



**FACULTAD DE POSTGRADO  
TESIS DE POSTGRADO**

**ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA  
APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA**

**SUSTENTADO POR:  
GLADYS KATHERINE FONSECA QUAN  
ANA PATRICIA CAMACHO PINEL**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE MÁSTER EN  
DIRECCIÓN EMPRESARIAL**

**SAN PEDRO SULA, CORTÉS, HONDURAS, C.A.  
ENERO, 2019**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA  
UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**MARLON ANTONIO BREVE REYES**

**SECRETARIO GENERAL**

**RÓGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**VICERRECTORA ACADÉMICA DE UNITEC**

**DESIREÉ TEJEDA CALVO**

**VICEPRESIDENTE DE CAMPUS UNITEC SPS**

**CARLA MARÍA PANTOJA ORTEGA**

**DECANA DE LA FACULTAD DE POSTGRADO**

**CLAUDIA MARÍA CASTRO VALLE**

**ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA  
APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS  
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN DIRECCIÓN EMPRESARIAL**

**ASESOR METODOLÓGICO  
JUAN JACOBO PAREDES HELLER**

**ASESOR TEMÁTICO  
MARIO LIZARDO**

**MIEMBROS DE LA TERNA  
ARTURO CARRANZA  
JOSUÉ GALEL NUÑEZ  
LUIS JIMÉNEZ**

# **DERECHOS DEL AUTOR**

© Copyright 2019

ANA PATRICIA CAMACHO PINEL  
GLADYS KATHERINE FONSECA QUAN

Todos los derechos son reservados.

**AUTORIZACIÓN DEL AUTOR(ES) PARA LA CONSULTA,  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE POSTGRADO**

Señores

**CENTRO DE RECURSOS PARA  
EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN (CRAI)  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA (UNITEC)**

San Pedro Sula

Estimados Señores:

Nosotros, Gladys Katherine Fonseca Quan y Ana Patricia Camacho Pinel, de San Pedro Sula, autores del trabajo de postgrado titulado: ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA, presentado y aprobado en el mes de Diciembre 2018, como requisito previo para optar al título de máster en Dirección Empresarial y reconociendo que la presentación del presente documento forma parte de los requerimientos establecidos del programa de maestrías de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), por este medio autorizo/autorizamos a las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de UNITEC, para que con fines académicos, puedan libremente registrar, copiar o utilizar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

- 1) Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en la sala de estudio de la biblioteca y/o la página Web de la Universidad.
- 2) Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general en cualquier otro formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en los artículos 9.2, 18, 19, 35 y 62 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los derechos morales pertenecen al autor y son personalísimos, irrenunciables, imprescriptibles e inalienables, asimismo, por tratarse de una obra colectiva, los autores ceden de forma limitada y exclusiva a UNITEC la titularidad de los derechos patrimoniales. Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de UNITEC.

En fe de lo cual, se suscribe el presente documento en la ciudad de San Pedro Sula a los treinta y un días del mes de enero de 2019.

---

Ana Patricia Camacho Pinel

21713192

---

Gladys Katherine Fonseca Quan

21713188



## **FACULTAD DE POSTGRADO**

# **ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA**

## **NOMBRE DE LOS MAESTRANTES**

**Gladys Katherine Fonseca Quan y Ana Patricia Camacho Pinel**

### **Resumen**

El presente proyecto de investigación tiene como propósito disminuir la incidencia de defectos en la calidad que presenta el proceso de tintorería de prendas de la empresa Textiles de Valle (TexVa) a través de la aplicación de una mejora continua estadística. Tiene como objetivo principal desarrollar la metodología Seis Sigma DMAIC para la gestión de la materia prima, el método, la mano de obra, la maquinaria, el sistema de medición y el medio ambiente analizando su impacto en la calidad del departamento de tintorería de la empresa. Para ello, se recolectó una muestra de nueve semanas de la base de datos de registro de producción para poder analizar la incidencia de la materia prima, el método, la mano de obra, la maquinaria y el sistema de medición en la calidad y se entrevistó al personal del área con el fin de analizar la situación medioambiental del plantel de producción. La frecuencia de defectos de calidad de la muestra de nueve semanas fue de un 11.98% y mediante la gestión de la materia prima y la maquinaria en tan solo dos semanas se logró reducir a un 9.32%; sin embargo, al realizar la prueba de hipótesis de Mann-Whitney para datos no paramétricos, aún no se logra demostrar estadísticamente una mejora en la reducción de defectos, por lo que se recomienda prolongar el estudio para seguir analizando los resultados.

**Palabras claves:** calidad, tintorería industrial, six sigma, DMAIC, seis M's.



## **POST GRADE FACULTY**

# **ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF DYEING PROCESS BY APPLYING DMAIC SIX SIGMA METHODOLOGY**

## **NAME OF MASTER STUDENTS**

**Gladys Katherine Fonseca Quan y Ana Patricia Camacho Pinel**

### **Abstract**

The purpose of this research is to reduce the incidence of defects in the quality of the garment dye process at the company Textiles de Valle (TexVa) through the application of continuous statistical improvement. Its main objective is to develop the Six Sigma DMAIC methodology for the management of the raw material, the method, the workforce, the machinery, the measurement system and the environment, analyzing its impact on the quality of the company's garment dye department. In order to achieve it, a nine-week sample was collected from the production registration database to analyze the incidence of raw material, method, workforce, machinery and quality measurement system and interviewed to the personnel of the area in order to analyze the environmental situation of the production plant. The frequency of quality defects of the nine-week sample was 11.98% and by managing the raw material and machinery in just two weeks it was reduced to 9.32%; However, when performing the Mann-Whitney hypothesis test for nonparametric data, it has not yet been possible to demonstrate statistically an improvement in the reduction of defects, so it is recommended to prolong the study to continue analyzing the results.

Key words: quality, industrial dye, six sigma, DMAIC, six M's.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por bendecirme día a día, a mi abuela Gladys Quiñonez (Q.D.D.G) que me acompaña en cada logro y a mi madre Bessy Quan por su guía, apoyo y amor incondicional; y como muestra del fuerte pilar que forjaron en mi vida, les dedico el presente estudio que hace constar que ha valido la pena cada sacrificio que hicieron para mi crecimiento personal y profesional. Los amo.

G. Katherine F. Quan

A mis hijos, Farid y Said, por ser el motor de mi vida y regalarme esas sonrisas que calman todo cansancio, son la luz que ilumina mis días. Les dedico el presente trabajo como un ejemplo de que con esfuerzo y determinación cualquier meta se puede alcanzar. ¡Siempre luchen por sus metas!

Ana Patricia Camacho

## **AGRADECIMIENTO**

Primero a Dios por siempre guiar mis pasos hacia el camino correcto, a Luis Trigueros por ser mi paz y soporte en todo momento, lo amo. A la empresa StarChem S.A por el apoyo brindado para obtener este logro profesional.

G. Katherine F. Quan

A mi amado esposo Víctor por ser siempre un apoyo incondicional y motivarme a ser optimista ante cualquier adversidad. A mis padres, por apoyarme en cada reto. A mis suegros, por su apoyo y comprensión. Y a mis hermanas y cuñadas, por ser un apoyo incondicional en el cuidado de mis hijos.

Ana Patricia Camacho

Especial agradecimiento al Ing. Luis Jiménez, Ing. Mario Lizardo, Ing. José Sorto y al Doctor Jacobo Paredes por el apoyo brindado para lograr terminar con éxito este proyecto. A los demás catedráticos a lo largo de la maestría que compartieron su conocimiento y sobre todo a los amigos invaluable que nos llevamos de esta experiencia.

Q. & C.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.3.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA .....	4
1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.3.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	5
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	6
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	6
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	8
2.1.1 ANÁLISIS DEL MACRO ENTORNO .....	8
2.1.2 ANÁLISIS DEL MICRO ENTORNO .....	9
2.1.3 ANÁLISIS INTERNO .....	10
2.2. TEORÍA DE SUSTENTO .....	16
2.3. CONCEPTUALIZACIÓN .....	19
2.4. MARCO METODOLÓGICO .....	25
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....	30
3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA.....	30
3.1.1 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES .....	34
3.1.2 HIPÓTESIS .....	42
3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS .....	42
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	43
3.3.1 POBLACIÓN .....	43
3.3.2 MUESTRA .....	44
3.3.3 UNIDAD DE ANÁLISIS .....	44
3.3.4 UNIDAD DE RESPUESTA.....	44
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	45

3.4.1 INSTRUMENTOS .....	45
3.4.2 TÉCNICAS DE MANEJO DE INFORMACIÓN.....	46
3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	46
3.5.1 FUENTES PRIMARIAS .....	46
3.5.2 FUENTES SECUNDARIAS.....	47
3.6 LIMITANTES DEL ESTUDIO .....	47
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	49
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD.....	99
ANEXOS .....	107
ANEXO 1. TIPOS DE DEFECTOS DE CALIDAD EN EL ÁREA DE TINTORERÍA . ....	107
ANEXO 2. ENTREVISTA A PERSONAL OPERATIVO .....	108
ANEXO 3. IMÁGENES DE INDICADORES DE VARIABLES INDEPENDIENTES. ....	110
ANEXO 4. FORMATO DE HOJA DE CÁLCULO PARA LA TOMA DE DATOS. ....	111
ANEXO 5. RESULTADOS DE PRUEBA GAGE R&R DEL SISTEMA DE MEDICIÓN. ....	112
ANEXO 6. DATOS DE LAS PRUEBAS DE HIPÓTESIS DE V. INDEPENDIENTES. ....	113
ANEXO 7. TABLA DE DATOS DE LAS PRUEBAS DE HIPÓTESIS DE MÁQUINAS..	114
ANEXO 8. TABLA DE REFERENCIA DE NIVEL SIGMA A PARTIR DEL CPK.....	115

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz metodológica (Definición de variables independientes).....	31
Tabla 2. Matriz metodológica.....	32
Tabla 3. Operacionalización - Materia prima.....	36
Tabla 4. Operacionalización - Método.....	37
Tabla 5. Operacionalización - Maquinaria.....	38
Tabla 6. Operacionalización - Mano de obra.....	39
Tabla 7. Operacionalización - Sistema de medición.....	40
Tabla 8. Operacionalización - Medio ambiente.....	41
Tabla 9. AMEF para modo de falla materia prima.....	71
Tabla 10. AMEF para modo de falla método y maquinaria.....	72
Tabla 11. AMEF para modo de falla mano de obra, medición y medio ambiente.....	73
Tabla 12. Plan de mejora.....	83
Tabla 13. Referencia para nivel sigma del proceso a partir del Cpk.....	85
Tabla 14. Referencia para nivel sigma del proceso a partir del Cpk.....	94
Tabla 15. Plan de acción de mejora.....	100
Tabla 16. Plan de control por variable.....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura vertical de los procesos de la industria textil. ....	11
Figura 2 Proceso de tintorería de TexVa. ....	14
Figura 3. Aporte a la variabilidad del proceso de las 6M .....	18
Figura 4. Diagrama de la relación de las variables. ....	35
Figura 5. Gráfico radial de incidencia de los indicadores en los defectos de calidad.....	50
Figura 6. Gráfico de pareto de incidencia de los indicadores en los defectos de calidad. ....	50
Figura 7. Incidencia de las variables independientes en los defectos de calidad.....	51
Figura 8. Prueba Kruskal Wallis para las variables independientes. ....	52
Figura 9. Prueba Mann-Whitney para indicadores de la variable materia prima .....	53
Figura 10. Prueba Kruskal Wallis para las máquinas. ....	54
Figura 11. Análisis de incidencia de la mano de obra en la calidad. ....	55
Figura 12. Gráfico de resultados del sistema de medición. ....	56
Figura 13. Percepción del nivel de ventilación en el área de tintorería de TexVa. ....	58
Figura 14. Influencia de la temperatura en el desempeño del personal. ....	59
Figura 15. Percepción del nivel de iluminación en el área de tintorería de TexVa. ....	60
Figura 16. Influencia de la iluminación en el desempeño del personal.....	60
Figura 17. Percepción del nivel de sonido en el área de tintorería de TexVa.....	61
Figura 18. Influencia del sonido en el desempeño del personal. ....	61
Figura 19. Percepción del nivel de contaminación cruzada en el aire. ....	62
Figura 20. Necesidad de cambios y/o controles en las condiciones ambientales. ....	63
Figura 21. Condición ambiental urgente de modificar en el área de tintorería.....	63
Figura 22. Defectos por unidad que aporta cada departamento de TexVa. ....	65
Figura 23. Causas de defectos en el área de tintorería en TexVa. ....	66
Figura 24. Impacto de las variables independientes en los defectos de calidad. ....	66
Figura 25. SIPOC del departamento de tintorería TexVA.....	67
Figura 26. Diagrama de Ishikawa para el departamento de tintorería de TexVA. ....	68
Figura 27. Mapa de procesos del área de tintorería de TexVa.....	69
Figura 28. Gráfico de resultados de Análisis gage R&R. ....	74
Figura 29. Resultado para la repetibilidad. ....	75

Figura 30. Resultado para la exactitud de cada inspector contra el estándar.....	75
Figura 31. Resultado para la reproducibilidad.....	76
Figura 32. Resultado de exactitud global del sistema de medición.....	76
Figura 33. Prueba de normalidad.....	77
Figura 34. Análisis de la capacidad del proceso actual.....	77
Figura 35. Grafica de tendencia del porcentaje de defectos por semana.....	78
Figura 36. Boxplot para el número de máquina.....	79
Figura 37. Gráfico multi-vari para turno-día-Máquina.....	80
Figura 38. Prueba Kruskal – Wallis para maquinaria-método-materia prima.....	81
Figura 39. Prueba Kruskal – Wallis para las seis máquinas.....	81
Figura 40. Prueba Mann-Whitney para indicadores de la variable materia prima.....	82
Figura 41. Capacidad del proceso después de las mejoras.....	85
Figura 42. Carta de control antes de la mejora.....	86
Figura 43. Carta de control después de la mejora.....	87
Figura 44. Configuración de prueba de hipótesis Mann-Whitney en minitab.....	88
Figura 45. Resultados de la prueba Mann-Whitney.....	88
Figura 46. Configuración de prueba de hipótesis t de dos muestras en Minitab.....	90
Figura 47. Resultados de la prueba de hipótesis t.....	90
Figura 48. Prueba Mann-Whitney para la materia prima antes y después de la mejora.....	91
Figura 49. Prueba Mann-Whitney para el método antes y después de la mejora.....	91
Figura 50. Prueba Mann-Whitney para la maquinaria antes y después de la mejora.....	92
Figura 51. Capacidad del proceso antes de las mejoras (materia prima).....	93
Figura 52. Capacidad del proceso después de las mejoras (materia prima).....	93

# **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente capítulo es la base de la investigación, en él se detalla la introducción de la investigación, los sucesos del pasado que influyeron en la situación actual de las empresas textiles en Honduras y el significado de este rubro para la economía del país. Además, se incluye el planteamiento de la problemática del área de teñido en las empresas textiles con el porcentaje de reprocesos al no cumplir con los estándares de calidad en sus productos. Se plantean las preguntas de investigación a responder, ligadas a los objetivos y se justifica la importancia de analizar y evaluar el proceso de teñido en las textilerías.

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

El presente documento expone un análisis detallado de uno de los procesos de la industria textil; teñido o tintorería, donde se evalúa la producción en la planta de tintorería en función de parámetros que permiten identificar causas, efectos y a partir de ello proponer un plan de acción para cumplir con los objetivos y las metas establecidas por la organización, todo esto haciendo uso de la metodología DMAIC, una estrategia de mejora continua que busca mejorar el desempeño de los procesos y reducir su variación; con ello es posible encontrar y eliminar las causas de errores, defectos y retrasos; la presente tesis muestra el despliegue de la metodología desarrollando cada una de las cinco etapas establecidas denominadas Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

“La estrategia DMAIC se apoya en una metodología fundamentada en herramientas y pensamiento estadístico, con tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de defectos” (Gutiérrez Pulido & De la vara Salazar, 2009). Alcanzar y superar los parámetros aceptables impuestos dentro de cada una de éstas tres áreas, es lo que brinda el concepto de calidad otorgado al producto final. Al examinar el proceso de teñido se determinó que, para este proceso en particular, la disminución de los defectos afecta el tiempo de ciclo del proceso y, por ende, presenta una repercusión en la satisfacción final del cliente. Por lo cual, el estudio se enfoca en alcanzar la satisfacción del cliente al disminuir el tiempo de ciclo de tintorería mediante la reducción de los defectos en el proceso.

