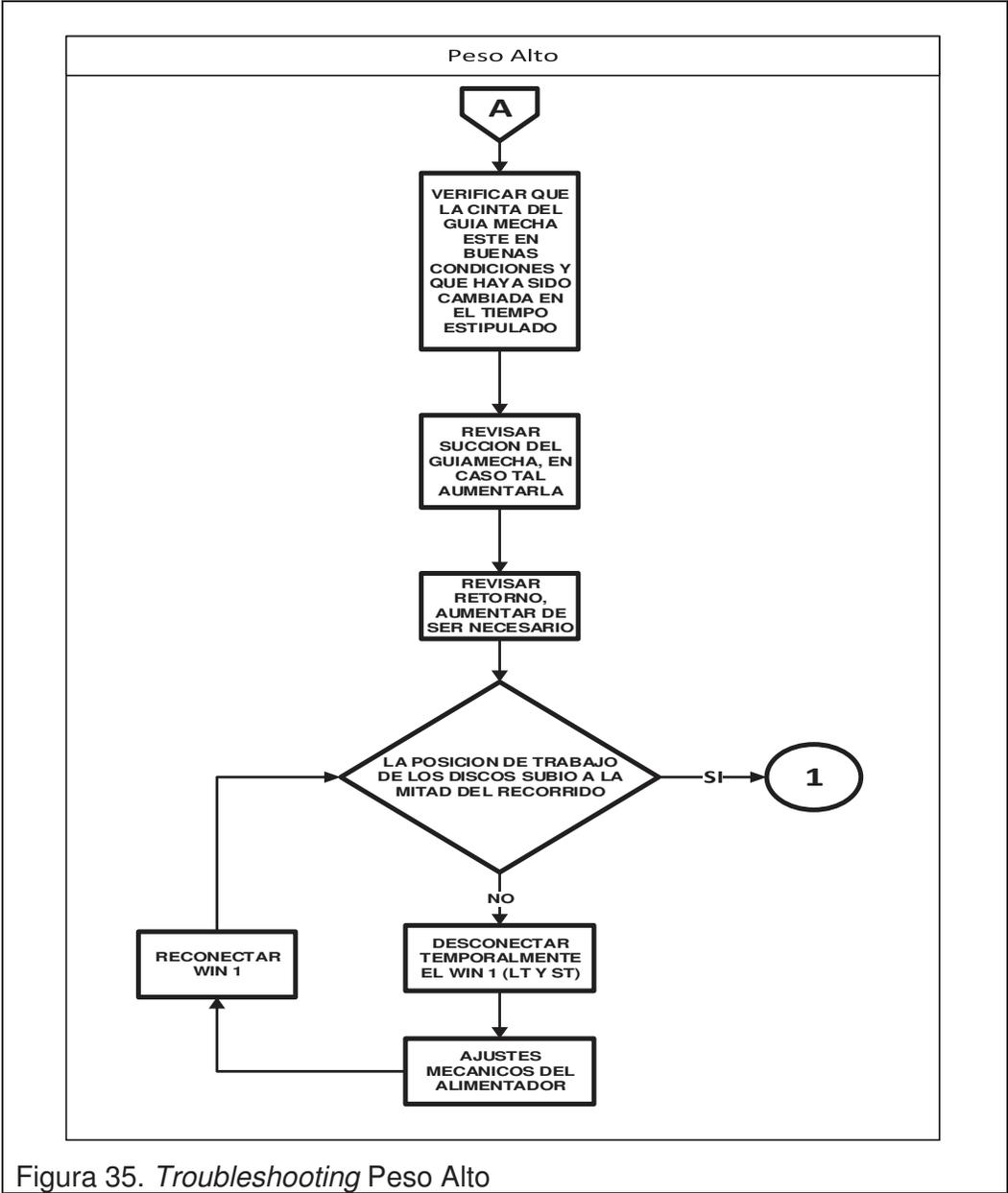
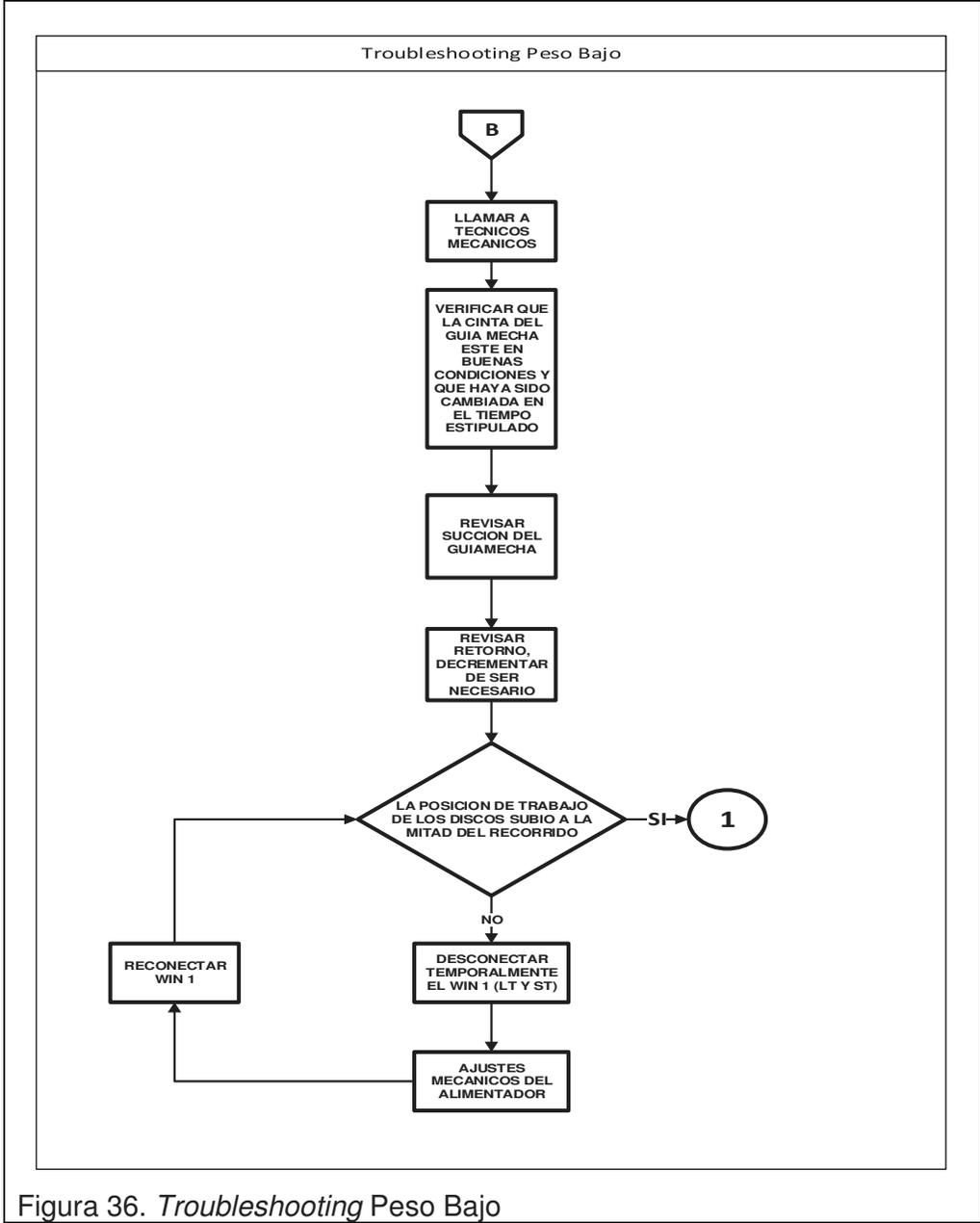


Figura 35. Troubleshooting Peso Alto



Los *troubleshootings* para peso alto (Figura 35) y peso bajo (Figura 36) son muy similares debido a que la secuencia operativa para la resolución de problemas es prácticamente la misma. Lo primero que se debe hacer es verificar el estado de la máquina y de las partes que afectan al peso, así como también la succión de la máquina que es vital para que este parámetro se encuentre dentro de especificaciones. Una vez revisados estos puntos se procede a revisar retornos de materia prima en la máquina y si los niveles de este parámetro se encuentran

dentro de estándar. Luego se procede a realizar ajustes mecánicos para concluir con la comprobación de pesos en el programa de CEP sobre materia prima.

El siguiente flujograma describe lo que se debería hacer en el caso de enfrentarse al problema de desviación estándar alta.

