ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO DE IMPRESIÓN EN LA COMPAÑÍA SIGMAPLAST A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE GRADO DE MÁSTER (MSc.) EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y PRODUCTIVIDAD

GEOVANNA CAROLINA TOLAGASÍ SAAVEDRA

carolina_tosa@yahoo.com

DIRECTOR: ING. PEDRO BUITRÓN, MSc.

pedrobuitron@epn.edu

Quito, enero 2018

© Escuela Politécnica Nacional (2018)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Geovanna Carolina Tolagasí Saavedra, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

_____

Geovanna Carolina Tolagasí Saavedra

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Geovanna Carolina Tolagasí Saavedra, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Pedro Buitrón

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Jorge Khamis y a Sigmaplast quienes contribuyeron en mi crecimiento personal y profesional, Pedro Buitrón por su guía y sabios consejos.

DEDICATORIA

Este logro de vida está dedicado a Dios y a mi familia que con tanto amor sembraron en mí una luchadora y a Freddy, gracias por tu apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN **xi**

INTRODUCCIÓN **xiii**

1. REVISION BIBLIOGRÁFICA 1

1.1. Antecedentes de la investigación 1

1.2. Bases teóricas 6

1.2.1. Índices de capacidad de proceso. 8

1.2.2. Métricas de seis sigma 18

1.3. Definición de términos 24

1.4. Sistemas de hipótesis 26

1.5. Sistemas de variables 28

1.5.1. Prueba de hipótesis e intervalos de confianza 30

1.5.2. Diseño y análisis de experimentos (DOE) 31

1.5.3. Análisis de varianza (ANOVA) 32

2. PARTE EXPERIMENTAL 34

2.1. Diagnóstico del estado actual del proceso de impresión 37

2.2. Análisis de ingreso de información, conocimiento operativo, cumplimiento de controles, y datos de proceso 38

2.3. Análisis de datos del proceso de medición 41

2.4. Mejora del proceso de impresión 46

2.5. Control de procesos por medio de auditorias e indicadores 49

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 52

3.1. Etapa de Definición 52

3.2. Etapa de Medición 59

3.3. Etapa de Mejoramiento 62

3.4. Etapa de Análisis 68

3.5. Etapa de Control 75

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 95

4.1. Conclusiones 95
4.2. Recomendaciones 96

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1.1. Casos de Éxito de Seis Sigma Aplicados en Ecuador 4
Tabla 1.2. Relación entre el nivel de sigma de un proceso y los costos de calidad..... 8
Tabla 1.3. Valores de C_p y su interpretación..... 10
Tabla 1.4. Índices C_p, C_{pi} y C_{ps} en términos de la cantidad de piezas malas; bajo normalidad y proceso centrado en el caso de doble especificación..... 10
Tabla 1.5. Calidad de corto y largo plazo en términos de C_p, Z_c, Z_L y PPM..... 20
Tabla 1.6. Reducción de defectos al subir el número de sigmas del proceso..... 21
Tabla 2.1. Niveles de Seis Sigma con su equivalente DPMO..... 39
Tabla 2.2. Análisis de varianza para un diseño unifactorial..... 43
Tabla 3.1. Cuantificación de costos de no calidad en devoluciones 2015..... 52
Tabla 3.2. Análisis de porcentaje de devoluciones por área..... 53
Tabla 3.3. Planeación del proyecto a aplicar..... 55
Tabla 3.4. Caracterización del proceso de impresión..... 56
Tabla 3.5. Variable problema estudiada caracterizada para definir sistema de mejora..... 59
Tabla 3.6. Medición de criterios Seis Sigma..... 59
Tabla 3.7. Datos tomados en el proceso de la variable estudiada..... 60
Tabla 3.8. Datos cumplimiento especificaciones..... 63
Tabla 3.9. Determinación de los contrastes ortogonales..... 64
Tabla 3.10. Análisis de varianza para el modelo lineal..... 65
Tabla 3.11. Datos impresoras Comexi..... 68
Tabla 3.12. Información del cumplimiento de especificaciones en Impresora Sirio..... 69
Tabla 3.13. Diseño factorial 2^3 planteado en base a factores determinados..... 70
Tabla 3.14. Organización de los datos aplicando las combinaciones..... 70
Tabla 3.15. Aplicación de la técnica de Yates para el proceso de impresión..... 71
Tabla 3.16. Análisis de varianza para el diseño 2^3..... 71
Tabla 3.17. Observaciones del proceso de impresión..... 75
Tabla 3.18. Observaciones del proceso de impresión..... 80

Tabla 3.19. Análisis de datos de medición de CEP 83
Tabla 3.20. Determinación Cp 84
Tabla 3.21. Determinación Límites 84
Tabla 3.22. Datos del proceso después de implementado proyecto de mejora 85
Tabla 3.23. Comparación de paros de máquina 2015 y 2016 89
Tabla 3.24. Inversión en tinta en los años 2015 y 2016 92

INDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.1. Esquema gráfico de DMAMC a ejecutar en proyectos Seis Sigma.....7
Figura 2.1. Consumo de empaques flexibles en el mundo (2008-2018, en millones de dólares) 34
Figura 2.2. Muestra ordenada muestra la función empírica de la muestra.....47
Figura 3.1. Diagrama de Pareto Análisis de Producto No Conforme por Área 54
Figura 3.2. Diagrama de proceso de impresión flexográfica 58
Figura 3.3. Niveles de DPMO 74
Figura 3.4. Gráfica de Control - Rango.....76
Figura 3.5. Gráfica de Control - Promedio.....77
Figura 3.6. Determinación de límites de control de subgrupos para el RANGO.....78
Figura 3.7. Determinación de límites de control de subgrupos para el PROMEDIO 78
Figura 3.8. Gráfico de control del promedio 81
Figura 3.9. Gráfica de control del Rango 81
Figura 3.10. Gráfico de control para la desviación estándar 82
Figura 3.11. Capacidad del proceso medido en Statgraphics.....83
Figura 3.12. Gráfico de control del promedio 88
Figura 3.13. Gráfica de control del Rango 88
Figura 3.14. Desviación estándar del proceso de impresión 89
Figura 3.15. Análisis de mejora en paros de máquina 2015 vs 2016. 91
Figura 3.16. Tabulación de inversión en tinta 2015 vs 2016. 93
Figura 3.17. Análisis Capacidad del proceso 94

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se aplicó la herramienta DMAMC para obtener una mejora en el proceso de impresión flexográfica.

En la primera etapa se definió el área a aplicar el proyecto de mejora basado en el Análisis de Pareto basado en los datos de las devoluciones del 2015, con un resultado del 64% en el área de impresión por lo que se catalogó esta como crítica; una vez realizada esta definición se planificó a detalle el proyecto de mejora y se caracterizaron los procesos.

En la etapa de medición se determinó el nivel sigma de la compañía previo a la aplicación del proyecto de mejora, este nivel fue de 3,69 con un rendimiento del 98,01% y un DPMO de 20 000.

La tercera etapa, llamada de mejoramiento, se aplicó el Diseño Experimental Unifactorial. Este método permitió aceptar la Hipótesis Nula en la que se planteó la influencia del tipo de impresora en el cumplimiento de especificaciones, esta información fue confirmada al realizar el análisis del Coeficiente de Determinación.

En la etapa de análisis se construyó la Prueba de Kolmogorov Smirnov Lilliefors, se concluyó que la muestra se distribuyó normalmente, se aplicó el Diseño de Parámetro Robusto mediante un Diseño Factorial 2^3 que permitió determinar si el proceso requiere cambios sustanciales.

Finalmente en la etapa de control se permitió establecer los límites para el promedio, el rango y x-bar en las dos fases de control; los valores fueron: límite superior 5,4680, límite inferior 5,3175 y un promedio de 5,3927.

En el 2015 el DPMO fue de 20 000, después de la aplicación de la herramienta se obtuvo un valor de 8 333, esta mejora generó incrementos en la rentabilidad y productividad de la compañía. De esta manera se cumplieron los objetivos requeridos en cuanto a mejora en la capacidad del proceso de impresión.

El plan de mejora aplicado fue la creación de una planta de elaboración de tintas con el objetivo de obtener una materia prima que cumpla con las especificaciones de una forma constante, además de generar ingresos por más de 500 000 dólares anuales.

La correcta aplicación de Seis Sigma fue una estrategia gerencial de alto impacto que logró importantes mejoras en el proceso de producción, si bien en el primer proceso de implementación no se logró un resultado favorable de 3,4 DPMO. El DPMO obtenido fue de de 8 333, por lo que es recomendable continuar con la aplicación de Seis Sigma en las posteriores etapas hasta llegar a la calidad deseable.

INTRODUCCIÓN

El informe emitido en 2013 por el Ministerio de Industrias se determina a Sigmaplast como la compañía más grande de producción de empaques flexibles en Ecuador. Con un volumen de producción de 2 200 toneladas mensuales e ingresos por 65 millones de dólares. El alto volumen de producción y la exigencia de sus clientes nacionales e internacionales obligan a que la compañía se encuentre en un proceso constante de mejora continua en sus procesos (Harrington, 1993, p. 87).

El análisis estadístico en el control de procesos permite determinar la eficiencia de estos mediante el cumplimiento o no de los requerimientos del cliente, se considera el incumplimiento como un defecto (Pande, Newman y Cavanagh, 2004, p. G32).

El incremento del Nivel Sigma se relaciona directamente con la disminución de los Defectos por Millón de Oportunidades, debido a que su descenso implica obtener una cantidad más alta de producto conforme, lo que incrementa las ventas y utilidades para la compañía (Martín, 2015, p. 17).

El proceso de impresión es el más importante en las compañías productoras de empaques flexibles, esto debido a que no sólo se brinda una solución de empaque para producto sino que se convierte en un medio de comunicación al cliente. En este contexto Sigmaplast se ha planteado la mejora de su proceso de impresión flexográfica por medio de la utilización de la herramienta Seis Sigma.

La aplicación de la herramienta Seis Sigma en el presente proyecto busca reducir las no conformidades en el proceso de impresión, de esta manera se conseguirá disminuir los rechazos de producto no conforme. Como consecuencia global de esta acción el aumento de la satisfacción del cliente.

Los principales objetivos planteados para esta mejora son:

- Definir el impacto de las desviaciones del proceso de impresión flexográfica y sus efectos en términos económicos para la compañía.
- Analizar los datos de devoluciones internas y externas, desviaciones en el proceso y flujo de trabajo para generar información para la toma de decisiones.
- Analizar los datos generados en la medición de conformidad del producto para generar una hipótesis de mejora en el proceso de impresión flexográfica.
- Mejorar el proceso de impresión flexográfica mediante la aplicación de soluciones planteadas a través de un plan de implementación.
- Controlar el proceso de impresión una vez implementadas las mejoras planteadas.

Para cumplir el objetivo planteado fue fundamental que los procesos cumplan con un rendimiento de 99,9996% (3,4 posibles defectos entre millón de posibilidades).

El proyecto fue estructurado en cuatro capítulos, siendo estos: revisión bibliográfica, parte experimental, resultados-discusión y conclusiones-recomendaciones.

El presente proyecto es aplicable a compañías de manufactura ya que su objetivo es reducir los defectos a través de la utilización de herramientas estadísticas que permitirán reducir la variabilidad del proceso.

1 REVISION BIBLIOGRÁFICA

1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Cuando un cliente realiza la compra de un bien o servicio busca tres características: precio justo, alta calidad y tiempo exacto; en resumen su búsqueda se basa en la satisfacción de sus necesidades y expectativas (Montaner, 2011, p. 45).

Con la creciente crisis mundial las empresas han optado por sistemas de optimización de procesos que permitan mejorar los caracteristicas antes citadas, entre las herramientas más importantes se encuentran Seis Sigma y Proceso Esbelto (Beal, 2007, p. 50).

La experiencia de varios años muestra que una compañía que tiene problemas de calidad al ser observada en sus procesos previos tiene fallas de todo tipo que desencadenan varios problemas como pueden ser: reprocesos, paros y fallas, inspecciones excesivas, gastos por fallas, problemas recurrentes en la materia prima, varios clientes insatisfechos, innumerables perdidas en ventas, etc. (Heizar y Render, 2007, p. 102).

En síntesis, las empresas que se desarrollan en un ambiente como el antes descrito generan mayor gasto y por ende menor producción que afecta directamente a las utilidades (Beltrán, 1999, p. 31).

En busca de esta mejora continua en los años 80 nació la táctica de mejora continua denominada Seis Sigma (6σ), siendo Motorola la compañía pionera en su implementación. El objetivo fue reducir la gran cantidad de quejas por parte de sus clientes y desde luego salir de la presión que ejercían sus competidores.

Varios autores indican que la aplicación de esta metodología ahorró a Motorola alrededor de 15 mil millones de dólares en los diez años posteriores a su aplicación, convirtiéndose en una estrategia de mejora continua.

Según indica la teoría (Gutiérrez y De La Vara, 2009, p. 87), las ganancias en las empresas pioneras son millonarias como se muestras a continuación:

- Motorola: ahorró $ 1 000 000 000 en un período de tres (3) años lo que lo acreditó con el mayor reconocimiento de calidad “Malcolm Baldrige” en el año de 1988.
- Alllied S.: sus proyectos de mejora con $ 2 000 000 000 en cinco años a mediados de los noventas.
- General Electric: ahorró un monto superior a los 2 570 millones de dólares 1997 y 1999 (Gutiérrez y De La Vara, 2009, p. 89)

Seis sigma es una herramienta estadística de mejora empresarial cuyo objetivo principal es la generación máxima de 3,4 Millones de Defectos por Millón de Oportunidades de Error (Gutiérrez, 2010, p. 280).

El principal objetivo que buscan las compañías al implementar Seis Sigma es mejorar 10 veces la satisfacción al cliente en un período mediano, pero pueden ser incluso cinco años.

En 1986 los directivos de Motorola analizaron los resultados de esta gestión y concluyeron que no era suficiente este nivel de mejora si querían mantenerse líderes en el mercado, por lo que en 1987 el director general de la compañía fijó un nuevo objetivo “mejorar la calidad de los productos y los servicios 10 veces más para 1989, por lo menos 100 veces para 1991 y alcanzar el nivel de Seis Sigma en 1992. Para alcanzar la Satisfacción Total del Cliente, el objetivo final es cero defectos en todo lo que hacemos” (Penzer, 1989, pp. 27-28).

En términos económicos las empresas que sin duda son creadas con el objetivo de generar ganancias, han creado un creciente interés en implementar Seis

Sigma, para eso es fundamental tomar en cuenta ciertas características del proceso.

Esta herramienta no es un proyecto que empieza y termina en el corto plazo (meses), la aplicación es un compromiso que va desde la gerencia, pasa por los líderes de proceso y termina en los proveedores convirtiéndose en una filosofía de trabajo. Parte fundamental de llegar a este objetivo es la difusión de resultados ya que quienes intervienen en este proyecto podrán ver las mejoras y sentirse motivados para continuar en este sistema de mejora (Medina, 2005, p. 32).

En la actualidad existen varias compañías en todo el mundo que han implementado y siguen implementando esta metodología; el Ecuador no ha sido la excepción por lo que en la Tabla 1.1 se presentan varios casos de éxito en los que se ha aplicado la metodología Seis Sigma.

Tabla 1.1. Casos de Éxito de Seis Sigma Aplicados en Ecuador

Descripción general de Casos en los que se aplicó Metodología Seis Sigma			
COMPAÑÍA	**PROYECTO**	**OPORTUNIDAD DE MEJORA**	**RESULTADO**
BRENNTAG, 40 años en el mercado ecuatoriano, maneja la distribución de varios químicos para el procesamiento de productos	Reducción de tiempos de espera de los transportistas durante el proceso de despacho.	Por lo variable de la producción no se puede programar entregas	Al principio se reportó tiempos de 52 minutos, después de implementar seis sigma se logró 38 minutos
DIFARE empresa ecuatoriana de alta importancia en la distribución y desarrollo de productos farmacéuticos	Disminución de reclamos por errores logísticos	El proyecto se enfocó hacia el análisis de las causas que originan los reclamos de clientes de distribución y consecuentemente la emisión de Notas de crédito por los diferentes motivos. Se orientaron las iniciativas de mejora hacia la disminución de los faltantes y averiados de mercadería en el despacho, chequeo y transporte.	Ahorro superior a 1 000 000 de dólares para la empresa en un año
ARTEFACTA cadena de electrodomésticos con más de 28 años en el mercado nacional	Disminuir el número de revisiones de expedientes de crédito	Para el análisis crediticio se encontró que cada expediente es revisado más de una vez, ocasionando re-procesos en la Tienda y en la central de crédito; se identificaron 5 principales motivos de las devoluciones.	Su ahorro superó los 30 000 dólares con las siguientes acciones: 1.- Se disminuyó el número de revisiones de expedientes generados en tiendas 2.- Aumento de la productividad del vendedor y analista de crédito 3.- Incremento de las ventas por mayor volumen de operaciones aprobadas

Tabla 1.2. Casos de Éxito de Seis Sigma Aplicados en Ecuador (continuación…)

PRONACA una de las principales empresas productoras de alimentos en Ecuador	Reducción de la Variación de Inyección en Aves Pesadas.	Para la producción de materia prima, presas seleccionadas y bandejas de pavo que se destinan a los clientes, es necesario cortar y filetear presas (pechugas, alas, piernas y muslos). Estas presas se obtienen a partir de cortes manuales que se denominan “cortes primarios” y que se realizan a las “carcasas” de pavo.	Se redujo en un 0.5%, con ahorros de más de 100 000 dólares para la compañía

1.2 BASES TEÓRICAS

Existen varias herramientas de mejora continua, sin embargo es importante diferenciar las características de Seis Sigma.

Está alineada en el cliente y se enfoca en los procesos. El cliente tiene varios requerimientos en cuanto a volumen, calidad, tiempo y servicio es por esto que los procesos deben estar enfocados en todo momento a cumplir con estas exigencias, se debe entender cuáles son estas necesidades para poder satisfacerlas (Beltrán, Carmona y Carrasco, 2009, p. 72). El paso primario y fundamental de Seis Sigma es el estudio detallado de las expectativas del cliente, con base en estos datos se desarrollarán las actividades para cumplir y exceder estos requerimientos. Al no conocer quien es el cliente y que es lo que requiere no existe un horizonte claro de trabajo.

Los datos son la base de Seis Sigma. Sin un pensamiento estadístico Seis Sigma nunca logrará los resultados proyectados (Bravo, 2009, p. 42). Los datos correctamente planteados ayudan a definir las variables de mejora a lo largo del proceso y sobre todo es factor de medida en la mejora, medir es la clave de esta herramienta.

La metodología sólida de Seis Sigma. Los datos deben ser procesados por medio de una robusta metodología de lo contrario no se conseguirá la mejora perseguida, para esto Seis Sigma se basa en DMAMC, que es una herramienta de mejora dividida en cinco fases como se puede apreciar en la Figura 1.1: definir, medir, analizar, mejorar y controlar (Gutiérrez, 2010, p. 285).

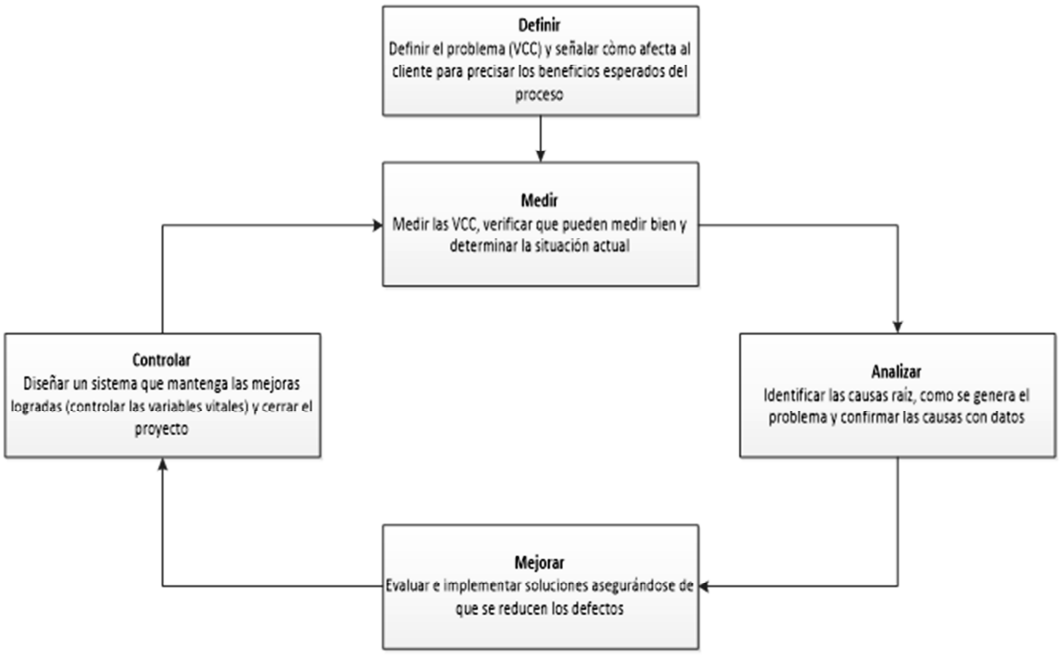


Figura 1.1. Esquema gráfico de DMAMC a ejecutar en proyectos Seis Sigma
(Gutiérrez, 2010, p. 285)

Proyecto Seis Sigma genera ahorros o aumento en ventas. El resultado de la implementación de un proyecto Seis Sigma es siempre un ahorro o un aumento en las ventas, para esto se debe tomar en cuenta que no se debe realizar una mejora general en demasiados procesos a la vez (Martín, 2015, p. 33).