Se parte del análisis del proceso actual para identificar los pasos o factores críticos que afectan la calidad del proceso y consecuente, la calidad final del producto. Se aplican las herramientas estadísticas establecidas por la metodología DMAIC para analizar cada paso del proceso de teñido textil. Luego se genera un plan de acción enfocado en la reducción de la variabilidad en los resultados lo que permite un proceso estandarizado, controlado y sostenible a lo largo del tiempo. Como todo proceso industrial, es imperativo la evaluación y mejora continua hasta alcanzar y mantener los estándares de la calidad impuestos por la empresa y sus clientes. Con la finalidad de resguardar la confidencialidad de los procesos e imagen de la empresa, en el desarrollo de la presente tesis, la empresa textil en análisis será identificada como “Textiles del Valle (TexVa)”.

## 1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La industria manufacturera es actualmente uno de los rubros de mayor aporte a la economía. En el año 2017 las exportaciones de textiles por parte de Centroamérica representaron el 32.4% del total de exportaciones de la región. Las exportaciones de textiles de Centroamérica sumaron US\$8,632.7 millones en 2017; de los cuales, la participación de Honduras representó el 38.8% siendo el máximo exportador de textiles de Centroamérica (Banco Central de Honduras, 2017). El segundo aporte del rubro textil a la economía del país es la generación directa de empleos. Contabilizando un total de 98,252 personas empleadas en la industria textil para el cierre del año 2017. Con el actual programa de gobierno Honduras 20/20 se proyecta generar 200 mil empleos más en los próximos 5 años en el sector textil (Dirección General de Comunicación Estratégica, 2016).

El tercer aporte es favorecer la economía a través de la integración vertical de los procesos desde la producción de la hilaza u otros insumos hasta la obtención de la prenda de vestir terminada; así como, favorecer a la creación de nuevos nichos de mercado para empresas prestadoras de servicios de mantenimiento de maquinaria, alquiler de equipo para carga y descarga entre otras más (Banco Central de Honduras, 2017). Pertenecer a un rubro con alta competitividad a nivel mundial le genera a cada empresa del sector textil la constante preocupación de obtener ventajas competitivas que le permitan adaptarse a los continuos cambios del mercado. Estas ventajas competitivas pueden ser proveer producción de alta calidad, rapidez y efectividad en la

entrega de pedidos o adaptarse a los requerimientos del cliente. Para las empresas textiles todo producto que no cumple los estándares de calidad debe ser reprocesado y esto impacta directamente en los costos operativos de la empresa.

El análisis de los procesos brinda ayuda en controlar los costos operativos, evitar reprocesos y mantener las ventajas competitivas. El día a día en el plantel de producción de las empresas textiles al analizar los procesos, nos hace recordar la frase del físico y matemático británico, William Thompson (1824-1907) como lo afirma (Aiteco, 2018): “Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre”. Por ello, las empresas deben esforzarse en medir y mejorar continuamente sus procesos en aras de mantener su competitividad en el mercado.

Siempre buscando la mejora continua en los procesos Motorola introduce por primera vez en 1987 la metodología DMAIC con el propósito de reducir los defectos en sus productos. Esta metodología, también conocida como Seis Sigma, puede ser aplicada a empresas de cualquier rubro. Cada valor que se le asigne a sigma ( $\sigma$ ) representa la eficacia de un proceso y entre mayor sea el valor sigma el proceso presenta menos variaciones y defectos. El estándar seis sigma nos representa 3 o 4 defectos por un millón de oportunidades. Con la aplicación de esta metodología, Motorola obtuvo 1 mil millones de dólares en ahorro a lo largo de 3 años. (Gutiérrez Pulido & De la vara Salazar, 2009)

En los últimos cinco años, la empresa “Textiles del Valle” reporta costos elevados debidos a los pagos extras de mano de obra, materia prima y tiempo requerido por las máquinas para el reproceso y desecho de productos defectuosos, siendo tintorería el área con mayor índice de reprocesos. Por ello, se propone la implementación de la metodología DMAIC en el área de teñido con el objetivo de reducir costos, reducir tiempos de entrega y así aumentar la satisfacción de sus clientes en busca de elevar el margen de utilidades y mantener su competitividad en el mercado. La metodología DMAIC ha sido mundialmente aplicada en el sector textil industrial; sin embargo, resulta arduo acceder a estudios nacionales que muestren los resultados de su aplicación al área de tintorería. En 2013, se realizó en Perú un estudio de implementación de esta metodología en el área de teñido textil la cual se utiliza para establecer parámetros de comparación y analizar posibles diferencias entre los resultados (Isabel Briceño Valderrama, 2013).

### 1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta que es imperativo en toda investigación, establecer el problema específico que se estudia previo a intentar solventarlo; ya que, con ello se determina el curso de la investigación y se fija un punto u objetivo a cumplir. Por consiguiente, la presente sección es la base fundamental del trabajo de investigación y en ella se detalla el enunciado del problema, la formulación del problema y las preguntas de investigación de las cuales se desprenden los objetivos que son los pilares en la recolección de los datos, análisis y toma de decisiones para la realización de la presente tesis.

#### 1.3.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

La empresa “Textiles del Valle” pertenece al sector textil de Honduras y su principal ventaja competitiva es que está integrada verticalmente, es decir, cuenta con todas las etapas de la cadena de producción textil. Al ser una empresa de capital extranjero que exporta el 100% de sus productos debe mejorar los procesos a fin de mantener su nivel de competitividad en el mercado mundial, generar la satisfacción de sus clientes y, por consecuencia, obtener el margen de ganancia esperado por sus accionistas, que es el objetivo de todo inversionista.

El problema relevante identificado por la empresa TexVa son los defectos de calidad en el producto del área de tintorería que conlleva a un nivel de reprocesos del 11.98%. El proceso de tintorería se ve obligado a implementar sistemas de aseguramiento de calidad que garanticen el cumplimiento de los requerimientos del cliente, algunos de los parámetros son: color dentro de estándar, tono uniforme, cero manchas, cero sucio, color sin migración, suavidad y cero pilling. Todas estas variables inciden en el resultado final del proceso por lo que se requiere controlar la variación en el resultado final de las prendas teñidas.

Al ser un proceso industrial, las variables que lo afectan se pueden categorizar en seis grandes grupos, comúnmente denominados las 6 M's: materia prima, método, mano de obra, maquinaria, sistema de medición y medio ambiente (Gutiérrez Pulido & De la vara Salazar, 2009). Al optimizar el proceso implementando la metodología DMAIC, se busca disminuir la variabilidad en el proceso reduciendo la incidencia de defectos. Esta cantidad de defectos es directamente

proporcional a la incidencia de reprocesos generados; por ende, se reducen los reprocesos. Con lo cual, se logra disminuir los costos generados debido al consumo adicional de materia prima, mano de obra, insumos y tiempo; aumentando el margen de utilidades para los inversionistas.

### 1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa “Textiles del Valle” posee costos elevados debido a un alto porcentaje de reprocesos en el área de teñido; se ve en la necesidad de caracterizar y optimizar su proceso identificando la incidencia de defectos en el producto final, las causales de estos defectos y la variabilidad en dichas causales para luego desarrollar y validar métricas estadísticas que permiten implementar mejoras orientadas al cliente y al refuerzo de la estrategia de la organización.

¿Cuál es el impacto en la calidad del departamento de tintorería de Textiles del Valle (TexVa) al implementar la metodología Seis Sigma DMAIC para la gestión de la materia prima, el método, la mano de obra, la maquinaria, el sistema de medición y el medio ambiente en la calidad?

### 1.3.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Al observar la cantidad de unidades defectuosas en calidad que presenta la empresa “Textiles del Valle” en el área de teñido surgen las siguientes preguntas, que son la base de nuestra investigación.

- 1) ¿Cómo inciden las especificaciones de la materia prima en la calidad en tintorería?
- 2) ¿Cómo influye la eficacia del desarrollo de la receta y procedimiento de teñido en la calidad?
- 3) ¿Cuál es el efecto del equipo y maquinaria en el nivel de calidad?
- 4) ¿Cómo el entrenamiento y capacitación del personal operativo impacta en el control de la calidad?
- 5) ¿Cómo es la metodología de evaluación de la calidad?
- 6) ¿Cuál es el impacto del medio ambiente en la calidad del proceso?

## 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Esta sección está dedicada a definir y plasmar el objetivo general y los específicos que contribuyen a mantener un rumbo fijo a lo largo del estudio hasta alcanzar el propósito de la investigación. Estos conforman el punto de destino hacia donde se dirige el estudio y en torno a los cuales se planificará la recolección y el análisis de los datos.

### 1.4.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general consiste en detallar en un ámbito amplio lo que pretendemos lograr con nuestra investigación. En él se debe incluir el tema y las variables por estudiar, definiendo las variables dependientes e independiente y cómo estas variables están relacionadas. Este enunciado debe poder ser medible, alcanzable y específico. Para la presente tesis el objetivo general queda planteado de la siguiente forma:

“Desarrollar la metodología Seis Sigma DMAIC para la gestión de la materia prima, el método, la mano de obra, la maquinaria, el sistema de medición y el medio ambiente analizando su impacto en la calidad del departamento de tintorería de Textiles del Valle (TexVa).”

### 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos consisten en acciones más precisas de lo que se va a realizar en la investigación a fin de cumplir con el objetivo general anteriormente expuesto. Al igual que el objetivo general, cada uno de los objetivos específicos debe poder ser medible, alcanzable y concretos. Para la presente tesis los objetivos específicos quedan planteados de la siguiente forma:

- 1) Identificar la incidencia de las especificaciones de la materia prima en la calidad en tintorería.
- 2) Medir la eficacia del desarrollo de la receta y procedimiento de teñido en la calidad.
- 3) Evaluar el efecto del equipo y maquinaria en el nivel de calidad.
- 4) Verificar el impacto del entrenamiento y capacitación del personal operativo para el control de la calidad.
- 5) Examinar la metodología de evaluación de la calidad.
- 6) Analizar el impacto del medio ambiente en la calidad.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

El rubro textil es uno de los sectores productivos y de exportación más importantes del país, debido a ello es de gran relevancia su análisis y mejora ya que existe una demanda cada día más exigente y un entorno fuertemente competitivo. La empresa “Textiles del Valle” se dedica a la exportación de prendas de vestir principalmente a Asia y Estados Unidos; desarrollando sus operaciones en Honduras con un ambiente muy competitivo y con tendencias de ventas en crecimiento. Considerando lo descrito previamente, las empresas en el rubro textil se ven en la necesidad de tener procesos eficientes que les permitan ser competitivos y rentables, esto solo se logra adoptando modelos de gestión que permitan adaptarse a los cambios dinámicos del mercado que exigen velocidad de respuesta y diferenciación.

Actualmente la empresa “Textiles del Valle” presenta una oportunidad de mejora disminuyendo la cantidad de reprocesos derivados de los defectos en la calidad del área de tintorería, actualmente representan el 8% de su producción. Es necesario analizar y gestionar la materia prima, el método, mano de obra y maquinaria con el fin de optimizar el proceso, garantizar la satisfacción del cliente y el logro de los objetivos organizacionales. Se optó por la aplicación de la metodología seis sigma DMAIC considerada como el nuevo estándar de excelencia por su demostrado éxito en la reducción de la variación, identificación y eliminación de causas de defectos y retrasos en los procesos de todo tipo de empresa.

Al aplicar la metodología seis sigma DMAIC se pretende disminuir la variabilidad en las variables que participan en el proceso, y el teñido textil al ser un proceso industrial debe poder controlar las posibles variaciones en la materia prima, método, mano de obra, maquinaria, sistema de medición y medio ambiente; también conocidas como “las 6 M’s”. Controlando el proceso se podría alcanzar un producto con mayor calidad que satisfaga las exigencias del cliente sin tener que reprocesar las piezas con defectos de teñido, con ello se logra un ahorro en especial en el costo de consumo de materia prima, desgaste de maquinaria y la mano de obra, lo que al final aumentará el margen de utilidades de la empresa.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En el capítulo uno se describió la problemática de los defectos en la calidad del producto final del área de tintorería de la empresa Textiles de Valle (TexVa), los objetivos y preguntas de investigación como guías del desarrollo; por tanto, en el capítulo dos se procede a describir el macro y micro entorno de la empresa, el entorno interno donde se describe el proceso de tintorería a detalle; se explica la teoría de sustento de “las 6 M’s” de donde se parte para establecer un control estadístico del proceso por medio de la implementación de la metodología seis sigma DMAIC, metodología que también es definida junto a las herramientas aplicadas en cada una de sus etapas.

### 2.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Este segmento está dedicado a realizar un diagnóstico del problema tomando en consideración el acontecer actual que lo rodea y lo pudiera estar afectando. Se parte desde la perspectiva más lejana o macroentorno, pasando por el microentorno hasta llegar a examinar la situación interna y el proceso de teñido de la empresa TexVa. Se continúa con la descripción de la teoría de “las 6’s M” que da sustento a este estudio, se explican los cinco pasos de la metodología seis sigma DMAIC y se culmina con un detalle de los conceptos empleados a lo largo de la investigación.

#### 2.1.1 ANÁLISIS DEL MACRO ENTORNO

El capitalismo, sistema económico predominante en la actualidad a nivel mundial, ha favorecido para incentivar al consumismo de bienes, incluidos las prendas de vestir. Es por ello, que la industria manufacturera de prendas de vestir o textiles se ha logrado expandir a nivel mundial con el propósito de satisfacer las necesidades de un mercado cada vez más urgido de bienes por consumir. Este deseo por consumir textiles es tan notable que, países como Estados Unidos presenta cifras de gasto en textiles de 374.595 millones de euros; y, en su lugar China reporta gastos por 334.789 millones de euros en textiles (Compañía Española de Seguros de Crédito a la Exportación, 2017).

Lo anterior es el fundamento para que la industria textil continúe en expansión a nivel mundial, volviéndose un sector atractivo para la inversión. Para el año 2017, se reporta más de 555

mil millones de dólares en exportaciones a nivel mundial. Siendo Asia el principal participante, generando el 67 % en dichas importaciones de prendas de vestir, de seguido de Europa con un 25% de participación y en tercer lugar América con un 5% y un 3% el resto de los países del mundo incluido Marruecos, Túnez, Egipto, Botsuana y Sudáfrica (Banco Central de Honduras, 2017). Demostrando que, en la actualidad la industria textil ya no es exclusiva de los países industrializados, sino que, se establece en cada uno de los continentes.

El crecimiento mostrado por este rubro en los últimos años promueve la aparición de nuevos participantes en el mercado y lo vuelve más competitivo. Es por ello, que las empresas textiles buscan controlar sus costos reduciendo la variación en sus procesos. Los elevados precios de la mano de obra y la rigurosidad de los permisos ambientales en los países industrializados vuelven más atractiva la inversión en empresas de textiles de países en vías de desarrollo. Como es el caso de España, que reporta que entre el 80 al 85 por ciento de su producción de textiles la realizan fuera del país, particularmente los denominados “básicos” que requieren menor destreza para su confección o controles de calidad menos rigurosos (Compañía Española de Seguros de Crédito a la Exportación, 2017). Similar al caso de España, compañías de Estados Unidos han ubicado planteles industriales en el exterior con el objetivo de mantener la competitividad y satisfacer la urgencia de los consumidores.