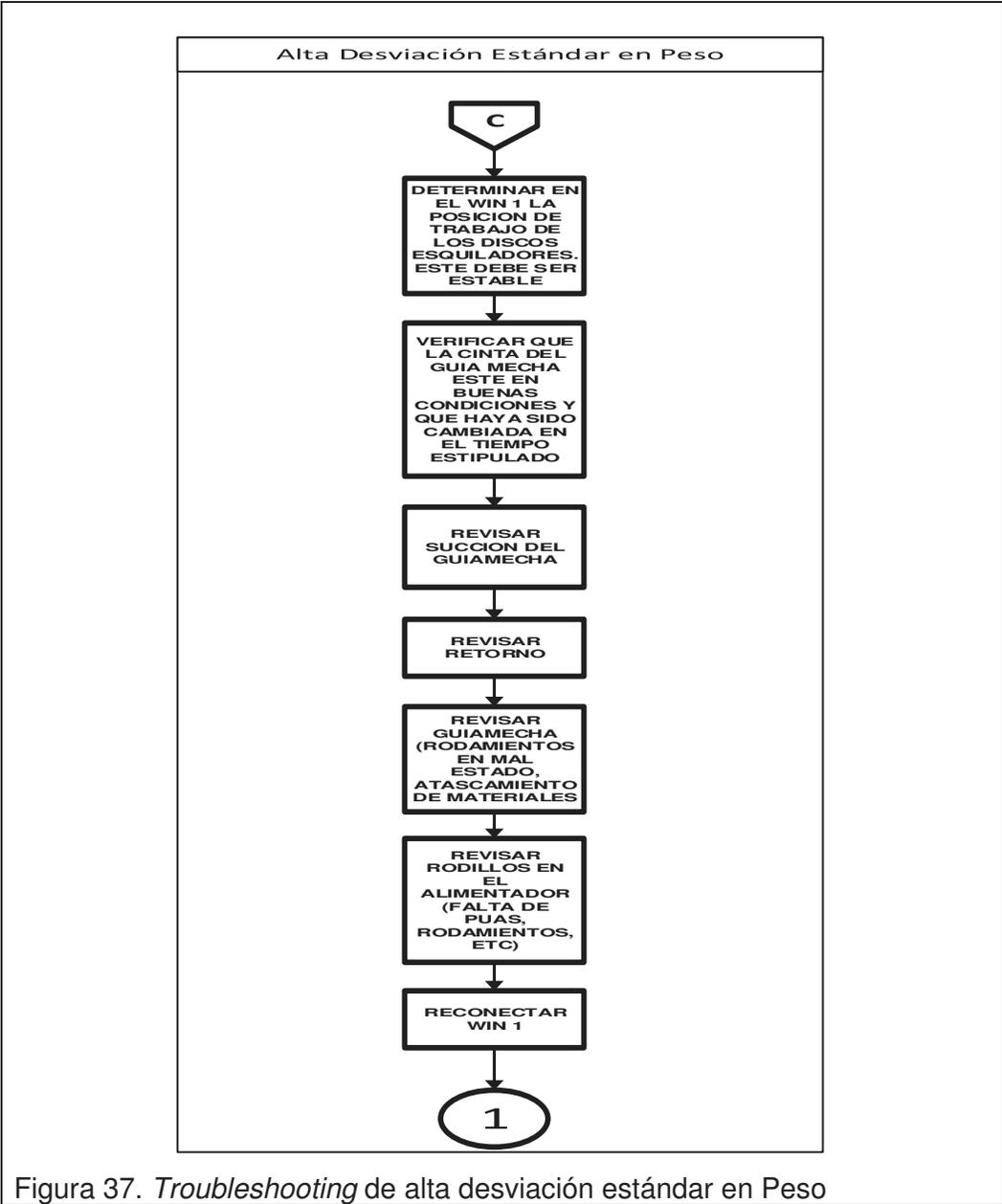


Figura 37. Troubleshooting de alta desviación estándar en Peso

Con este flujograma (Figura 37) se completa la serie para el parámetro de peso y como se puede observar en el gráfico se realizan diferentes recomendaciones del tipo checklist para cubrir los daños comunes en la máquina que pueden producir una alta variabilidad o desviación estándar en el parámetro de peso.

Cómo se puede ver en las imágenes, el programa desarrollado es simple pero de mucha ayuda ya que brinda acceso de manera rápida y simplificada a reconocer las reglas de control estadístico de procesos. Estos *troubleshootings* fueron desarrollados con la ayuda del departamento técnico, tanto mecánico como eléctrico, con el fin de simplificar las tareas y asegurar el correcto accionar de los operadores y técnicos en el caso de enfrentarse a los problemas del día a día. Cabe mencionar que estas guías para la toma de decisiones se las desarrolló para todos los parámetros y considerando las reglas estadísticas aplicadas que se mencionaron anteriormente. De esta manera también se atacó la causa de variación debido a la falta de estandarización de la parte operativa para el control de los parámetros de calidad física.

#### **4.4. Implementación de un Indicador de Desempeño**

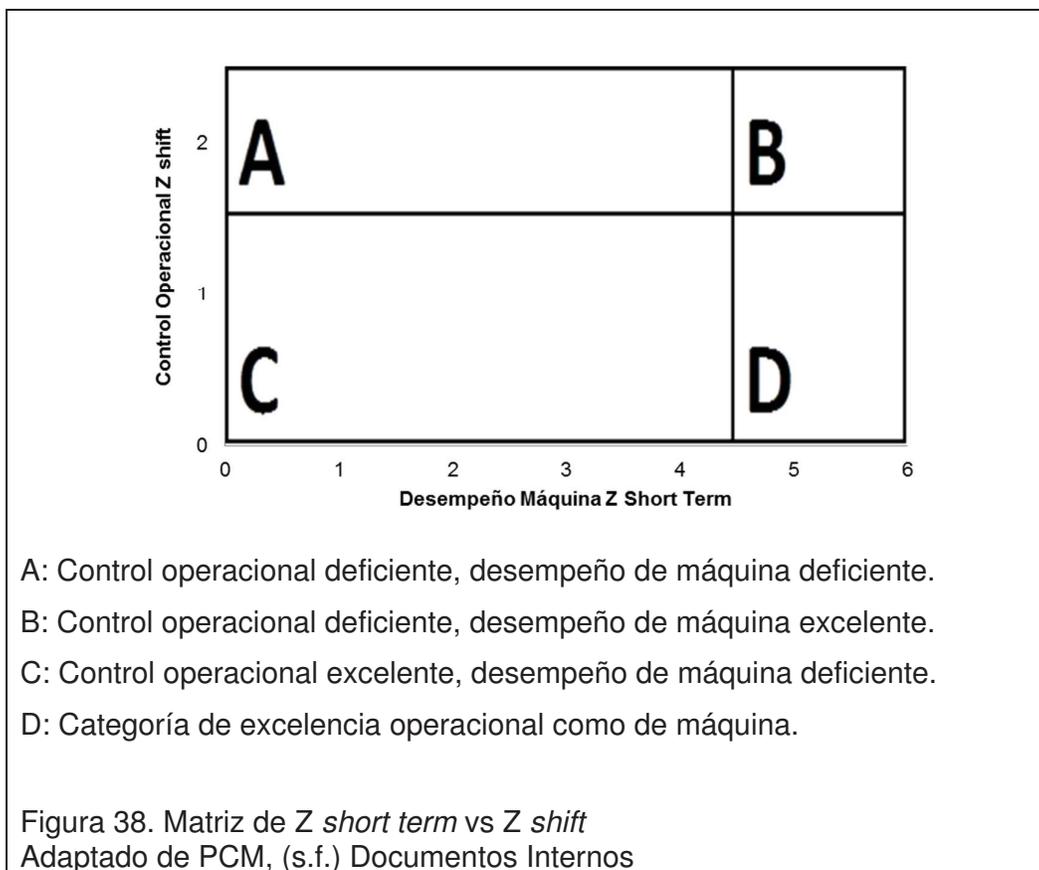
Para continuar con los planes de acción para la mitigación de las causas de variación identificadas anteriormente, se implementó un nuevo indicador de desempeño que permite comparar el rendimiento de cada máquina contra el desempeño de cada operador. Con este indicador se identifica el nivel de competencia que tienen los distintos operadores, además de las necesidades de capacitación específicas para cada caso.

Este indicador se basa en el estudio de capacidad de proceso de las máquinas y específicamente en los valores *Z bench* que se explicaron anteriormente. Cabe recordar que parte del estudio de capacidad de proceso arroja estos valores de variación para el corto y el largo plazo, *Z short term* y *Z long term* respectivamente.

La variación a corto plazo con su indicador *Z short term* es asignable a variaciones netamente de máquina, la misma considera un periodo muy corto en donde no hay afectación del operador ni de causas especiales ajenas a la máquina. Por otro lado, la variación a largo plazo con su índice de *Z long term* considera la variación de todas las causas que afecten al proceso en un periodo de tiempo mayor, como las imputables al control operacional, a las causas especiales y al desempeño de la máquina en sí, etc.

Por lo tanto, si se resta la variación a corto plazo (*Z short term*) menos la variación a largo plazo (*Z long term*) se obtiene un nuevo parámetro conocido como *Z shift*, que es el equivalente a la variación por el control operacional. De esta forma, si se compara el rendimiento de máquina *Z short term* contra el control operacional *Z shift* se obtiene un indicador de desempeño de proceso asociado a *Six Sigma*.

Este indicador se lo representa en una matriz la cual acepta valores para *Z shift* menores a 1.5. Con esto se busca que las diferencias entre *Z short term* y *Z long term* sean mínimas. Mientras que para el *Z short term* se busca que sea mayor a 4.5. Esta teoría se basa en el desplazamiento de 1.5 sigma de los procesos explicados en el artículo “*1.5 Sigma Process Shift Explanation*” de Mikel Harry.



El indicador *Z shift* y la matriz de la Figura 38 se los utiliza como complemento al análisis de capacidad de proceso y es parte de las implementaciones que ayudan a identificar brechas de conocimientos entre operadores, y también necesidades de inversión o mantenimiento sobre las máquinas.

La aplicación del *Z shift* fruto de este trabajo de titulación trascendió en una innovación a nivel regional dentro de PCM, teniendo un alto valor de aceptación en todos los niveles de la organización incluyendo la alta dirección, por lo que se lo piensa difundir próximamente a las diferentes afiliadas a nivel internacional.