Lo ideal es seleccionar un proyecto clave cuya resolución genere soluciones de fondo a los problemas de muy baja calidad y un mal desempeño de los procesos, es entonces que todos los esfuerzos deben mitigar las pérdidas por estas variables. En la Tabla 1.2 se definen las relaciones entre el nivel de sigma en los procesos analizados y los costos de calidad reportados, la compañía deberá definir a que nivel de Seis Sigma llegará en base a estos datos (Rajadell, 2002, p. 94).

Tabla 1.3. Relación entre el nivel de sigma de un proceso y los costos de calidad

Nivel de sigmas (corto plazo)	Rendimiento del proceso (largo plazo)	PPM (Partes por millón)	Costos de calidad como porcentaje de las ventas
1	30,9000%	690 000	NA
2	69,2000%	308 000	NA
3	93,3000%	66 800	25-40%
4	99,4000%	6 210	15-25%
5	99,9800%	320	5-15%
6	99,9997%	3.4	<5%

(Gutiérrez, 2010, p. 285)

1.2.1 ÍNDICES DE CAPACIDAD DE PROCESO.

Un índice de capacidad se define como una medida específica en el proceso, los resultados obtenidos de su correcto y detallado análisis permiten verificar el cumplimiento de las especificaciones propuestas. A continuación se analizan estos índices:

Proceso con doble especificación. Todos los procesos como parte de su comportamiento normal tienen variables de salida que deben ser comparadas con las especificaciones planteadas. Permiten determinar si el proceso funciona de manera satisfactoria.

Índice Cp. Es el índice que puede determinar la capacidad potencial presente en el proceso se define como se presenta en la Ecuación 1:

$$Cp = \frac{Es-El}{\sigma} \qquad [1.1]$$

Donde:

Cp: capacidad del proceso

σ: desviación estándar del proceso

ES y EI: especificación superior e inferior de calidad determinadas mediante μ ± 3σ como se indica a continuación.

El índice C_p realiza una comparación del rango de la especificación también llamada tolerancia de especificación con la holgura de la diferenciación existente como se puede observar en la ecuación 2:

$$Cp = \frac{Variación\ total}{Variación\ real} \qquad [1.2]$$

Se define 6σ como "la variación real en base a una de las propiedades básicas de la distribución normal en la que se afirma que entre μ ± 3σ se encuentra 99,73% de los valores de una variable con distribución normal" (Gutiérrez y De La Vara, 2009, p. 77).

Definición de C_p (Indice). "Para que un proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones requeridas es fundamental que la variación real (natural) siempre sea menor que la variación tolerada" (Gutiérrez y De La Vara, 2009, p. 80), basado en este requerimiento lo ideal en un proceso es que el índice C_p sea mayor a 1.

Si el valor de C_p es menor que 1 el proceso no cumple con las especificaciones requeridas. Para realizar un análisis preciso de la interpretación del índice C_p en la Tabla 1.3 se presentan varias categorías de procesos que dependen del valor de C_p; en esta tabla se relaciona los valores del índice C_p con la categoría del proceso, es

decir se determina si tiene o no calidad Seis Sigma. Según esta tabla un proceso adecuado debe ser mayor a 1,33 y un proceso Seis Sigma debe ser igual o mayor a 2 (Escalante, 2008, p. 175).

Tabla 1.4. Valores de C_p y su interpretación

Valor del Índice C_p	**Clase o categoría del proceso**	**Decisión (Si el proceso está centrado)**
$C_p > 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

(Gutiérrez, 2010, p. 290)

En la Tabla 1.4 se especifican los valores del índice representando también el valor porcentual de unidades que no se encuentran cumpliendo detalles específicos así como también se detalla las partes defectuosas por cada millón por millón producido ppm.

Tabla 1.5. Índices C_p, C_{pi} y C_{ps} en términos de la cantidad de piezas malas; bajo normalidad y proceso centrado en el caso de doble especificación

Valor del Índice (Corto Plazo)	**Proceso con doble especificación (Índice C_p)**		**Con referencia a una Sola Especificación (C_{pi}, C_{ps}, C_{pk})**	
	% Fuera de las dos especificaciones	**Partes por Millón Fuera (PPM)**	**% Fuera de una especificación**	**Partes por Millón Fuera ppm**
0.2	54,8506%	548 506,130	27,4253%	274 253,065

Tabla 1.4. Índices C_p, C_{pi} y C_{ps} en términos de la cantidad de piezas malas; bajo normalidad y proceso centrado en el caso de doble especificación (continuación…)

0.3	36,8120%	368 120,183	18,4060%	184 060,092
0.4	23,0139%	230 139,463	11,5070%	115 069,732
0.5	13,3614%	133 614,458	6,6807%	66 807,229
0.6	7,1861%	71 860,531	3,5930%	35 930,266
0.7	3,5729%	35 728,715	1,7864%	17 864,357
0.8	1,6395%	16 395,058	0,8198%	8 197,529
0.9	0,6934%	6 934,046	0,3467%	3 467,023
1.0	0,0967%	2 699,934	0,1350%	1 349,967
1.1	3,1800%	966,965	0,0483%	483,483
1.2	0,0096%	318,291	0,0159%	159,146
1.3	0,0027%	96,231	0,0048%	48,116
1.4	0,0070%	26,708	0,0013%	13,354
1.5	0,2000%	6,802	0,0003%	3,401
1.6	0,0000%	1,589	0,0001%	0,794
1.7	0,0000%	0,340	0,0000%	0,170
1.8	0,0000%	0,067	0,0000%	0,033
1.9	0,0000%	0,012	0,0000%	0,006
2.0	0,0000%	0,002	0,0000%	0,001

(Gutiérrez y De La Vara, 2009, pp. 102 -103)

Para poder aplicar las Tablas 1.3 y 1.4 a la interpretación de los índices es importante tomar en cuenta que se encuentran fundamentadas en cuatro preceptos:

- La especificación de la calidad evaluada se distribuye normalmente.
- El proceso es centrado.
- El proceso se encuentra estable, bajo un control estadístico.
- La variación estándar del proceso es conocida.

Una vez aplicado el análisis basado en las tablas antes señaladas se determina si la capacidad del proceso productivo estudiado cumpliría o no las especificaciones determinadas, en el caso de no hacerlo se determina como insuficiente. En este último caso los especialistas deben buscar la implementación de alternativas estadísticas cuyo objetivo busca la mejora en el proceso, siempre con una reducción la variación, también se pueden definir nuevas tolerancias o inspecciones al 100% lo cual resulta no eficiente en procesos a gran escala (Escalona, 2009, pp. 35-37).

Si la capacidad es mayor esta puede ser aprovechada patentando el método, programar productos a máquinas de menor capacidad, activar el proceso y reducción de inspecciones (Evans, 2014, p. 42).

Índice C_r. Se le conoce como razón de capacidad y está definido como se muestra en la Ecuación 1.3:

$$Cr = \frac{6\sigma}{Es - Ei} \qquad [1.3]$$

Donde:
Cr: razón de capacidad
σ: desviación estándar del proceso
ES y EI: especificación superior e inferior de calidad.

El índice C_r es el inverso de C_p ya que compara una variación real contrastada con la diferenciación tolerada. En este índice al contrario de C_p se pretende que el denominador sea mayor que el numerador por lo que su resultado ideal son valores menores que 1. La interpretación de este índice es bastante intuitiva, si por ejemplo C_r = 1,20 se puede decir que el proceso cubre el 120%, siendo su capacidad inadecuada (Gutiérrez y De La Vara, 2009, pp. 82-84).

Índices Cpi, Cps y Cpk. Los índices C_p y C_r tienen una gran desventaja debido a que es tomado en cuenta el centrado en el proceso, esto se debe principalmente a que las ecuaciones planteadas no son parte de la media en ningún momento del proceso (μ).

Para poder compensar se puede valorar apartadamente si la especificación fijada se cumple o no, se toma en cuenta la especificación inferior y la especificación superior. Para este caso en particular se debe utilizar el índice de capacidad para la especificación inferior, conocido como C_{pi}, y el índice de capacidad para la especificación superior, conocido como C_{ps}, estos índices se presentan las Ecuaciones 1.4 y 1.5 respectivamente:

$$Cps = \frac{Ei - \mu}{3\sigma} \quad [1.4]$$

$$Cpi = \frac{\mu - Ei}{3\sigma} \quad [1.5]$$

Donde:
Cps: indice de capacidad para la especificación superior
Cpi: indice de capacidad para la especificación inferior
σ: desviación estándar del proceso
ES y EI: especificación superior e inferior de calidad.

En estos Índices Cpi, Cps y Cpk se toma en cuenta la media, pues cuando se calcula la distancia en el punto medio del proceso en relación a cualquiera de las especificaciones definidas, el trayecto simboliza la diferenciación sostenida para el proceso enfocado únicamente en un punto de la media, es por eso que se fragmenta entre tres sigma (3σ) debido a que solo toma en cuenta la mitad del proceso. (Gutiérrez y De La Vara, 2009, p. 85).

Para la correcta interpretación de los índices antes indicados se puede utilizar la Tabla 1.4, sin embargo para discurrir que el proceso es conveniente los valores de C_{pi} o C_{ps} deben ser mayores que 1,25 en términos del porcentaje de los productos que no cumplen con las especificaciones dadas.

El índice C_{pk} o llamado también capacidad real que es considerado una corrección de C_p debido a que se enfoca en el centrado del proceso, su fórmula se muestra en la Ecuación 1.6:

$$Cpk = minimo\left[\frac{\mu - El}{3\sigma}, \frac{Es - \mu}{3\sigma}\right] \quad [1.6]$$

Donde:
Cpk: indice de capacidad real
Cpi: indice de capacidad para la especificación inferior
σ: desviación estándar del proceso
ES y EI: especificación superior e inferior de calidad.

El índice Cpk se determina como el valor más pequeño al comparar el índice Cpi y el índice Cps, si el índice Cpk es mayor que 1,25 se clasifica como satisfactorio concluyendo que el proceso es capaz. Si Cpk es mayor que 1,0; se puede concluir que el proceso no cumple con por lo menos alguna de las especificaciones (Gutiérrez y De La Vara, 2009, pp. 55-58).

A continuación se muestran cómo interpretar el índice Cpk:

- El índice Cpk por regla general será mayor o menor que Cp. Su proximidad podría indicar al revisar la media en el proceso que está relativamente

adyacente del sitio intermedio de las descripciones (detalles), entonces se concluye que ambas capacidades, la potencial y real son análogas.

- En el caso de que el valor numérico de Cpk esté por debajo que el valor de Cp, se entiende que la media calculada está fuera de valor determinado como requisito. Se concluye entonces que el índice Cpk indica la capacidad real del proceso, al corregir el inconveniente de descentrado se podría alcanzar la capacidad potencial determinada por Cp.
- Si Cpk es superior a 1,25 en un proceso que ya se encuentra establecido, se entiende que la capacidad es satisfactoria. En un proceso nuevo es primordial que Cpk sea mayor a 1,45.
- Si se obtiene que Cpk = 0 ó negativos, indudablemente la media del proceso no cumple las especificaciones.

Índice K. Es de extrema importancia al evaluar el comportamiento de un proceso el determinar la repartición de la propiedad de calidad, si está se encuentra centrada o no en referencia al cumplimiento de las especificaciones dadas, en este punto es fundamental determinar K, que se presenta en la Ecuación 1.7:

$$K = \frac{\mu - N}{\frac{(Es - EI)}{2}} * 100 \qquad [1.7]$$

Dónde:

K: índice de calidad

μ: media del proceso

N: valor objetivo o nominal

ES y EI: especificación superior y especificación inferior para la propiedad de calidad

El índice K determina una diferenciación entre la media establecida en el proceso y el valor objetivo en función de la propiedad o característica de calidad y posterior a este

análisis, en conclusión se estable una diferenciación producto de la comparación establecida con la media de especificaciones dadas. Al multiplicar por 100 y el resultado obtenido arrojará la media porcentual (Gutiérrez y De La Vara, 2009, p. 62).

La interpretación de este índice se debe realizar en base a:

- Si K tiene valores positivos se concluye que la media es mayor al valor objetivo o denominado nominal y por el contrario este será negativo cuando μ sea mayor que N.
- Si el valor de K se encuentra en menos del 20% siempre en términos absolutos se suponen aceptables, sin embargo si K absoluto es mayor que el veinte por ciento, se identifica como un proceso altamente fuera de su centro (descentrado), entonces la capacidad del proceso es baja para cumplir especificaciones.

Índice C_{pm} o conocido como Índice de Taguchi. Ambos indicadores, C_p y $C_{pk,}$ tienen la función primaria de reducir variabilidad de un proceso en el cumplimiento de especificidad, sin embargo para Taguchi esto no es equivalente a alta calidad, la reducción de la variabilidad se encuentra al medir el valor nominal N.

La capacidad del proceso para Taguchi debe estar definida por C_{pm} como se muestra en la Ecuación 1.8:

$$Cpm = \frac{ES - El}{6\tau} \qquad [1.8]$$

Donde;
Cpm: índice de Taguchi
ES y EI: especificación superior y especificación inferior para la propiedad de calidad

τ (tau) está representada en la Ecuación 1.9:

$$\tau = \sqrt{\sigma^2} + (\mu - N) \qquad [1.9]$$

Donde:

τ: tau

μ: media

N: valor nominal de las características de calidad, generalmente N = 0,5 (ES + EI).

Este índice realiza una comparación de las especificaciones dados con el valor 6τ, pero se debe aclarar τ no se centra únicamente en la inestabilidad del proceso mediante σ^2, sino que realiza una ampliación al tomar en cuenta su centrada en $(\mu - N)^2$. Se concluye que si μ = N (proceso centrado), en consecuencia los índices C_p, C_{pk} y C_{pm} son iguales.

También se debe observar que si $C_{pm} < 1$ no cumple con lo especificado, debido a desviaciones de centrado o por el exceso de variabilidad. Por el contrario si Cpm > 1 el proceso, en conclusión cumple con lo especificado y la media tentativamente se encuentra dentro de la tercera parte central de la banda de las especificaciones.

En un ideal del comportamiento del sistema $C_{pm} > 1,33$; se considera que el proceso da cumplimiento a las especificaciones y dentro del gráfico estadístico la media del proceso se encuentra dentro de la quinta parte central del rango de especificaciones.

1.2.2 MÉTRICAS DE SEIS SIGMA

Seis sigma no puede aplicarse si no existe una medida de las variables, es aquí que la medición de la capacidad o mejor conocido estadísticamente como el nivel de la calidad en un proceso siempre y cuando se tengan especificaciones se mide el llamado índice Z (Montgomery, 1991, p. 101).

Este índice es un parámetro de medida entre la distancia que existe entre la especificidad dada y la media μ, expresada como desviación estándar, σ.

Según Gutiérrez (2010) indica que en un proceso con dos especificaciones que tiene Z superior conocido como Z_s y Z inferior denotado como Z_i se definen sus fórmulas en las Ecuaciones 1.10 y 1.11 respectivamente (p. 90).

$$Zs = \frac{ES-\mu}{\sigma} \qquad [1.10]$$

$$Zi = \frac{\mu-Ei}{\sigma} \qquad [1.11]$$

Donde:
Zs: índice Z superior
Zi: índice Z inferior
μ: media del proceso
ES y EI: especificación superior y especificación inferior para la propiedad de calidad

Se determina entonces que la capacidad de un proceso expresada en el índice Z corresponde al valor más pequeño entre los índices Z_s y Z_i como se muestra en la Ecuación 1.12:

$$Z = mínimo\ [Zs; Zi] \qquad [1.12]$$

Donde:
Zs: índice Z superior
Zi: índice Z inferior

Cuando una desviación estándar que es utilizada al calcular el índice Z es de temporal (corto) plazo se denominara Z_c si por el contrario la desviación es de largo plazo se denominará Z_L. La diferencia entre estos dos índices es determinada como desplazamiento del proceso y se mide como se indica en la ecuación 1.13:

$$Zm = Zc - Zl \qquad [1.13]$$

Donde:
Z_m: simboliza la destreza con la que se reconoce la técnica o tecnología
Z_c: desviación a corto plazo
Z_L: desviación a largo plazo

Calidad Tres Sigma. Cuando el índice Z es igual a tres se dice que se tiene un proceso Tres Sigma, esto parece adecuado si notamos que Cp y Cpk tienden a ser uno. En exigencias actuales no es apto por dos razones (Vilar, 2005, pp. 120-122).

- Al realizar un análisis a largo plazo se evidencian gran cantidad de productos fuera de especificación, implica demasiados errores.
- La media del proceso puede trasladarse hasta uno punto cinco sigmas en proporción al total nominal por componentes exteriores y desplazamientos del proceso. Estas modificaciones implican llevar el proceso a un objetivo de calidad más alta conocida como calidad Seis Sigma.

Calidad Seis Sigma. Para llegar a este nivel de calidad se deben delinear productos y procesos cuyo objetivo sea que la diferenciación de las características de calidad sea mínima y que el índice Z_c = 6, gráficamente la campana de distribución se encontrará dos veces internamente en las especificaciones.

La calidad Seis Sigma puede tener deslizamientos es un proceso metódico de cero defectos, representando un objetivo para los procesos internacionales (García, 2011, pp. 28-31). En la Tabla 1.5 se muestra la calidad de corto y largo plazo, en el lateral izquierdo se estima el valor determinado de calidad en breve (corto) plazo, esto sin desplazamiento y en la sección derecha se representa la calidad de extenso (largo) plazo, en base a esto se determinará el desplazamiento (Gutiérrez y De La Vara, 2009, p. 90).

Tabla 1.6. Calidad de corto y largo plazo en términos de C_p, Z_c, Z_L y PPM

Calidad de Corto Plazo (Suponiendo un proceso centrado)				**Calidad de Largo Plazo con un movimiento de 1.5σ**		
Índices C_p	**Calidad en Sigma Z_c**	**% de curva dentro de especificaciones**	**Partes por millón fuera de especificaciones**	**Índices Z_L**	**% de la curva dentro de especificaciones**	**Partes por millón fuera de especificaciones**
0,33	1	68,2700000	317 300	- 0,5	30,23000	697 700
0,67	2	95,4500000	45 500	0,5	69,13000	308 700
1,0	3	99,7300000	2 700	1,5	93,32000	66 807
1,33	4	99,9937000	63	2,5	99,37900	6 210
1,67	5	99,9999430	0,57	3,5	99,97670	233
2,0	6	99,9999998	0,002	4,5	99,99966	3,4

Nivel de calidad en sigmas: $Zc = 0{,}8406 + \sqrt{29{,}37 - 2{,}221 \times \ln(PPML)}$

$$PPM\ L = \exp\left[\frac{29{,}37 - (Z_c - 0{,}8406)^2}{2{,}221}\right]$$

(Gutiérrez y De La Vara, 2009, p. 90)

Los niveles de sigma no son números exactos solamente, sino que puede ser números reales con decimales. Es importante recalcar que pasar de un nivel sigma u otro no es tarea fácil. En la Tabla 1.6 se muestran cómo se logra la reducción de defectos de un nivel sigma al siguiente. Sin embargo este objetivo no se logra en un solo año, es un trabajo arduo de muchos años (Pérez, 2010, pp. 57-58).

Tabla 1.7. Reducción de defectos al subir el número de sigmas del proceso

Pasar de	A	Factor de reducción de defectos	Reducción porcentual
2 sigmas (308 537 ppm)	3 sigmas (66 807 ppm)	5	78%
3 sigmas (66 807 ppm)	4 sigmas (6 210 ppm)	11	91%
4 sigmas (6 210 ppm)	5 sigmas (233 ppm)	27	96%
5 sigmas (233 ppm)	6 sigmas (3.4 ppm)	68	99%

(Gutiérrez, 2010, p. 80)

Métrica Seis Sigma para atributos (DPMO). Este indicador Z es utilizado siempre que el parámetro de calidad evaluado sea tipo continuo, aunque se debe considerar que algunas de las características de calidad son de atributos. Cuando se presentan estas opciones es necesario aplicar como indicador a los Defectos por Millón de Oportunidades de Mejora (DPMO).

Para poder entender cómo se aplica este concepto de DPMO es fundamental conocer ciertos términos como la unidad, que en términos generales de producción se define como la parte o producto elaborado en un proceso y que es posible inspeccionar su calidad.

Oportunidad de error, es un defecto o cualquier no conformidad conocida como desviación de la calidad requerida por medio de especificaciones previas establecidas para un producto.

En base a los criterios antes citados se ha desarrollado el índice DPU (defectos por unidad), esta medición establece el estado de no calidad que presenta un proceso dado, pero en ningún caso es influenciado por oportunidades de error, según lo indicado en la Ecuación 1.14:

$$DPU = \frac{d}{U} \quad [1.14]$$

Donde:
DPU: defectos por unidad
U: número de unidades inspeccionadas.
d: número de unidades con defectos

Ambas variables deben ser evaluadas en un tiempo determinado.

Es importante tomar en cuenta la complejidad de la unidad, para ello se utiliza el indicador DPO (Defectos por Oportunidad) para determinar la no calidad, su fórmula se visualiza en la Ecuación 1.15:

$$DPO = \frac{d}{U \times O} \quad [1.15]$$

Donde:
DPO: defectos por oportunidad
U: número de unidades inspeccionadas.
d: defectos.
O: número de oportunidades de error por unidad.