### 2.1.2 ANÁLISIS DEL MICRO ENTORNO

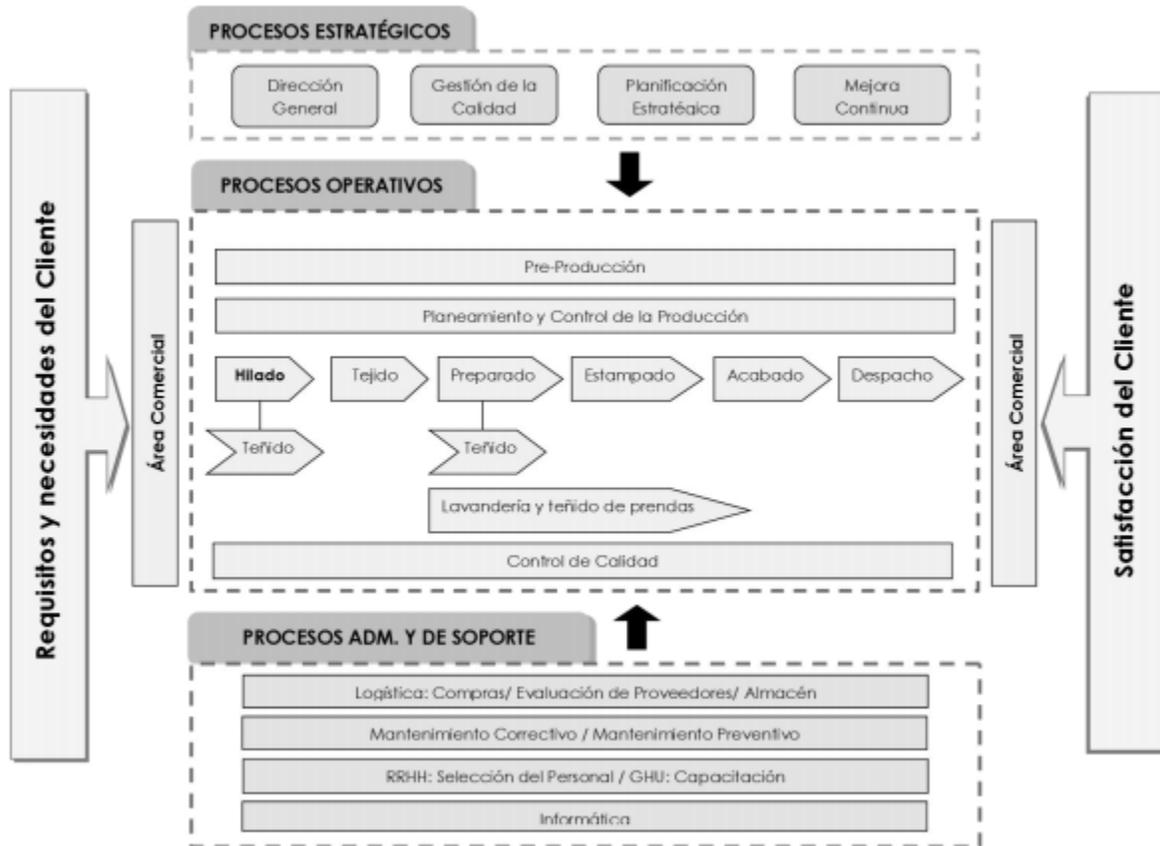
En el 2017 las exportaciones de textiles por parte de la región Centroamericana alcanzaron los US\$8,632.7 millones lo que representó el 32.4% del total exportado, siendo Honduras el mayor participante con un 38.8% del total exportado (Banco Central de Honduras, 2017). En Honduras el rubro textil presenta 30 años de operaciones, mediante los cuales la oferta de empleos directos e indirectos se ha incrementado. Con el objetivo de mantener la inversión en este rubro y continuar esta fuente de recurso económico, el gobierno de Honduras otorga concesiones como el beneficio de exoneración de impuestos municipales y exoneración de impuestos de nacionalización sobre sus materias primas a aquellas empresas constituidas bajo el régimen de “zona libre” (Unidad de Apoyo Técnico, 1999).

Bajo estos términos surgen, en 1989, INHDELVA y Zip Choloma. Según cifras del Banco Central de Honduras para fines del 2017 operaban 122 empresas dedicadas al sector textil en el país (Banco Central de Honduras, 2017). Como una política del gobierno de Honduras para incentivar a la inversión en la industria textil, el Presidente Juan Orlando Hernández presentó en 2016, durante la Cumbre Mundial de la Industria Textil celebrada en Copenhague, el Programa Nacional de Desarrollo Económico Honduras 20/20, que incluye la gestión de los recursos naturales y mejores condiciones de vida para los trabajadores (Exteriores, 2016).

### 2.1.3 ANÁLISIS INTERNO

Textiles del Valle (TexVa) ubicada en la zona norte de Honduras pertenece al sector textil y es una empresa dedicada a la exportación de prendas de vestir de polyester, nylon y en su mayoría algodón, principalmente hacía Estados Unidos, el 100% de la producción de la empresa está enfocada para la venta al extranjero; comercializa prendas, en especial T-shirts cuyos colores y diseños son especificados por el cliente. Se destaca que una de sus ventajas competitivas más importante se basa en la integración vertical de sus procesos por medio de un grupo de empresas que posee toda la cadena de valor de la industria textil como ser las hilatura, tejido, costura, teñido y confección y esto le permite ofrecer a los exigentes compradores internacionales el control total del proceso productivo poniendo énfasis en la diferenciación hacia la calidad, rápida respuesta y excelencia en el servicio (Textiles del Valle, 2018).

En el esquema de procesos de TexVa (2018) se puede identificar que en la búsqueda de la satisfacción de sus clientes, la empresa realiza una planificación estratégica gestionando la calidad y manteniendo una mejora continua de los procesos operativos, de los cuales forma parte el área de lavandería y teñido de prendas, siendo el área de interés para la presente investigación, y luego el producto debe pasar por un control de calidad antes de ser entregado a los clientes. Es importante recalcar que dentro de los procesos de soporte, TexVa cuenta en sus esquema de procesos, el mantenimiento preventivo y la capacitación del personal, como se muestra en el esquema a continuación.



**Figura 1. Estructura vertical de los procesos de la industria textil.**

Fuente (Rios, 2017):

Siguiendo el esquema, los procesos de la empresa comienzan por reconocer las necesidades del cliente y culmina con la satisfacción del cliente. Continuando esa idea, TexVa (2018) describe su política de calidad en “Establecer especificaciones, parámetros y controles de proceso que permitan proveer productos que generen satisfacción a al cliente y que excedan las expectativas de sus requerimientos”; la misma que es posible llevar a cabo gracias a su talento humano calificado, sus robustos procesos de selección de materia prima, la utilización de tecnología que permite una repuesta rápida a las nuevas necesidades del mercado siempre considerando el respeto al medio ambiente y siendo socialmente responsable.

Con la finalidad de familiarizar el proceso de teñido textil industrial; es que, a continuación, se detallan las etapas del proceso, los insumos, las materias primas, los parámetros y las

condiciones ambientales involucrados. Partiendo del conocimiento de cada una de estas variables se podrá diagnosticar la influencia de cada una de ellas en el resultado final del proceso, sea éste aceptable o defectuoso. En el caso de un resultado defectuoso en el teñido se podrá determinar el causante y permitiendo la corrección de este.

El teñido busca distribuir colorantes sobre una fibra de una manera uniforme, permanente y reproducible. El teñido de prendas es un proceso que requiere el uso no solamente de colorantes y químicos, sino también de productos auxiliares de teñido. El proceso comienza por recibir la materia prima que es la fibra proveniente de costura (etapa donde se ensambló la prenda), se prepara la tela para el teñido, y el primer paso es el pretratamiento para sacar los aceites que usaron para tejer. Luego se enjuaga y se prepara el baño de tintura, que consiste en agua más auxiliares, como detergentes y otros elementos que hacen propicia la tintura (Textiles del Valle, 2018).

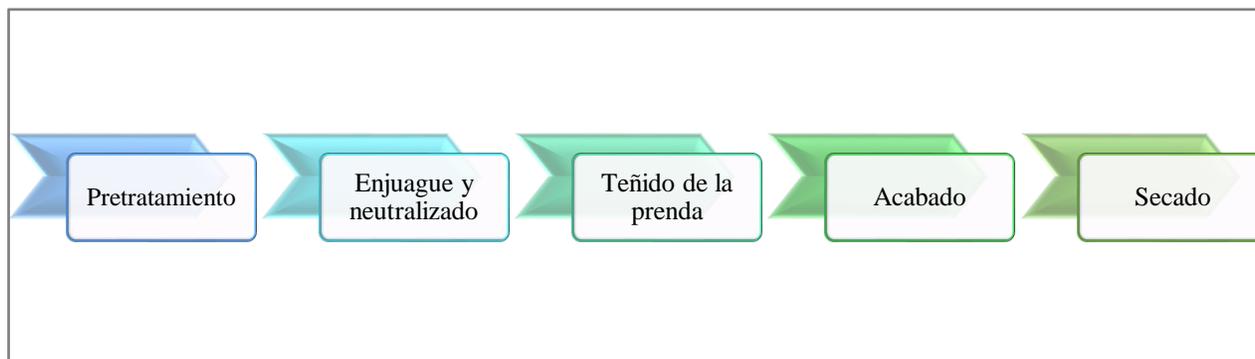
La temperatura también es importante, y se regula dependiendo el tipo de tela que se va a teñir, como también el tiempo y la velocidad de reducción. El siguiente paso es agregar los colorantes específicos dependiendo de las fibras y procesos a realizar, se pasa a la etapa de fijado de color que consiste en un nuevo baño con un agente fijador del color o por agotamiento, donde las fuerzas de afinidad química hacen que el colorante pase del baño a la fibra hasta saturarla y quedar fijado. Una vez finalizado este proceso, se pasa a darle una terminación o acabado especial a la tela que pueden ser suavizante o siliconado; se lleva a etapa de secado y para finalizar al área de inspección para aprobación de calidad (Textiles del Valle, 2018).

#### 2.1.3.1 PROCESO DE TEÑIDO DE PRENDA EN TexVa

Se debe seleccionar el programa de teñido para la prenda a procesar donde se encuentran todos los parámetros configurados en cada etapa del proceso, como ser la temperatura y sus gradientes, tiempos y niveles de llenado según la configuración de peso, tipo de fibra, color y estilo. La primera etapa del proceso es el tratamiento previo al teñido; consiste en preparar un baño donde se agregan humectantes, auxiliares de limpieza, álcalis y, en el caso del blanqueado, peróxido de hidrógeno. El propósito de esta etapa es humectar la fibra, volverla permeable y limpiarla de la grasa y otros contaminantes (Textiles del Valle, 2018).

En TexVa (2018) el tratamiento previo puede ser un blanqueado químico o un descrude alcalino. El blanqueado consiste en "blanquear" la tela ya que sobre ella se teñirá un color claro, mientras que, un descrude provee un fondo más oscuro y amarillento en la fibra requerido para el teñido de colores oscuros. La segunda etapa consiste en realizar un enjuague en caliente y neutralizar el pH alcalino propio del pretratamiento. Se comienza con un lavado en constante agitación por un tiempo y temperatura determinada, para eliminar los químicos remanentes en la fibra. Luego, se procede a aplicar ácido en la fibra hasta llevarla a un pH neutro que evitará que se dificulte el teñido.

La tercera etapa es el teñido. En TexVa, la técnica utilizada es por agotamiento. Dicha técnica consiste en que la fibra se encuentra en contacto continuo con el baño de colorante durante el tiempo del programa específico, de esta forma las fibras absorben gradualmente los colorantes. Finalizado el tiempo de agotamiento se procede a la fijación donde el colorante que se encuentra aún en solución se logra transferir por completo hacia la fibra. Los teñidos de este tipo son sometidos a varios enjuagues o lavados posteriores, para disminuir la probabilidad de defectos. En la cuarta etapa del proceso, la fibra pasará por un acabado donde se le impregnará un suavizante. Finalmente, se traslada la fibra al área de secado, dando por concluido el proceso del área de tintorería. Como se puede observar en la figura a continuación, el proceso se puede resumir en cinco etapas: *pretratamiento, enjuague y neutralizado, teñido de la prenda, acabado y secado* (Textiles del Valle, 2018).



**Figura 2 Proceso de tintorería de TexVa.**

Fuente: (Textiles del Valle, 2018)

Una vez finalizada la etapa de secado, que como muestra la figura es la etapa final del proceso de teñido, las prendas son trasladadas a la zona de revisión y control de calidad donde los inspectores determinan mediante pruebas de análisis de color, si la calidad del teñido está dentro de los parámetros establecidos por la empresa o dentro de las exigencias del cliente. Si la prenda no supera la expectativa, debe retornar al proceso de teñido generando un reproceso que retrasa el tiempo de entrega al cliente final.

### 2.1.3.2 PROCESO DE TINTORERÍA EN TexVa

El proceso de tintorería en TexVa es relativamente nuevo en comparación a otras áreas dentro de la misma empresa que ya cuentan con una experiencia de más de 10 años, como es el plantel de confección. En la presente sección se realiza un detalle de las variables presentes en el proceso de teñido de TexVa y que alteran o están directamente ligadas al grado de calidad del producto final del proceso. En cuanto a los insumos requeridos, en primer lugar, están las prendas que en su mayoría son de fibra de algodón, enviadas desde el área de costura. En segundo lugar, el agua tratada para teñir y vapor saturado necesario para la etapa de secado. Se presenta un caso particular en TexVa, y es que las prendas que pasan al proceso de teñido son aquellas que ya han sido confeccionadas en producción en masa y que deben modificar su color según las exigencias de los consumidores (Textiles del Valle, 2018).

Dentro de los parámetros que afectan el proceso de teñido podemos identificar la influencia que presenta el pH, la influencia de la relación del baño, el tiempo de fijación del colorante y la concentración de sal presente en el agua del baño de colorante. El pH influye en la absorción y fijación del colorante en la fibra, en la primera etapa del teñido se tiene un baño con pH neutro, donde solo ocurre la difusión (transferencia) del colorante a la fibra, la fijación del colorante empieza cuando el medio se vuelve alcalino (pH alto). Es decir, empieza la reacción con la fibra y con el agua (Pereira Boitano, 2014).

La temperatura aumenta la energía cinética de los colorantes, es decir se mueven con mayor rapidez y esto favorece de manera considerable la difusión de los colorantes dentro de la fibra. Al mismo tiempo la fibra también adquiere energía incrementando los movimientos de rotación y vibración favoreciendo la migración del colorante a otras zonas amorfas de la fibra. (Aragón, 2012). La relación de baño influye en el rendimiento del proceso, ya que, en distintas condiciones mejora cuando la relación de baño es menor, además de disminuir los riesgos de hidrólisis. Sin embargo, la relación de baño está restringida por el tipo de máquina a usar. (Aragón, 2012) El tiempo de fijación consiste en el tiempo necesario para que la tela, el colorante y el álcali se fijen en su mayoría, y éste se controla según el programa establecido en la máquina. Y, la cantidad de sal a utilizar esta en función de la relación de baño y de la concentración del colorante; a mayores intensidades de tintura requeridas se requiere mayor concentración.

El agua es después de la energía, el principal insumo en la mayoría de los procesos de fabricación de textiles. Se debe utilizar agua tratada (suave) ya que los iones alcalinos térreos y de metales pesados pueden originar los siguientes efectos indeseados (Pereira Boitano, 2014):

- 1) Formación de incrustaciones en máquinas de teñido, debido a precipitaciones de carbonatos, hidróxidos, fosfatos, silicatos alcalinotérreos, etc.
- 2) Altas durezas de agua rompen las emulsiones e impiden así retirar aceites y grasas de la fibra.
- 3) Los formadores de dureza (Ca, Mg) y los iones metálicos inciden sobre la solubilidad del colorante, ya sea en procesos de blanqueo y teñido.
- 4) Formación de sales insolubles, las cuales al utilizar blanqueadores ópticos pueden hacerse notar a través de un tono amarillo-verdoso.

Por lo tanto, purificadores y ablandadores del agua son añadidos al baño de teñido para que atrapen a los cationes, especialmente iones de calcio, de magnesio y sales de hierro, evitando que puedan interferir con el proceso de teñido. El proceso de teñido de TexVa se utilizan productos químicos como colorantes, electrólitos, auxiliares químicos y demás productos para realizar tratamientos previos y operaciones complementarias a las telas. Dentro de los químicos auxiliares están los humectantes, secuestrantes, dispersantes, suavizantes, álcalis, blanqueadores, agentes reductores (Aragón, 2012). Los agentes humectantes son químicos que cumplen uno de los requisitos fundamentales para un adecuado teñido en un baño acuoso, una humectación completa de la fibra. Esto se logra por medio de agentes humectantes cuyo uso depende del proceso de teñido, de la naturaleza y condición de la fibra.

Los aceleradores del teñido son empleados en los procesos de teñido por agotamiento de fibras sintéticas, para incrementar la velocidad de absorción del color disperso hacia la fibra, proporcionando más rapidez de difusión dentro de la fibra y mejorando el rendimiento del colorante. Y los agentes de nivelación, son los químicos que facilitan una distribución uniforme del colorante sobre la fibra, para obtener tonalidades e intensidades de coloración uniformes. Estos agentes actúan reduciendo la velocidad del teñido, incrementando la velocidad de migración y mejorando la afinidad del colorante hacia la fibra. (Justo, 2012)

## 2.2. TEORÍA DE SUSTENTO

Toda investigación surge de la observación de un fenómeno y la revisión de investigaciones pasadas sobre el tema para escoger una teoría que explique y sustente el estudio. Según Kerlinger y Lee, una teoría “es un conjunto de constructos (conceptos) interrelacionados, definiciones y proposiciones que presentan una revisión sistemática de los fenómenos al especificar las relaciones entre variables, con el propósito de explicar y predecir los fenómenos.” (Kerlinger, 2002). Por lo anterior, se selecciona la teoría de “las 6 M’s” para sustentar la presente investigación especificando que las variables mano de obra, materia prima, máquina, método, medición y medio ambiente impactan en la calidad del producto final de un proceso industrial.