#### **4.5. Calibración y Entrenamiento del Controlador de Peso**

Cómo se mencionó en la etapa de *Analyze* el controlador de peso es un equipo de suma importancia y ayuda en el proceso productivo, sin embargo la gente que interactúa con el mismo no tenía el suficiente conocimiento como para realizar un buen mantenimiento ni gestión del mismo. Al ser este equipo de mucha importancia para controlar el parámetro de peso se puso en marcha un plan de acción para cubrir las necesidades de capacitación con la ayuda de un experto en este equipo.

En conjunto con el departamento técnico se realizó un acercamiento con el proveedor de estos equipos ubicado en Inglaterra. De este acercamiento se generó la solicitud de una visita por parte de uno de sus técnicos, el cual asistió a la fábrica por una semana dictando capacitaciones tanto al departamento eléctrico en el mantenimiento del equipo cómo al personal operativo en los ajustes diarios para el correcto funcionamiento. Este entrenamiento constó de una parte teórica y una parte práctica lo cual fue de mucha ayuda para permitir a los técnicos ganar confianza sobre las tareas de mantenimiento sobre el equipo controlador de peso.

#### **4.6. Resultados de la Fase *Improve* (Mejoras alcanzadas)**

El efecto que tuvieron estas acciones en el proceso productivo se presenta a continuación con una comparación de la capacidad de proceso antes y después de las implementaciones.

Tabla 13. Resumen de análisis de capacidad de proceso para el parámetro de peso.

<b>Resumen de Análisis de Capacidad de Proceso por Máquina y Parámetro</b>				
<b>Parámetro de Circunferencia</b>				
<b>Máquina</b>	<b>Antes</b>		<b>Después</b>	
	<b>Cp</b>	<b>Cpk</b>	<b>Cp</b>	<b>Cpk</b>
M01	0,54	0,5	0,7	0,63
M06	0,61	0,56	1,06	0,99
M04	0,56	0,44	0,77	0,70
M05	0,60	0,57	0,75	0,75
M10	0,54	0,47	0,89	0,88

Tabla 14. Resumen de análisis de capacidad de proceso para el parámetro de circunferencia.

<b>Resumen de Análisis de Capacidad de Proceso por Máquina y Parámetro</b>				
<b>Parámetro de Peso</b>				
<b>Máquina</b>	<b>Antes</b>		<b>Después</b>	
	<b>Cp</b>	<b>Cpk</b>	<b>Cp</b>	<b>Cpk</b>
M01	0,68	0,59	0,91	0,80
M06	0,71	0,67	0,98	0,97
M04	0,39	0,26	0,95	0,73
M05	0,48	0,29	1,02	0,99
M10	0,92	0,75	1,08	1,01

De igual manera se presenta a continuación una comparativa de las mejoras implementadas mediante el indicador *Z shift* desarrollado en este trabajo de titulación. Cabe mencionar que el primer punto amarillo representa el estado previo a las mejoras y el punto verde representa el estado futuro después de las mejoras.

La máquina M1 presentó el siguiente comportamiento en el parámetro de peso:



Figura 39. Matriz de *Z short term* vs *Z shift* M01 Peso

Para el parámetro de circunferencia presentó el siguiente comportamiento:

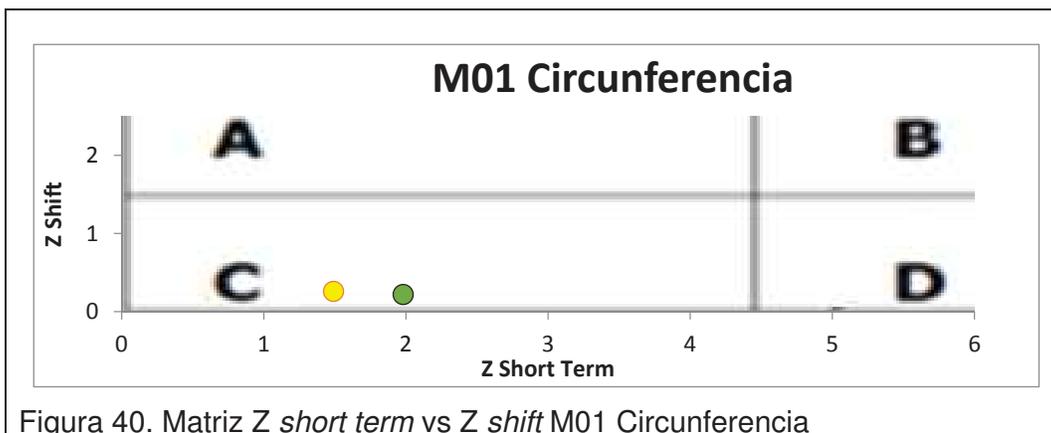


Figura 40. Matriz *Z short term* vs *Z shift* M01 Circunferencia

La máquina M04 se comportó de la siguiente manera en cuanto al parámetro de peso:



Figura 41. Matriz *Z short term* vs. *Z shift* M04 Peso

Para el parámetro de circunferencia la maquina M04 presenta el siguiente comportamiento:

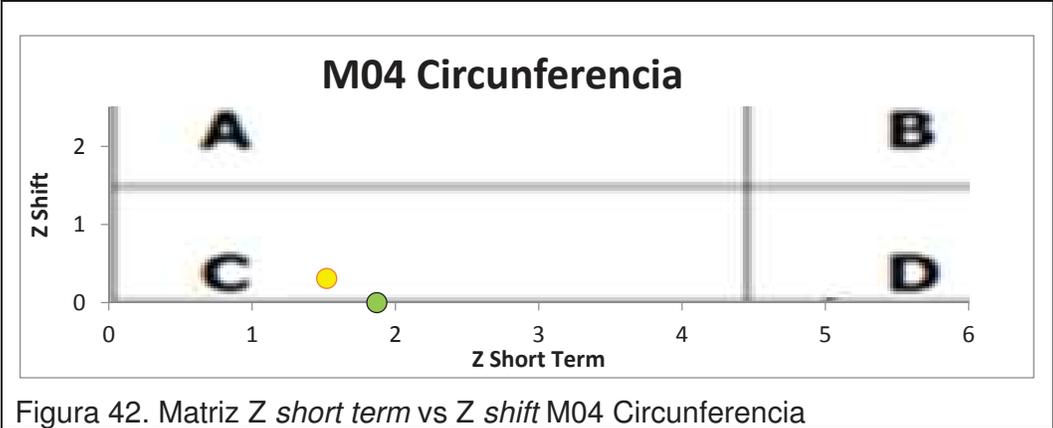


Figura 42. Matriz Z short term vs Z shift M04 Circunferencia

A continuación se presenta el comportamiento de la maquina M05 para el parámetro de peso:

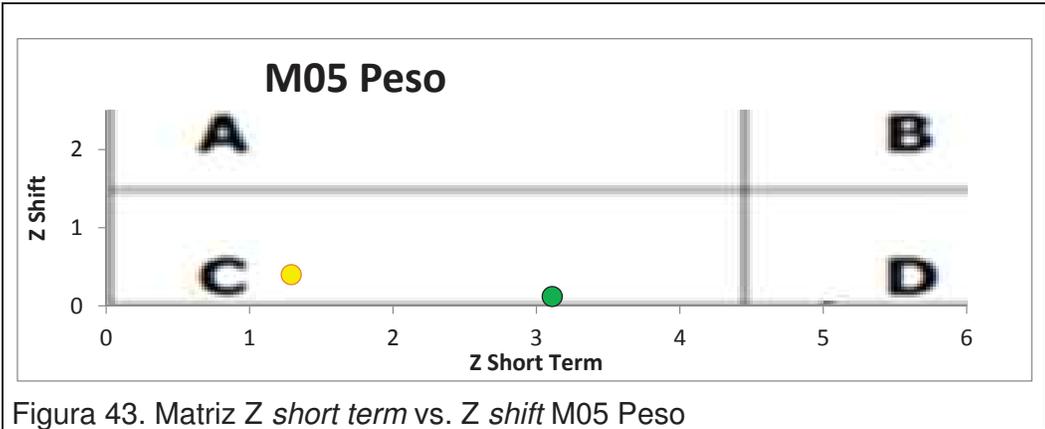


Figura 43. Matriz Z short term vs. Z shift M05 Peso

La máquina M05 presentó el siguiente comportamiento para el parámetro de circunferencia:

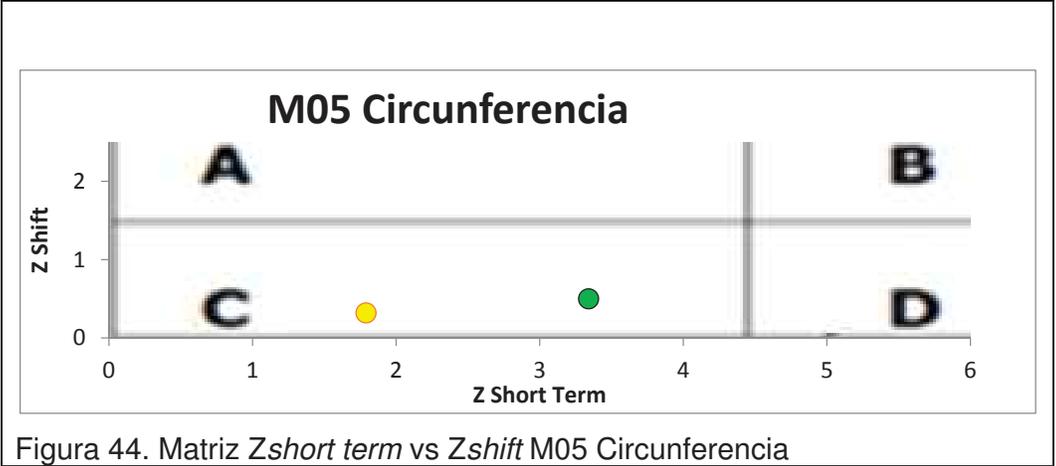


Figura 44. Matriz Zshort term vs Zshift M05 Circunferencia

A continuación se presenta el comportamiento de la máquina M06 para peso:

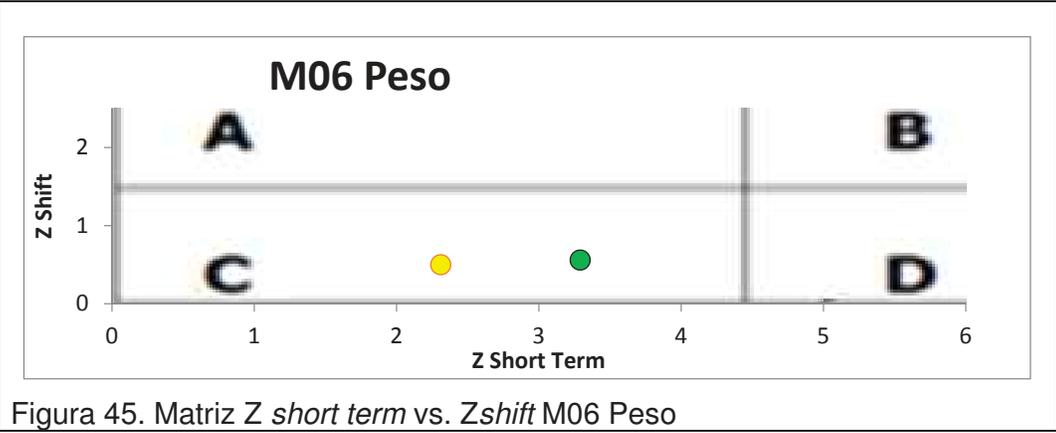


Figura 45. Matriz Z short term vs. Zshift M06 Peso

Y para el parámetro de circunferencia se comportó de la siguiente manera:

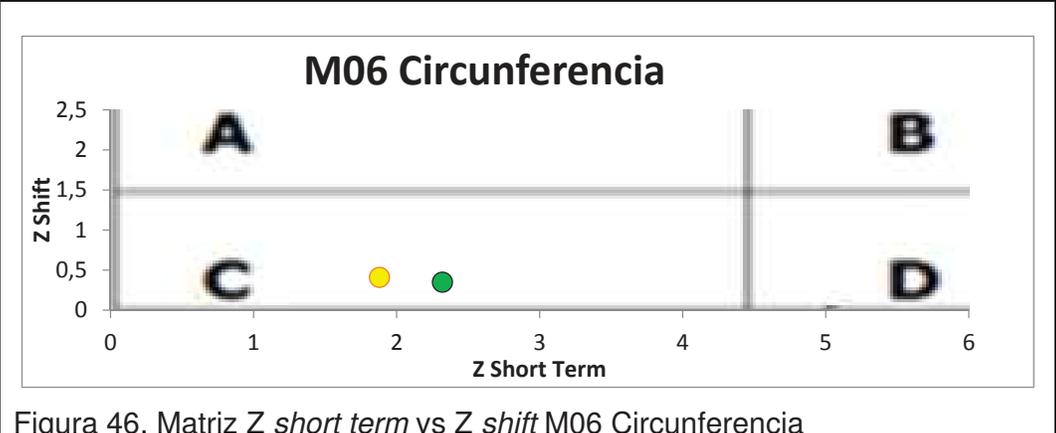


Figura 46. Matriz Z short term vs Z shift M06 Circunferencia

Por último la máquina M10 presento el siguiente comportamiento:



Figura 47. Matriz *Z short term* vs. *Z shift* M10 Peso

Y para el parámetro de circunferencia presentó el siguiente comportamiento:

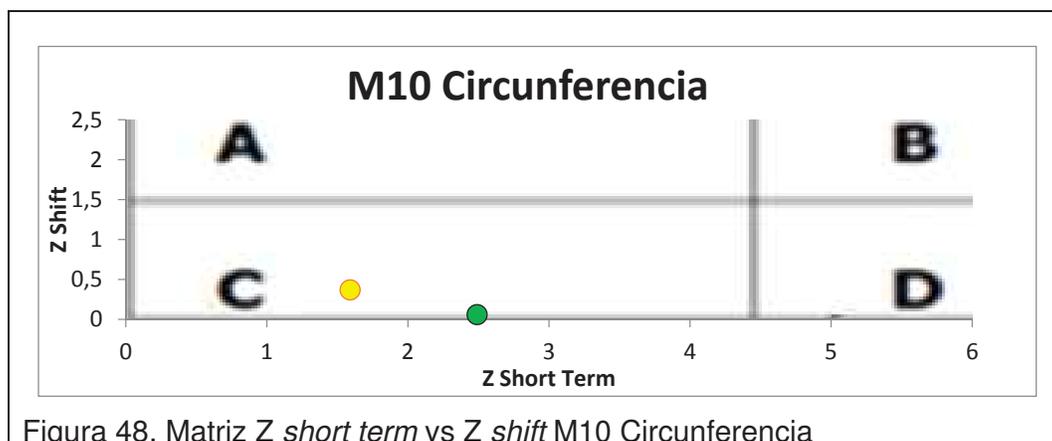


Figura 48. Matriz *Z short term* vs *Z shift* M10 Circunferencia

Cómo se puede observar en los gráficos del indicador todas las máquinas presentan una mejoría notable en términos de variación, tanto de control operacional como de desempeño de máquina. De igual manera en la comparativa de capacidad de proceso se observa una mejoría considerable sobre los índices de  $C_p$  y  $C_{pk}$ .

Con esto se concluye la etapa *Improve* en la cual se han atacado todas las causas de variación identificadas en la fase de *Analyze*. Gracias a la ayuda y colaboración de las diferentes áreas de PCM, comenzando por la alta dirección además de la contribución de los departamentos técnicos y operativos de la

compañía, se ha logrado implementar todas estas mejoras con el fin de reducir la variabilidad del proceso de producción.

Es importante recalcar que la sostenibilidad de las mejoras implementadas es fundamental para el éxito y la reducción de la variabilidad dentro de PCM, lo cual se logrará de manera notable debido a que se involucró a todos los niveles de la organización en cada una de las etapas de implementación. Desde los operadores de las máquinas hasta a la alta dirección se dejó una huella hacia la importancia del control estadístico y la estandarización para dar pasos firmes hacia la mejora continua, logrando esa visión a través del empoderamiento de la gente con el uso y difusión de la metodología DMAIC.

## CAPÍTULO 5

### 5. FINANCIERO

A continuación se presenta el análisis financiero del proyecto implementado en este trabajo de titulación, para lo cual se analizará mediante una comparativa el número de defectos por millón antes y después de las implementaciones.

#### 5.1. Costo Unitario de Fabricación

Para empezar se detalla una tabla con los costos de operaciones de la fábrica, con lo cual se obtendrá el costo de producción unitario dentro de PCM. Antes de presentar la tabla es importante mencionar que en promedio PCM produce cien millones de productos al mes y para la operación de las máquinas se necesitan tres operadores por turno. Los productos realizados dentro de PCM tienen unos costos similares por lo cual para detalle de los costos unitarios se tomó como referencia los costos del producto 1.

La tabla resume los costos presentados por diferentes rubros para la fabricación del producto 1 en PCM, los cuales se dividen en:

1. El costo de la materia prima directa, el cual se compone de cinco materiales principales.
2. El costo de personal directo, que se calculó con base en el sueldo que los operadores perciben al mes multiplicado por el número de operadores de las máquinas elaboradoras. En este rubro también se incluye el décimo tercero y décimo cuarto sueldo, así como también un promedio de los costos de horas extras pagadas al personal.
3. El costo de externalizados directos, en el cuál se ha considerado el costo de mantenimientos, repuestos y accesorios utilizados en las máquinas en el transcurso del mes.

4. El costo indirecto de fabricación, el mismo que considera costos por papelería, servicios básicos y combustible. No se tomará en cuenta costos por arrendamiento y depreciaciones ya que PCM opera en instalaciones propias.
5. El costo por gastos administrativos, que comprende los sueldos percibidos por el área administrativa, la misma que incorpora veinte personas que perciben un sueldo promedio de \$2,000. Aquí también se incluye los gastos de décimo tercero y décimo cuarto sueldo.
6. Adicionalmente se han excluido del análisis los gastos de venta del producto, ya que para efectos de este proyecto los mismos no son relevantes debido al enfoque exclusivo en el proceso de fabricación.

En la parte inferior de la tabla se observa el resumen de los costos de producción, los mismos que mensualmente representan alrededor de \$1,131,000, los cuales se los divide para el número de productos realizados en el mes y se obtiene un costo unitario de fabricación de \$0.0113.