Procesos con una sola especificación. Existen procesos cuyas variables de salida tiene una sola especificación, esta especificación puede ser mayor a cierto valor mínimo (EI) o menor al valor máximo (ES).

En esta clase de procesos es fundamental que el valor sea lo requerido en ambas especificaciones sin caer en exageraciones.

Estimación por intervalo de los índices de capacidad. Con el fin de calcular los índices de capacidad y realizar su interpretación es necesario el conocimiento de la media (μ) y también la desviación estándar (σ) del proceso, con un excelente acercamiento. Pero si no se conocen estos datos es necesaria la utilización de datos tomados como muestras en el proceso y realizar una estimación en cada intervalo de estos índices.

Si por ejemplo x_1, x_2,….., x_n es parte contingente, $\bar{x}$ la media y *S* la desviación estándar. Si los índices dados son $\bar{x}$ y *S* en lugar de μ y σ, entonces la estimación estará dada por las Ecuaciones 1.16, 1.17, 1.18, 1.19 y 1.20 como se indica a continuación:

$$\hat{C}p = \frac{ES-El}{6S} \qquad [1.16]$$

$$\hat{C}p = \frac{\bar{x}-El}{3S} \qquad [1.17]$$

$$\hat{C}ps = \frac{ES-\bar{x}}{3S} \qquad [1.18]$$

$$\hat{C}pk = \min(\hat{C}pi; \hat{C}ps) \qquad [1.19]$$

$$\hat{C}pm = \frac{ES - El}{6\sqrt{S^2} + (\bar{x} - N)^2} \quad [1.20]$$

Donde:
ES y EI: especificación superior y especificación inferior para la propiedad de calidad
Cpk: índice de capacidad real
Cpm: índice de Taguchi
Cp: capacidad del proceso

Al tomar una muestra para realizar la evaluación de la capacidad es posible se determinen tres tipos de procesos:

1. Procesos que presentan alta capacidad, se puede llegar a esta conclusión cuando el límite inferior de los intervalos de confianza es mayor que 1,33 o mínimo 1,0.
2. Baja capacidad, esto ocurre cuando el límite superior de los intervalos de confianza es menor que 1,0.
3. Capacidad intermedia, esto se da cuando no se encuentra en ninguna de las dos descritas anteriormente. Se aconseja que estos casos se siga monitoreando el proceso hasta obtener una mayor evidencia sobre la capacidad del proceso (Medina, 2005, p. 28).

1.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Seis Sigma. Se define como una estrategia de mejora continua cuyo objetivo es buscar la identificación de la causa de los errores, fallas y paros en los diferentes

procesos de la compañía, siempre se deben enfocar en los aspectos críticos para el cliente (Gutiérrez y De La Vara, 2009, p. 210).

Mejora continua. “Su propósito es mejorar la eficacia de un sistema mediante la aplicación de lineamientos de calidad, incremento de las metas, mejora en las verificaciones de inspección, eficacia en el estudio y procesamiento de datos, eficaces acciones correctivas y preventivas” (Norma ISO 9000, 2015, p. 14).

Medición. Para Quesada (1991), la medición "es el proceso de asignar una cantidad al atributo medido, después de haberlo comparado con un patrón." El mismo autor relaciona la medición con la evaluación diciendo que la medición "conforma una etapa de la evaluación” (Quesada, 1991, p. 33).

Controlar. Según Koontz y O'Donnel, control es evaluar y corregir las actividades de subordinados para asegurarse que los eventos se ajustan a los planes. (Koontz y O`Donnel, 2010, p. 27).

Capacidad de un proceso. Se enfoca en determinar la profundidad de la diversificación natural del proceso para una especificación determinada previamente, ya que esto permitirá saber si es satisfactoria (Beal, 2007, p. 58).

Índice DPU (defectos por unidad). Se define como una métrica de calidad, su fórmula es igual a la cantidad de defectos reportados divididos entre el número de unidades o lotes que fueron inspeccionadas. No se toma en consideración ninguna de las oportunidades de error.

Hipótesis nula Ho. Información acerca del valor de un parámetro poblacional que se considerará válida para desplegar el procedimiento de pruebas.

Hipótesis alternativa H_A. Afirmación que se aceptaría si los datos muéstrales proporcionaron certeza de que la hipótesis nula es falsa.

Región de rechazo. Conjunto de posibles valores del estadístico de ensayo que llevan a rechazar H_o.

Región de aceptación. Posibles valores donde no se rechaza H_o.

Error tipo I. Es cuando se rechaza la hipótesis nula y es verdadera.

Error tipo II. Lugar en donde se acepta la hipótesis nula y es falsa.

1.4 SISTEMAS DE HIPÓTESIS

El sistema de hipótesis es la representación de la estructura teórica que se verá reflejada en un conjunto de hipótesis lo que permitirá establecer la realidad de la investigación.

Una hipótesis se puede definir como una proposición que asocia los hechos reales con las ideas propuestas, el reto de la investigación se basa en la correcta explicación del ¿cómo? y ¿por qué? se dan los hechos reales y enlazarlos con la proposición inicial (Gutiérrez, 2010, pp. 88-91).

El objetivo de cualquier estudio estadístico es responder con un alto grado de confianza a ciertas preguntas o tomar decisiones.

Los pasos para probar una hipótesis se describen a continuación:

1. **Planteamiento de una hipótesis estadística.** Esta se define como una aseveración de los datos de las cuantificaciones de un determinado universo, la cual es posible probar en base a la información recolectada siendo esta una muestra amplia poblacional.

   En forma general se debe suponer que la hipótesis nula es verdadera y solo si es rechazada con base en la evidencia se aceptaría la hipótesis alternativa.

   La elección del valor del parámetro que especifíca la hipótesis es de alta importancia, este debe ser producto de un estudio realizado con anticipación ya que la toma de decisiones en base a su aceptación o rechazo permitirá a la alta gerencia tomar decisiones correctas.

2. **Estadístico de prueba.** Con el fin de probar una hipótesis es fundamental realizar una investigación basada en la evidencia encontrada en una muestra escogida de manera apropiada, en el caso de que lo afirmado por la hipótesis nula sea verdad o no, si es falso, se tomará como verdadera la hipótesis alternativa.

   Si las investigaciones realizadas no señalan claramente la falsedad de la hipótesis nula, esta no debe ser rechazada.

   Cuando la hipótesis está planteada de manera aleatoria se toma una muestra de la población en estudio. Una vez concluída esta acción se deberá aplicar el Estadístico de Prueba que se limita como una fórmula que permitirá el cálculo de un dato basado en el histórico estadístico y en la hipótesis nula.

El resultado de este cálculo permitirá resolver si se rechaza o no la hipótesis nula. Al conjunto de posibles valores del estadístico de prueba que lleva a rechazar la hipótesis nula se le denomina región o intervalo de rechazo para la prueba, los valores que no permiten el rechazo de la hipótesis nula se les llama región o intervalo de aceptación.

3. Criterio de rechazo. Se dice que el estadístico de prueba, que ha sido elaborado con la idea supuesta de que la hipótesis nula es verdad, siendo esta variable aleatoria con una distribución conocida. En el caso de que la hipótesis nula se presente como verdadera, entonces el valor estadístico de la prueba debería presentarse dentro del rango de valores más probables de su distribución asociada, esto es conocido como la región de aceptación.

Pero si por el inverso, al analizar su distribución recae en una de las colas de su distribución asociada, fuera del rango de valores más probables (específicamente en la región de rechazo), da la evidencia en contra de que este valor pertenece a dicha distribución. De aquí se reduce que está mal el supuesto bajo el cual se construyó, esto quiere decir que la hipótesis nula no es aceptada.

1.5 SISTEMAS DE VARIABLES

Las investigaciones en general requieren de un planteamiento de variables, ya que éstas permiten relacionar la teoría con la práctica basado en las características del tema que se va a estudiar.

Se puede indicar que la idea básica de cualquier investigación es el manejo y revisión de las variables. En términos generales Ramírez (1999), ha definido que una variable es: "la representación característica que puede variar entre individuos y presentan diferentes valores" (p. 25). En base a lo antes indicado una variable puede sufrir cambios. Variables importantes pueden ser sexo, edad, diferencia de edad, etc.

Dentro de las investigaciones se hacen referencia a varios tipos de variables que depende de su aplicación:

Variable Independiente: Se refiere a "aquella donde el investigador puede manipular ciertos efectos; en otras palabras supone la causa del fenómeno estudiado" (Ibid, 2008, p. 59).

Variable Dependiente: Involucra "el efecto producido por la variable independiente, es decir representa lo que se quiere determinar en forma directa en la investigación" (Ibíd, 2008, p. 60).

Variable Interviniente: "Es aquella que puede influir en la variable dependiente, pero que no está sometida a consideración como variable de investigación" (Ibíd, 2008, p.61).

Según Álvarez (2008, p. 32) un sistema de variables consiste "en una serie de características por estudiar, definidas de manera operacional, es decir, en función de sus indicadores o unidades de medida".

Dentro de un estudio estadístico es fundamental la correcta determinación de las variables significativas, estas variables deben ser reafirmadas en el análisis

estadístico de varianza, diseño de experimentos o estudios multi variable con el fin de definir como contribuyen estos factores al proceso (Chapman, 2006, p. 75).

1.5.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS E INTERVALOS DE CONFIANZA

Este procedimiento se utiliza para llegar a una conclusión basado en una muestra estadísticamente analizada, en cuanto al valor que puede tener algún parámetro como varianza o media. Los elementos de esta prueba son (Heizer, 2007, p. 83):

- La hipótesis
- La muestra
- El estadístico de la prueba
- La región de rechazo de H_o (RRH_o)
- La decisión
- El nivel de confianza de la prueba (1-α)

Como ya se indicaron antes existen dos tipos de errores como se indican a continuación:

α = P (error tipo I): Probabilidad de error tipo I
α = P (rechazar H_o │ H_o verdad): Probabilidad de rechazo │Ho cuando es verdadera

β = P (error tipo II): Probabilidad de error tipo II
β = P (aceptar H_o │ H_o falsa): Probabilidad de aceptación │Ho cuando es falsa

Con el fin de conseguir una prueba figura de normalidad el procedimiento a seguir se detalla a continuación:

- Obtener los datos.
- Elaborar la Tabla correspondiente.
- Graficar en papel probabilístico normal.
- Si los datos siguen una trayectoria lineal, se acepta su normalidad.

1.5.2 DISEÑO Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS (DOE)

El Diseño y Análisis de Experimentos también llamado DOE se puede definir como un conjunto de estadísticas que son aplicadas para el planeamiento de experimentos y el posterior análisis de resultados, siempre de una manera ordenada y eficiente (García, 2011, p. 25).

Los principios básicos para el DOE son:

- El orden de los experimentos debe ser aleatorio
- Replicar experimentos es recomendable
- Existen variables que su efecto no se requiere probar y que pueden influenciar en los resultados, para evitar este efecto es necesario neutralizar o bloquear el efecto de esta variable nociva (Diseño con Bloques).

Los pasos para una correcta experimentación son:

- Precisar el problema.
- Seleccionar la variable de respuesta.
- Verificar el estado de las máquinas en donde se va a realizar la experimentación.
- Verificar la capacidad y estabilidad de los instrumentos de medición.

- Seleccionar las variables a experimentar y sus niveles.
- Determinar el tipo de diseño a usar y el número de réplicas.
- Realizar las pruebas aleatoriamente.
- Analizar los resultados.
- Concluir (factores que afectan a la media, dispersión, etc.; en qué nivel deben estar para centrar el proceso en su objetivo y reducción de su variación)

1.5.3 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Una de las maneras más efectivas de comparar procesos o grupos por medio de sus medias es mediante el uso de la técnica denominada Análisis de Varianza (Anova). Esta técnica consiste en descomponer la variación total de los datos en (Harrington, 1993, pp. 85-86):

a) La diferenciación interna o natural de los grupos
b) La diferenciación entre grupos de medias

Al comparar esos dos tipos de datos de variación, decidir si existe diferencia o no entre las medias que se están analizando.

Anova de un factor fijo. Se desea investigar el efecto que los diferentes niveles de ese factor tienen con respecto a la media de la respuesta (variable de respuesta o variable de salida).

Varianza de un grupo de datos se define como una desviación promedio de los valores con respecto a su media, con base en unidades cuadradas. Es decir, que

tanto se alejan o se acercan los datos a su media (promedio) como se observa en la Ecuación 1.21:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(Xi-\overline{X})^2}{n-1} = \frac{SS}{gl} = \frac{Suma\ de\ cuadrados}{Grados\ de\ libertad} \qquad [1.21]$$

Donde:

σ^2: varianza

ss: suma de cuadrados

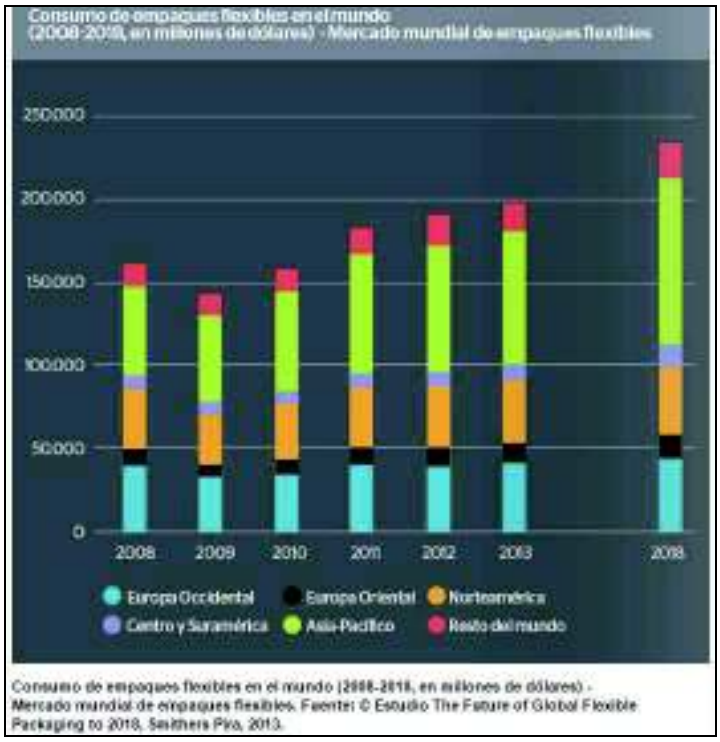
gl: grados de libertad

Las unidades originales quedan al cuadrado por el factor $SS = \Sigma (Xi - \bar{x})^2$ que es una media de la variación. Se divide entre n – 1 para obtener un estimador insesgado de la varianza de la población.

2 PARTE EXPERIMENTAL

Una vez finalizada la crisis económica del 2008-2009 la industria de los empaques flexibles presentó un importante crecimiento debido a su rol de socio estratégico de la industria alimentaria. Smithers (2013) en sus estudio The Future of Global Flexible Packaging to 2018, indicó que la tasa de crecimiento anual de este sector es del 3,5%, para llegar en 2018 a realizar ventas por 231 mil millones de dólares y obtener volúmenes de producción de 29,8 millones de toneladas (p. 8).

El nivel del crecimiento del sector de los empaques flexibles supera el PIB con un crecimiento exponencial, en la Figura 2.1 se muestra la proyección de empaques flexibles en el mundo.



Consumo de empaques flexibles en el mundo (2008-2018, en millones de dólares) - Mercado mundial de empaques flexibles. Fuente: © Estudio The Future of Global Flexible Packaging to 2018, Smithers Pira, 2013.

Figura 2.1. Consumo de empaques flexibles en el mundo (2008-2018, en millones de dólares) (Smithers, 2013, p. 12)

Sigmaplast es la principal industria de elaboración de empaques flexibles en el Ecuador junto a Flexiplast, Neyplex, Expoplast y Plaslit, que producen los empaques de consumo local.

El consumo de los flexibles en el Ecuador creció en un 8% en el período 2014-2015. Según datos de la Cámara de Comercio el 40% de la producción de Sigmaplast se destina a la exportación a compañías productoras de snacks en América Latina, lo que indica que es un mercado en pleno crecimiento al ser una alternativa económica de empaque para alimentos.

Los empaques flexibles no solo son un medio de preservación del producto, también se han convertido en una herramienta de marketing ya que un adecuado diseño con la combinación adecuada de colores, tamaño de letras de alto impacto y posicionamiento correcto de los objetos; puede llegar a ser un producto reconocido en la percha comunicando lo que la marca representa y desea informar por medio de una estrategia competitiva a través de un empaque.

Las compañías han levantado un completo sistema de control de empaques en la recepción de sus materias primas con el objetivo de prevenir desviaciones en la impresión de este elemento ya que como se indicó previamente el empaque se ha constituido en una herramienta de comunicación directa con el consumidor. Los principales controles son:

- Colores de acuerdo a aprobación de “marketing”
- Textos legales
- Pesos bases (rendimiento)

Dentro de la aprobación de colores los analistas de empaques deben garantizar que no existan las siguientes desviaciones de calidad:

- Manchas visibles (placa, tinta, piojos, rayas, suciedad en placa)
- Efecto fantasma / imagen repetida
- Color fuera de especificación en proceso
- Color fuera de especificación en línea
- Impresión fuera de registro
- Impresión faltante
- Impresión sucia

La presencia de cualquiera de los defectos antes indicados desencadena el rechazo del empaque flexible por parte del cliente.

Según datos internos tomados de la base de datos sobre la cantidad de producto no conforme en Sigmaplast, en el período de enero a diciembre del 2015 se devolvieron en promedio treinta toneladas de las cuales veinte se deben a desviaciones de la calidad de impresión.

Los rechazos generan preocupación a la gerencia por dejar de facturar este producto, adicional se despliegan problemas colaterales como malestar en el cliente debido a que deben realizar reprogramaciones en sus producciones, daño de imagen corporativa, se elevan los costos logísticos por llevar de vuelta el material a la compañía, costos de reproceso e incluso existe la posibilidad de pérdida del cliente.

Los pasos para la implementación de la filosofía Seis Sigma en esta etapa fueron:

1. Diagnóstico preliminar mediante la identificación del área sensible.
2. Identificación y evaluación de la percepción de los clientes actuales y potenciales.

3. En base al proyecto de mejora estimar los ahorros potenciales y un tiempo razonable de aplicación.
4. Caracterización del proceso para comprender sus fases y actividades.
5. Conformar el equipo Seis Sigma con un líder comprometido y con experiencia en la implementación de Proyectos Seis Sigma y conocimiento de la Metodología DMAMC.

2.1 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO DE IMPRESIÓN

2.1.1 ETAPA DE DEFINICION

Con base en los datos suministrados por el área de Aseguramiento de Calidad se realizó el Análisis de Pareto para definir en qué área productiva se generan la mayor cantidad de productos con defectos de calidad, esta información fue determinante y permitió definir en el área a aplicar el proyecto de mejora (Montaner, 2011, pp. 101- 103).

Determinada el área problema, según el análisis de Pareto, se planificó el proyecto de mejora a aplicar, define los siguientes puntos:

- Jerarquización del problema
- Consecuencia internas / externas
- Tipo de relación
- Responsable
- Plazo de aprobación del proyecto
- Proyecto del problema

- Metas y objetivos
- Etapas a seguir / fechas y responsables

Establecida la Planeación del Proyecto se realizó la caracterización del proceso para conocer con mayor detalle las entradas, salidas, controles y responsables; también se estableció un diagrama de flujo para conocer la secuencia de actividades.

2.2 ANÁLISIS DE INGRESO DE INFORMACIÓN, CONOCIMIENTO OPERATIVO, CUMPLIMIENTO DE CONTROLES, Y DATOS DE PROCESO

2.2.1 ETAPA DE MEDICION

Las mediciones son de extrema importancia debido a que las decisiones deben basarse en hechos objetivos, de aquí la importancia de mantener métodos estadísticos.

En el presente proyecto se requiere demostrar el cumplimiento de los requerimientos de calidad planteados por los clientes y la compañía, para esto se escogieron los siguientes criterios:

- Cumplimiento de colores
- Cumplimiento de medidas
- Cumplimiento de textos legales
- Cumplimiento de registros de impresión

El equipo de calidad, analistas de línea de impresión, recibió una capacitación previa con el fin de tener el conocimiento básico para cuantificar el cumplimiento con base a los rangos establecidos.

Medida del Nivel Seis Sigma. Se definió la medida del Nivel Seis Sigma en la organización, esta medida expresa la variabilidad del proceso en comparación con las especificaciones establecidas por el cliente; para esto se utilizó la Tabla 2.1 en la que se determinó la Medida del Nivel Seis Sigma para establecer el nivel en el que se encuentra la compañía (Agudelo, 2010, pp. 110-112).