Esta teoría se basa en la premisa que toda empresa debe mantenerse en continua mejora para lograr competir en el mercado. Fue aplicada por primera vez por Toyota con el objetivo de

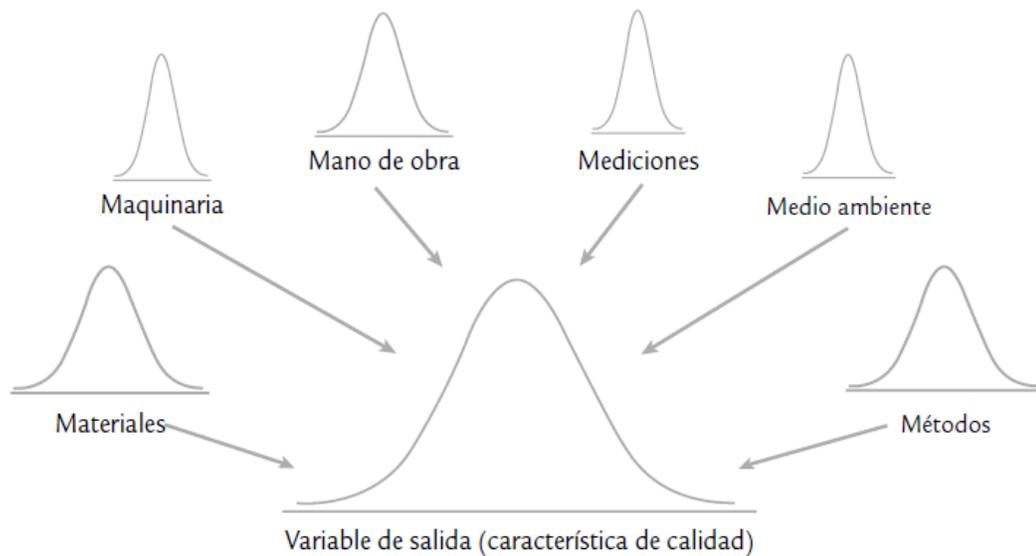
identificar fallos a lo largo de sus procesos. Las seis emes suelen ser generalmente un punto de referencia que abarca casi todas las principales causas de un problema dentro de una organización. Según esta teoría, existen seis causantes primordiales de los defectos en los procesos industriales: mano de obra, materia prima, máquina, método, medición y medio ambiente. Los cuales se describen a continuación (Gutiérrez Pulido & De la vara Salazar, 2009):

- 1) Mano de obra: es el factor humano del proceso, el cual puede ser el causante de las fallas. Es importante mantener al personal capacitado y entrenado para reportar cada detalle que puede conducir a una falla del proceso. Si en la empresa se realiza cambios de turno es imperativo reportar los incidentes que pudieron ser detectados en el turno y presentárselos al compañero del siguiente turno. Para lograr este objetivo será necesario la capacitación del personal a fin de reducir los defectos.
- 2) Materia prima: como medida para lograr la reducción en la presencia de defectos es necesario llevar un riguroso control de lotes del producto que nos mantengan informados sobre quién fue el último responsable de ese material y en qué nivel del proceso fue donde pudo ocurrir el error para actuar directamente sobre esa etapa. A su vez, es necesario realiza un minucioso análisis de los proveedores comparando precio y calidad de la materia prima, antes de decidimos por un proveedor debido a precio y este sea la causa principal de los defectos.
- 3) Máquina: se requiere realizar inspecciones de calidad antes y después de pasar la materia prima por las máquinas, a fin de focalizar el defecto. Además, es de vital importancia llevar un mantenimiento preventivo cada cierto periodo de tiempo con el fin de obtener la mejor eficiencia de la máquina y evitar posibles fallos que puedan detener la programación u ocasionar defectos.
- 4) Método: se trata de cuestionarse la forma de hacer las cosas. Cuando se diseña un proceso, existen una serie de circunstancias y condicionantes (conocimiento, tecnología, materiales, que pueden variar a lo largo del tiempo y no ser válidos a partir de un momento dado.
- 5) Medio ambiente: las condiciones ambientales en un proceso pueden afectar al resultado obtenido y provocar problemas. Valorar las condiciones en las que se ha producido un fallo,

nunca está de más porque parámetros como la temperatura del ambiente pueden impactar positiva o negativamente en el proceso.

- 6) **Medición:** Es necesario que los procesos cuenten con un adecuado control de la calidad, equipos, calibración, planes de muestro, aseguramiento de la calidad. Reducir la variación de los procesos es un objetivo clave del control estadístico y de Seis Sigma. Por lo tanto, es necesario entender los motivos de la variación, y para ello se parte de que en un proceso industrial interactúan materiales, máquinas, mano de obra (gente), mediciones, medio ambiente y métodos. Estos seis elementos (las 6 M) determinan de manera global todo proceso y cada uno aporta algo de la variabilidad y de la calidad de la salida del proceso.

La variabilidad en la materia prima o materiales, la maquinaria, mano de obra, las mediciones, el medio ambiente y los métodos, como lo muestra el esquema a continuación, va a generar un impacto en el producto final del proceso, en el caso del área de teñido de TexVa se mide el resultante de sus procesos por medio de la calidad del producto final.



**Figura 3. Aporte a la variabilidad del proceso de las 6M**

Fuente: (Humberto Gutiérrez Pulido, 2009)

El resultado de todo proceso se debe a la acción con junta de “las 6 M”, por lo que, si hay un cambio significativo en el desempeño del proceso, sea accidental u ocasionado, su razón se

encuentra en una o más de las 6 M. (Humberto Gutiérrez Pulido, 2009) La teoría de las seis emes parte de la premisa que si se logra controlar la variabilidad de en cada una de las “emes” del proceso de producción, entonces se logra reducir la variación en el resultante del proceso, según los estándares del consumidor.

### 2.3. CONCEPTUALIZACIÓN

En esta sección se definen los conceptos utilizados en el desarrollo de la presente tesis, dando prioridad a las variables dependientes e independientes que influyen en el proceso de implementación de la metodología seis sigma DMAIC en el análisis de la materia prima, método, mano de obra, maquinaria, medición y medio ambiente en el departamento de tintorería de TexVa.

1)Calidad: según la American Society for Quality (ASQ), calidad es un término subjetivo para el cual cada persona o sector tiene su propia definición. En el uso técnico, la calidad puede tener dos significados: 1) las características de un producto o servicio que se relacionan con su capacidad para satisfacer necesidades declaradas o implícitas; 2) según Philip Crosby, significa "conformidad con los requisitos". Calidad significa “libre de defectos”, libre de errores que requieren un retrabajo y provoca insatisfacción del cliente. En este sentido el significado de calidad está orientado a los costos, una alta calidad usualmente “cuesta menos”. (Juran & Blanton Godfrey, 1999)

Libre de defectos significa para las compañías (Juran & Blanton Godfrey, 1999): reducir el porcentaje de errores, reducir el retrabajo y el desperdicio, reducir cargos de garantías, reducir la insatisfacción del cliente, reducir la inspección y el análisis, acortar los tiempos de entrada de nuevos productos en el mercado, mejorar la capacidad en el desempeño de las entregas y disminución de costos. La definición de calidad incluye ciertas palabras claves que requieren a su vez definición (Juran & Blanton Godfrey, 1999):

1.1) Producto: es la salida de un proceso. Para muchos economistas, los productos incluyen tanto bienes como servicios. Sin embargo, bajo el uso popular, "producto" a menudo significa bienes solamente.

- 1.2) Característica del producto: una propiedad poseída por bienes o servicios que está destinada a satisfacer al cliente necesariamente.
- 1.3) Cliente: cualquier persona que se vea afectada por el producto o por el proceso utilizado para producir el producto. Los clientes pueden ser externos o internos.
- 1.4) Satisfacción del cliente: una situación en la que los clientes sienten que sus expectativas tienen ha cumplido con las características del producto.
- 1.5) Defecto: cualquier falla o error que afecte la idoneidad de un producto para su uso. Los defectos son definidos según el tipo de proceso y los requerimientos del cliente.
- 1.6) Insatisfacción del cliente: una situación en la que los defectos en los bienes o servicios dan lugar a molestias de clientes, quejas y reclamos.
- 2) Materia prima: la mejor forma de disminuir costos sin afectar la calidad de la materia prima es el mejoramiento de los procesos. Hacer más eficientes los procesos de transformación de la materia prima y los demás relacionados con la elaboración del producto final, permite que en primer lugar que se aproveche mejor la materia prima, que haya menos desperdicio y que no se afecte la calidad de la materia prima, que se requiera de menor tiempo de transformación, menor consumo de mano de obra y de energía.

Las propiedades de la fibra y su importancia en el teñido de la prenda radican en el porcentaje de zonas amorfas en la estructura de la fibra que va a determinar la cantidad de colorantes que se fije en ella. Esto se puede interpretar como la absorción del material y va a depender del tipo de fibra, zona de cultivo, morfología interna, etc. (Aragón, 2012) A continuación se describen las propiedades físicas (Lockuán Lavado, 2013):

- 2.1) Longitud: se determina por medio del peinado manual de la fibra y representa la longitud media de las fibras más largas, expresada en milímetros o pulgadas.

- 2.2) Grado: es la calificación según color, contenido de materia extraña y preparación. También se toma en cuenta la contaminación. La determinación del grado es apreciada mediante inspección por experto y comparación visual con muestras tipos (patrones).
- 3) Color: se define en función de tres atributos: tono, brillo y matiz. El tono es el nombre propio del color del algodón. El brillo consiste en el grado de reflexión que presenta el algodón al compararlo con una escala de colores neutros. Y, por último, el matiz es la intensidad, fuerza o grado de color.
- 4) Materia extraña: Es el conjunto de aquellas formas propias del cultivo del algodón que no constituyen fibra en sí. La materia extraña está formada por fragmentos de hojas, de ramas, de semillas, de maleza, tierra, etc.
- 5) Carácter: clasificación de acuerdo con sus propiedades como resistencia, finura, madurez, uniformidad de longitud, alargamiento. Las fibras inmaduras son más difíciles de teñir que las maduras ya que su afinidad tintórea es menor. (Pereira Boitano, 2014) Es importante que haya uniformidad en la fibra para evitar problemas y defectos de calidad. De allí la necesidad de determinar adecuadamente las características de las fibras de cada lote, para realizar la correcta programación de la mezcla en la hilandería y luego en tejeduría. (Lockuán Lavado, 2013)
- 6) Colorantes: Los colorantes pueden ser definidos como sustancias que cuando son aplicados en forma soluble a un sustrato, imparten color al sustrato y retenidos por este último por absorción, retención mecánica o por un enlace iónico o covalente. (Pereira Boitano, 2014) Las propiedades físicas y químicas que controlan y definen el rendimiento de un colorante se derivan de su composición química y son (Autor desconocido, 2009):
- 6.1) Sustainividad: es la propiedad que tienen algunos colorantes de montar o agotar sobre la fibra.
- 6.2) Afinidad: una vez las moléculas de colorante llega a la fibra, es la fuerza con la que estas son atraídas hacia la fibra.

- 6.3) Poder de migración: es la capacidad que tiene un colorante de pasar de zonas de alta concentración a zonas de menor concentración.
- 6.4) Reactividad: determina la velocidad de fijación de los colorantes.
- 6.5) Solidez al lavado: un colorante debe presentar resistencia al lavado y a la abrasión con objeto de que la coloración sea permanente a lo largo de la vida útil de la fibra.
- 7) Métodos y procedimientos en el proceso: para poder garantizar la uniformidad, reproducibilidad y consistencia de las características de los productos en un proceso es necesario el adecuado ordenamiento del personal mediante métodos y procedimientos operativos, en el área de teñido es de suma importancia el desarrollo de la receta para garantizar la reproducibilidad de esta. De igual manera la ejecución y control de los procedimientos permite conocer el funcionamiento interno por lo que respecta a la descripción de tareas, ubicación, requerimientos y a los puestos responsables de su ejecución, determina en forma más sencilla las responsabilidades por fallas o errores, aumenta la eficiencia de los empleados, indicándoles lo que deben hacer y cómo deben hacerlo, ayuda la coordinación de actividades y evitar duplicidades, construye una base para el análisis posterior del trabajo y el mejoramiento de los sistemas, procedimientos y métodos. (Pérez zurita, 2014)
- 8) Mantenimiento y calibración de las máquinas: el propósito fundamental del mantenimiento preventivo es el de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, corrigiéndolas en el momento oportuno para evitar que se generen defectos o desperdicios y lograr no comprometer la calidad del producto final ya que durante el proceso de producción es importante que cada parte sea realizada con calidad para obtener los resultados deseados. (Quiminet, 2007) El envejecimiento de los componentes, los cambios de temperatura y el estrés mecánico que soportan los equipos deterioran poco a poco sus funciones. Cuando esto sucede, los ensayos y las medidas comienzan a perder confianza y se refleja tanto en el diseño como en la calidad del producto. Este tipo de situaciones puede y debe ser evitado, por medio del proceso de calibración. (Quiminet, 2007)

9) Métodos de formación del personal: el entrenamiento es conocido como el proceso mediante el cual se le proporcionan medios a los empleados de la empresa para adquirir y desarrollar de forma más rápida conocimientos y habilidades; de esta manera trae consigo múltiples beneficios como preparar el personal para que pueda ejecutar de forma inmediata diferentes tareas. Se debe brindar a las personas en proporciones necesarias y enfatizar en los puntos específicos y necesarios para que el individuo pueda desempeñar eficazmente su labor en el puesto de trabajo. (Parra-Penagos & Rodríguez-Fonseca, 2015)

La capacitación es el proceso en el que una empresa busca que sus empleados obtengan habilidades y destrezas necesarias para el desempeño en el cargo donde se impulsa el aprendizaje de sus colaboradores, a diferencia del entrenamiento que se imparte en conceptos específicos, herramientas y técnicas para las personas dentro de la organización, y así mejorar y medir actuación de procesos a lo largo de la empresa. (Parra-Penagos & Rodríguez-Fonseca, 2015) La falta de capacitación y entrenamiento puede afectar sobre todo al área técnica en una industria textil, por lo que el área administrativa debe diseñar programas en distintos niveles estructurales, y así intervenir en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Dicho proceso genera cambios en el comportamiento organizacional para beneficio de la ejecución correcta de procedimientos y del proceso que aseguran la calidad del producto y por tanto la ausencia de defectos, por lo que tener talento humano capacitado y entrenado es objeto de atención para revelar las oportunidades de mejora.

10) Sistemas de medición: el análisis del sistema de medición tiene el propósito de cuantificar y separar la variación introducida por el sistema de medición y la del proceso. Adicionalmente se puede evaluar la variación o precisión debida al sistema de medición en dos componentes: la repetibilidad y la reproducibilidad. La repetibilidad es la variación observada cuando el mismo operador mide la misma parte varias veces, también conocida como variación debida al o los instrumentos de medición. Y, la reproducibilidad es la variación observada cuando varios operadores miden la misma pieza con el mismo instrumento de medición.

La exactitud también es importante en el sistema de medición y tiene tres componentes: sesgo, linealidad y estabilidad ligadas solamente al instrumento (Minitab Inc., 2017). Estos componentes se pueden analizar de forma exhaustiva con diferentes estudios del sistema de

medición. Generalmente se utiliza la herramienta R&R que proporciona información del rendimiento del sistema de medición mediante el uso de coeficientes de variación. Se ha mostrado que la variación de las mediciones puede ser reducida con un estudio de R&R y mejorarse, lo que permite aceptar o rechazar con mayor confianza. Los estudios de R&R se desarrollan con la finalidad de obtener una certidumbre en las mediciones, el operador y el método de medición en búsqueda del aseguramiento de la calidad en nuestras operaciones. (Villalvazo, Wilson, Bonilla, Tiznado, & Barreras, 2011)

11) Medio ambiente: “son todos los factores externos, las condiciones, y las influencias que afectan a un organismo o comunidad” ( Programa de las Organizaciones unidas del Medio A, 2017). La definición anterior es bastante clara al decir que existen factores externos que pueden afectar a un organismo, individuo o proceso de manera positiva o negativa y de ahí partimos para decir que en el área de tintorería de TexVa existen indicadores del medio ambiente que nos permiten determinar si existe un impacto en la calidad para esta variable. Es importante saber que a los trabajadores de TexVa se le deben aplicar exámenes periódicamente, de agudeza visual campimetría y percepción de colores. Es muy importante que posean un ambiente de trabajo con la iluminación adecuada, ya que de esa manera se obtiene mayor productividad, se evitan enfermedades de trabajo y sobre todo se tienen mejores resultados a obtener la evaluación de la calidad. Algunas de las variables a considerar para la evaluación del medio ambiente en el área de tintorería son las siguientes:

11.1) Ruido: Las principales fuentes de ruido en el área de tintorería provienen de las máquinas de teñido, los motores y el constante uso de estas que no da un descanso sonoro al personal.