Tabla 15. Costos de Fabricación

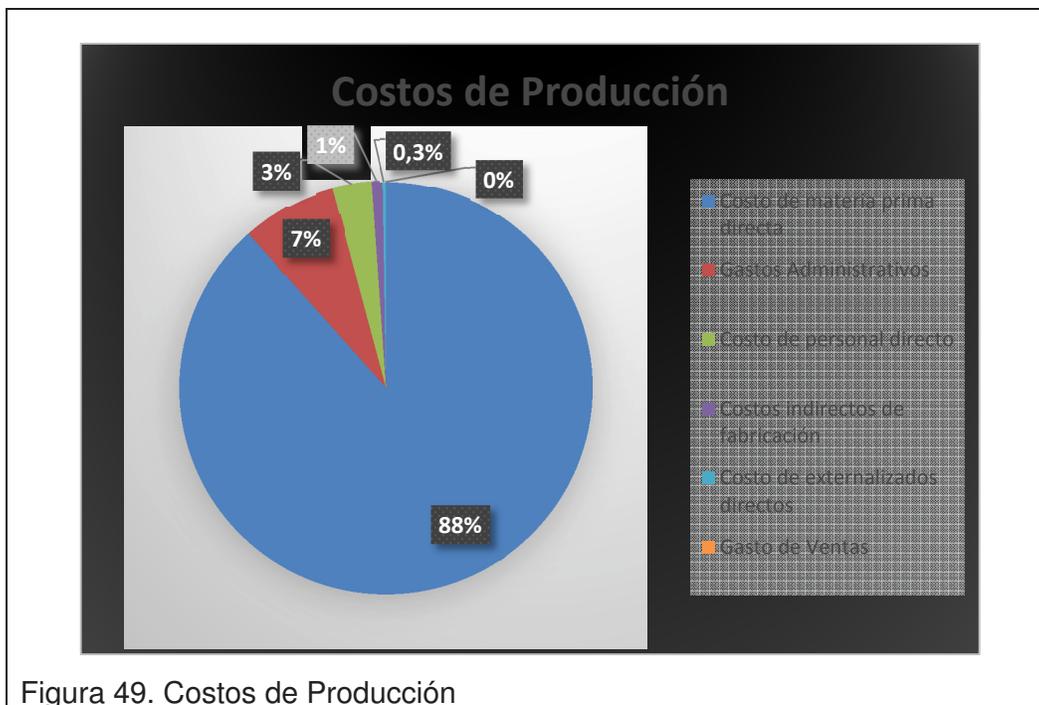
<b>EMPRESA PCM</b>	
<b>HOJA DE COSTOS</b>	

<b>Orden de fabricación</b>		<b>N° Unidades</b>	
<b>Código del producto</b>		<b>N° Unidades terminadas por día</b>	5,000,000
<b>Periodo de fabricación</b>	2014	<b>N° Unidades terminadas por mes</b>	100,000,000
<b>Nombre del producto</b>	<b>Producto 1</b>	<b>N° Unidades dañadas y perdidas</b>	
<b>Fecha de inicio</b>	05/04/2014	<b>Fecha terminado</b>	-

Costo de materia prima directa		Costo de personal directo		Costo de externalizados directos		Costos indirectos de fabricación		Gastos Administrativos		Gasto de Ventas	
Detalle	Monto	Detalle	Monto	Detalle	Monto	Detalle	Monto	Detalle	Monto	Detalle	Monto
Material 1	\$ 0.00025	Sueldo operario	\$ 14,880.00	Mantenimiento	\$ 2,000.00	Arrendamiento	\$ 0.00	Sueldo operario	\$ 40,000.00	Publicidad	\$ 0.00
Material 2	\$ 0.00025			Rptos. Y acces.	\$ 1,000.00	Depreciaciones	\$ 0.00	Prestaciones		Comisión	
Material 3	\$ 0.00025	13 sueldo	\$ 14,880.00			Papelería	\$ 375.00	13 sueldo	\$ 40,000.00		
Material 4	\$ 0.00025	14 sueldo	\$ 3,876.00			Ser. Básicos	\$ 8,000.00	14 sueldo	\$ 3,876.00		
Material 5	\$ 0.009	Horas extras	\$ 1,000.00			Diesel	\$ 1,200.00				
<b>Costo unitario</b>	\$ 0.01000										
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1,000,000.00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 34,636.00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3,000.00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 9,575.00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 83,876.00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 0.00</b>

COSTO DE FABRICACIÓN		COSTO UNITARIO	
Materia prima directa	\$ 1,000,000.00		
Personal directo	\$ 34,636.00		
Externalizados directos	\$ 3,000.00		
Costos indirectos de fabricación	\$ 9,575.00		\$ 0.0113
Gastos Administrativos	\$ 83,876.00		
Gasto de Ventas	\$ 0.00		
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1,131,087.00</b>		

En el siguiente gráfico se resume los porcentajes de aporte de cada uno de los rubros del cálculo del costo unitario de producción:



Cómo se puede observar en la Figura 49, los costos por materia prima representan el 88% del costo total de producción.

## 5.2. Costo de las partes por millón de defectos por el parámetro de peso generados antes de la implementación.

Una vez que se han detallado los costos unitarios de fabricación se presenta una tabla que resume la cantidad de defectos producidos por cada millón de unidades fabricadas dentro de PCM, tanto para el parámetro de peso cómo para el parámetro de circunferencia.

Tabla 16. Partes por millón de defectos para Peso, antes de la implementación

<b>Partes por Millón de Defectos</b>		
<b>Peso</b>		
<b>Máquina</b>	<b>PPMD Antes</b>	<b>PPMD Antes ponderado por volumen mensual</b>
M1	30,000.0	900,000.0
M4	273,255.8	2,732,558.1
M5	137,684.9	1,376,848.5
M6	35,443.0	1,063,290.6
M10	29,325.5	586,510.2
<b>Total</b>	<b>505,709.2</b>	<b>6,659,207.4</b>

La primera tabla contiene las partes por millón de defectos para cada máquina antes de las implementaciones.

Cómo se observa en las imágenes los defectos producidos en PCM ascendían a 505,709.2 los cuales ponderados por el volumen de producción corresponden a 6,659,207.40. Esta ponderación se obtiene de treinta millones para las máquinas 1 y seis y diez millones para las máquinas M4 y M5 y 20 para la M10. Este total de defectos multiplicado por el costo unitario \$0.0113 equivale a un costo de defectos de \$75,249.04. Sin embargo, es importante recalcar que dentro de PCM se recupera alrededor del 90% de los materiales empleados, y como el costo unitario ya considera todos los rubros, se calculará el costo final de los defectos mediante la multiplicación del total de dólares por el 10% que es en realidad la pérdida real cuando se producen defectos. Dicha esta aclaración, el costo de los defectos producidos por el parámetro de peso antes de las mejoras equivale a \$7,524.90 mensuales.

A pesar de que se recupera el 90% de los materiales utilizados en la fabricación de productos dentro de PCM, cabe indicar el costo por reproceso asociado a la recuperación de material por producto defectuoso. Para esto se ha calculado un costo unitario de producción que no considera la materia prima y se centra en los costos directos de producción, el mismo que se presenta en la Tabla 15 junto con el detalle de los costos de reproceso. Basado en los valores de costo unitario

de reproceso de \$0.000376 multiplicado por el número total de defectos de la Tabla 16 se obtiene un costo de reproceso de \$2,506.26 mensuales para el parámetro de peso.

Tabla 17. Costos de Reproceso

<b>EMPRESA PCM</b>
<b>HOJA DE COSTOS DE REPROCESO</b>

Costo de personal directo		Costo de extemalizados directos	
Detalle	Monto	Detalle	Monto
Sueldo operario	\$ 14,880.00	Mantenimiento	\$ 2,000.00
		Rptos. Y acces.	\$ 1,000.00
13 sueldo	\$ 14,880.00		
14 sueldo	\$ 3,876.00		
Horas extras	\$ 1,000.00		
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 34,636.00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3,000.00</b>

COSTO DE REPROCESO	
Materia prima directa	\$ 0.00
Personal directo	\$ 34,636.00
Externalizados directos	\$ 3,000.00
Costos indirectos de fabricación	\$ 0.00
Gastos Administrativos	\$ 0.00
Gasto de Ventas	\$ 0.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 37,636.00</b>
<b>TOTAL UNITARIO REPROCESO</b>	<b>\$ 0.000376</b>

### 5.3. Costos de defectos producidos por el parámetro de peso después de la implementación de las mejoras

A continuación se presenta una tabla la cual detalla las partes por millón de defectos después de las mejoras:

Tabla 18. Partes por millón de defectos por peso, después de la implementación.

<b>Partes por Millón de Defectos Peso</b>		
<b>Máquina</b>	<b>PPMD Después</b>	<b>PPMD Después ponderado por volumen mensual</b>
M1	9,058.0	271,739.1
M4	26,315.8	263,157.9
M5	4,329.0	43,290.0
M6	2,917.6	87,528.0
M10	6,557.4	131,147.6
<b>Total</b>	<b>49,177.7</b>	<b>796,862.6</b>

De igual manera, se pondera los defectos por el volumen de producción correspondiente a cada máquina, obteniendo como resultado 796,862.60 defectos al mes. Al multiplicar esta cifra por el costo unitario y a su vez por el 10%, se obtiene como resultado un costo por defectos después de las mejoras de \$900.45. En este caso también se calculó el costo de reproceso sin considerar materia prima lo cual resultó en \$299.91. Por lo tanto, los números de defectos y los costos asociados antes y después de la implementación se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 19. Costo de defectos producidos por peso

<b>Costo de Defectos Producidos</b>			
<b>Peso</b>			
<b>Máquina</b>	<b>PPMD Antes</b>	<b>PPMD Después</b>	<b>Diferencia</b>
M1	\$ 1,017.00	\$ 307.07	\$ 709.93
M4	\$ 3,087.79	\$ 297.37	\$ 2,790.42
M5	\$ 1,555.84	\$ 48.92	\$ 1,506.92
M6	\$ 1,201.52	\$ 98.91	\$ 1,102.61
M10	\$ 662.76	\$ 148.20	\$ 514.56
Reproceso	\$ 2,506.26	\$ 299.91	\$ 2,206.35
<b>Totales</b>	<b>\$ 10,031.17</b>	<b>\$ 1,200.37</b>	<b>\$ 8,830.80</b>

Se concluye que para el parámetro de peso este proyecto benefició a PCM en un ahorro promedio de \$8,830.80 por mes, ahorros que podrán perdurar a través del tiempo siempre y cuando se mantengan las condiciones de mejora alcanzadas en este proyecto.