Tabla 2.1 Niveles de Seis Sigma con su equivalente DPMO

Rendimiento	Nivel del Sigma	DPMO
6,68000	0,00	933200
8,45500	0,13	915450
10,56000	0,25	894400
13,03000	0,38	869700
15,87000	0,50	841345
19,08000	0,63	809200
22,66000	0,75	773400
26,59000	0,88	734050
30,85000	1,00	691462
34,50000	1,10	655422
38,20000	1,20	617911
42,10000	1,30	579260
46,00000	1,40	539828
50,00000	1,50	500000
69,10000	2,00	308538
84,10000	2,50	158655
93,30000	3,00	66807
94,79000	3,13	52100
95,99000	3,25	40100

Tabla 2.2 Niveles de Seis Sigma con su equivalente DPMO (continuación…)

99,40000	4,00	6210
99,98000	5,00	233
99,99966	6,00	3,4

(Agudelo, 2010, p. 110)

Los datos se obtuvieron al ponderar la medida de la probabilidad de un proceso en donde su procedimiento tiene una distribución normal estándar X~N (μ,σ^2). Si en sus límites de especificación superior y límites de especificación inferior la probabilidad p de que un artículo no será conforme, se expresa la Ecuación 2.1:

$$p = p(X \leq lei) + p(X \geq les) = p\left(Z \leq \frac{lei-\mu}{\sigma}\right) + p(Z \geq \frac{les-\mu}{\sigma}) \quad [2.1]$$

Donde:
p: probabilidad
lei: límite de especificación inferior
les: límite de especificación superior

El promedio del proceso se calcula como lo indica la Ecuación 2.2:

$$\mu = \frac{les-lei}{2} \quad [2.2]$$

Donde:
μ: media
lei: límite de especificación inferior
les: límite de especificación superior

Para calcular el rendimiento para un proceso que posee un nivel tres sigma se debe calcular el valor como z, entonces el z = (nivel – 1,5) para el caso indicado z = (3 –

1,5) = 1,5 obteniendo una probabilidad p (z ≤ 1,5) = 0,9331928 (93,28%) esto indica que por cada millón de unidades elaboradas 66 807 no son conformes. Para la medición de desempeño Seis Sigma es *z* = (6 – 1,5) = 4,5 y la probabilidad es p (z ≤ 4,5) = 0,0000034 (0,00034%).

Medida de Desempeño. Se determinaron los Factores Críticos de Calidad (FCC) también conocidos como Oportunidades de Error que se definen como una parte de la unidad en la que se puede generar una no conformidad, una vez definido el FCC se multiplica por la muestra de artículos producidos (MAP) y se obtiene el total de Defectos Factibles, como la indica la Ecuación 2.3:

$$DPMO = \frac{NC}{TDF} * 1\,000\,000 = \frac{NC}{FCC*MAP} * 1\,000\,000 \quad [2.3]$$

Donde:
DPMO: defectos por millón de oportunidades
NC: no conformes
MAP: muestra de artículos producidos
FCC: factores críticos de calidad

2.3 ANÁLISIS DE DATOS DEL PROCESO DE MEDICIÓN

2.3.1 ETAPA DE MEJORAMIENTO

Aquí la compañía buscó perfeccionar sus procesos con alta eficacia del proceso seleccionado para llevarlo a la optimización, para esto se determinaron las tendencias para establecer las especificaciones de satisfacción del cliente y realizar estudios de comparación.

El análisis de varianza se define como un procedimiento sistemático en el cual se transformó la desviación en todo el proceso (suma de cuadrados totales) en una variabilidad que sea definida por los niveles de los tratamientos y una variable que no tiene explicación. En la Tabla 2.2 se presenta el Análisis de Varianza y presenta la variabilidad de los datos presentados por medio de una partición en dos partes al analizar la suma total de cuadrados; una de las tablas simboliza la variación entre las medias definidas presente en los tratamientos y la siguiente parte se define o determina el error experimental (Gutiérrez y De La Vara, 2009, pp. 56-57).

El Diseño Experimental Unifactorial se utilizó debido a que las observaciones de una variable de respuesta de interés son influenciadas por otro factor, este se obtiene al mostrar en niveles diferentes, por lo que para cada uno se efectúan modelos autónomos del tamaño n_i, donde *i* representa los diversos niveles de variable estudiada. *N* resume un gran total general de las observaciones a todo nivel, *yi*. es el total para el *i* – esimo nivel y *y*.. representa el total general.

Se describieron las observaciones antes indicadas previamente en forma de un modelo matemático con la Ecuación 2.4:

$$Yij = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{si i=1,…,a y j=1,…,n} \qquad [2.4]$$

Donde

Y_{ij} es la j-ésima observación del i-ésimo factor

μ es el parámetro común en todos los tratamientos y se le denominó media global

ζ_i es parámetro único de tratamiento i-ésimo y se le denomina efecto del tratamiento i-ésimo

ε_{ij} es el componente de error alternativo

La Ecuación 2.4 es conocida como modelo de los efectos, este modelo fue considerado a modo de un estándar estadístico lineal, esto quiere decir que y_{ij} es una función lineal.

El modelo de análisis de varianza simple, se debe llevar siempre en orden aleatorio para que el ambiente sea lo más uniforme posible, de aquí se concluye que el diseño experimental es completamente aleatorizado.

Mediante la técnica de análisis de varianza se cuantificó el nivel de los tratamientos muy diferentes entre ellos, se consideraron métodos a cada una de las agrupaciones de impresoras, sobre una variable de réplica que se constituye en objeto de interés.

Se realizó el Análisis de Varianza del Diseño Unifactorial como se indica a continuación en la Tabla 2.2, el objetivo fue validar numéricamente la hipótesis.

Tabla 2.3. Análisis de varianza para un diseño unifactorial

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F de Fisher	Valor P
Tratamiento	$a-1$	$SS_{tratamientos}$	$\frac{SS_{tratamiento}}{a-1}$	$f=\frac{\frac{SS_{tratamiento}}{a-1}}{\frac{SS_{error}}{N-a}}$	$P(F\geq f)$
Error	$N-a$	SS_{error}	$\frac{SS_{error}}{N-a}$		
TOTAL	$N-1$	SS_{total}			

(Jurán, 2000, p. 14)

Las formulaciones planteadas en la Tabla 2.2 se definen como como se indica a continuación.

Suma total de cuadrados, Ecuación 2.5:

$$SC_{total} = \sum_{i,j} y_{ij}{}^2 - \left(\frac{y_{..}{}^2}{N}\right) \quad [2.5]$$

Donde:

SC_{total}: suma total de cuadrados

i,j: números

N: consecutivo

Suma de cuadrados de los tratamientos, Ecuación 2.6:

$$SC_{tratamientos} = \sum_{ij} \frac{y_{i.}{}^2}{n_i} - (\frac{y_{..}{}^2}{N}) \quad [2.6]$$

Donde:

$SC_{tratamientos}$: suma de cuadrados de los tratamientos

i,j: números

N: consecutivo

Suma de cuadrado del error, Ecuación 2.7:

$$SC_{error} = SC_{total} - SC_{tratamiento} \quad [2.7]$$

Donde:

SC_{error}: suma de cuadrado del error

i,j: números

N: consecutivo

En el caso de que la variación analizada en los tratamientos sea mucho más grande que un error determinado experimentalmente, lo correcto es aplicar una prueba de hipótesis.

En la ejecución de esta prueba es necesaria la utilización de la región crítica de un lado en la cola de la derecha.

Entonces, la hipótesis nula *Ho* se rechaza para una probabilidad de un error tipo I, como se indica a continuación en la Ecuación 2.8:

$$f > F_{[\alpha(a-1)(N-a)]} \qquad [2.8]$$

Donde:
$f > F_{[\alpha(a-1).(N-a)]}$ es valor crítico de la distribución de Fisher para el nivel de significancia igual a α.

Es fundamental conocer que el modelo polinomial demanda que los *a* tratamientos sean numerales y equidistantes y su ecuación 2.9 se indica a continuación:

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 P_1(x) + \cdots + \alpha_n P_n(x) + \varepsilon \qquad [2.9]$$

Donde:
y: modelo polinomial
P: probabiliad

Posteriormente se determinó la idoneidad del modelo por medio del coeficiente de determinación R^2, ecuación 2.10, como se indica a continuación:

$$R^2 = \frac{SC_{modelo}}{SC_{total}} = 1 - \frac{SC_{error}}{SC_{total}} \quad [2.10]$$

Donde:

R^2: coeficiente de determinación

SC_{modelo}: suma de cuadrados del modelo

SC_{total}: suma de cuadrados del total

SC_{error}: suma de cuadrados del error

Se consideró que el patrón es idóneo cuando $R^2 \geq 0,9$ en referenciación al modelo estocástico.

2.4 MEJORA DEL PROCESO DE IMPRESIÓN

Esta tiene la etapa más trascendental dentro del análisis Seis Sigma, es donde se implementaron todos los instrumentales estadísticos a la investigación del proceso. Es fundamental que se seleccione el método estadístico adecuado para obtener beneficios y análisis reales (Vilar, 2005, p. 64).

Para el presente proyecto se aplicó la Prueba de Normalidad con el uso del Método de Kolmogorov Smirnov Lilliefors SKL, esta es aplicada únicamente a variables continuas y su función es calcular el recorrido máximo entre la función empírica de distribución y la teórica, para el caso actual sería la normal.

Este método se describe brevemente a continuación. Sea una muestra $x_1,\ldots,x_n$ la muestra ordenada se visualiza de la siguiente forma $x_1 \leq x_2 \leq x_{3\ldots} \leq x_n$. La función empírica de la muestra se presenta en la Figura 2.2.

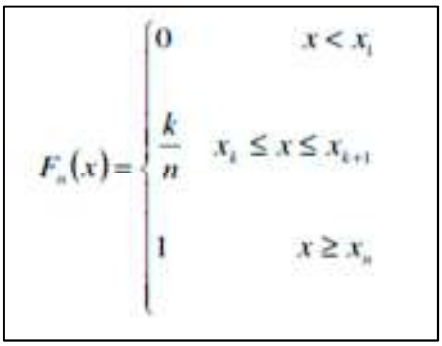


Figura 2.2. Muestra ordenada muestra la función empírica de la muestra
(Gutiérrez y De La Vara, 2009, p. 73)

Con el fin de validar la hipótesis de los datos actuales de las mediciones conocidos como F(x) se debe calcular el descriptivo D_n = máx|F_n (x) – F (x)| su repartimiento cuando F(x) es cierta se ha tabulado. La teoría indica que en el caso de que la distancia calculada D_n es superior que la indicada en tablas D(α,n) con un nivel de significancia α, es negativa la respuesta ante el experimento F (x); esto quiere decir $D_n > D(\alpha,n)$.

2.4.1 DISEÑO DE PARÁMETRO ROBUSTO

Este esquema involucra el diseño de tratamientos factoriales los que son conformados por *r* factores, los que se son de fácil control denominados como *factores controlables* y los que no tienen ningún indicio de control denominado como *ruido*, altamente sensibles a los cambios en el entorno, esto en el análisis de Taguchi.

Uno de los objetivos primarios en este análisis es la determinación de la mezcla de factores controlables.

En el diseño de Taguchi, Ecuación 2.11, se sigue el siguiente modelo para los tres factores:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_2 + \beta_2 x_2 x_3 + y_1 z_1 + \delta_1 x_1 z_1 + \delta_{21} x_2 z_1 + \delta_{32} x_3 z_1 + \varepsilon \quad [2.11]$$

Donde:
y: es el modelo de la ecuación

El modelo de la media se presenta como lo indica la Ecuación 2.12:

$$E_z[y\ (xz)] = f(x) \quad [2.12]$$

Donde:

E_z: modelo de la media

Se determinó que f(x) representa la porción del modelo que incluye solo las variables controlables.

El estándar de varianza para establecer una respuesta se define a continuación en la Ecuación 2.13:

$$V_z = [y(x,z)] = \sigma_z^2 \sum_{i=l}^{r} \left[\frac{\partial y(x,z)}{\partial zi}\right]^2 + \sigma^2 \quad [2.13]$$

Donde:
Vz: varianza

Para determinar la varianza de la respuesta σ^2 se debe estimar mediante el cuadrado medio del error, CME y σ^2 se conoce como la varianza del ruido.

El diseño antes analizado se aplica para el análisis del proceso de impresión y se evaluaron tres factores:

- El efecto del diseño de impresión (A). Se considera un factor no controlable
- Velocidad de impresión (B)
- Transferencia de color (C)

Para plantear el diseño se eligieron dos niveles a aplicar a cada uno de los factores con tres réplicas respectivamente, este arreglo se define como un diseño factorial 2^3.

El valor de cero indica un nivel bajo en el factor uno del nivel alto, en base a este criterio se desarrolla la técnica de Yates.

2.5 CONTROL DE PROCESOS POR MEDIO DE AUDITORIAS E INDICADORES

2.5.1 ETAPA DE CONTROL

En la Etapa de Control se verificaron la efectividad y la eficacia de los cambios que sufriría el proceso sin tomar en cuenta las etapas de mejora, lo que se busca es la definición de indicadores que muestren el desempeño de la organización (Pérez, 2010, p. 52).

Para este proyecto se utilizaron los estadísticos más utilizados como son: el promedio $\bar{x}$, el rango R y la varianza s^2.

Se determina la Fase I que consiste en determinar las cartas de $\bar{x}$ y R, se siguen los siguientes criterios (Krajewski, 2008):

1. Establecer objetivos
2. Selección de las variables a controlar
3. Aplicar el criterio de selección de subgrupos
4. Se elige el tamaño y frecuencia de estos subgrupos
5. Definición de la metodología adecuada a seguir
6. Obtiene las medidas
7. Cálculo de la media
8. Cálculo de R
9. Determinación de límites de control

En la Fase II en esta etapa se prueban los límites establecidos en la Fase I con un nuevo grupo de datos.

Medida de Capacidad del Proceso. Se define como la indica la Ecuación 2.14:

$$Cp = \frac{les - lei}{6\sigma} \qquad [2.14]$$

Donde:
Cp: capacidad del proceso
les: límite superior
lei: límite inferior

Al calcular este valor es importante aplicar los siguientes criterios (Kume, 2008, p. 27):

- El Índice de Capacidad Promedio se expresa como el valor menor o igual que el Índice de Capacidad
- $C_{pk} = 0$ si el promedio del proceso es coincidente por lo menos a una de los parámetros a seguir
- $C_{pk} < 0$ si en gran parte todo el proceso se encuentra por fuera del parámetro establecido

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ETAPA DE DEFINICIÓN

En una evaluación de costos, las pérdidas de la compañía en el periódo de enero a diciembre del 2015, fueron de 245 156 dólares como lo resume la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Cuantificación de costos de no calidad en devoluciones 2015

COSTOS DE NO CALIDAD EN DEVOLUCION DE MATERIAL NO CONFORME	
Producto devuelto (kg)	30000
Precio unitario ($)	8
VALOR PROD. DEVUELTO ($)	**240000**
EVALUACIÓN LOGISTICA	
Número de devoluciones	136
ANALISIS COSTO LOGISTICO TRANSPORTE	
Sueldo promedio chofer	761.93
Ayudante promedio	490
Mantenimiento	100
Llantas	100
Combustible	500
Peajes	60
Alimentación	250
Matricula	400
Revisión Vehicular	10
Total	**2671.93**
Promedio Diario	11
VALOR LOGISTICO DEVOLUCIONES ($)	**1514**
COSTO REPROCESO	
50% material devuelto (kg)	15000

Tabla 3.1. Cuantificación de costos de no calidad en devoluciones 2015 (continuación…)

Turnos operativos	40
Meses	2
Sueldo operador	600
Sueldo empacador	600
Sueldo pesador	600
Total sueldos	1800
Valor operativo ($)	**3642**
VALOR TOTAL ($)	**245156**

Del total de devoluciones el 64% corresponden al área de impresión, como lo describe la Tabla 3.2, en la que se realizó una cuantificación porcentual de la incidencia de devoluciones por área productiva.

Tabla 3.2. Análisis de porcentaje de devoluciones por área

ÁREA	CANTIDAD (kg)	PORCENTAJE
Impresión	20 127,55	63,69%
Laminación	3 930,85	12,44%
Corte	4 606,32	14,58%
Materia Prima / Proveedor	2 134,23	6,75%
Material Mal Entregado en Bodega	802,6	2,54%
TOTAL	31 601,55	100%

En la Figura 3.1, Diagrama de Pareto, se pueden apreciar que el 80% de las desviaciones de deben a desviaciones por defectos de calidad en el área de impresión y laminación.

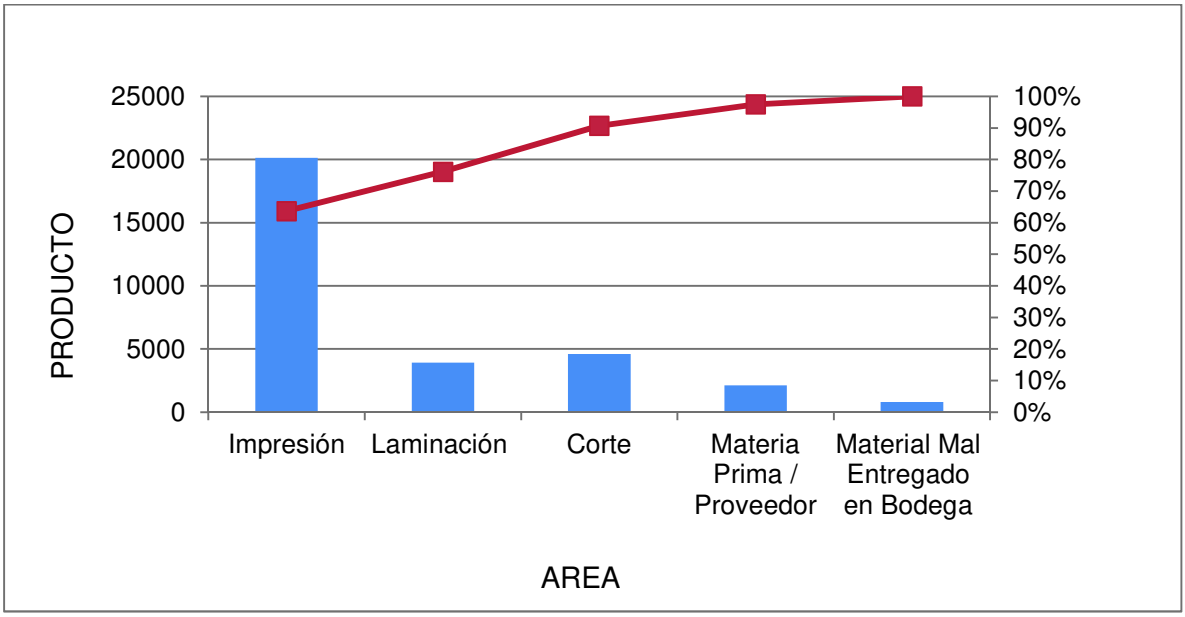


Figura 3.1. Diagrama de Pareto análisis de producto no conforme por área

En base al Análisis de Pareto y los datos de devoluciones se realizó un diagnóstico preliminar en el cual se concluyó que el área a aplicar la mejora debe ser Impresión debido a que la recurrencia mensual en devoluciones se produce en esta área. En la Tabla 3.3 se presenta la Planeación del Proyecto de Mejora propuesto.

Tabla 3.3. Planeación del proyecto a aplicar

<table>
<tr><td colspan="4"> </td></tr>
<tr><td colspan="4">TITULO: PLANEACIÓN DEL PROYECTO
IDENTIFICACIÓN: R-SG-5
VERSIÓN: 01
Vigencia: 01-10-2014</td></tr>
<tr><td colspan="4">Importancia del problema en la organización</td></tr>
<tr><td colspan="4">Las desviaciones por defectos de impresión le representan a la organización pérdidas anuales de alrededor de 250 000 dólares, debido a que este producto es rechazado por el cliente</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Efecto Interno</td><td colspan="2">Tipo de relación</td><td rowspan="2">Efecto Externo</td></tr>
<tr><td>Alta</td><td>Baja</td></tr>
<tr><td>Mejoras en el área de impresión</td><td>x</td><td></td><td>Elevar satisfacción al cliente</td></tr>
<tr><td>Metas y objetivos</td><td colspan="2">Observaciones</td><td>Responsable en la organización</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Disminuir las devoluciones de producto no conforme por problemas de impresión</td><td colspan="2" rowspan="2">Este proyecto se aplicará únicamente al área de impresión</td><td>Ing. Carolina Tolagasí</td></tr>
<tr><td>Gerente de Gestión de Calidad</td></tr>
<tr><td colspan="4">Fecha de aprobación del proyecto</td></tr>
<tr><td colspan="4">20-nov-15</td></tr>
<tr><td colspan="4">Planteamiento del problema</td></tr>
<tr><td colspan="4">En el proceso de impresión se producen defectos de calidad que provocan rechazos del material por parte del cliente, afectando las ventas de Sigmaplast así como la satisfacción de nuestros clientes. Se analizarán los datos de cumplimiento de especificaciones tomados en la línea de producción.</td></tr>
<tr><td>Etapas del Seis Sigma</td><td colspan="2">Fechas determinadas</td><td>Responsable</td></tr>
<tr><td>Definir</td><td colspan="2">22-ene-16</td><td>Presidencia</td></tr>
<tr><td>Medir</td><td colspan="2">01-jun-2015 hasta 01-dic-2015</td><td>Analistas calidad</td></tr>
<tr><td>Analizar</td><td colspan="2">01-feb-16</td><td>Gerencia de Gestión de Calidad</td></tr>
<tr><td>Mejorar</td><td colspan="2">15-feb-16</td><td>Grupo de mejora</td></tr>
<tr><td>Controlar</td><td colspan="2">desde 20-jun-2016</td><td>Analistas calidad</td></tr>
</table>

Una vez realizada la planificación del proyecto a aplicar se caracterizó el proceso de Impresión como lo muestra la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Caracterización del proceso de impresión

<table>
<tr><td colspan="3">
TITULO: CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE IMPRESIÓN
IDENTIFICACIÓN: R-SG-16
VERSIÓN: 01
Vigencia: 01-10-2014</td></tr>
<tr><td colspan="3">CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE IMPRESIÓN</td></tr>
<tr><td colspan="2">Objetivo</td><td>Documentos y registros</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Reproducir los artes aprobados por los clientes en la estructura seleccionada como elemento de protección del alimento y herramienta de marketing</td><td>Internos:</td></tr>
<tr><td>Registro de control de impresión</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="6">Imprimir empaques flexibles de acuerdo a los requerimientos de los clientes, sin defectos de calidad.</td><td>Consumo de materia prima</td></tr>
<tr><td>Auditorias de calidad</td></tr>
<tr><td>Especificaciones internas</td></tr>
<tr><td>Externos:</td></tr>
<tr><td>Especificaciones de clientes</td></tr>
<tr><td>Epson / Heaford</td></tr>
<tr><td>Artes cliente</td></tr>
<tr><td>Entrada</td><td colspan="2">Actividades</td><td>Salida</td></tr>
<tr><td>Orden de producción</td><td colspan="2" rowspan="2">Montaje de cyrles en cilindro</td><td rowspan="2">Rollos impresos</td></tr>
<tr><td>Datos de entrada</td></tr>
<tr><td>Materia prima (liberada)</td><td colspan="2">Preparación de la máquina para imprimir</td><td>Desperdicio</td></tr>
<tr><td>Planificación</td><td colspan="2">Registro de colores y litografía</td><td>Datos de desviación del proceso</td></tr>
<tr><td>Cyrles</td><td colspan="2">Impresión de acuerdo a especificación cliente</td><td>Responsable en la organización</td></tr>
<tr><td>Información técnica</td><td colspan="2">Control de temperatura</td><td rowspan="2">Jefe de impresión</td></tr>
<tr><td>Interrelación con otros procesos</td><td colspan="2">Control de metros impresos</td></tr>
</table>

Tabla 3.4. Caracterización del proceso de impresión (continuación…)

Polímeros, pre-prensa, aseguramiento de calidad, laminación y corte	Control de desviaciones de calidad	**Requisitos a cumplir**
Recursos de la organización (humanos y tecnológicos)	Reporte de muestras de rollos madre	Especificaciones de cliente
Oficina, impresoras, equipos de protección personal, celulares, uniformes.	Cuantificación de desperdicio	
Medición y seguimiento		
Reporte diario de metros impresos		
Reporte de desperdicio por orden de producción		
Comunicación		
Mails, mensajes de whatsapp, bitácoras y registros		

En la Figura 3.2 se establece el diagrama de flujo con la descripción del proceso de impresión.