11.2) Calor: como consecuencia del uso de vapor; es el riesgo a la seguridad más significativo por la continua exposición al calor y a la humedad elevada durante las operaciones de producción

11.3) Iluminación: el deslumbramiento y la falta de visibilidad son la causa de riesgo ergonómicos. Se debe tomar en cuenta que la visibilidad depende del tamaño de los objetos con los que se trabaja, también juegan un papel importante la distancia a los

ojos, la persistencia de la imagen, la intensidad de la luz que se tiene en los centros de trabajo, color y contraste del lugar. (Asociación Peruana de Técnicos textiles, 2018)

- 12) DMAIC: es una estrategia de calidad basada en datos para mejorar los procesos y una parte integral de una iniciativa de calidad Six Sigma. DMAIC es un acrónimo para definir, medir, analizar, mejorar y controlar (American Society for Quality, 2018).
- 13) Calidad Six Sigma: un término generalmente utilizado para indicar la capacidad del proceso en términos de la dispersión del proceso medida por desviaciones estándar en un proceso normalmente distribuido (American Society for Quality, 2018).
- 14) Herramientas de Six Sigma: Las herramientas de resolución de problemas utilizadas para respaldar Six Sigma y otros esfuerzos de mejora de procesos. Esto incluye la voz del cliente, el mapeo de la cadena de valor, el mapeo de procesos, el análisis de capacidad, los gráficos de Pareto, el análisis de causa raíz, el modo de falla y el análisis de efectos, los planes de control, el control estadístico de procesos, la prueba de errores y el diseño de experimentos (American Society for Quality, 2018).

#### 2.4. MARCO METODOLÓGICO

Para el análisis de esta investigación se aplica la metodología seis sigma DMAIC que tiene como objetivo la reducción de errores y puede ser aplicada en los diferentes procesos de todo tipo de empresas. Esta metodología se basa en que, la mayoría de los procesos siguen los principios de distribución normal planteada por Gauss, donde el porcentaje más elevado de eventos se encuentran agrupados próximos a un valor promedio o media de un conjunto de datos. Para cada conjunto de datos se establece un límite superior y un límite inferior, esto permite delimitar el rango de aceptación y se define como inaceptable cuando los datos se encuentran fuera de dichos límites. (Business Operational Improvement, 2018)

### 2.4.1 METODOLOGÍA SEIS SIGMA DMAIC

El valor sigma es la suma de la probabilidad de que un dato se encuentre fuera del límite superior más la probabilidad de que se encuentre fuera del límite inferior. El nuevo estándar de calidad seis sigma implica presentar solo 3.4 defectos por millón de oportunidades. (Business Operational Improvement, 2018) Al aplicar la metodología seis sigma DMAIC en un proceso se pretende disminuir la variación en los resultados con el objetivo de mejorar la eficiencia y reducir el costo asociado a los defectos de calidad.

Para lograr este objetivo, la metodología DMAIC establece 5 pasos y utiliza diversas herramientas que permiten determinar los causales de los defectos y gestionarlas a través de una propuesta de plan de acción. Estos pasos son definir, medir, analizar, implementar o mejorar y por último, controlar.

- 1) Definir: El primer paso de la metodología DMAIC consiste en realizar una observación o estudio de diagnóstico para definir el proceso. Antes de modificar un proceso para estandarizarlo primero se debe conocer cada detalle de éste. Durante la definición del proceso se logra identificar claramente las áreas susceptibles a mejoras y se define el problema a eliminar, reducir o en su defecto contener. (Gutiérrez Pulido & De la vara Salazar, 2009). Los pasos por llevar a cabo para definir el proceso son la selección de las características de salida, que no es más que especificar y detallar todas las características que deseamos obtener en el producto final del proceso; y, luego se analizan todas las entradas, materias primas e insumos del proceso. Las herramientas que nos ayudan a definir el problema son: grupos focales, entrevistas, encuestas, requerimientos de los clientes, el mapa del proceso SIPOC, el árbol crítico para la calidad (CTQ), entre otros. Esta etapa, permite que se definan los objetivos específicos para lograr la satisfacción de las necesidades del cliente y que el proceso sea más eficiente. (Jared R. Ocampo, 2012)
- 2) Medir: luego de definir el problema crítico y de establecer las metas por alcanzar se continúa con la medición. La medición consiste en obtener los datos cada una de las fases del proceso: entrada, proceso en sí, producto terminado o salida y el seguimiento para medir la satisfacción del cliente. Es en esta etapa que debe observar y analizar todas las posibles fallas que se puedan

presentar en el proceso, se debe calcular e identificar la capacidad del proceso y la medida del desempeño, los indicadores de la calidad en el proceso y cuáles son las variables que los impactan. Las herramientas que se aplican en esta etapa son: matriz de causa y efecto, se valida el sistema de medición del proceso a través de la prueba de repetitividad y reproducibilidad (R&R), se aplica gráficos de Pareto para priorizar los causales de defectos, matriz de priorización y análisis de control. (Bussiness Operational Improvement, 2018)

- 3) Analizar: una vez lograda la medición del proceso para delimitar el proceso se procede a analizarlo, a tratar de entender el por qué se está presentando las causales de defecto. Identifica cuáles son las variables que más están afectando la calidad en el proceso y se plantean diversas hipótesis que serán sometidas a pruebas estadísticas para su verificación o rechazo. Entra las herramientas que se pueden aplicar en esta etapa se cuenta con: recolección de datos, método de muestreo, el diagrama de flujo, el diagrama de causa-efecto, la prueba del chi cuadrado, gráfica de tendencias, entre otras. (Bussiness Operational Improvement, 2018)
- 4) Mejorar: al finalizar el análisis del proceso actual y determinar las variables e indicadores que afectan en mayor porcentaje la calidad, se procede a plantear un plan de acción para controlar las variables seleccionadas. Al establecer el plan de acción primero, se debe realizar una prueba que consista en aplicar las medidas propuestas en una escala menor y se obtienen mejoras se procede a verificarse antes de aplicar todas las medidas al proceso completo. Para este paso se puede hacer uso de: lluvia de ideas, modo de causa y análisis de efecto, entre otras (Bussiness Operational Improvement, 2018).
- 5) Controlar: posterior a la aplicación y verificación del plan de acción para mejoras se procede a establecer controles que permitan que estos cambios sean sostenibles en el tiempo. Para cumplir con este paso se puede hacer uso de pruebas estadísticas de control como los gráficos comparativos; o, utilizar pruebas no estadísticas como mantenimiento preventivo, planes de contingencia, controles visuales, entre otros. (Bussiness Operational Improvement, 2018) Al culminar los cinco pasos de la metodología se debería evidenciar una mejora en la disminución de eventos no deseables o defectos de calidad, volviendo el proceso más eficiente y con el paso del tiempo estos cambios impactan en la reducción de costos operativos, en la satisfacción del cliente y; por ende, en el porcentaje de utilidades de la empresa.

## 2.4.2 HERRAMIENTAS EMPLEADAS EN METODOLOGÍA DMAIC

En cada uno de los cinco pasos de la metodología seis sigma DMAIC se emplean herramientas estadísticas que nos proporcionan información vital para poder realizar las modificaciones necesarias a fin de mejorar la calidad del producto final del proceso. A continuación, se detallan las de mayor valor estadístico.

- 1) Gráfica de Pareto: es un tipo de gráfico de barras que consiste en representar los fenómenos que representan el mayor problema para el proceso, se rige por el principio matemático del mismo nombre que establece que 20 por ciento (%) de los eventos generan el 80 por ciento (%) de los defectos. Bajo esta premisa si se gestionan y controlan estos eventos que representan el 20 por ciento (%) se reducirá significativamente la cantidad de errores o defectos resultantes. (Levine D., 2006) Mediante el gráfico de Pareto es posible identificar rápidamente cuáles son los pasos o variables del proceso a las cuales se les debe brindar prioridad a fin de lograr el objetivo de la mejora del proceso.
  
- 2) Diagrama de Ishikawa: o también conocido como gráfico de causa y efecto, consiste en describir las posibles causas que generan el defecto del proceso, dividiendo los causales entre los seis factores involucrados en todo proceso industrial: mano de obra, materiales, método, maquinaria, medición y medio ambiente. Debido a sus iniciales, éstos seis factores son conocidos como “las seis emes” (6 M’S). Para elaborar el diagrama de causa y efecto o diagrama de Ishikawa, se traza una línea horizontal hacia el efecto generado y de ella parten seis líneas perpendiculares donde se colocan cada una de las 6M’s y de en cada una de las seis líneas se enumeran los factores, dependiendo la eme (M) del proceso, que inciden para que se genere el defecto. (Gutiérrez Pulido & De la vara Salazar, 2009). Según la variable del proceso se debe considerar:

2.1) Mano de obra: el conocimiento, entrenamiento, capacidad y habilidad del personal que ejecuta el proceso.

2.2) Material: las especificaciones de la materia prima y su variabilidad dependiendo el proveedor, tipo y talla del material.

2.3) Método: la estandarización del proceso, definición de las tareas.

2.4) Maquinaria: capacidad de la maquinaria, calibración de los instrumentos, mantenimientos preventivos y correctivos, condiciones diferentes.

2.5) Mediciones: reproducibilidad y repetitividad de los resultados, tamaño de la muestra.

2.6) Medio ambiente: tipo de ambiente donde se lleva a cabo el proceso, temperatura, humedad, densidad, etc.

#### 2.4.3 DIAGRAMA DE DISPERSIÓN

Consiste en la representación gráfica de cómo dos variables cuantitativas se relacionan entre sí. (Gutiérrez Pulido & De la vara Salazar, 2009). Mediante este gráfico determinamos si dos variables presentan o no correlación, y de presentar correlación, si esta es positiva o negativa.

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe y se explica la aplicación de los métodos, técnicas y procedimientos utilizados. Se encontrarán la descripción de las decisiones metodológicas en la congruencia metodológica, así como, el enfoque, métodos, diseño de la investigación, técnica e instrumentos, fuentes de la información y las limitantes contemplados para asegurar la validez de la presente tesis. Mediante este capítulo se aprecia el tipo de investigación y se plantea la relación entre las variables para definir las dimensiones e indicadores a estudiar, y de dónde surgen la información para analizar en el capítulo de análisis y resultados.

### 3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA

A continuación, se muestra la correlación existente entre el planteamiento del problema y la metodología propuesta donde se definen las variables que guían la investigación hacia el resultado de la hipótesis planteada; en el caso de esta investigación se implementa la metodología seis sigma para analizar, medir y optimizar el impacto de las 6 M en el área de teñido en TexVa. La primera de las siguientes tablas muestra las definiciones conceptuales y operacionales de las variables independientes utilizadas para esta investigación. La segunda y tercera tablas muestran una matriz que nos sirve para establecer la congruencia metodológica, es decir, la relación que existe entre el planteamiento del problema, las preguntas de investigación y los objetivos; de la misma manera muestra la congruencia entre las variables dependientes e independientes que dan claridad al seguimiento de la tesis.

**Tabla 1. Matriz metodológica (Definición de variables independientes).**

TÍTULO		ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA	
Variable Independiente	Definición		
	Conceptual	Operacional	
Materia prima	Se considera como materia prima todo aquel bien destinado a la transformación mediante un proceso productivo hasta convertirse en un bien de consumo. (American Society for Quality, 2018)	La materia prima es de los elementos más importante que impacta directamente en la calidad y el costo del producto final, en el proceso de tintorería la tela y el colorante son esenciales.	
Método	Método es un modo, manera o forma de realizar algo de forma sistemática, organizada y/o estructurada. Hace referencia a una técnica o conjunto de tareas para desarrollar una tarea. (American Society for Quality, 2018)	El desarrollo de la receta y el procedimiento en el área de tintorería definen el éxito en el cumplimiento de los requerimientos del cliente.	
Maquinaria	Objeto fabricado y compuesto por un conjunto de piezas ajustadas entre sí que se usa para facilitar o realizar un trabajo determinado. (American Society for Quality, 2018)	El mantenimiento y la calibración de la maquinaria son imprescindibles en el área de tintorería para evitar defectos de calidad en el producto final.	
Mano de obra	Se denomina mano de obra, tomando mano en el sentido de trabajo físico o mental, y a obra como un producto tangible o intangible producto de la acción humana, al o los recursos humanos que se necesitan para elaborar un bien. Si bien la mano solo es la herramienta que da lugar al trabajo manual o artesanal, se aplica la expresión a todo tipo de trabajo que origine un producto. (American Society for Quality, 2018)	La capacitación y el entrenamiento del personal en el proceso de tintorería son elementos necesarios para el logro de los objetivos en el aseguramiento de la calidad.	
Sistema de medición	Todas las operaciones, procedimientos, dispositivos y otros equipos, personal y entorno utilizados para asignar un valor a la característica que se mide. (American Society for Quality, 2018)	Es obligatorio el análisis de la repetibilidad, reproducibilidad y exactitud del sistema de medición de la calidad en el área de tintorería de TexVa para tener certeza en los resultados obtenidos.	
Medio ambiente	El medio ambiente son todos los factores externos, las condiciones, y las influencias que afectan a un organismo o comunidad” (Programa de las Organizaciones unidas del Medio A, 2017).	La seguridad e higiene involucrada en la fase operativa del área de tintorería juegan un papel importante en la calidad del teñido y por lo tanto se evalúan por medio del ruido, la sensación térmica, la iluminación cruzada en el área.	

**Tabla 2. Matriz metodológica.**

TÍTULO					
ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA					
Variable Independiente	Dimensión	Indicador	Pregunta	Respuestas	Técnica
Materia prima	Tela	Uniformidad	¿La falta de uniformidad en la tela causa defecto en la calidad del producto final en el área de tintorería de TexVa?	Cálculo del porcentaje de incidencia en los defectos de calidad de cada indicador.	Revisión de base de datos de producción y de calidad de la semana número 36 a la número 44.
		Talla	¿Es la talla un factor importante en la calidad del teñido?		
	Colorante	Propiedades físicas	¿Las propiedades físicas de colorante son determinantes para la calidad del teñido en el producto final?		
Método	Desarrollo de la receta	Reproducibilidad	¿La correcta reproducción, ejecución y control de la receta y procedimiento de teñido tiene impacto en la calidad del producto?		
	Procedimiento	Ejecución			
		Control e inspección			
Maquinaria	Calibración	Planes de calibración	¿Es una falla mecánica de la maquinaria un factor importante en la calidad del teñido?		
		Certificados de calibración			
	Mantenimiento	Plan de mantenimiento			
Mano de obra	Habilidad	Capacitación	¿Tener mano de obra capacitada es esencial para lograr cumplir con los estándares de calidad del teñido?		
		Entrenamiento	¿El entrenamiento del personal impacta en la calidad del teñido?		

Continuación de tabla 2.

TÍTULO					
ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA					
Variable Independiente	Dimensión	Indicador	Pregunta	Respuestas	Técnica
Sistema de medición	Eficacia	Repetibilidad	¿Esta el sistema de medición siendo exacto, repetitivo y reproducible en los resultados de la medición de defectos de la calidad?	Estadísticamente eficaz	Realización de análisis Gage R&R a los inspectores de calidad.
		Reproducibilidad		Estadísticamente no eficaz	
		Exactitud			
Medio ambiente	Seguridad	Ruido	¿Cómo considera que es el sonido dentro del plantel?	a.Nulo b.Poco c.Medio d.Alto e.Excesivo	Encuesta a personal de área de tintorería de TexVa
			En su opinión, ¿las condiciones actuales de sonido dentro del plantel afectan el desempeño de sus labores?	a.Nada b.Poco c.Medio d.Bastante e.Completamente	
		Sensación térmica	¿Cómo considera que es la ventilación del plantel?	a.Excelente b.Muy buena c.Buena d.Poco buena e.Nada buena	
			En su opinión, ¿las condiciones actuales de temperatura dentro del plantel afectan el desempeño de sus labores?	a.Nada b.Poco c.Medio d.Bastante e.Completamente	
	Iluminación	¿Cómo considera que es la iluminación del plantel?	a.Excelente b.Muy buena c.Buena d.Poco buena e.Nada buena		
		En su opinión, ¿las condiciones actuales de iluminación dentro del plantel afectan el desempeño de sus labores?	a.Nada b.Poco c.Medio d.Bastante e.Completamente		
	Higiene	Contaminación cruzada	Ha notado que partículas o restos de material de otros procesos afectan el proceso de teñido	a.Nada b.Poco c.Medio d.Bastante e.Completamente	
			Ha notado que partículas o restos de material de otros procesos afectan el producto final del área de teñido	a.Nada b.Poco c.Medio d.Bastante e.Completamente	

Esta matriz brinda a detalle el tipo de técnica utilizada para recolectar la información, las unidades de análisis y respuesta de la investigación y como estas parten de la variable dependiente e independientes. Con el fin de estudiar el problema y darle solución se plantean las preguntas de investigación para identificar cómo la materia prima, el desarrollo de la receta y procedimiento, la maquinaria, la capacitación y entrenamiento del personal y la metodología de evaluación impactan en la calidad del producto teñido final. Entendiendo, que la calidad final presente en la prenda teñida es la variable dependiente; que se verá afectada por los cambios que se manifiesten en las variables independientes que son las M's de la producción (materia prima, método o procedimiento, maquinaria, mano de obra o personal y la metodología de evaluación de la calidad).