#### **5.4. Costo de las partes por millón de defectos por el parámetro de circunferencia generados antes de la implementación.**

Al igual que con el parámetro de peso, para el parámetro de circunferencia se presenta una tabla con los defectos por millón producidos en PCM antes de la implementación de las mejoras.

Tabla 20. Partes por millón de defectos por circunferencia, antes de la implementación

<b>Partes por Millón de Defectos</b>		
<b>Circunferencia</b>		
<b>Máquina</b>	<b>PPMD Antes</b>	<b>PPMD Antes ponderado por volumen mensual</b>
M1	90,361.5	2,710,843.5
M4	90,342.7	903,426.8
M5	43,706.3	437,062.9
M6	51,039.7	1,531,191.0
M10	85,044.0	850,439.9
<b>Total</b>	<b>360,494.1</b>	<b>6,432,964.1</b>

Cómo se observa en la Tabla 20, los defectos producidos por el parámetro de circunferencia suman 360,494.1, los cuales ponderados por el mismo volumen de producción del parámetro de peso generan un total de 6,432,964.1 de defectos producidos, los cuales multiplicados por el costo unitario de producción y a su vez por el factor del 10% se obtiene como resultado un costo total por mes de \$7,269.24 generados por defectos para el parámetro de circunferencia.

Al igual que para el parámetro de peso se ha calculado el costo por reproceso asociado al total de defectos para el parámetro de circunferencia presentado anteriormente, el cual asciende a la cantidad de \$2,421.11 basado en la Tabla 17.

#### **5.5. Costos de defectos producidos por el parámetro de circunferencia después de la implementación de las mejoras**

Después de la implementación de las mejoras se obtuvo el siguiente resultado para el número de defectos por máquina en cuanto a circunferencia se refiere.

Tabla 21. Partes por millón de defectos por circunferencia, después de la implementación

<b>Partes por Millón de Defectos Circunferencia</b>		
<b>Máquina</b>	<b>PPMD Después</b>	<b>PPMD Después ponderado por volumen mensual</b>
M1	3,984.0	119,520.0
M4	46,511.6	465,116.3
M5	8,862.6	88,626.3
M6	8,684.9	260,545.8
M10	6,779.7	67,796.6
<b>Total</b>	<b>74,822.8</b>	<b>1,001,605</b>

Este número de defectos ponderado por el volumen de producción resulta en un total de 1,001,605 de defectos producidos después de las mejoras, lo cual multiplicado por el costo unitario y por el factor del 10% resulta en un costo total de \$1,131.81 por defectos producidos.

De igual manera, los costos de reproceso asociados a la mejora sobre el parámetro de circunferencia (Tabla 15) se reducen a \$376.96.

A continuación se presenta una tabla resumen de los costos de defectos antes y después de la mejora para el parámetro de circunferencia:

Tabla 22. Costo de defectos producidos por circunferencia

<b>Costo de Defectos Producidos Circunferencia</b>			
<b>Máquina</b>	<b>PPMD Antes</b>	<b>PPMD Después</b>	<b>Diferencia</b>
M1	\$ 3,524.10	\$ 155.38	\$ 2,928.20
M4	\$ 1,174.45	\$ 604.65	\$ 495.29
M5	\$ 568.18	\$ 115.21	\$ 393.73
M6	\$ 1,990.55	\$ 338.71	\$ 1,435.83
M10	\$ 1,105.57	\$ 88.14	\$ 884.39
Reproceso	\$ 2,421.11	\$ 376.96	\$ 2,044.15
<b>Totales</b>	<b>\$ 10,783.96</b>	<b>\$ 1,679.05</b>	<b>\$ 8,181.58</b>

Cómo se observa en la Tabla 22, el beneficio monetario generado por este proyecto para el parámetro de circunferencia asciende a \$8,181.58 por mes. Estas ahorros, sumadas a las mejoras alcanzadas en cuanto al parámetro de peso, incentivan a PCM en el desafío de sostenimiento y anclaje de los avances alcanzados por este trabajo, a través de la metodología DMAIC.

## 5.6. Estado de Flujo de Efectivo

Para exponer un resumen de los resultados financieros de este trabajo de titulación se presenta un detalle de la inversión así como también el estado de flujo de efectivo del proyecto.

Tabla 23. Resumen Inversión Proyecto

<b>RESUMEN FINANCIERO PROYECTO</b>	
<b>Inversión (Costos)</b>	<b>Valor</b>
Tres puntos UPTIME	\$ 21,450.00
Visita Experto Técnico	\$ 6,000.00
Inversión en maquinaria	\$ 5,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 32,450.00</b>

Es importante mencionar que los rubros detallados anteriormente como: tres puntos de Uptime y la visita del experto técnico contablemente se consideran un gasto, sin embargo al ser estos rubros partes esenciales del proyecto lo cuales generaron un retorno se los ha considerado como parte de la inversión del proyecto.

Tabla 24. Estado de Flujo de Efectivo

ESTADO DE FLUJO DE EFECTIVO							
Meses		Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
+	Ahorro en peso		\$ 8,830.80	\$ 8,830.80	\$ 8,830.80	\$ 8,830.80	\$ 8,830.80
+	Ahorro en circunferencia		\$ 8,181.58	\$ 8,181.58	\$ 8,181.58	\$ 8,181.58	\$ 8,181.58
=	<b>BENEFICIO NETO</b>		\$ 17,012.38	\$ 17,012.38	\$ 17,012.38	\$ 17,012.38	\$ 17,012.38
-	Inversión	\$ 32,450.00					
=	<b>ESTADO DE FLUJO DE EFECTIVO</b>	-\$ 32,450.00	\$ 17,012.38	\$ 17,012.38	\$ 17,012.38	\$ 17,012.38	\$ 17,012.38

Cómo se observa en la Tabla 23, la inversión total del proyecto se presenta en el mes 0, mientras que los ahorros generados se reflejan desde el mes 1. Con este flujo se obtiene la siguiente valoración del proyecto.

Tabla 25. Valoración del Proyecto

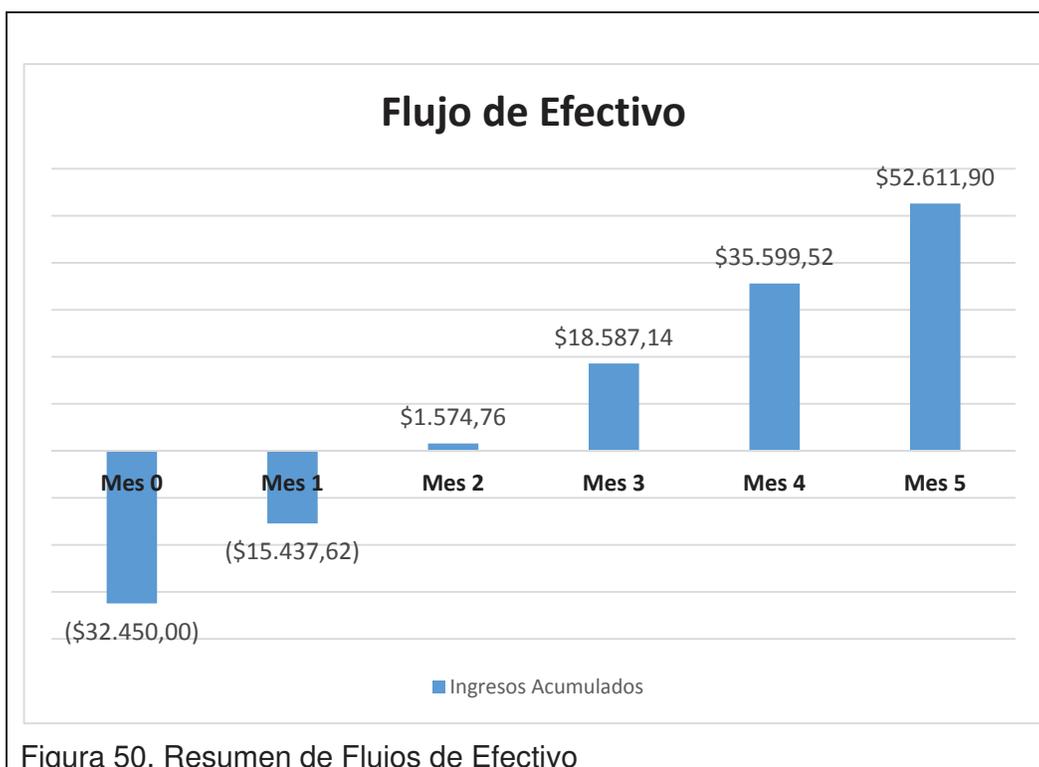
<b>Tasa Descuento</b>	2.1%
<b>VAN</b>	\$ 47,562.91
<b>TIR</b>	43.94%

Para actualizar los flujos de efectivo se utilizó una tasa de descuento de 0.42% mensual proveniente de la división de la tasa de interés pasiva, según el Banco Central en su boletín de Indicadores Económicos de Julio 2014, para los 12 meses del año y multiplicada por los 5 meses de análisis.

El Valor Actual Neto de los flujos estimados en el proyecto alcanza un valor de \$47,562.91, con lo cual se concluye que el proyecto es aceptable ya que el monto es positivo y genera valor sobre la inversión.