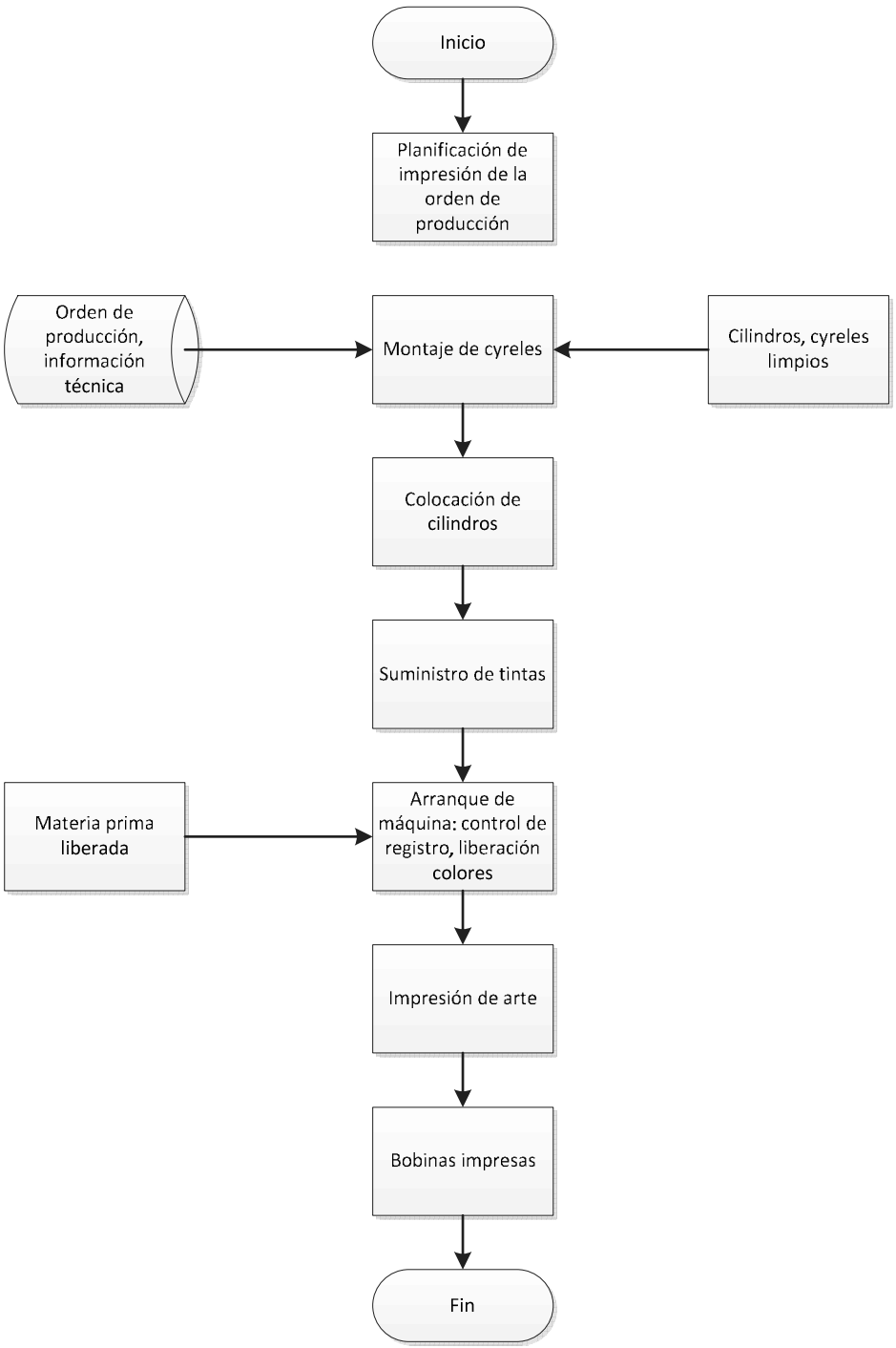


Figura 3.2. Diagrama de proceso de impresión flexográfica

3.2 ETAPA DE MEDICIÓN

En la Tabla 3.5 se realiza la caracterización de la variable de calidad que serán evaluadas en el proceso productivo para medir el avance de la eficacia del proyecto.

Tabla 3.5. Variable problema estudiada caracterizada para definir sistema de mejora

Caracterización de variable				
Variable alta criticidad establecida	Cumplimiento de las especificaciones de calidad requeridas por el cliente: colores, medidas, textos legales y registro de impresión			
Tipo	Discreta		Continua	x
Especificaciones definidas	Tener un máximo cumplimiento de las especificaciones requeridas es la meta. Lo más cerca a la especificación para evaluar su cumplimiento.			

En la Tabla 3.6 se muestran los valores de las mediciones parar establecer los criterios del Nivel Seis Sigma del presente proyecto.

Tabla 3.6. Medición de criterios Seis Sigma

Criterios de análisis	
Determinación de incumplimientos o no conformes	Color fuera de especificación
	Manchas
	Efecto fantasma
Factores críticos de calidad (FCC)	3
Muestra ordenes de producción (MOP)	200
TDF	**600**
No conformidades en el proceso	12
NC	**12**

En la Tabla 3.7 se presentan los datos tomados del proceso de impresión para cuantificar el cumplimiento de especificaciones de las órdenes procesadas.

Tabla 3.7. Datos tomados en el proceso de la variable estudiada

DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD					
ORDENES MUESTREADAS PARA EVALUAR CUMPLIMIENTO DE ESPECIFICACIONES					
IMPRESORAS MIRAFLEX		IMPRESORAS COMEXI		IMPRESORAS SIRO	
OP	**CUMPLIMIENTO ESPECIFICACIONES**	**OP**	**CUMPLIMIENTO ESPECIFICACIONES**	**OP**	**CUMPLIMIENTO ESPECIFICACIONES**
22639	SI	22843	SI	23252	SI
22851	SI	22888	SI	23212	SI
22859	SI	21964	SI	23127	NO
22856	SI	21958	SI	23181	SI
22668	SI	22834	SI	23182	SI
22728	SI	22774	NO	23129	SI
22829	SI	22614	SI	23185	SI
22830	SI	22615	SI	23186	SI
22833	SI	22616	SI	23183	SI
22832	SI	22617	SI	23193	SI
22666	SI	22613	SI	23133	NO
22862	SI	22569	SI	23184	SI
22695	SI	22571	SI	23166	SI
22763	SI	22572	SI	23150	SI
22764	SI	22847	SI	23218	SI
22715	SI	22848	SI	23219	SI
22229	SI	22845	SI	23220	SI
22676	SI	22844	SI	23222	SI
22826	SI	22855	SI	22626	SI
22821	SI	22858	SI	23003	NO
22849	SI	22854	SI	23190	SI
22759	SI	22852	SI	23189	SI
22760	NO	22699	SI	23223	SI
22828	SI	22626	SI	22979	SI

Tabla 3.7. Datos tomados en el proceso de la variable estudiada (continuación…)

22827	SI	22867	SI	23097	SI
22877	SI	22866	SI	22766	SI
22876	SI	22882	SI	23158	SI
22861	SI	22881	SI	23155	NO
22673	SI	22709	SI	22916	SI
22850	SI	23096	SI	22918	SI
22860	SI	22940	SI	23206	SI
22706	SI	22859	SI	23207	NO
22720	SI	22944	SI	23208	SI
22732	SI	22942	SI	23253	SI
22853	SI	23179	SI	23201	SI
22792	SI	23200	SI	23241	SI
22794	SI	23092	SI	23240	NO
22796	SI	23055	SI	23242	SI
22824	SI	23053	SI	23243	SI
22825	SI	23120	SI	23244	SI
22842	SI	23195	SI	23211	SI
22846	SI	23196	SI	23188	SI
22697	SI	23261	SI	23254	SI
22822	SI	23093	SI	23250	SI
22575	SI	23209	SI	23058	SI
22637	SI	22754	SI	23059	SI
22510	SI	22755	NO	23221	SI
22679	SI	23171	SI	23168	SI
22742	SI	23044	SI	23079	SI
22743	SI	23045	SI	23516	SI
22545	SI	22630	SI	23517	SI
22711	SI	23121	SI	23540	SI
22363	SI	23094	SI	23524	SI
22780	SI	22964	SI	23596	SI
22781	SI	22937	NO	23523	SI
22782	SI	22883	SI	23525	SI
22878	SI	22886	SI	23526	SI
22885	SI	23017	SI	23530	SI

Tabla 3.7. Datos tomados en el proceso de la variable estudiada (continuación…)

22719	SI	23016	SI	23531	SI
22765	SI	23249	SI	23585	SI
22768	SI	23248	SI	23586	SI
22775	NO	23012	NO	23590	SI
22773	SI	23204	SI	23591	SI
22769	SI	22966	SI	23607	SI
22470	SI	23210	SI	23608	SI
22817	SI	22939	SI	23360	SI
22604	SI	23132	SI	23798	SI

$$DPMO = \frac{12}{3 \times 200} \times 1000000 = \frac{12}{600} \times 1000000 = 20000$$

Basados en los datos recolectados y procesados, la información establece que el DPMO del proceso de impresión tiene un valor de 20 000 efectos por millón, al aplicar la Ecuación 3.1. Al realizar la respectiva interpolación tomando los valores de la Tabla 2.1 Nivel de Seis Sigma; el nivel de Sigma corresponde a 3,69 con un rendimiento del 98,01%.

3.3 ETAPA DE MEJORAMIENTO

La tabla 3.8 indica los datos de medida del proceso en tres niveles que se toman espaciadamente, a continuación se presentan el procesamiento de datos para acordar un polinomio de segundo orden con los datos de la tabla y se presentan a continuación.

$$SC_{total} = (4{,}85^2 + \cdots + 5{,}17^2) - \frac{302{,}1^2}{60} = 12\ 182{,}85$$

$$SC_{modelo} = \frac{99{,}86^2 + 100{,}3^2 + 101{,}9^2}{3} - \frac{819^2}{60} = 11\ 200{,}44$$

$$SC_{error} = 12\ 182{,}85 - 8\ 618{,}44 = 3\ 564{,}41$$

Tabla 3.8. Datos cumplimiento especificaciones

DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD					
CONTROL DE PROCESO				PRODUCTO: BOBINAS IMPRESAS	
VARIABLE EVALUADA		CUMPLIMIENTO ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIÓN:	+/- 5%
				OBJETIVO:	5,00
INTERVALO DE MUESTREO: CADA LOTE				MIN:	4,74
				MAX:	5,25
IMPRESORAS SIRO		IMPRESORAS COMEXI		IMPRESORAS MIRAFLEX	
MEDIDA	Y2	MEDIDA	Y2	MEDIDA	Y2
4,85	23,52	5,09	25,91	5,12	671,23
4,89	23,91	4,98	24,80	5,11	615,06
4,90	24,01	5,10	26,01	5,04	676,52
4,95	24,50	4,80	23,04	5,01	530,84
4,99	24,90	4,85	23,52	5,03	553,31
5,00	25,00	4,90	24,01	5,15	576,48
5,02	25,20	4,99	24,90	5,09	620,01
5,10	26,01	5,18	26,83	5,18	719,98
5,00	25,00	4,90	24,01	5,21	576,48
5,20	27,04	4,98	24,80	5,21	615,06
4,98	24,80	5,05	25,50	5,09	650,38
5,00	25,00	5,04	25,40	5,05	645,24
5,01	25,10	5,02	25,20	5,09	635,06
4,95	24,50	5,09	25,91	5,05	671,23
4,98	24,80	5,09	25,91	5,00	671,23
4,95	24,50	5,03	25,30	5,00	640,14
5,01	25,10	5,10	26,01	5,01	676,52
5,05	25,50	4,95	24,50	5,02	600,37
5,07	25,70	5,00	25,00	5,24	625,00
4,96	24,60	5,20	27,04	5,17	731,16

Tabla 3.9. Datos cumplimiento especificaciones (continuación…)

IMPRESORAS SIRO	IMPRESORAS COMEXI	IMPRESORAS MIRAFLEX	TOTAL
99,86	100,3	101,9	302,1

Una vez determinadas las sumas de cuadrados para cada tratamiento, es importante contar con una asignación eficiente de los coeficientes para contrastes ortogonales ver en la Tabla 3.9.

Tabla 3.10. Determinación de los contrastes ortogonales

GRUPO IMPRESORAS	TOTALES DEL TRATAMIENTO	COEFICIENTES DE LOS CONTRASTES ORTOGONALES	
		LINEAL P1	CUADRÁTICO P2
SIRIO	99,86	-1	1
COMEXI	100,30	0	-2
MIRAFLEX	101,90	1	1
λ		1	3

Las consecuencias definidas tanto en el área lineal como en la cuadrática del polinomio se pueden observar en la Tabla 3.10 siendo estos los presentados más adelante:

$$\sum_{i=1} y_i c_i = 99{,}86\ (-1) + 100{,}3\ (0) + 101{,}9\ (1) = 2{,}04$$

$$\sum_{i=1} y_i c_i = 99{,}86\ (1) + 100{,}3\ (-2) + 101{,}9\ (1) = 1{,}61$$

La composición muestral se muestra en las siguientes ecuaciones respectivamente:

$$\sum_{n} c_{i^2} = 20(-1^2) + 20(0) + 20(1^2) = 40$$

$$\sum_{n} c_i{}^2 = 20(1^2) + 20(-2^2) + 20(1^2) = 120$$

En base a los cálculos realizados la suma de los cuadrados recopilados se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.11. Análisis de varianza para el modelo lineal

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de la F de Fisher	Valor P
Tratamiento	2	8618,4400	4309,2200	68,91057	< 0,0001
Lineal	1	0,1040	0,1040	0,00150	0,9691
Cuadrática	1	0,0112	0,0112	0,00016	0,9899
Error	57	3564,4100	62,5335		
Total	59	12182,8500			

Los primeros tres polinomios ortogonales se presentan en las más adelante:

$$P_0(x) = 1 \qquad [3.1]$$

$$P_1(x) = \gamma_1 \frac{(x - \bar{x})}{d} \qquad [3.2]$$

$$P_2(x) = \gamma_2 \frac{(x - \bar{x})}{d} - \frac{a_2 - 1}{12} \qquad [3.3]$$

Donde:

d es la distancia entre los niveles de x,

a es el número de niveles del experimento,

λ_1 son constantes que aseguran que los polinomios toman valores enteros.

Para el presente estudio se realiza la estimación de los parámetros α_i con los siguientes resultados:

$\acute{\alpha}_0 = 5{,}0345$

$\acute{\alpha}_1 = 0{,}0503$

$\acute{\alpha}_2 = 0{,}0009$

Se toma en cuenta para el presente ensayo que a = 3, d = 2 y $\bar{x}$ = 5 el modelo polinomial se expresa en la ecuación siguiente:

$$\bar{y} = 5{,}0544 - 0{,}0405\,x + 0{,}006\,x^2 \qquad [3.4]$$

Donde:
$\bar{y}$: modelo polinomial

En la Ecuación 3.4 se permite la estimación del total del cumplimiento de especificaciones para la impresora especificada. Esta predicción es útil en el momento de evaluar el coeficiente de determinación como se indica en la ecuación:

$$R^2 = \frac{11200{,}44}{12182{,}85} = 1 - \frac{564{,}41}{12182{,}85} = 0{,}91$$

El coeficiente determinado indica que el modelo ajustado cumple con la especificación.

En la Etapa de Mejoramiento se aplicó el Diseño Experimental Unifactorial, debido a que este diseño se utiliza en el caso específico de que las observaciones de las

variables de respuesta sean sometidas a la influencia de algún factor para el mejoramiento y optimización del proceso de impresión mediante el Análisis de Varianza se cuantificó el efecto de tres tipos de tratamientos: impresoras miraflex, comexi y sirio; sobre la variable de respuesta denominada en este proyecto "cumplimento de especificaciones".

Según indica R. A. Fisher el análisis de varianza es un método que transforma la variabilidad total en una variabilidad explicada por los tratamientos y una variabilidad inexplicada que resulta de lo que se observa y lo deseable.

Con los resultados del Diseño Experimental Unifactorial se acepta la Hipótesis nula.

Hipótesis nula:
Ho: Sí influye la impresora en la que se imprimen los lotes para llegar al cumplimiento de especificaciones.

Hipótesis alternativa:
Ha: El tipo de impresora no influye en la impresión de los lotes para llegar al cumplimiento de especificación.

Esta conclusión se obtiene al comparar el coeficiente de determinación, cuando $R^2 \geq 0,9$ se acepta la Hipótesis nula. En el estudio $R^2 = 0,91$ por lo que se rechaza la hipótesis alternativa de que la impresora no influye en el cumplimiento de especificaciones y se acepta la hipótesis en la cual se asevera que la impresora influye en el cumplimiento de especificaciones.

3.4 ETAPA DE ANÁLISIS

En el presente proyecto se tomaron los datos de la impresora Comexi para el análisis como se evidencia en la Tabla 3.11:

Tabla 3.12. Datos impresoras Comexi

IMPRESORAS SIRIO
4,85
4,89
4,90
4,95
4,99
5,00
5,02
5,10
5,00

Con los datos indicados se construye la prueba de KSL, se define el valor promedio $E(\bar{x}) = \mu = 4{,}967$ y desviación estándar $E(s) = \sigma = 0{,}07713$.

La fórmula utilizada para calcular se presenta a continuación:

$$F_{(x)} = p(Z < z) = p\left[Z \leq \frac{x_{i-4.967}}{0.07713}\right]$$

Al realizar el análisis de la Tabla KSL cuyos valores se muestran en la Tabla 3.12, se obtuvo que con n = 9: D (0,05;9) = 0,271. En base a esto se acepta que la muestra se distribuye normalmente al comparar con el valor obtenido de D_n de 0,22314079 menor a lo indicado en la tabla.

Tabla 3.13. Información del cumplimiento de especificaciones en Impresora Sirio

k	x	$F_n(x)$	F (x)	$\|F_n(x_{h-1})-F(x_h)\|$	$\|F_n(x_h)-F(x_h)\|$	$D_n(x)$
1	4,85	0,111	0,06360765	0,063607651	0,04739235	
2	4,89	0,222	0,15867006	0,047670058	0,06332994	
3	4,90	0,333	0,19252093	0,029479068	0,14047907	
4	4,95	0,444	0,41860932	0,085609323	0,02539068	
5	4,99	0,555	0,61218731	0,16818731	0,05718731	0,22314079
6	5,00	0,666	0,65990275	0,104902752	0,00609725	
7	5,02	0,777	0,75274718	0,086747176	0,02425282	
8	5,10	0,888	0,95479484	0,177794839	0,06679484	
9	5,00	1,000	0,66485921	0,223140788	0,33514079	

3.4.1 DISEÑO DE PARAMETRO ROBUSTO

Según Taguchi un factor controlable se denomina como factor controlable, los que no son controlables se denominan como ruido y son altamente variables a los cambios del entorno.

En el presente proyecto se aplicó el Diseño Robusto en donde se evaluaron los siguientes factores: (A) Diseño de impresión (factor no controlable), (B) velocidad de impresión y (C) transferencia de color. Se eligieron dos niveles para cada uno de los factores y se corrieron tres réplicas, esto se conoce como un Diseño Factorial 2^3 como se muestra en la Tabla 3.13.