### 3.1.1 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES

Se procede a definir cómo se operarán las variables en estudio, partiendo desde lo más general hacia lo específico. Se entiende por variable las características o cualidades presentes en el objeto de estudio, las cuales pueden ser medidas. Luego se detalla la relación entre las variables y sus dimensiones. En la siguiente figura se detalla mediante un esquema, la operacionalización de las variables de estudio, para lograr identificar la variable dependiente de las variables independientes.



**Figura 4. Diagrama de la relación de las variables.**

En el esquema anterior se detallan las dimensiones a estudiar de cada una de las variables independientes. Mediante el análisis de estas dimensiones se podrá medir el impacto de cada una de las variables independientes sobre la calidad del producto final de tintorería de TexVa, identificando si existe una mayor responsabilidad por parte de una de las variables independientes en el resultado de defectos en el proceso.

Analizar y plantear cada una de las dimensiones de las variables permite una observación más concentrada del problema, luego se detallan las preguntas mediante las cuáles se recolectan los datos y se analiza el problema de la investigación, con el fin de responder a las preguntas de la

investigación y cumplir los objetivos planteados; es por esto por lo que se detallan cada una de ellas en las siguientes tablas:

**Tabla 3. Operacionalización - Materia prima.**

TÍTULO		ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA					
Variable Independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Pregunta	Respuesta	Técnica
	Conceptual	Operacional					
Materia prima	Se considera como materia prima todo aquel bien destinado a la transformación mediante un proceso productivo hasta convertirse en un bien de consumo. (American Society for Quality, 2018)	La materia prima es de los elementos más importante que impacta directamente en la calidad y el costo del producto final, en el proceso de tintorería la tela y el colorante son esenciales.	Tela	Uniformidad	¿La falta de uniformidad en la tela causa defecto en la calidad del producto final en el área de tintorería de TexVa?	Cálculo del porcentaje de incidencia en los defectos de calidad de cada indicador.	Revisión de base de datos de producción y de calidad de la semana número 36 a la número 44.
				Talla	¿Es la talla un factor importante en la calidad del teñido?		
			Colorante	Propiedades físicas	¿Las propiedades físicas de colorante son determinantes para la calidad del teñido en el producto final?		

En la tabla anterior se muestran las preguntas e indicadores de la materia prima en el área de tintorería de TexVa en este caso, la tela y el colorante ya que ambos tienen un papel importante en la calidad del teñido y es de gran importancia determinar si inciden en el porcentaje de defectos de la calidad.

**Tabla 4. Operacionalización - Método.**

ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA							
Variable Independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Pregunta	Respuesta	Técnica
	Conceptual	Operacional					
Método	<p>Método es un modo, manera o forma de realizar algo de forma sistemática, organizada y/o estructurada. Hace referencia a una técnica o conjunto de tareas para desarrollar una tarea. (American Society for Quality, 2018)</p>	<p>El desarrollo de la receta y el procedimiento en el área de tintorería definen el éxito en el cumplimiento de los requerimientos del cliente.</p>	Desarrollo de la receta	Reproducibilidad	<p>¿La correcta reproducción, ejecución y control de la receta y procedimiento de teñido tiene impacto en la calidad del producto?</p>	<p>Cálculo del porcentaje de incidencia en los defectos de calidad de cada indicador.</p>	<p>Revisión de base de datos de producción y de calidad de la semana número 36 a la número 44.</p>
			Procedimiento	Ejecución			
				Control e inspección			

La reproducibilidad, la ejecución y el control e inspección indican la robustez del método en el desarrollo de las recetas de teñido y los procedimientos operativos del proceso.

**Tabla 5. Operacionalización - Maquinaria.**

ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA							
Variable Independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Pregunta	Respuesta	Técnica
	Conceptual	Operacional					
Maquinaria	Objeto fabricado y compuesto por un conjunto de piezas ajustadas entre sí que se usa para facilitar o realizar un trabajo determinado. (American Society for Quality, 2018)	El mantenimiento y la calibración de la maquinaria son imprescindibles en el área de tintorería para evitar defectos de calidad en el producto final.	Calibración	Planes de calibración	¿Es una falla mecánica de la maquinaria un factor importante en la calidad del teñido?	Cálculo del porcentaje de incidencia en los defectos de calidad de cada indicador.	Revisión de base de datos de producción y de calidad de la semana número 36 a la número 44.
				Certificados de calibración			
			Mantenimiento	Plan de mantenimiento			

Los certificados de calibración, planes de calibración y mantenimiento son indicadores del estado y funcionamiento de la maquinaria y la importancia de cómo influye en la calidad del producto final radica en la interacción directa en el proceso de producción del área de tintorería.

**Tabla 6. Operacionalización - Mano de obra.**

ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA							
Variable Independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Pregunta	Respuesta	Técnica
	Conceptual	Operacional					
Mano de obra	<p>Se denomina mano de obra, tomando mano en el sentido de trabajo físico o mental, y a obra como un producto tangible o intangible producto de la acción humana, al o los recursos humanos que se necesitan para elaborar un bien. Si bien la mano solo es la herramienta que da lugar al trabajo manual o artesanal, se aplica la expresión a todo tipo de trabajo que origine un producto. (American Society for Quality, 2018)</p>	<p>La capacitación y el entrenamiento del personal en el proceso de tintorería son elementos necesarios para el logro de los objetivos en el aseguramiento de la calidad.</p>	Habilidad	Capacitación	¿Tener mano de obra capacitada es esencial para lograr cumplir con los estándares de calidad del tejido?	Cálculo del porcentaje de incidencia en los defectos de calidad de cada indicador.	Revisión de base de datos de producción y de calidad de la semana número 36 a la número 44.
				Entrenamiento	¿El entrenamiento del personal impacta en la calidad del tejido?		

La habilidad de la mano de obra en el área de tintorería de TexVa está determinada por el conocimiento y el entrenamiento que posee, y depende del debido cumplimiento de los procesos que aseguran la calidad del producto final.

**Tabla 7. Operacionalización - Sistema de medición.**

TÍTULO		ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA					
Variable Independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Pregunta	Respuesta	Técnica
	Conceptual	Operacional					
Sistema de medición	Todas las operaciones, procedimiento, dispositivos y otros equipos, personal y entorno utilizados para asignar un valor a la característica que se mide. (American Society for Quality, 2018)	Es obligatorio el análisis de la repetibilidad, reproducibilidad y exactitud del sistema de medición de la calidad en el área de tintorería de TexVa para tener certeza en los resultados obtenidos.	Eficacia	Repetibilidad	¿Esta el sistema de medición siendo exacto, repetitivo y reproducible en los resultados de la medición de defectos de la calidad?	Estadísticamente eficaz	Realización de análisis Gage R&R a los inspectores de calidad.
				Reproducibilidad			
				Exactitud		Estadísticamente no eficaz	

La eficacia y en consecuencia la credibilidad del sistema de medición de la calidad en el área de tintorería de TexVa están determinados por la repetibilidad, reproducibilidad y exactitud con la que se obtienen los resultados.

**Tabla 8. Operacionalización - Medio ambiente.**

TÍTULO		ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO DE TINTORERÍA APLICANDO METODOLOGÍA DMAIC SEIS SIGMA					
Variable Independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Pregunta	Respuesta	Técnica
	Conceptual	Operacional					
Medio ambiente	El medio ambiente son todos los factores externos, las condiciones, y las influencias que afectan a un organismo o comunidad" (Programa de las Organizaciones unidas del Medio A, 2017).	La seguridad e higiene involucrada en la fase operativa del área de tintorería juegan un papel importante en la calidad del tejido y por lo tanto se evalúan por medio del ruido, la sensación térmica, la iluminación cruzada en el área.	Seguridad	Ruido	¿Cómo considera que es el sonido dentro del plantel?	a. Nulo b. Poco c. Medio d. Alto e. Excesivo	Encuesta a personal de área de tintorería de TexVa
					En su opinión, ¿las condiciones actuales de sonido dentro del plantel afectan el desempeño de sus labores?	a. Nada b. Poco c. Medio d. Bastante e. Completamente	
				Sensación térmica	¿Cómo considera que es la ventilación del plantel?	a. Excelente b. Muy buena c. Buena d. Poco buena e. Nada buena	
					En su opinión, ¿las condiciones actuales de temperatura dentro del plantel afectan el desempeño de sus labores?	a. Nada b. Poco c. Medio d. Bastante e. Completamente	
				Iluminación	¿Cómo considera que es la iluminación del plantel?	a. Excelente b. Muy buena c. Buena d. Poco buena e. Nada buena	
					En su opinión, ¿las condiciones actuales de iluminación dentro del plantel afectan el desempeño de sus labores?	a. Nada b. Poco c. Medio d. Bastante e. Completamente	
			Higiene	Contaminación cruzada	Ha notado que partículas o restos de material de otros procesos afectan el proceso de teñido	a. Nada b. Poco c. Medio d. Bastante e. Completamente	
					Ha notado que partículas o restos de material de otros procesos afectan el producto final del área de teñido	a. Nada b. Poco c. Medio d. Bastante e. Completamente	

Por medio del instrumento de investigación tipo encuesta muestral aplicada al personal del proceso de tintorería, se pretende analizar la situación medioambiental del plantel de producción y cómo su variabilidad impacta en la calidad de los procesos de teñido. Analizando la situación medioambiental a través del sonido o ruido dentro del plantel, la sensación térmica durante la jornada laboral, la iluminación y la contaminación cruzada por parte de restos de otros procesos que se realizan dentro del mismo plantel y que difieren del teñido.

### 3.1.2 HIPÓTESIS

Las hipótesis indican lo que se trata de probar, sabiendo que solo pueden someterse a prueba en un universo y contexto bien definidos. La hipótesis nula ( $H_0$ ) usualmente es una declaración de “no defecto” o “no diferencia” mientras que la hipótesis alternativa presenta diferencias entre las variables. (Business Operational Improvement, 2018)

En la presente tesis la hipótesis a desarrollar es la siguiente:

Hipótesis de alternativa ( $H_1$ ):

“Existe diferencia en la calidad del proceso de tintorería de TexVa al implementar la metodología seis sigma para la gestión de la materia prima, el método, la maquinaria, la mano de obra, sistema de medición y el medio ambiente”.

Hipótesis Nula ( $H_0$ ):

“No existe diferencia en la calidad del proceso de tintorería de TexVa al implementar la metodología seis sigma para la gestión de la materia prima, el método, la maquinaria, la mano de obra, sistema de medición y el medio ambiente”.

### 3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

En esta sección se definirá la investigación según su enfoque y se establece el método para la recolección y posterior análisis de la información. Según su enfoque las investigaciones pueden ser de tres tipos: cualitativas, cuantitativas o mixtas, en el caso que se presente una combinación

de estas dos. La diferencia entre los enfoques es el tipo de variables a estudiar, las investigaciones cuantitativas estudian variables que pueden ser medidas, analizadas estadísticamente y son estudios que pueden replicarse. En cambio, los estudios cualitativos, se emplean para analizar realidades subjetivas y no pueden ser replicados (Hernández Sampieri R., 2006).

Para el presente estudio el tipo de enfoque empleado es el enfoque de tipo mixto: cuantitativo y cualitativo. Es cuantitativo porque recoge datos para probar hipótesis, utiliza la estadística para comprobar o rechazar hipótesis, analiza datos de variables que pueden ser medibles o cuantificables. Además, es cualitativo porque se incluye entrevistas con parte del personal del área estudiada, hay una relación directa del investigador con el fenómeno estudiado y finalmente, porque se basa en el estudio de caso como es el área de tintorería de la empresa TexVa (Hernández Sampieri R., 2006).

### 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación consiste en identificar si las variables estudiadas serán o no alteradas para propósitos del análisis de los resultados, basado en esto los diseños de investigación pueden diferenciarse en: experimentales o no experimentales. Creswell (2005) citado por (Hernández Sampieri R., 2006) define a los experimentos “como estudios de intervención, porque un investigador genera una situación para tratar de explicar cómo afecta a quienes participan en ella en comparación con quienes no lo hacen”. Con el propósito de buscar una reducción en la frecuencia de defectos en calidad del proceso se manipularon dos de las variables; por tanto, el diseño de la presente investigación es de tipo experimental, y su grupo de control es el conjunto de datos obtenidos de las nueve semanas previas a los ajustes al proceso.

#### 3.3.1 POBLACIÓN

La población se define como “el conjunto de todos los elementos de interés en un estudio determinado” (Anderson D., 2008). En base en ello, el presente estudio comprende el proceso de tintorería de prendas ya confeccionadas en TexVa, incluyendo datos obtenidos del registro del proceso en la base de datos de la empresa y el personal que forma parte del proceso. El registro de los datos del proceso se lleva a cabo por lotes de producción y por semana operativa del año.

En el caso del personal, la población incluye 14 operarios, de los cuales, dos son operarios entrenados para la toma del pesaje y otros dos, son destinados al secado, 3 supervisores y, un gerente del proceso. Resumiendo, existe un total de 18 personas involucradas en el proceso de tintorería de la empresa TexVa para prendas ya confeccionadas.

### 3.3.2 MUESTRA

Para los fines de esta investigación se empleará la inferencia estadística que consiste en recolectar datos de una muestra, analizarlos y con ello probar hipótesis referentes a las cualidades de una población (Anderson D., 2008). La muestra del estudio es de tipo probabilística ya que se obtiene del departamento de tintorería de TexVa en la sección de prendas ya confeccionadas recolectando la totalidad de los datos de lotes registrados durante el periodo de tiempo comprendido entre la semana laboral 36 a la semana 44, del presente año, correspondiente a 409 lotes registrados, y todos los datos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados (Hernández Sampieri R., 2006). En lo que se refiere al personal del proceso, el tipo de muestra para la investigación consiste en la totalidad de personal que forma parte del proceso.

### 3.3.3 UNIDAD DE ANÁLISIS

El concepto de unidad de análisis indica qué o quienes se miden y se toma registro de ello en el instrumento de medición (Hernández Sampieri R., 2006), para este estudio la unidad de análisis consiste en los defectos en la calidad del área de tintorería y en el caso particular de la variable medio ambiente, la unidad de análisis consiste en el personal del área de tintorería de TexVa a quienes se les aplicará una encuesta que permitirá analizar el entorno medioambiental del plantel de producción.

### 3.3.4 UNIDAD DE RESPUESTA

Suele denominarse unidad de respuesta a los referentes empíricos que el investigador utiliza para obtener los datos que necesita de la unidad de análisis. Es el soporte de las técnicas de recolección de datos, es el material al que se le aplican. (Rodríguez Peñuelas, 2010) En la presente tesis la unidad de respuesta es el cálculo del porcentaje de incidencia de los defectos de calidad en el área de teñido de TexVa que están relacionados con las 6 M. Para la variable sistema de medición

la unidad de respuesta es si es o no eficaz el sistema de medición según el análisis Gage R&R. Y, en el caso de la variable medio ambiente la unidad de respuesta son los trabajadores del área de tintorería de TexVa.

### 3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

En la presente sección se describen las técnicas de recolección de datos y los instrumentos aplicados con la finalidad de detallar el proceso de la investigación y comprender mejor los resultados obtenidos de la misma. Al desarrollar la metodología DMAIC seis sigma se emplean diversos tipos de instrumentos para el análisis de los datos, mediante ellos se da validez a la investigación.