Los flujos estimados en el proyecto arrojan una Tasa Interna de Retorno del 43.94%, lo cual refleja que el proyecto tiene una alta rentabilidad y supera considerablemente a la tasa de descuento utilizada para el cálculo.

Para terminar este análisis financiero, se concluye que el proyecto ha producido un beneficio económico de alrededor de \$17,000 mensuales para PCM, lo cual supera decisivamente el monto de inversión destinado por la compañía. Un resumen de los flujos de capital del proyecto se presenta en la siguiente figura:



Cómo se puede visualizar en la Figura 50, la inversión del proyecto se recupera a partir del segundo mes tras la implementación de las mejoras, y empieza a generar ahorros a la compañía desde dicho periodo.

## 5.7 Periodo de Recuperación de la Inversión

Tabla 26. Cálculo del Periodo de Recuperación de la Inversión

<b>Inversión Inicial</b>	\$ 32,450.00
<b>Monto No Recuperado</b>	\$ 15,437.62
<b>Monto No Recuperado / FDE periodo siguiente</b>	0.91
<b>PRI - Periodo de Recuperación de la Inversión</b>	1.91

Como se observa en la Tabla 26 del cálculo de PRI, la inversión se recupera en 1.91 meses.

Es importante mencionar que este beneficio se puede mantener en el tiempo mediante la correcta gestión y control de PCM en sus operaciones, lo cual se logrará con suficiente apertura y facilidad debido al nivel de compromiso adquirido por sus colaboradores durante todas las fases de ejecución de este proyecto.

## CAPÍTULO 6

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- Se concluyó que la metodología de *Six Sigma* aplicada en este trabajo de titulación fue muy asertiva, sistemática y útil en todas y cada una de las etapas que comprenden el DMAIC, esto ayudó a llevar un proyecto de mejora de manera ordenada y bajo un esquema que se ha probado funciona.
- Se logró analizar los sistemas de producción de las máquinas elaboradoras dentro de PCM, lo cual ayudó a comprender la naturaleza del proceso de producción y también a conocer las variables que juegan un rol importante en el desempeño del proceso.
- A lo largo de este trabajo de titulación se evidenció el compromiso de todos los niveles de la organización, lo cual fue fundamental para cada una de las etapas ya que el aporte y colaboración de las personas ayudó mucho a identificar causas de variación y acciones de mejora rápida sobre el desempeño de la fábrica.
- Con el involucramiento de los operadores, del departamento mecánico y del departamento eléctrico, se consiguió establecer un método sencillo para el manejo del control estadístico de procesos, el mismo que estandariza las actividades de la parte operativa y técnica y ayuda a controlar de mejor manera el proceso de producción.

- La aplicación de *quick wins* sirvió para fortalecer el conocimiento del personal operativo y técnico en temas de variabilidad y mejora continua, lo cual fue fundamental para el desarrollo de este trabajo de titulación.
- Es importante mencionar que todas las mejoras alcanzadas en el desarrollo de este trabajo fueron pensadas con el objetivo de satisfacer las necesidades de los clientes (CTS) y mediante la mejora del indicador de calidad físico se asegurará que los clientes obtengan la misma experiencia de consumo cada vez que adquieran un producto de PCM.
- El desarrollo de nuevos indicadores de capacidad de proceso fue primordial para establecer prioridades y acciones de mejora sobre las diferentes máquinas y variables del proceso. Con estos indicadores se logró familiarizar a todos los niveles de la organización con el concepto de capacidad de proceso de una manera sencilla, gráfica y amigable.
- Las diferentes innovaciones aplicadas en este trabajo de titulación han dejado una huella en todos los niveles de la organización, así como también un impacto positivo en las diferentes afiliadas de PCM a nivel regional. Es importante mencionar que dichas mejoras beneficiaran de manera directa a las necesidades del cliente ya que por medio de la reducción de variabilidad en los parámetros físicos se asegura que el cliente tenga la misma experiencia de consumo cada vez que adquiere un producto de PCM.
- Como resultado del análisis financiero se obtuvo un beneficio económico importante para PCM, el mismo que se puede mantener en el tiempo llevando a cabo la etapa *Control*, la cual quedó bajo el mando exclusivo de PCM a través de la aceptación y empoderamiento que se obtuvo mediante este trabajo de titulación.

## 6.2. Recomendaciones

- Se recomienda continuar desarrollando a líderes de proceso en herramientas de mejora continua así como también al equipo administrativo como expertos *Six Sigma* ya sea *Green Belt* o *Black Belt*, para continuar impulsando proyectos de alto impacto en la organización que mantengan un gran nivel de motivación en los grupos de trabajo.
- Es importante continuar con el seguimiento de las acciones implementadas para que las mismas perduren en el tiempo y desarrollen en la gente una cultura de mejora continua.
- Se recomienda no conformarse con los niveles de variabilidad alcanzados en el proceso al término de este trabajo, sino buscar siempre la mejora continua persiguiendo una visión de fábrica con desempeño de clase mundial.
- Es recomendable realizar *benchmarks* con las diferentes afiliadas de PCM a nivel mundial, con el objetivo de compartir ideas e implementar diferentes metodologías de mejora continua que se han utilizado en otras afiliadas.
- Se recomienda promover la innovación en los procesos productivos desarrollando programas de reconocimiento para operadores y técnicos, ya que se podría fomentar la aplicación de nuevas ideas que ayuden a mejorar el desempeño de PCM.
- Se recomienda realizar un análisis o estudio sobre las variaciones de la materia prima y de los diferentes materiales utilizados en el proceso de producción de PCM y de cómo estos afectan el desempeño de los diferentes parámetros de calidad.

## REFERENCIAS

ASQ. (s.f.). *Kaoru Ishikawa. Desarrollando una estrategia específica de calidad Japonesa*. Recuperado el 27 de Diciembre de 2013 de [http://asq.org/about-asq/who-we-are/bio\\_ishikawa.html](http://asq.org/about-asq/who-we-are/bio_ishikawa.html)

ASQ. (s.f.), *W. Edwards Deming, una misión perseguida en dos continentes*. Recuperado el 27 de Diciembre del 2013 de [http://asq.org/about-asq/who-we-are/bio\\_deming.html](http://asq.org/about-asq/who-we-are/bio_deming.html)

ASQ. (s.f.). *Statistical Process Control*. Recuperado el 23 de Febrero del 2014 de <http://asq.org/learn-about-quality/statistical-processcontrol/overview/overview.html>

ASQ. (s.f.). *Walter A. Shewhart, Father of the statistical quality control*. Recuperado el 23 de Febrero del 2014 de [http://asq.org/about-asq/who-we-are/bio\\_shewhart.html](http://asq.org/about-asq/who-we-are/bio_shewhart.html)

Aulafácil. (2000). *Introducción a la estadística descriptiva*. Recuperado el 23 de febrero de 2014 de <http://www.aulafacil.com/CursoEstadistica/Lecc-1-st.htm>

Banco Central del Ecuador. (2013). *Estadísticas Macroeconómicas*. Recuperado el 12 de Diciembre del 2013, de <http://www.bce.fin.ec/frame.php?CNT=ARB0000019>

Banco Central del Ecuador. (2014). *Indicadores Económicos*. Recuperado el 19 de Julio del 2014, de [http://contenido.bce.fin.ec/resumen\\_ticker.php?ticker\\_value=pasiva](http://contenido.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=pasiva)

Correa de Moura, Eduardo. (s.f.). *Six Sigma Plus*. Sao Paulo, Brasil.

Enciclopedia Cumbre. (1962). (Tomo XI, p 195). México D.F. Mexico: Cumbre S.A.

Forrest Breyfogle. (s.f.). *Six Sigma Allowance for 3.4 defects per million opportunities (DPMO)*. Recuperado el 22 de Junio del 2014 de <https://www.smartersolutions.com/blog/forrestbreyfogle/2009/02/03/six-sigma-allowance-for-34-defects-per-million-opportunities-dpmo-why-is-it-called-six-sigma/>

García. H y Matus. J (s.f.). *Estadística Descriptiva e Inferencial I*. Recuperado el 22 de Febrero de 2014 de [http://www.conevyt.org.mx/bachillerato/materialbachilleres/cb6/5sempdf/edin1/edin1\\_f1](http://www.conevyt.org.mx/bachillerato/materialbachilleres/cb6/5sempdf/edin1/edin1_f1)

Hablando con datos. (s.f.). *El Cpk*. Recuperado el 22 de Junio del 2014 de <http://www.hablandocondatos.com/blog/wp-content/uploads/2014/02/cpk-values.jpg>

Hablando con datos. (s.f.). *Hablando con Datos*. Recuperado el 22 de Junio del 2014 de <http://www.hablandocondatos.com/blog/6-sigma/el-cpk/>

Harry. Mikel. (s.f.). *1.5 Sigma Process Shift Explanation*. Recuperado el 7 de Junio del 2014 de <http://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/dmaic/15-sigmaprocess-shift/>

INEC. (2010). *Censo Nacional Económico*. Recuperado el 12 de diciembre del 2013 de <http://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/264>

INEC. (2013). *Anuario Estadístico 2013*. Recuperado el 12 de Diciembre del 2013, de <http://www.industrias.gob.ec/content/plugins/download-monitor/download.php>

La enciclopedia del estudiante. (2006). (Tomo II, p 220). Buenos Aires, Argentina: Santillana

Lozano Cámara, J. (2004). *La Revolución Industrial*. Recuperado el 10 de Diciembre del 2013, de <http://www.claseshistoria.com/revolucionindustrial/esquema.htm>.

PCM. (2013). *Documentos Internos*. Quito, Ecuador.