Tabla 3.14. Diseño factorial 2^3 planteado en base a factores determinados

	Diseño de impresión (A)			
	Factor no controlado			
	1		2	
	Nivel bajo		Nivel alto	
	Transferencia de color (C)			
Velocidad impresión	30	35	30	35
(B)	Nivel bajo	Nivel alto	Nivel bajo	Nivel alto
20	5,09	4,98	4,90	4,85
Nivel bajo	5,11	5,01	4,87	4,87
	5,10	4,96	4,92	4,82
	(l)	c	a	ac
30	5,05	5,03	5,00	5,10
	5,00	5,01	4,99	5,12
Nivel alto	5,01	5,05	5,01	5,09
	b	bc	ab	ac

Tabla 3.15. Organización de los datos aplicando las combinaciones

A	B	C	Combinación de tratamientos	Replicaciones			Total
				I	II	III	
0	0	0	(l)	5,09	5,11	5,10	15,30
1	0	0	a	4,90	4,87	4,92	14,69
0	1	0	b	5,05	5,00	5,01	15,06
1	1	0	ab	5,00	4,99	5,01	15,00
0	0	1	c	4,98	5,01	4,96	14,95
1	0	1	ac	4,85	4,87	4,82	14,54
0	1	1	bc	5,03	5,01	5,05	15,09
1	1	1	abc	5,10	5,12	5,09	15,31

La Técnica de Yates es una técnica que se utiliza para calcular la estimación de los efectos y la correspondiente suma de cuadrados en un diseño factorial 2^k. En la Tabla 3.15 se presenta la aplicación de esta técnica al presente proyecto.

Tabla 3.16. Aplicación de la técnica de Yates para el proceso de impresión

Com.	Total	I	II	III	Suma de cuadrados	Efecto	Coeficientes
(l)	15,30	29,99	60,05	119,94			4,99750
a	14,69	30,06	59,89	-0,86	0,03082	-0,14333	-0,07167
b	15,06	29,49	-0,67	0,98	0,04002	0,16333	0,08167
ab	15,00	30,40	-0,19	1,18	0,05802	0,19667	0,09833
c	14,95	-0,61	0,07	-0,16	0,00107	-0,02667	
ac	14,54	-0,06	0,91	0,48	0,00960	0,08000	0,04000
bc	15,09	-0,41	0,55	0,84	0,02940	0,14000	0,07000
abc	15,31	0,22	0,63	0,08	0,00027	0,01333	

$$SS_{total} = (5{,}09^2 + 5{,}11^2 + \cdots + 5{,}12^2 + 5{,}09^2) - \frac{119{,}94^2}{24} = 0{,}1760$$

$$SC_{error} = 0{,}17605 - 0{,}03082 - 0{,}04002 - 0{,}0582 - 0{,}00107 - 0{,}00960 - 0{,}02940 - 0{,}0027 = 0{,}006867$$

Tabla 3.17. Análisis de varianza para el diseño 2^3

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
Efecto de los factores principales				
Efecto del diseño de impresión	1	0,03082	0,03082	71,80801491
Velocidad de impresión	1	0,04002	0,04002	93,24324324
Transferencia de color	1	0,00107	0,00107	2,493010252
Efecto de las combinaciones				
Diseño - velocidad	1	0,05802	0,05802	135,1817335
Diseño - transferencia	1	0,00960	0,00960	22,36719478
velocidad - transferencia	1	0,02940	0,02940	68,49953402
Diseño - velocidad - transferencia	1	0,00027	0,00027	0,629077353
Error	16	0,00687	0,00043	--
Total	23	0,17605	--	--

El valor F que arrojó cada efecto, ver Tabla 3.20, se compara con el $F_{0.05(1.16)} = 4{,}49$.

Los factores más significativos son los efectos principales a, b y las combinaciones ab, ac y bc; con lo que sé obtendría el siguiente modelo de regresión lineal en la Ecuación 3.5:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + y_1 z_1 + \delta_1 x_1 z_1 + \delta_{21} x_2 z_1 + \varepsilon \quad [3.5]$$

Donde:
y: es el modelo de la regresión lineal

Se reemplazan los valores correspondientes en la Ecuación 3.5:

$$\bar{y} = 4.9975 - 0.07167 x_1 + 0.08167 x_1 + 0.09833 x_1 x_2 + 0.0400 x_1 x_2 + 0.0700 x_2 x_3$$

Se realiza un ajuste al modelo de Taguchi y el modelo de respuestas con el siguiente resultado en la ecuación

$$y(x_1 z_1) = 4.9975 + 0.08167 x_1 + 0.09833 x_1 x_2 + 0.0400 x_1 x_3 + 0.0700 x_2 x_3$$

Utilizando las dos ecuaciones anteriores el modelo de la media para la respuesta es, Ecuación 3.6:

$$E_z[y(x, z)] = f(x) \quad [3.6]$$

Donde:
Ez: modelo para la ecuación

Y el modelo de la varianza para la respuesta se indica a continuación:

$$V_z[y(x,z)] = \sigma_z^2 \sum \left[\frac{\partial y(x,z)}{\partial zi}\right]^2 + \sigma^2$$

$$\sum_{i=1}^{3} \left[\frac{\partial y(x,z)}{\partial zi}\right]^2 = 0{,}09833x_2 + 0{,}0400x_3$$

$$E_z[y(x_1 z_1)] = 4{,}9975 + 0{,}08167x_2 + 0{,}0700x_2x_3$$

$$V_z[y(x_1 z_1)] = \sigma_z^2(0{,}09833x_2 + 0{,}0400x_3)^2 + \sigma^2$$

La varianza del ruido es igual a $\sigma^2 = 1$ debido a que el ruido es considerado una variable de distribución normal estándar con media cero y varianza uno; también la varianza de la respuesta es $\sigma^2 = 0{,}0043$.

El modelo para la varianza está definido de la siguiente Ecuación 3.7:

$$V_z[y(x_1 z_1)] = 0{,}0043 + 0{,}0967x_2^2 + 0{,}07867x_2x_3 + 0{,}01600x_3^2 \qquad [3.7]$$

Donde:
Vz: modelo para la varianza

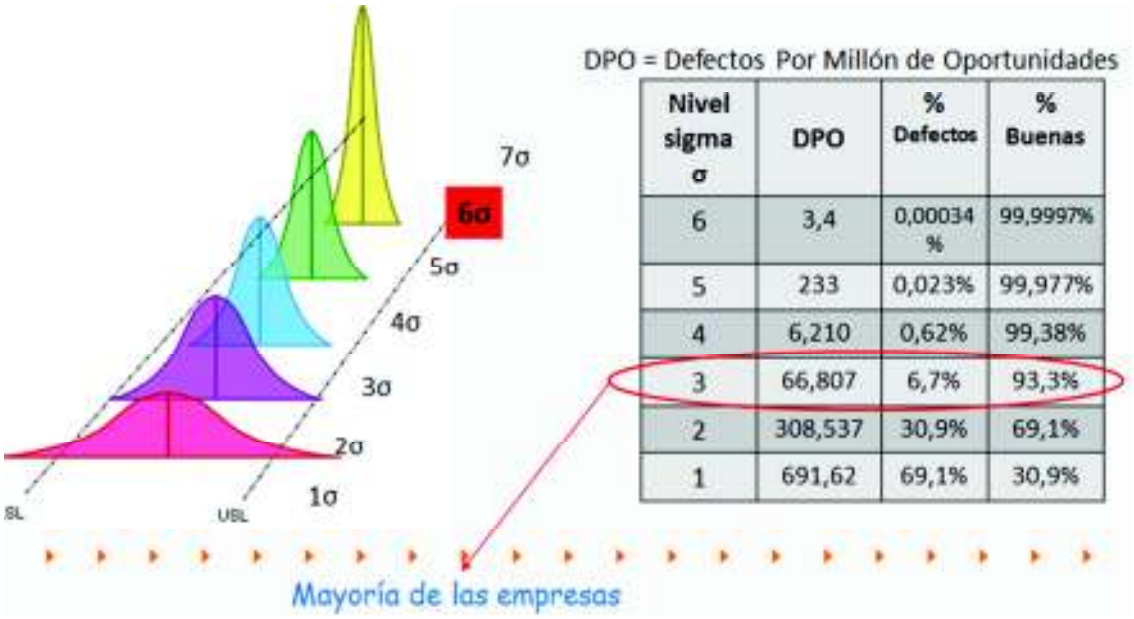
La Ecuación 3.7 permite modelar la variabilidad del proceso para minimizar su influencia en el proceso.

En la Etapa de Análisis con base a los datos recolectados por parte del departamento de aseguramiento de calidad se determinaron los Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO), en el proceso de impresión fue de 20 000. Con este

valor se pudo obtener el Nivel de Sigma del proceso con un valor de 3,69 y un rendimiento del 98,01%.

Sigmaplast se encuentra en un nivel aceptable de producción, la mayoría de las empresas tradicionales en la actualidad se encuentran en un nivel 3 sigma como muestra la Figura 3.3, esto quiere decir que tiene un 6,37% de defectos, evidentemente la meta es pasar a un nivel 6 Sigma con 3,4 defectos por millón de oportunidades.

El encontrarse en este nivel le permite ser una compañía rentable pero no excelente desde el punto de vista productivo.



DPO = Defectos Por Millón de Oportunidades

Nivel sigma σ	DPO	% Defectos	% Buenas
6	3,4	0,00034 %	99,9997%
5	233	0,023%	99,977%
4	6,210	0,62%	99,38%
3	66,807	6,7%	93,3%
2	308,537	30,9%	69,1%
1	691,62	69,1%	30,9%

Figura 3.3. Niveles de DPMO
(Villar, 2005, p. 34)

Estos valores indican que es posible realizar mejoras en el proceso para disminuir las no conformidades y elevar la satisfacción al cliente.

Al realizar el análisis mediante la Prueba de Normalidad mediante el Método de Kolmogorov Smirnov Lilliefors KSL con un n = 9 y D (0,05;9) = 0,271 se acepta y concluye que el modelo se distribuye normalmente, lo que permite realizar análisis precisos de la tendencia del ensayo.

Con el Diseño de Parámetro Robusto se planteó una ecuación que permitirá modelar la variabilidad del proceso con el fin de minimizar su influencia en el proceso, se muestra a continuación:

$$V_z[y(x_1 z_1)] = 0{,}0043 + 0{,}0967x_2^2 + 0{,}07867x_2x_3 + 0{,}01600x_3^2$$

3.5 ETAPA DE CONTROL

En la Tabla 3.17 se muestran los términos de control iniciales o también conocida como FASE I para la media, rango y desviación estándar en el proceso de impresión.

Tabla 3.18. Observaciones del proceso de impresión

Número del subgrupo	Observaciones del subgrupo n = 2		x	R̄	s
	X1	X2			
1	5,38	5,42	5,40	0,04	0,0283
2	5,25	5,37	5,31	0,12	0,0849
3	5,38	5,36	5,37	0,02	0,0141
4	5,41	5,42	5,42	0,01	0,0071
5	5,32	5,40	5,36	0,08	0,0566
6	5,41	5,49	5,45	0,08	0,0566
7	5,37	5,35	5,36	0,02	0,0141

Tabla 3.19. Observaciones del proceso de impresión (continuación…)

8	5,21	5,23	5,22	0,02	0,0141
9	5,42	5,40	5,41	0,02	0,0141
10	5,43	5,39	5,41	0,04	0,0283
11	5,47	5,47	5,47	0,00	0,0000
12	5,40	5,36	5,38	0,04	0,0283
13	5,39	5,34	5,37	0,05	0,0354
14	5,25	5,30	5,28	0,05	0,0354
15	5,42	5,38	5,40	0,04	0,0283

Longitud Promedio de la Corrida (ARL). Corresponde al número promedio de puntos que deben ser graficados previo a que un punto indique una condición fuera de control.

En la Figura 3.4 se presentan las Gráficas de Control de la FASE I para el medio, el rango y la desviación estándar de las observaciones tomadas en el proceso de impresión.

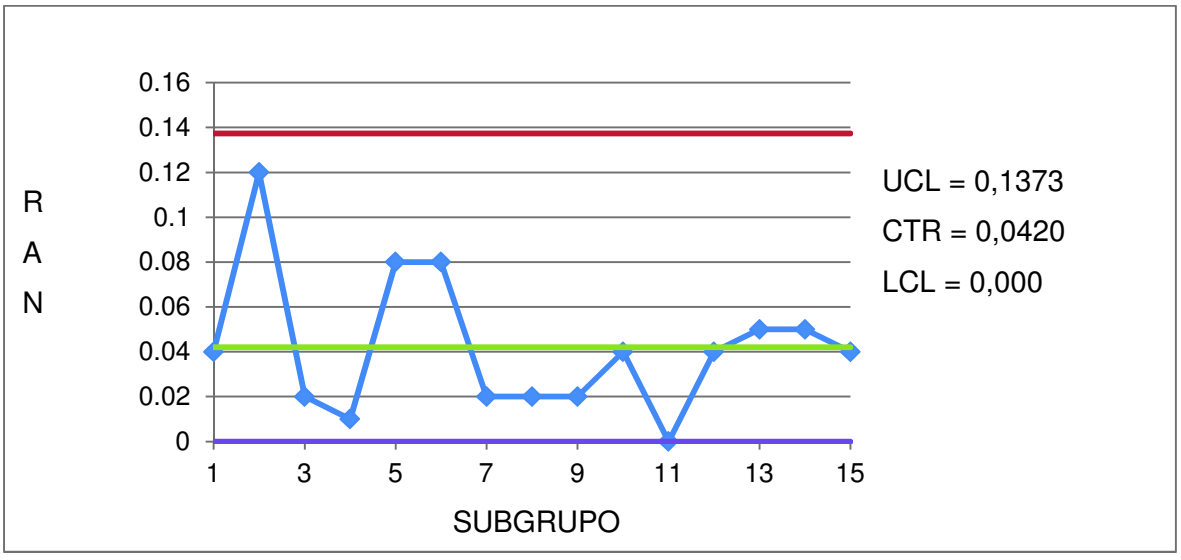


Figura 3.4. Gráfica de Control - Rango

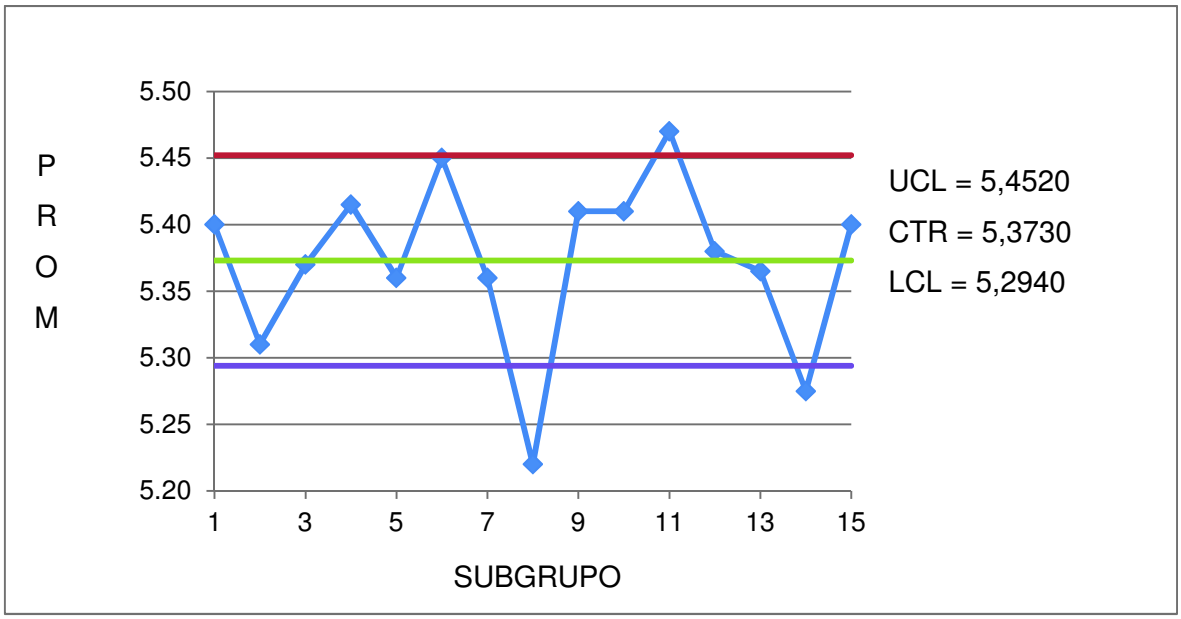


Figura 3.5. Gráfica de Control - Promedio

Estados fuera de control. Existen varios factores que puedan indicar un estado fuera de control como materia prima, el conocimiento del operador o problemas en el equipo.

En el caso de Sigmaplast se detectó que este estado se debe a operarios con diferentes procedimientos, sin embargo se procedió a calcular los límites de advertencia como se observa en las Figuras 3.6 y 3.7.

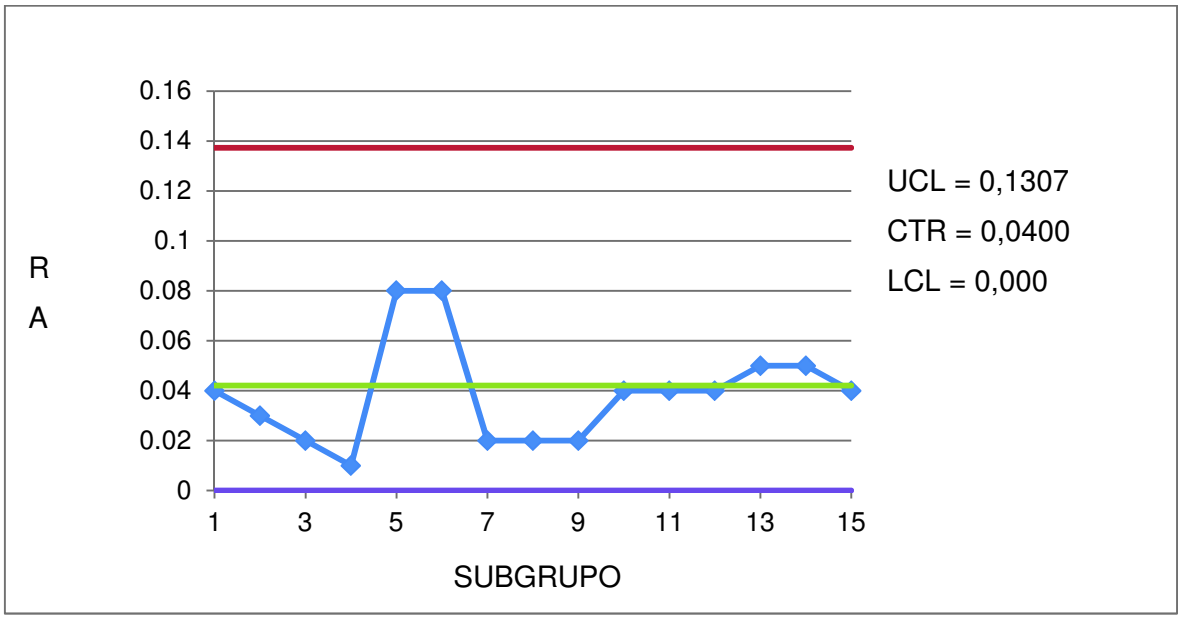


Figura 3.6. Determinación de límites de control de subgrupos para el RANGO

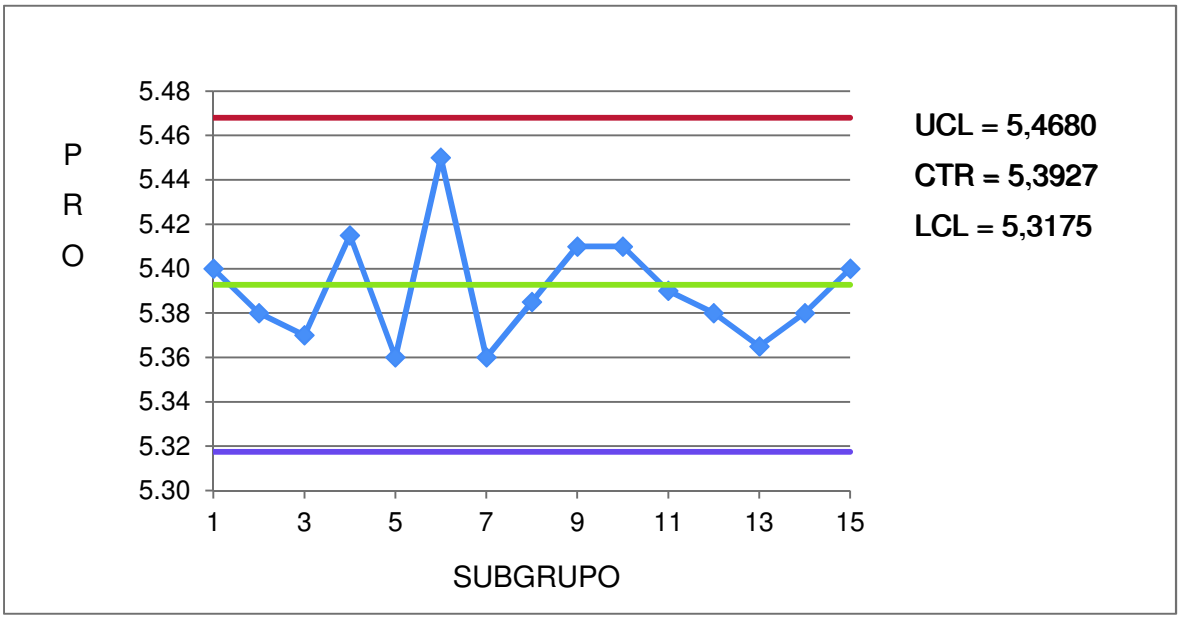


Figura 3.7. Determinación de límites de control de subgrupos para el PROMEDIO

Una vez que se ha establecido el control estadístico se deben evaluar parámetros del proceso.