#### 3.4.1 INSTRUMENTOS

Se realiza un instrumento de medición aplicado al personal del área de estudio para el análisis de la variable medio ambiente, y en base a los resultados se analiza. Para los datos obtenidos de la base de datos la unidad de análisis se obtiene con los siguientes instrumentos:

- 1) Control de lotes en el área de tintorería de TexVa: se lleva el control por semana, día, estilo, talla, color, cliente, operador, número de máquina, número de unidades y peso de todos los lotes ingresados a producción.
- 2) Control de reprocesos: registro de la cantidad de unidades de un lote que se rechazó y que se reprocesó junto al tipo de defecto que presentó y la causa de este.
- 3) Control de costos: registro de todos los costos de materia prima, mano de obra e insumos implicados en cada lote de producción.
- 4) Registros de inspección: control de unidades inspeccionadas por cada inspector, contiene el número de lote inspeccionado, talla, color, estilo y el número de unidades con cada tipo de defecto encontrado.

5) Herramientas de análisis y medición de la metodología seis sigma: Pareto, SIPOC, Ishikawa, mapa del proceso, matriz causa y efecto, PME A, gage R&R, métodos de muestreo, gráficas de tendencia, plan de acción, gráficas de control y plan de control.

### 3.4.2 TÉCNICAS DE MANEJO DE INFORMACIÓN

Según (Rodríguez Peñuelas, 2010) las técnicas, son los medios por los cuales se recolecta la información entre las cuales tenemos la observación, cuestionario, entrevistas y encuestas. De la técnica depende la credibilidad y funcionalidad de los datos obtenidos que proveen la correcta lectura y utilización al investigador para relacionarlos con los instrumentos de medición. En la presente tesis la técnica utilizada fue la observación directa donde se documentó la clasificación de los defectos de calidad en el área de teñido, así como las causas para llevar control de reprocesos y registrar la incidencia de las 6 M, de todo lo anterior se tomaron los registros para hacer análisis de documentos posteriores. Se entrevista a expertos y personas involucradas en el proceso que brindan información valiosa e importante que permite analizar la situación actual del proceso de tintorería y con ello establecer un plan de mejora al proceso.

### 3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN

La fuente de la información consiste en detallar la procedencia de los datos de estudio. Dependiendo de su origen las fuentes de información pueden ser primarias o secundarias. Las fuentes de información primarias o directas son las que nos permiten obtener datos de forma inmediata sin intermediarios. En cambio, las fuentes de información secundarias son recopilaciones de fuentes primarias, tal es el caso de las enciclopedias. Al presentar diversas variables, se requiere utilizar diferente tipo de fuentes de información para la recolección de los datos y esto enriquece la investigación. (Hernández Sampieri R., 2006).

#### 3.5.1 FUENTES PRIMARIAS

Como se expuso anteriormente, las fuentes de información primarias consisten en obtener datos de forma directa. Para el presente estudio las fuentes de información primarias recabadas comprende la base de datos del registro de producción del área de tintorería de TexVa, entrevista

con el gerente de área estudiada, reportes del Banco Central de Honduras y el estudio de casos de aplicación de metodología seis sigma DMAIC en otras industrias.

### 3.5.2 FUENTES SECUNDARIAS

Las fuentes de información secundarias son aquellas que engloban una recopilación de fuentes primarias de información. Para la presente investigación, las fuentes secundarias de información consultadas incluyen manuales de aplicación de metodología seis sigma DMAIC, sitios web y base de datos de la biblioteca virtual del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC).

### 3.6 LIMITANTES DEL ESTUDIO

La presente tesis se delimita al estudio de la calidad del área de tintorería en la empresa Textiles del Valle (TexVa) implementando las cinco etapas de la metodología seis sigma: Definir, Medir, Analizar en su totalidad; por la limitante del tiempo, en las etapas Implementar y Controlar se realizó la propuesta del plan de mejora y el plan de control respectivamente sin lograr recolectar información suficiente para demostrar estadísticamente la mejora en la calidad del proceso al finalizar el proceso de implementación de todas las acciones del plan de mejora.

El tamaño de la muestra se vió afectado por el periodo de tiempo del estudio. Al ser un estudio de tipo experimental, se recolectó información de la base de datos de producción del proceso de tintorería durante nueve semanas, de la semana 36 a la semana 44, para determinar la situación actual del proceso. La recolección de datos luego de las acciones correctivas, solamente fue de dos semanas, semana 45 y 46. Se considera que dos semanas es un periodo de tiempo muy corto para poder apreciar cambios significativos en la disminución de la frecuencia de defectos en la calidad, por lo que se sugiere continuar con la recolección de información de las semanas subsecuentes con la finalidad de realizar un nuevo estudio de diseño longitudinal que analice si la frecuencia de defectos en la calidad disminuye con el tiempo.

En el caso del análisis de las variables, la hipótesis del estudio se limitó a analizar el proceso antes y después de las acciones correctivas para las variables materia prima, método y maquinaria, debido a que se carece de información de registro del impacto de las variables mano de obra,

sistema de medición y medio ambiente en la frecuencia de defectos en la calidad del proceso. La empresa no cuenta con los dispositivos requeridos para poder realizar un análisis de medio ambiente y decidió no realizar la inversión de subcontratar un servicio de medición del medio ambiente certificado, debido al alto costo de este. El análisis de la uniformidad de la tela en laboratorio no se pudo gestionar debido a la ubicación fuera de las instalaciones del plantel de producción del laboratorio. Por todo lo anterior, se sugiere a futuro realizar un nuevo análisis que involucre en la prueba de hipótesis estadística el impacto de las seis M's completas: materia prima, método, maquinaria, mano de obra, sistema de medición y medio ambiente.

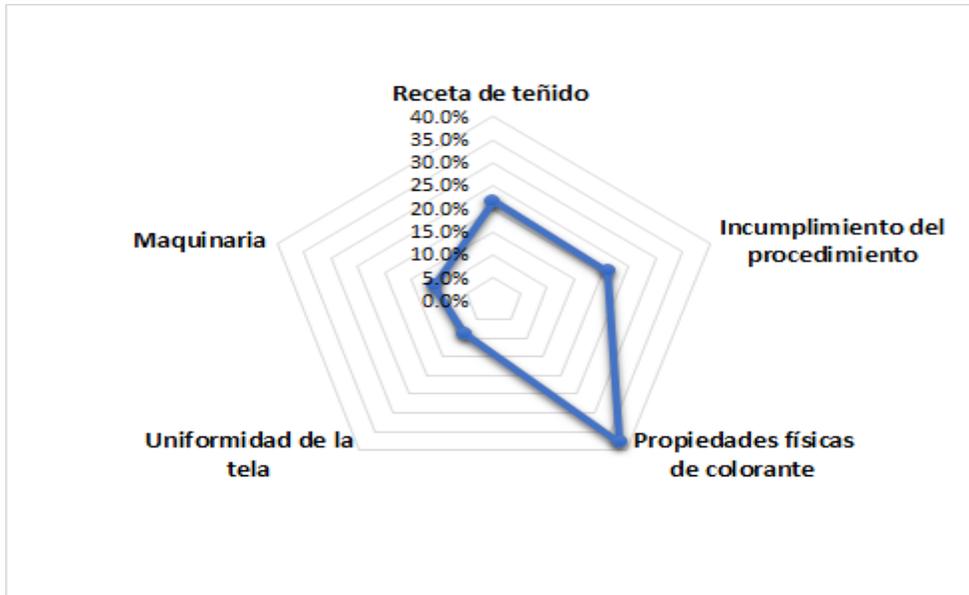
## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

El siguiente capítulo muestra una descripción de los resultados obtenidos por medio de la base de datos y el análisis de los mismo donde se interpretan los hallazgos, comportamientos y tendencias de las variables y dimensiones explicadas en congruencia metodológica y poder así, dar seguimiento y respuesta a las preguntas de investigación, los objetivos, generar la confirmación o debate de las teorías descritas en el marco teórico. Además, se comprueba la hipótesis planteada previamente en el capítulo III.

### **4.1. MATERIA PRIMA, MÉTODO Y MAQUINARIA**

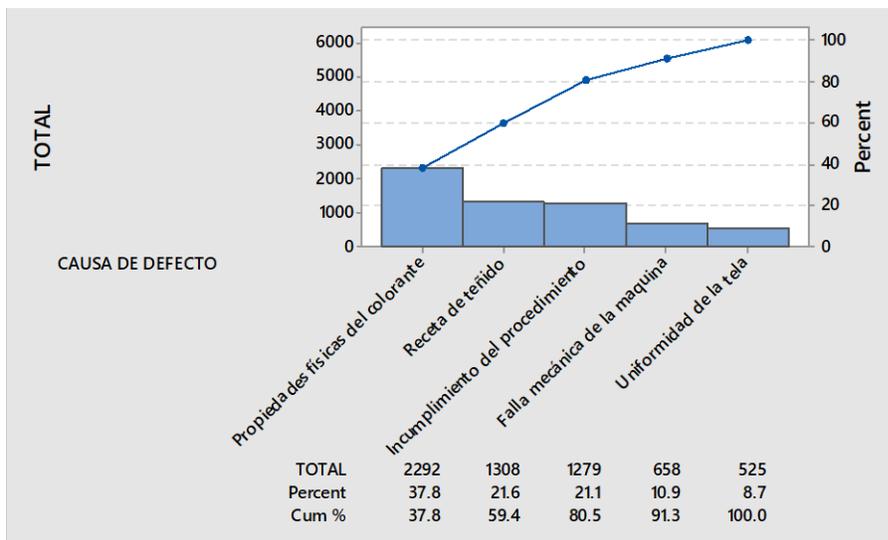
Los siguiente dos gráficos radial y de pareto presentan los resultados del análisis realizado a la base de datos de producción del área de tintorería de TexVA, los cuales se proceden a observar y analizar para poder concluir si las variables materia prima, método y maquinaria tienen incidencia significativa en los defectos de la calidad de teñido de los cuales se generan los reprocesos que se traducen en aumento de costo del producto; se observó qué variable es la que más aporta variabilidad al proceso al influir en mayor porcentaje en la cantidad de defectos encontrados en la muestra de análisis que son nueve semanas de datos.

Para la elaboración de estos gráficos se tomaron los datos de los lotes de producción del área de tintorería de TexVa que resultaron fuera de estándar por tener defectos, se analizaron las causales de los mismo que son los indicadores de cada variable para determinar la incidencia de cada uno de ellos y verificar que variable es la que más aporta variabilidad al proceso.



**Figura 5. Gráfico radial de incidencia de los indicadores en los defectos de calidad.**

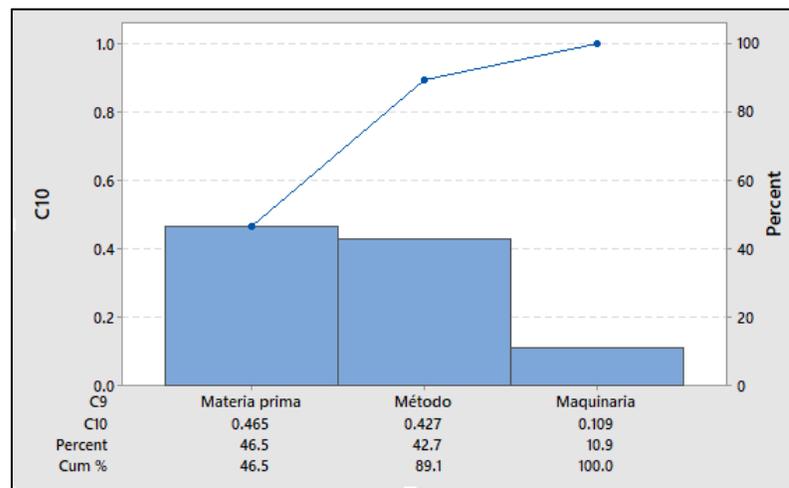
En el gráfico anterior es evidente como las propiedades físicas del colorante es la causal que más incide en el número de defectos de calidad del área de tintorería de TexVa y es válido saber que es uno de los indicadores de la variable materia prima para seguir evaluando su influencia estadísticamente en el siguiente gráfico de pareto.



**Figura 6. Gráfico de pareto de incidencia de los indicadores en los defectos de calidad.**

Del gráfico de Pareto podemos observar las causas que aportan el 80% de los defectos de calidad, las propiedades del colorante con un aporte del 37.8%, la receta de teñido con 21.6% y el incumplimiento del procedimiento con 21.1%, estos dos últimos indicadores están asociados a la variable método. Dejando con aportes menores, pero no menos importantes a las fallas en máquina con un 10.9% y la uniformidad de la tela con 8.7%.

Es importante a continuación realizar un análisis de incidencia por variable por medio del porcentaje global que aportan sus indicadores para lograr concluir qué variable le agrega mayor variabilidad al proceso generando defectos de calidad que necesitan un reproceso para lograr al estándar del cliente.



**Figura 7. Incidencia de las variables independientes en los defectos de calidad**

Se evidencia en el gráfico anterior como la variable materia prima, por medio de sus indicadores de las propiedades físicas del colorante y la uniformidad de la tela logran obtener en conjunto un 46.5% de incidencia en los defectos de calidad, es seguido por la variable método alcanzando entre ambas variables el 89.1% de los defectos de calidad. Según la Ley de Pareto, que nos dice el 20% de la población genera el 80% de los problemas (Borjas, 2005), por lo que es necesario priorizar la gestión de la materia prima y el método para generar una disminución en la frecuencia de defectos.

Para poder generar un cambio importante en la calidad del departamento de tintorería de TexVa se deben gestionar las variables que mayor cantidad de defectos aportan al producto final, enfocando los esfuerzos en las variables críticas, para poder realizar lo anterior se debe hacer una prueba de hipótesis que determine estadísticamente si existe una diferencia en el impacto en la calidad para cada variable, para el presente estudio se realizará una prueba de Kruskal-Wallis ya que los datos a analizar no son normales y por tanto no se puede realizar un ANOVA. Recordando que dicha prueba de hipótesis analiza la diferencia en las medianas de los conjuntos de datos.

**Results for: Kruskal-Wallis (Antes de la mejora)**

**Kruskal-Wallis Test: Frecuencia versus Variable**

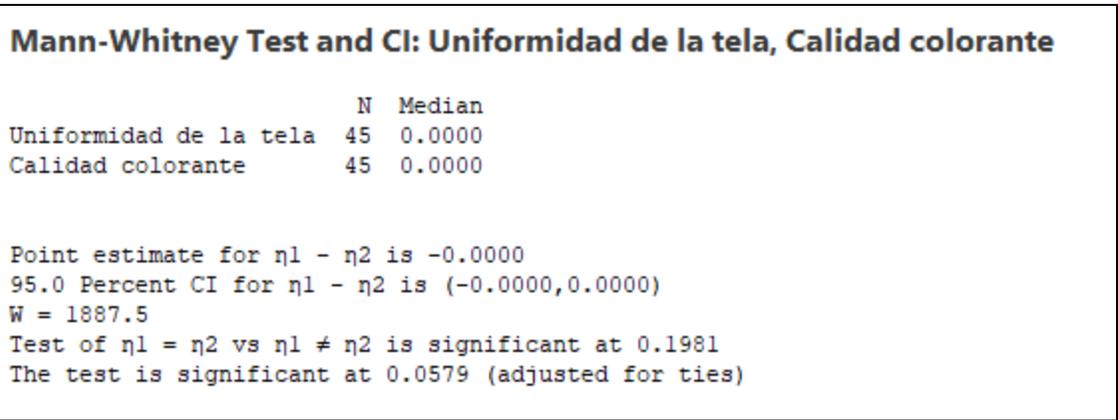
Kruskal-Wallis Test on Frecuencia

Variable	N	Median	Ave Rank	Z
Maquinaria	45	0.000000000	56.4	-2.44
Materia prima	45	0.000000000	73.9	1.23
Método	45	0.000000000	73.8	1.21
Overall	135		68.0	

H = 5.96 DF = 2 P = 0.051  
H = 10.55 DF = 2 P = 0.005 (adjusted for ties)

**Figura 8. Prueba Kruskal Wallis para las variables independientes.**

En conclusión, el resultado muestra un p-value < 0.05 por lo cual existe suficiente evidencia estadística para rechazar Ho y decir que existe una diferencia en las medianas de los conjunto de datos y que para el caso en estudio con un valor de Z de 2.44, la maquinaria es la variable que más se aleja de las otras variables porque es la que aporta el menor porcentaje de defectos de calidad al área de tintorería de TexVa, con un 10.9% de incidencia en los defectos, demostrado en la anterior prueba de incidencia de las variables en los defectos de calidad. El valor Z para la materia prima y el método son muy similares debido a que su rango de incidencia en los defectos es muy cercano entre sí. Al ser necesaria la intervención de la materia prima del proceso, se realiza otra prueba de hipótesis Mann-Whitney aplicado a las dimensiones de la variable: uniformidad de la tela y calidad del colorante, con el objetivo de seleccionar la dimensión que debe gestionarse con prioridad.