Process Quality Associates Inc. (2006). *The evolution of Six Sigma*. Recuperado el 26 de Diciembre del 2013 de <http://www.pqa.net/ProdServices/sixsigma/W06002009.html>

Skymark. (s.f.). *Genichi Taguchi y métodos de Taguchi- Calidad práctica y rápida*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2013 de <http://www.skymark.com/resources/leaders/taguchi.asp>

Skymark. (s.f.). *Joseph M. Juran*. Recuperado el 27 de Diciembre del 2013 de <http://www.skymark.com/resources/leaders/juran.asp>

Skymark. (s.f.). *Philip Crosby: El tío divertido de la Revolución de la Calidad*. Recuperado el 27 de Diciembre del 2013 de <http://www.skymark.com/resources/leaders/crosby.asp>

Stamatis D.H. (s.f.). *Six Sigma and Beyond*. Recuperado el 22 de Junio del 2014 de <http://flylib.com/books/en/3.194.1.172/1/>.

Vardeman. Stephen. (s.f.). *The impact of Dr. Shigeo Shingo on Modern Manufacturing Practices*. Recuperado el 27 de Diciembre de 2013 de <http://www.public.iastate.edu/~vardeman/FIE361/F02mini/Fbumblauskas.pdf&ei=DPHJUqDxJpKvkAeCvoAl&usg=AFQjCNEYa>

5kL1JWQx4LQ7\_yANswMmMNgEg&sig2=uE5jcSDYOBKq2blx5zRN  
Eg

Villamarín, M. (1994). *Elementos de Economía*. Quito, Ecuador.

Wittke. James H. (s.f.). *Electron Microprobe Laboratory*. Recuperado el 22 de  
Junio del 2014 de  
<http://www4.nau.edu/microanalysis/microprobe/img/Gaussian.gif>

## **ANEXOS**

## **Anexo 1: Medidas de Posición y Dispersión Estadística**

### **a) Medidas de posición central**

Las medidas de posición central detallan información sobre los valores medios del conjunto de datos, y las principales son las siguientes:

- **Media:** es el valor medio ponderado de la serie de datos. Hay algunos tipos de media, pero las más comunes son: la media aritmética y la media geométrica.
- **Mediana:** es el valor del grupo de datos que se sitúa en el centro de la serie ordenada.
- **Moda:** es el valor que más se repite dentro del grupo de datos

### **b) Medidas de posición no central**

Las medidas de posición no centrales brindan información extra sobre el conjunto de datos que se esté estudiando. La mayor parte de estas medidas separan al grupo de datos en partes iguales, por ejemplo los cuartiles que dividen a la serie de datos en tres grupos de igual tamaño, con lo que se suele llamar como primer cuartil, segundo cuartil y tercer cuartil. De la misma manera, existen otras medidas de posición no centrales como los deciles, que dividen al grupo de datos en nueve subconjuntos iguales y también los percentiles que dividen la serie en noventa y nueve subgrupos de tamaños iguales. (Aulafácil, 2000)

### **c) Medidas de dispersión**

La estadística descriptiva incluye también el estudio de medidas de dispersión, las cuales analizan cómo los datos se encuentran distribuidos, es decir estudian la concentración y dispersión de los mismos. Hay algunas

medidas de dispersión importantes y aplicables en este trabajo de titulación que se explican a continuación:

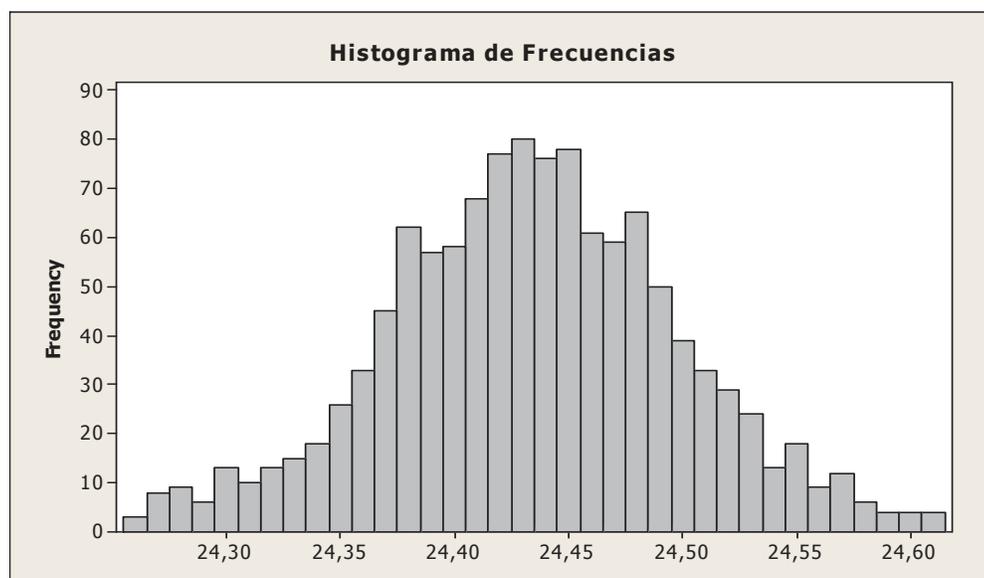
- Rango: mide la amplitud que ocupan los datos y se calcula mediante la resta del mayor valor menos el menor valor del conjunto de datos.
- Varianza: mide la distancia entre los valores y la media, esta es una medida de suma importancia e informa también que tan agrupados se encuentran los datos, mientras menor sea la varianza más agrupadas o concentrados estarán los datos.
- Desviación Estándar: al igual que la varianza mide la distancia de los valores hacia la media, pero a diferencia de la varianza la desviación estándar se calcula en las mismas unidades que la media.

## Anexo 2: Detalle de métodos para la representación gráfica de datos

### a) Histograma de Frecuencias

Este es un gráfico de barras verticales con escala ordenada en el eje X, se lo utiliza tanto para variables cuantitativas discretas o continuas. La altura de las barras con escala en el eje Y son las frecuencias de apariciones de los datos observados.

El histograma permite realizar análisis importantes sobre las mediciones observadas, por ejemplo, permite visualizar la concentración de datos y las áreas en donde se ubican dichas concentraciones, permite también visualizar el rango de los valores, y la forma por las cuales las frecuencias se distribuyen. (Correa de Moura, s.f, p. 237)

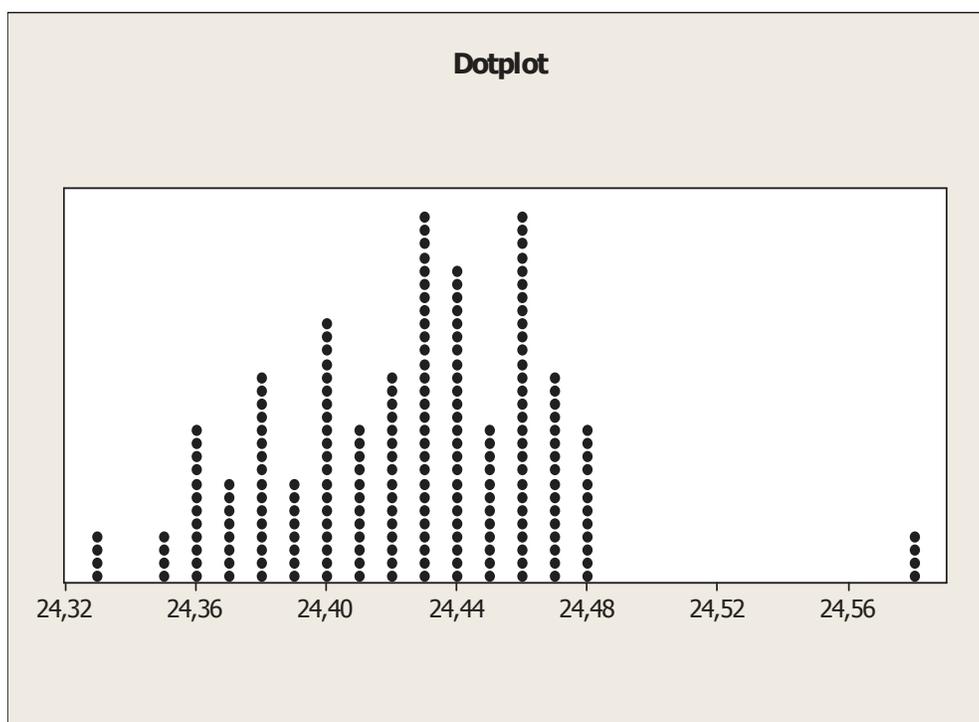


### b) *Dotplot* o Diagrama de Puntos

El *dotplot* es un diagrama que muestra en una escala continua, un punto por cada dato de la muestra. Este permite visualizar qué tan dispersos se

encuentran los datos, donde se concentran la mayoría de los datos, si existen vacíos o agrupamientos importantes, si existen puntos discrepantes o *outliers*, y también si es que los datos se comportan de manera simétrica o asimétrica.

El *dotplot* es de mucha utilidad cuando no existe suficiente cantidad de datos como para construir un histograma, también si es que se desea tener una representación rápida de los datos, y por último si es que se quiere verificar si existe algún dato anormal.



### c) *Box Plot* o Diagrama de Caja

El *box plot* o diagrama de caja es un diagrama de mucha utilidad en el análisis y visualización de los datos; este nos permite evaluar la distribución de manera sintética, y ayuda mucho para comparar simultáneamente la posición y la variabilidad. En este se identifica claramente el rango intercuartílico, la mediana, la media, y gráficamente identificar la presencia de outliers.