En la FASE I ya se establecieron los valores del promedio del proceso μ = 5,393 y desviación σ = 0,0355; en el siguiente paso se establecen los Límites Estándar de Control:

Valores para el promedio.

$$lcs = 5{,}3927 + (0{,}212) * 0{,}354 = 5{,}4679$$
$$lci = 5{,}3927 - (0{,}212) * 0{,}354 = 5{,}4679$$
$$lc = 5{,}3927$$

Valores para el rango.

$$lcs = 0{,}383 \times 0{,}3546 = 0{,}1307$$
$$lci = 0 \times 0{,}3546 = 0$$
$$lc = 0{,}04$$

Valores para la deviación estándar.

$$lcs = 0{,}2606 \times 0{,}3546 = 0{,}0931$$
$$lci = 0 \times 0{,}3546 = 0$$
$$lc = 0{,}0283$$

Con los valores ya establecidos se define la FASE II que radica en tomar nuevos datos (información y subgrupos) en el proceso, calcular el promedio, el rango y la

desviación estándar y graficarlos con los límites estándar ya calculados. Los nuevos datos se evidencian en la Tabla 3.18.

Tabla 3.20. Observaciones del proceso de impresión

Número del subgrupo	Observaciones del subgrupo		□	R̄	s
	X1	X2			
1	5,33	5,35	5,34	-0,02	0,0141
2	5,34	5,35	5,35	-0,01	0,0071
3	5,42	5,47	5,45	0,05	0,0354
4	5,40	5,45	5,43	0,05	0,0354
5	5,39	5,40	5,40	0,01	0,0071
6	5,33	5,38	5,36	0,05	0,0354
7	5,37	5,40	5,39	-0,03	0,0212
8	5,40	5,42	5,41	-0,02	0,0141
9	5,40	5,42	5,41	0,02	0,0141
10	5,38	5,40	5,39	0,02	0,0141
11	5,37	5,35	5,36	-0,02	0,0141
12	5,40	5,42	5,41	-0,02	0,0141
13	5,33	5,35	5,34	0,02	0,0141
14	5,39	5,41	5,40	0,02	0,0141
15	5,39	5,41	5,40	0,02	0,0141

Las cartas muestrales de las Figuras 3.8, 3.9 y 3.10 indican un proceso controlado.

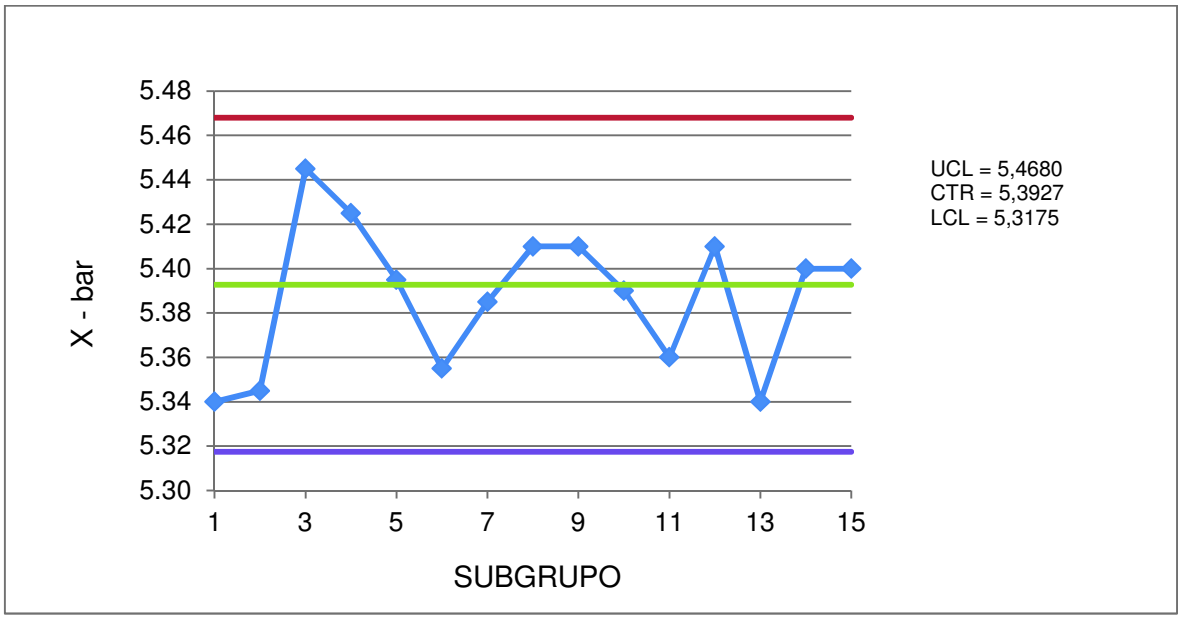


Figura 3.8. Gráfico de control del promedio

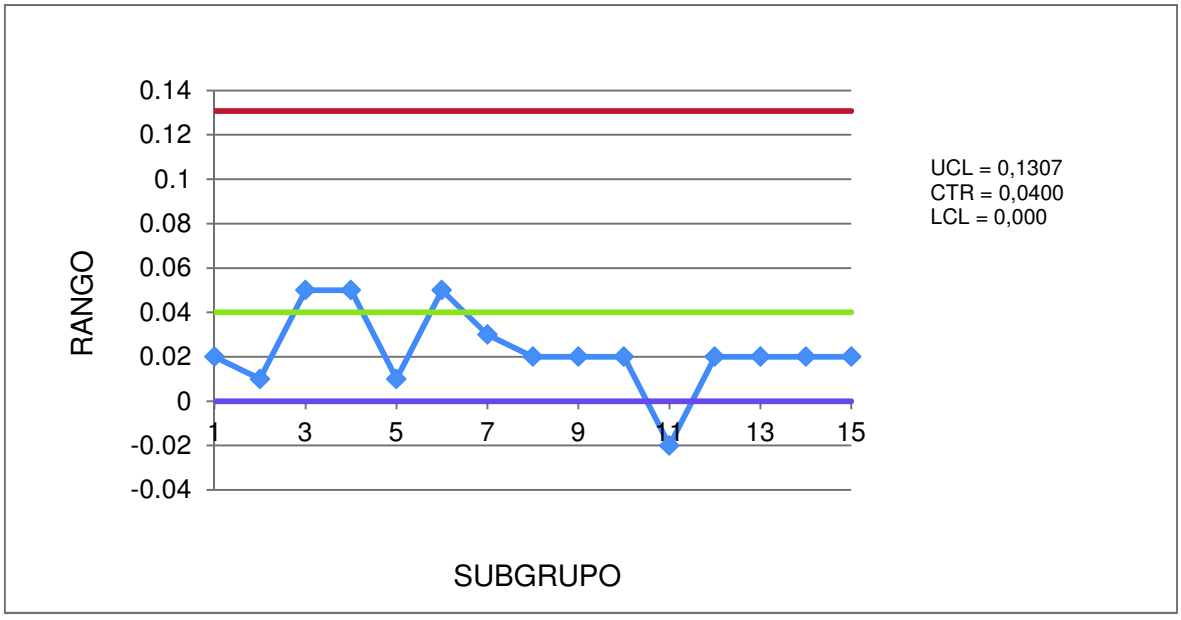


Figura 3.9. Gráfica de control del Rango

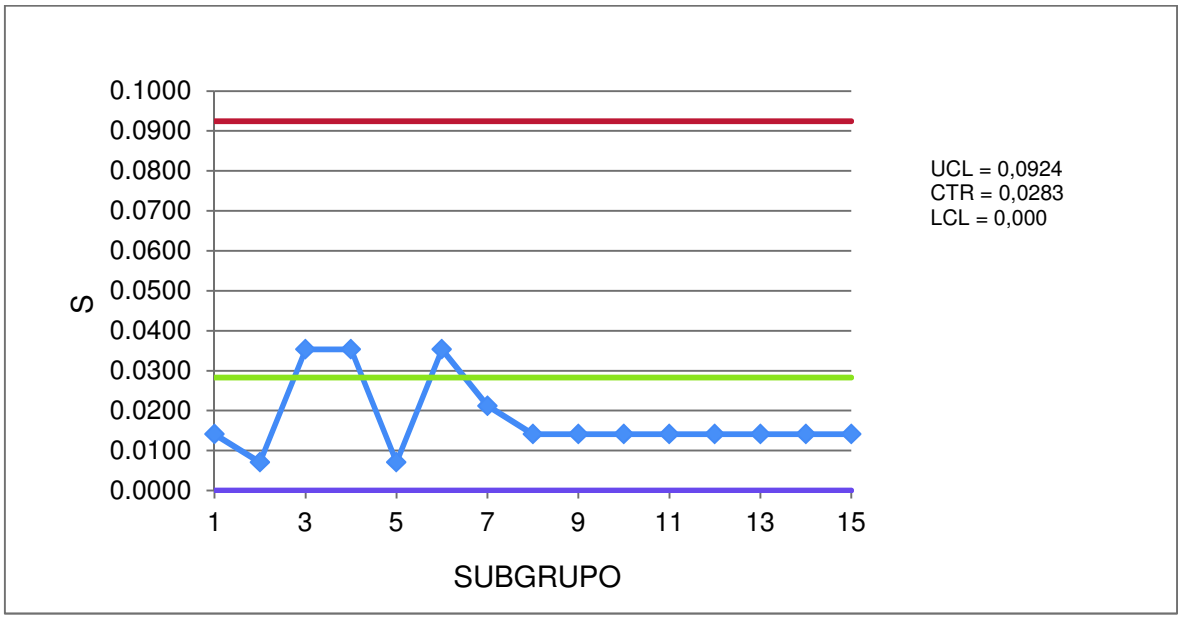


Figura 3.10. Gráfico de control para la desviación estándar

3.5.1 CAPACIDAD DEL PROCESO

Si un proceso cumple con las especificaciones requeridas se conoce como un proceso capaz, en la Figura 3.11 se muestra la gráfica de capacidad del proceso actual.

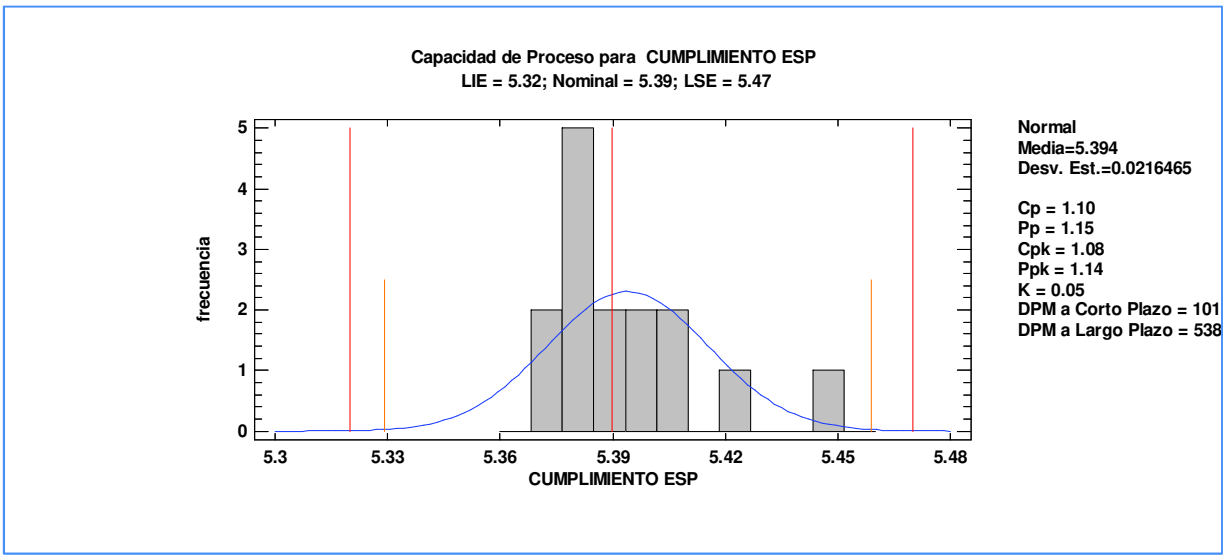


Figura 3.11. Capacidad del proceso medido en Statgraphics

En la Tabla 3.19 se muestran las datos arrojados por Statgraphics con los valores límites establecidos.

Datos/Variable: CUMPLIMIENTO ESP

Distribución: Normal
Tamaño de muestra = 15
Media = 5,394
Desviación estándar. = 0,0216465

6.0 Límites Sigma
+3.0 sigma = 5,45894
Media = 5,394
-3.0 sigma = 5,32906

Tabla 3.21. Análisis de datos de medición de CEP

	Observados		*Estimados*	*Defectos*
Especificaciones	*Fuera Especs.*	*Valor-Z*	*Fuera Especs.*	*Por Millón*
LSE = 5.47	0,000000%	3,51	0,022329%	223,29
Nominal = 5.39		-0,18	--	--
LIE = 5.32	0,000000%	-342	0,031481%	314,81
Total	0,000000%		0,053810%	538,10

ÍNDICES DE CAPACIDAD PARA CUMPLIMIENTO ESPECIFICACIONES

En las Tablas 3.20 y 3.21 se muestran los valores de Cp y Cpk que permiten establecer que es un proceso estadísticamente controlado.

Especificaciones
LSE = 5,47
Nom = 5,39
LIE = 5,32

Tabla 3.22. Determinación Cp

	Capacidad	*Desempeño*
	Corto Plazo	*Largo Plazo*
Sigma	0,0227964	0,0216465
Cp/Pp	1,09667	1,15492
Cpk/Ppk	1,08204	1,13952
K		0,05
DPM	1 013,27	538,101

Con base en límites 6,0 sigma. La sigma de corto plazo se estimó a partir del rango móvil promedio.

Intervalos de confianza del 95.0%

Tabla 3.23. Determinación Límites

Índice	*Límite Inferior*	*Límite Superior*
Cp	0,69537	1,49792
Pp	0,732308	1,57749
Cpk	0,647204	1,51689
Ppk	0,684983	1,59406

Una vez aplicado el proyecto de mejora “Planta de Tintas” se determinó el DPMO con el fin de evidenciar mejora en el proceso, los datos tomados se encuentran en la Tabla 3.22.

Tabla 3.24. Datos del proceso después de implementado proyecto de mejora

DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD					
ORDENES MUESTREADAS PARA EVALUAR CUMPLIMIENTO DE ESPECIFICACIONES					
IMPRESORAS MIRAFLEX		IMPRESORAS COMEXI		IMPRESORAS SIRO	
OP	**CUMPLIMIENTO ESPECIFICACIONES**	**OP**	**CUMPLIMIENTO ESPECIFICACIONES**	**OP**	**CUMPLIMIENTO ESPECIFICACIONES**
27621	SI	27898	SI	28483	SI
27622	SI	27482	SI	28326	SI
27617	SI	28275	SI	28613	SI
27618	SI	28073	SI	28841	SI
27619	SI	28336	SI	28865	SI
27620	SI	28307	SI	28871	SI
27597	SI	28326	SI	28864	SI
27598	SI	28792	SI	28868	SI
27599	NO	28819	SI	28639	SI
27600	SI	28820	SI	28640	SI
27709	SI	28790	SI	28641	SI
27710	SI	28791	SI	28792	SI
27478	SI	28884	SI	28819	SI
27734	SI	28821	SI	28820	SI
27735	SI	28822	SI	28790	SI
27685	SI	28823	SI	28791	SI
27686	SI	28824	SI	28884	SI
27736	SI	28883	SI	28821	SI
27737	SI	28716	SI	28822	SI
27611	SI	28445	SI	28823	SI
27259	SI	28719	SI	28824	NO
27402	SI	28709	SI	28883	SI

Tabla 3.22. Datos del proceso después de implementado proyecto de mejora (continuación…)

27095	SI	28722	SI	28716	SI
26860	SI	28717	SI	28445	SI
27672	SI	28729	SI	28719	SI
27492	SI	28718	SI	28709	SI
27493	SI	28754	SI	28722	SI
27505	SI	28735	SI	28717	SI
27679	SI	28715	SI	28729	SI
27764	SI	28720	SI	28718	SI
27762	SI	28730	SI	28754	SI
27695	SI	28558	SI	28735	SI
27488	SI	28568	SI	28715	SI
27496	SI	28567	SI	28720	SI
27504	SI	28804	SI	28730	NO
27498	SI	28745	SI	28558	SI
27497	SI	28677	SI	28568	SI
27656	SI	28265	SI	28567	SI
27584	SI	28266	SI	28804	SI
27763	SI	28842	SI	28745	SI
27797	SI	28363	SI	28677	SI
27680	SI	28832	SI	28265	SI
27612	SI	28698	SI	28266	SI
26463	SI	28392	NO	28842	SI
27809	SI	28736	SI	28363	SI
27810	SI	28724	SI	28832	SI
27613	SI	28757	SI	28698	SI
27631	SI	28734	SI	28392	SI
27632	SI	28723	SI	28736	SI
27639	SI	28713	SI	28724	SI
27643	SI	28756	SI	28757	SI
27658	SI	28726	SI	28734	SI
27640	SI	28732	SI	28723	SI
27634	SI	28825	SI	28713	SI
27784	SI	28775	SI	28756	SI
27766	SI	28776	SI	28726	NO

Tabla 3.22. Datos del proceso después de implementado proyecto de mejora (continuación…)

27633	SI	28759	SI	28732	SI
27641	SI	28609	SI	28825	SI
27745	SI	28543	SI	28775	SI
27747	SI	28555	SI	28776	SI
27746	SI	28390	SI	28759	SI
27748	SI	28762	SI	28609	SI
27567	SI	28617	SI	28543	SI
27438	SI	28763	SI	28555	SI
27590	SI	28843	SI	28390	SI
27519	SI	28764	SI	28762	SI
27517	SI	28576	SI	28617	SI

$$DPMO = \frac{5}{3 \times 200} \times 1\,000\,000 = \frac{5}{600} \times 1\,000\,000 = 8\,333$$

A partir de la información recolectada y procesada se logró determinar que el área de impresión maneja un valor de 8 333 efectos por millón. Al realizar la respectiva interpolación en la Tabla 2.1 el Nivel de Sigma corresponde a 4,0 con un rendimiento del 99,40%.

En la etapa de Control del Proceso se determinó lo Fase I en donde se grafican el promedio y la dispersión en estado de control y Fase II en donde se determinan los Límites de Control Estándar.

La Figura 3.12 muestra que el promedio se encuentra dentro de control, estos datos tomados al azar proporcionan información distinta a la que facilitó la determinación de los límites estándar como parte de la FASE II. También se presenta este fenómeno en las Figuras 3.13 y 3.14 de rangos y desviación estándar, respectivamente.

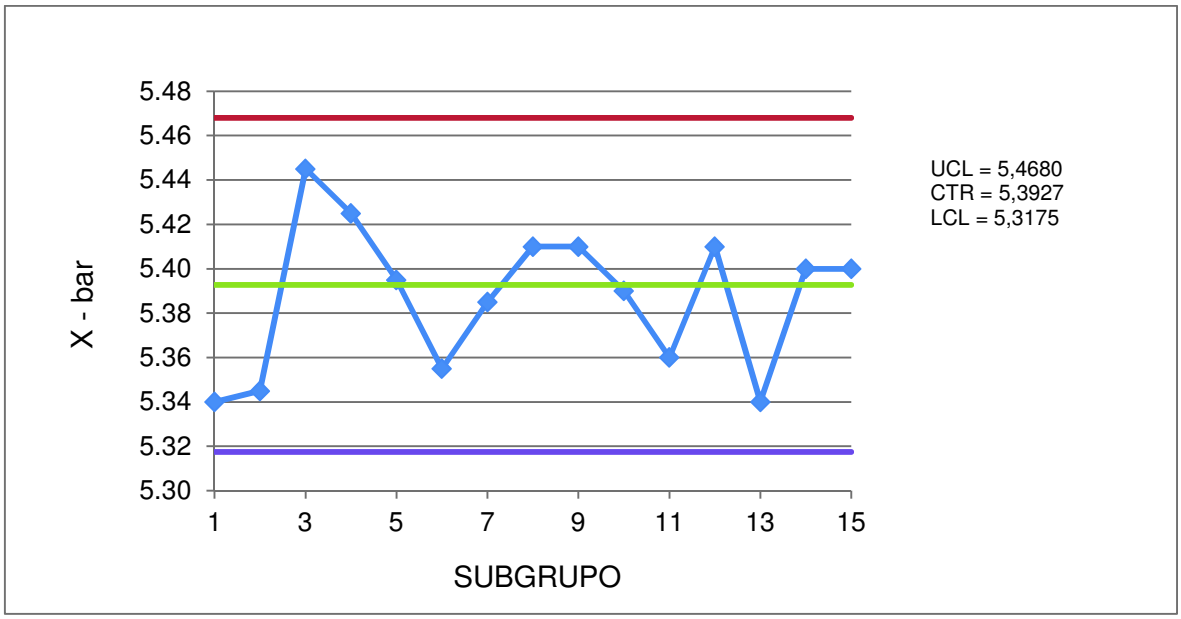


Figura 3.12. Gráfico de control del promedio

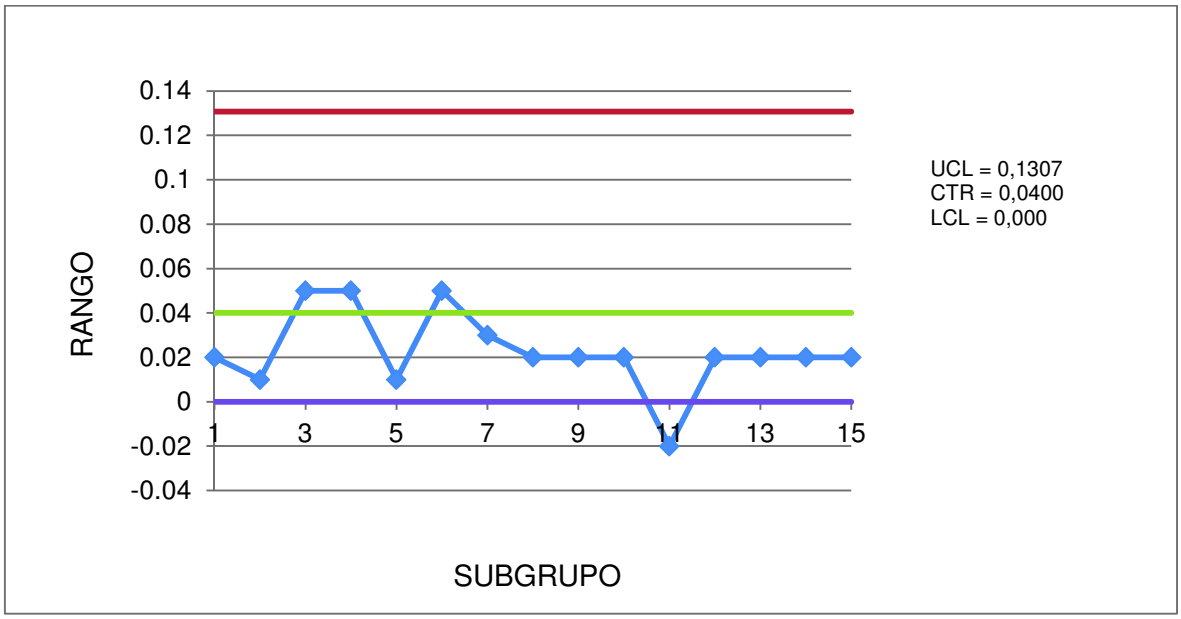


Figura 3.13. Gráfica de control del Rango

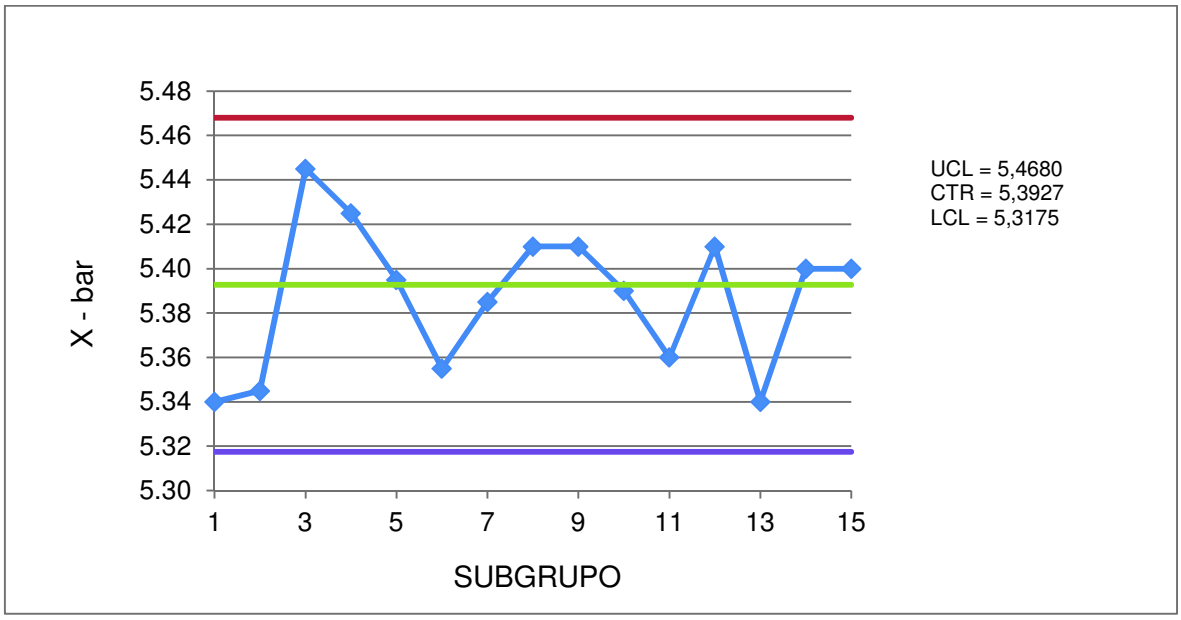


Figura 3.14. Desviación estándar del proceso de impresión

El plan de mejora para pasar a un estado de control en la Fase II fue la creación de una planta de producción de tintas, la ejecución de este proyecto no solo repercutió en una mejora directa en el producto final o en la baja de paros de máquina como se visualiza en la Tabla 3.23, sino que también tuvo una incidencia de ganancia económica para la compañía.

Tabla 3.25. Comparación de paros de máquina 2015 y 2016

Razones	2015	2016
Preparación de OP	**458**	**411**
Mantenimiento preventivo	**138**	**89**
Ajuste de color	**177**	**45**
Otros daños mecánicos	**54**	**106**
Tintas	61	78
Aprobación cliente, interna	69	61
Limpiar clichés, lavar cilindros	51	35

Tabla 3.23. Comparación de paros de máquina 2015 y 2016 (continuación…)

Cambio raclas	60	55
Montaje	45	40
Suspende OP	29	2
Limpieza máquina	23	21
Arreglo foto	32	27
Espera cilindros en grabación	17	6
Cambio anilox	24	14
Ruptura material	17	16
Cambio duplo	17	16
Limpieza tambor	12	12
Arreglo calce	12	10

Al realizar un análisis de las cuatro principales razones como se evidencia en la Figura 3.15 se puede ver una mejora sustancial en paros de máquina por ajuste de color 74% ya que las horas se redujeron de 177 en el 2015 a 45 en el 2016.

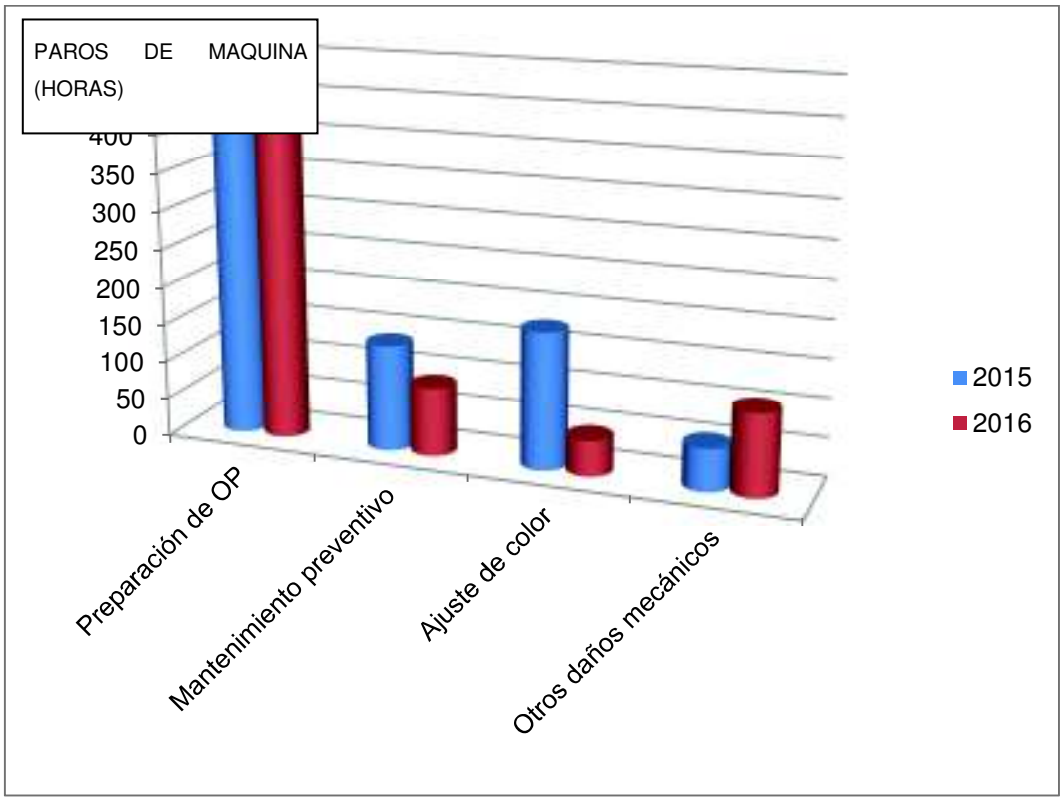


Figura 3.15. Análisis de mejora en paros de máquina 2015 vs 2016.

Además de obtener una mejora en la productividad el proceso de elaboración de tintas no solo genera un ahorro por reducción en el precio de adquisición de la materia prima, sino que también genera un ingreso como se indica en la Tabla 3.24.

En el 2015 se invirtieron en promedio 972 900 USD en este insumo, en el 2016 la inversión fue de 465 300 USD; el ahorro fue del 63%.

Tabla 3.26. Inversión en tinta en los años 2015 y 2016

			USD
PRECIO TINTA PROVEEDOR EXTERNO			2.3
PRECIO TINTA SIGMAPLAST			1.1
MES	**CONSUMO (kilogramos)**	**2015**	**2016**
		INVERSION (USD)	
ENERO	32 000	73 600	35 200
FEBRERO	32 000	73 600	35 200
MARZO	32 000	73 600	35 200
ABRIL	32 000	73 600	35 200
MAYO	35 000	80 500	38 500
JUNIO	35 000	80 500	38 500
JULIO	35 000	80 500	38 500
AGOSTO	35 000	80 500	38 500
SEPTIEMBRE	35 000	80 500	38 500
OCTUBRE	40 000	92 000	44 000
NOVIEMBRE	40 000	92 000	44 000
DICIEMBRE	40 000	92 000	44 000
TOTAL	**423 000**	**972 900**	**465 300**

Debido a la estandarización efectiva y sobre todo a la buena calidad de las tintas desarrolladas por Sigmaplast para el 2017 se planifica iniciar el proceso de exportación de este insumo en un volumen promedio de 40 000 kilos que representarían un ingreso adicional de 44 000 USD mensuales o 528 000 USD anuales, en la Figura 3.16 se visualiza la diferencia en inversión para esta variable.

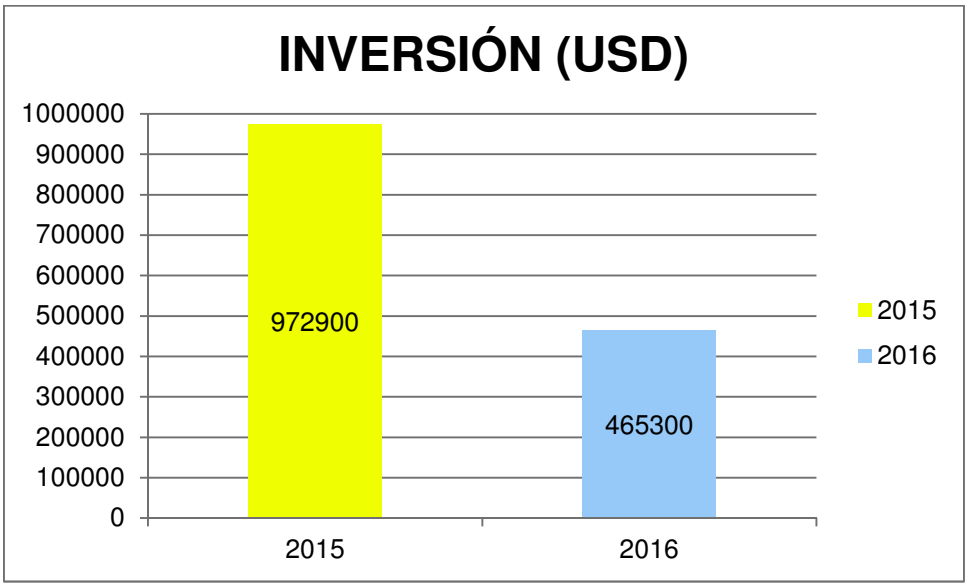


Figura 3.16. Tabulación de inversión en tinta 2015 vs 2016.

Al realizar el cálculo de la Capacidad del Proceso se debe mostrar que el Cp se utiliza para determinar el comportamiento y tomar decisiones sobre el proceso, esta toma de decisiones siempre dependerá de su valor. La Tabla 1.4 muestra la interpretación cualitativa del índice Cp.

El Cp del presente proyecto se puede visualizar en la Figura 3.17, en la que su valor es igual a 1,10 esto quiere decir que el proceso de manera general es parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.

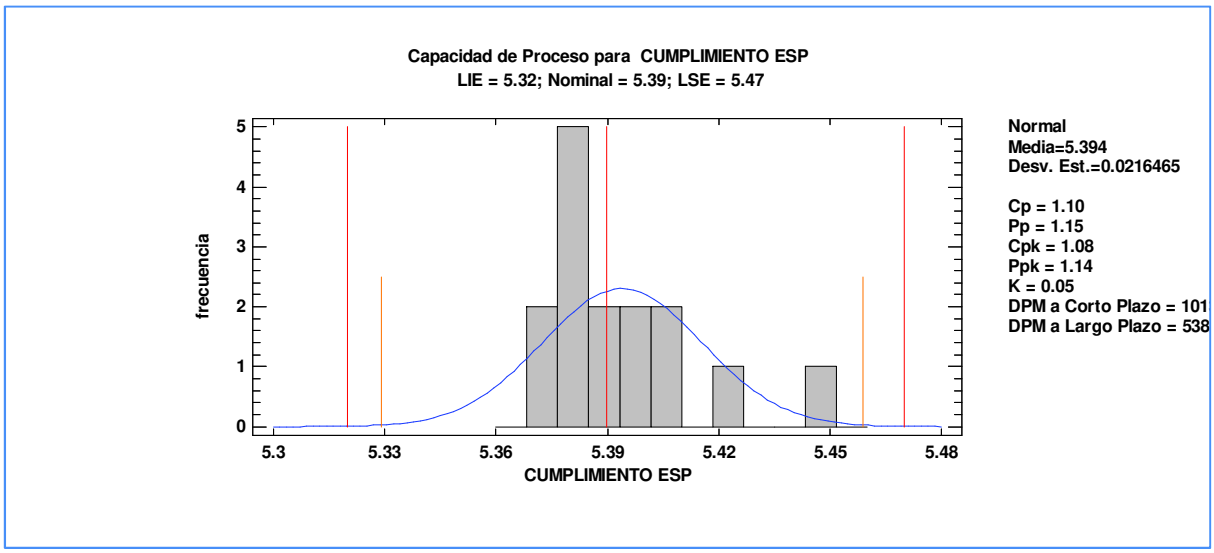


Figura 3.17. Análisis capacidad del proceso

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- En el proceso de impresión flexográfica se estimó que el valor de DPMO (Defectos por Millón de Oportunidades) fue de 20 000, lo que arrojó un Nivel Sigma de 3,6 debido a que en el 2015 las pérdidas de Sigmaplast fueron de 250 000 dólares.

- El Diseño Experimental Unifactorial arrojó un valor del coeficiente de determinación R^2 = 0,91; al obtener un valor menor a 0,9 se aceptó la Hipótesis Nula en la que se afirma que el tipo de impresora sí influye en la calidad del producto impreso.

- Se estableció el Diseño de Parámetro Robusto involucrando el Diseño de Tratamiento Factoriales para determinar la combinación de factores controlables menos sensibles a los cambios en las variables no controlables. El diseño arrojó la ecuación de regresión $V_z[y(x_1 z_1)] = 0.0043 + 0.0967x_2^2 + 0.07867x_2x_3 + 0.01600x_3^2$, misma que se aplicó al producto para disminuir el impacto de los factores que pueden afectar la variabilidad del cumplimiento de especificaciones (ruido).

- Para elevar el Nivel Sigma de la compañía se aplicó el proyecto “Creación de la Planta de Tintas”; se evaluó el impacto de su implementación con mejoras efectivas en el cumplimiento de especificaciones, sin embargo como efecto secundario se obtuvo beneficios económicos anuales para la compañía. El proceso de impresión flexográfica mediante la aplicación de Seis Sigma fue exitoso ya que en un año de implementación se pasó de un nivel 3,6 con un DPMO de 20 000 a 4,0 con un DPMO 8 333.

- El proceso está bajo control estadístico; además el valor de Cp fue de 1,10; lo cual significa que requiere un control estadístico más riguroso para alcanzar mayores niveles de calidad.

4.2 RECOMENDACIONES

- Continuar con la mejora continua hasta alcanzar un nivel Seis Sigma ya que en pocos meses fue posible pasar de 3,6 Sigma a 4,0 Sigma.

- Organizar de cursos regulares de formación en conceptos estadísticos al personal operativo y mandos medios para que la aplicación de Seis Sigma sea más sencilla y se obtengan mayores beneficios.

- Sensibilizar a la Alta Dirección que el 80% del éxito en la aplicación de estos proyectos depende del nivel de compromiso de estos.

- Aprovechar el presente trabajo para aplicarlo en otras áreas productivas como son laminación, logística y corte; tómese en cuenta que esta herramienta de mejora se aplicable a toda la compañía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agudelo, L. (2010). *Gestión por Proceso.* Colombia: Los Autores.

2. Álvarez, W. (2008). *La naturaleza de la investigación.* Caracas: BIOSFERA.

3. Beal, D. y. (2007). *Principios de Manufactura Esbelta en Empresas Colombianas.* Bogotá: Metalforming.

4. Beltrán, J. (1999). *Indicadores de Gestión.* Bogotá: McGraw Hill.

5. Beltrán, J., Carmona, M., & Carrasco, R. (2009). *Guía Para una Gestión Basada en Procesos.* Barcelona: Berekintza.

6. Bravo, J. (2009). *Gestión de Procesos.* Santiago de Chile: Evolución S.A.

7. Chapman, S. (2006). *Planificación y Control de la Producción.* México: Pearson Educación.

8. Escalante, E. (2008). *Análisis y mejoramiento de la calidad y la productividad de procesos.* México: Limusa.

9. Escalona, I. (2009). *Ingeniería de Métodos: métodos y diseños de trabajo.* Madrid: El Cid Editor.

10. Evans, J. (2014). *Administración y Control de la Calidad.* México: Cengage Learning.

11. García, A. (2011). *Productividad y Reducción de Costos.* México: Trillas.

12. Gutiérrez, H. (2010). *Calidad total y productividad.* México: McGraw Hill.

13. Gutiérrez, H., y De La Vara, R. d. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma.* México: McGraw Hill.

14. Harrington, J. (1993). *Mejoramiento de los Procesos de una Empresa.* Bogotá: McGraw Hill.

15. Heizer, J., & Render, B. (2007). *Dirección de la Producción y de operaciones - decisiones estratégicas.* Madrid: Pearson Educación.

16. Hosotani, K. (1992). *The QC problem solving approach.* New York: QR.

17. Ibid, J. (2008). Sistema de Variables. México: McGraw-Hill.

18. ISO 9000. (2005). *Sistemas de control de calidad - Fundamentos y vocabulario.* Ginebra: ISO.

19. Jurán, J. (2000). *Gestión de la Calidad Total.* Barcelona: Edigrafos.

20. Krajewski, J. (2008). *Administración de Operaciones: Procesos y Cadena de Valor.* México: Prentice Hall.

21. Kume, H. (2008). *Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad.* Bogotá : Grupo Editorial Norma.

22. Koontz H. y O´Donnel C. (1986). Essentials of managment. Estados Unidos: McGraw-Hill

23. Martín, J. (2015). *Lean Six Sigma para sistemas administrativos.* México: Tirillas.

24. Medina, A. (2005). *Aplicación de la Gestión y Mejora de Procesos.* La Habana: Universidad de Matanzas.

25. Montaner, M. (2011). *Tecnología y sociedad. Seis Sigmas: un enfoque radical para la mejora de procesos de mejora.* México.

26. Montgomery, D. (1991). *Control Estadístico de la Calidad.* México: Graphic Technology - Spectral.

27. Pande, P., Newman, R., & Cavanagh, R. (2004). *Claves Prácticas del Seis Sigma.* Madrid: McGraw Hill.

28. Penzer. (1989). *Mental Health.* New York: Pro Quest.

29. Pérez, J. (2010). *Gestión por Procesos.* Madrid: Gestión 2000.

30. Quesada, F. (1991). *Evaluación Educativa.* México.

31. Rajadell, M. (2002). *Lean Manufacturing.* Madrid: Diaz de Santos. Universidad de Huelva.

32. Ramírez, T. (1999). *Cómo hacer un proyecto de investigación.* Caracas: PANAPO.

33. Smithers, P. (2013). *The Future of Global Flexible Packaging to 2018.* Atlanta: Package.

34. Vilar, J. (2005). *ContrGol Estadístico de los Procesos.* Madrid: Fundación Confemetal.