**Figura 9. Prueba Mann-Whitney para indicadores de la variable materia prima**

Mediante el resultado de esta prueba concluimos que no existe una diferencia estadística entre las medianas de ambas dimensiones de la materia prima: uniformidad de la tela y calidad del colorante. Por lo tanto, se pueden gestionar en primera instancia cualquiera de las dos dimensiones. Para la gestión de la uniformidad de la tela es requerido un análisis en laboratorio de la prenda previo al proceso de teñido, TexVa cuenta con un laboratorio para realizar este análisis ubicado fuera del plantel de producción. Debido a que el laboratorio para análisis de los colorantes se encuentra ubicado dentro del plantel de producción, se decide realizar primero la gestión en la calidad del colorante realizando pruebas en laboratorio para ajustar la receta de teñido específicamente para cada colorante previo a ser aceptado para su empleo en la producción del área de teñido de prendas de TexVa.

Siguiendo la incidencia de las variables en los defectos de calidad, la siguiente variable a gestionar es el método el cual, por la falta de recursos económicos de la empresa para realizar las pruebas respectivas y la limitante del tiempo del estudio, se acordó con la empresa gestionar en conjunto con la materia prima, la variable maquinaria. Para el estudio de la maquinaria se realizó una prueba Kruskal-Wallis para analizar cuál de las seis máquinas de teñido aporta la mayor incidencia de defectos en la calidad.

**Results for: Prueba de hipótesis para máquinas**

**Kruskal-Wallis Test: Frecuencia versus No. Máquina**

Kruskal-Wallis Test on Frecuencia

No. Máquina	N	Median	Ave Rank	Z
Maquina 1	25	0.000000000	61.5	-1.77
Maquina 2	25	0.000000000	73.7	-0.22
Maquina 3	25	0.000000000	66.9	-1.08
Maquina 4	25	1.000000000	125.2	6.26
Maquina 5	25	0.000000000	61.5	-1.77
Maquina 6	25	0.000000000	64.2	-1.42
Overall	150		75.5	

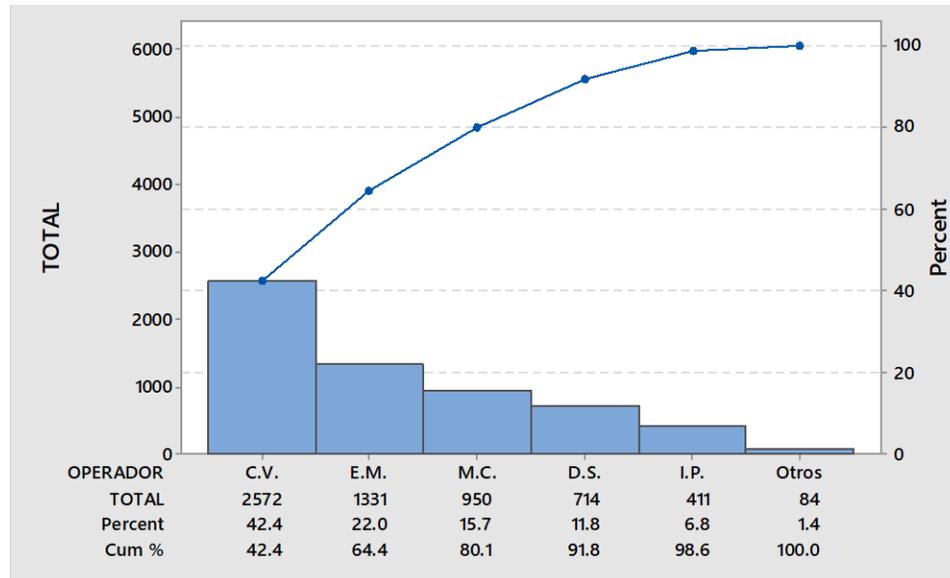
H = 40.57 DF = 5 P = 0.000  
H = 88.01 DF = 5 P = 0.000 (adjusted for ties)

**Figura 10. Prueba Kruskal Wallis para las máquinas.**

P value < 0.05 por lo tanto si existe suficiente evidencia estadística para rechazar Ho, es decir, si existe significancia en la diferencia de las medianas de los defectos que aporta cada máquina a la calidad; el mayor valor para Z es 6.26 que corresponde al conjunto de datos de la máquina cuatro y por tanto es la máquina que aporta mayor variabilidad al proceso y la que debe gestionarse inmediatamente.

#### 4.2. MANO DE OBRA

Es necesario el análisis del desempeño e incidencia de la mano de obra en los defectos de calidad para poder determinar el nivel de capacitación y entrenamiento que cada uno de los operadores posee y cómo se ve reflejado en su habilidad por medio de los resultados de calidad de cada lote elaborado, por lo tanto, en el siguiente gráfico se analizó cada operador y su influencia en los defectos de calidad para determinar quién de ellos impacta en mayor porcentaje en los reprocesos.

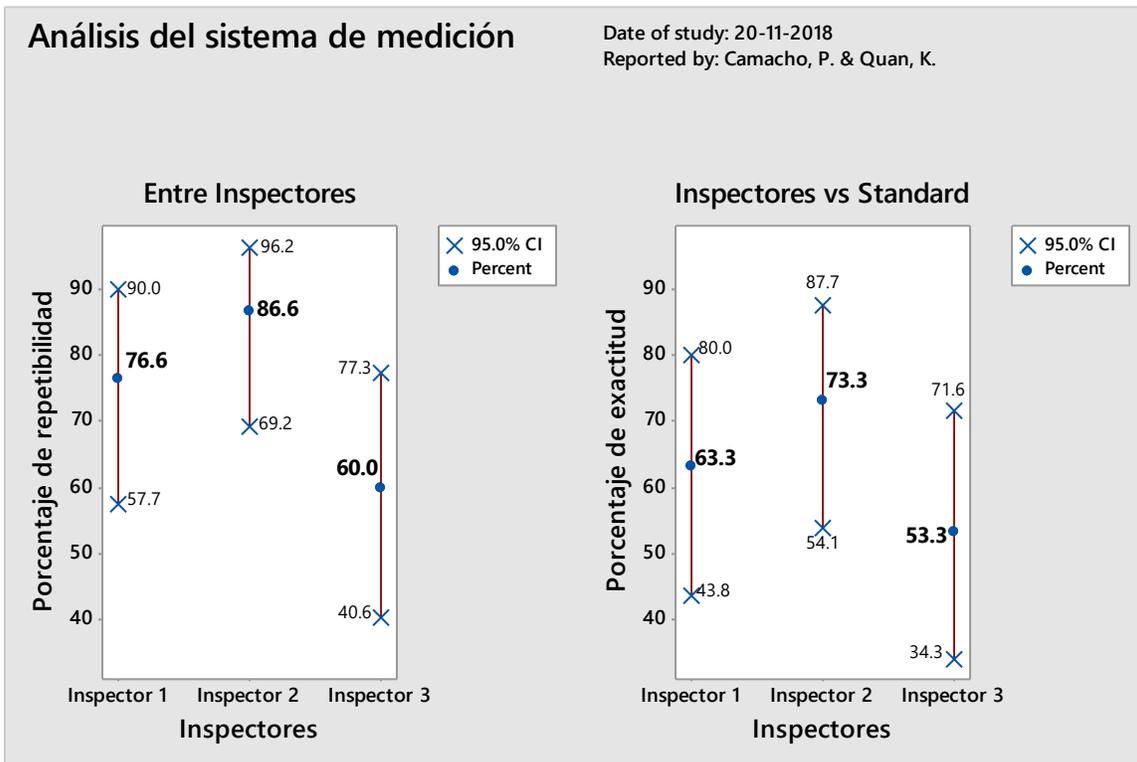


**Figura 11. Análisis de incidencia de la mano de obra en la calidad.**

De seis operadores de maquinaria en el área de teñido de TexVa tres de ellos están relacionados en un 80% con los defectos de calidad, es importante estudiar por qué la frecuencia de los defectos en el producto se incrementa cuando estos tres operadores están a cargo del proceso.

#### 4.3. SISTEMA DE MEDICIÓN

En el siguiente gráfico se muestran los resultados de la eficacia del sistema de medición; análisis realizado mediante un Gage R&R ejecutado en el software Minitab, los parámetros de la prueba realizada son los siguientes: se utilizaron 30 muestras del producto final de las cuales se conocía su resultado de calidad, tres evaluadores de la calidad y se hicieron dos evaluaciones por cada evaluador de la misma muestra.



**Figura 12. Gráfico de resultados del sistema de medición.**

En la anterior figura se observa que el porcentaje de exactitud de los evaluadores de manera individual y global no llegan al porcentaje mínimo de confiabilidad del sistema que es un 80%, lo mismo sucede en la repetibilidad donde el evaluador dos tiene un 86.6% y es el único en el cual se puede confiar de su criterio de aprobación de la calidad al momento de aceptar o rechazar una muestra, en cuanto a la reproducibilidad de los evaluadores el sistema no posee unificación de conceptos y es por ello que se observa tanta diferencia y variación entre ellos en la exactitud y en la repetibilidad de los resultados.

#### 4.4. MEDIO AMBIENTE

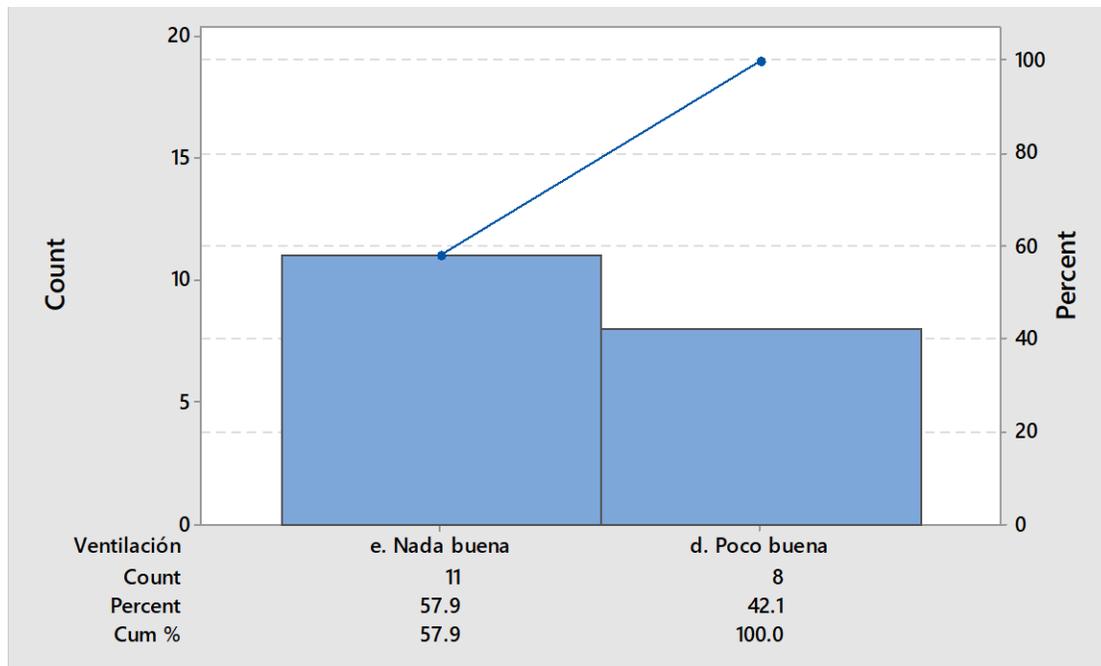
En todo ambiente de trabajo es necesario que se brinden las condiciones necesarias a fin de proveer valores mínimos requeridos de ventilación, iluminación y ruido, establecidos internacionalmente, según el tipo de actividad. En el caso particular del proceso de teñido de TexVa, las actividades se realizan al interior del plantel de producción, en jornadas laborales de

ocho horas diarias, es por ello que siguiendo las recomendaciones de la normativa mexicana de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social los lúmenes requeridos; es decir, el nivel de iluminación de una superficie por metro cuadrado, para este tipo de tarea debe ser de un mínimo 200 Lux (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008). Esta medición debe realizarse a través de luxómetros calibrados para determinar el actual estado del plantel.

En lo referente a la ventilación del plantel, el Instituto Nacional de la Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH) establece que para una carga de trabajo moderada los valores límites permisibles son de 28°C para un consumo metabólico de 201 a 300 kcal/h. En el plantel de producción de TexVa se han registrado lecturas de 40°C mediante dispositivos phmetros, para lo cual el NIOSH establece que, para cargas laborales moderadas, el personal debe descansar durante 30 minutos después de cada 30 minutos de trabajo continuo, y así reducir el riesgo de estrés térmico en el personal (Department of Health and Human Services. CDC. NIOSH, 2016).

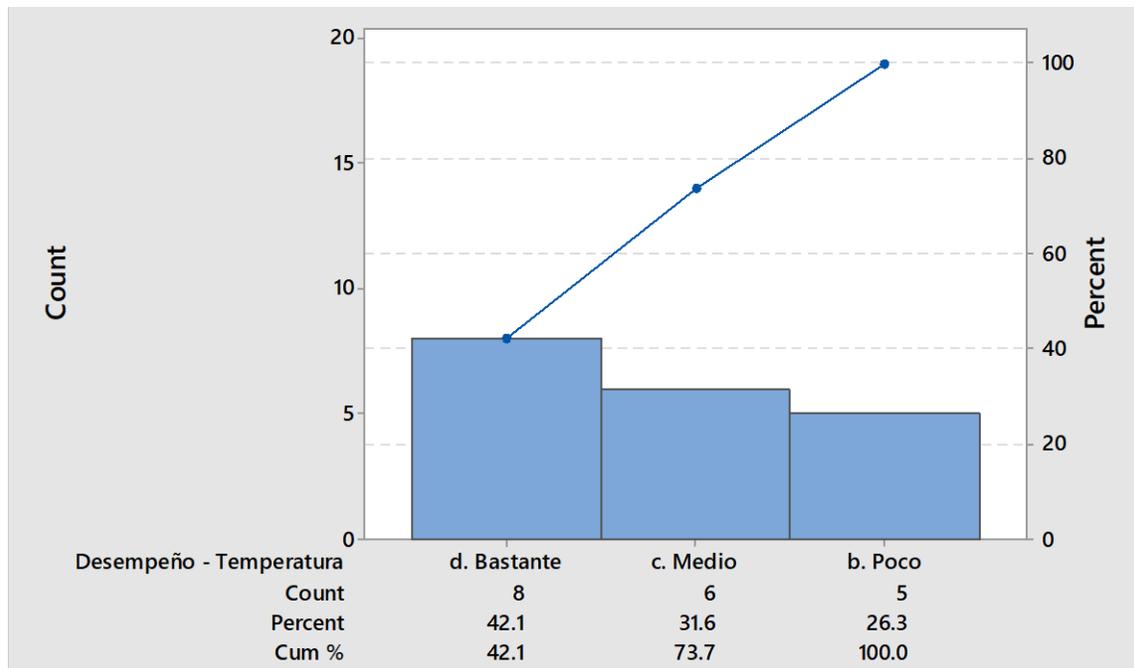
Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT) el límite permisible de decibeles en el lugar de trabajo para una jornada de ocho horas es de 85 decibeles (Organización Internacional del Trabajo) por lo tanto las organizaciones en el sector industrial deben proporcionar a sus colaboradores dispositivos protectores auditivos a fin de velar por su salud. Esta medición debe llevarse a cabo en el plantel en estudio mediante sonómetros calibrados asegurar la salud auditiva del personal. Como se mencionó anteriormente, la limitante de tener acceso a los dispositivos para la medición de estos tres indicadores del medio ambiente y la renuencia de la empresa a invertir en un estudio detallado del mismo se optó por analizar esta variable a través de la perspectiva del personal del proceso.

A continuación, se presenta el análisis realizado a los datos obtenidos por medio de una entrevista realizada a los empleados del departamento de tintorería de TexVa donde se evalúan los indicadores del medio ambiente en el área como ser: la temperatura, el sonido, la iluminación y la contaminación cruzada proveniente de otros procesos. El siguiente gráfico provee información acerca de cómo los empleados el departamento de tintorería en TexVa perciben el nivel de ventilación en el área.



**Figura 13. Percepción del nivel de ventilación en el área de tintorería de TexVa.**

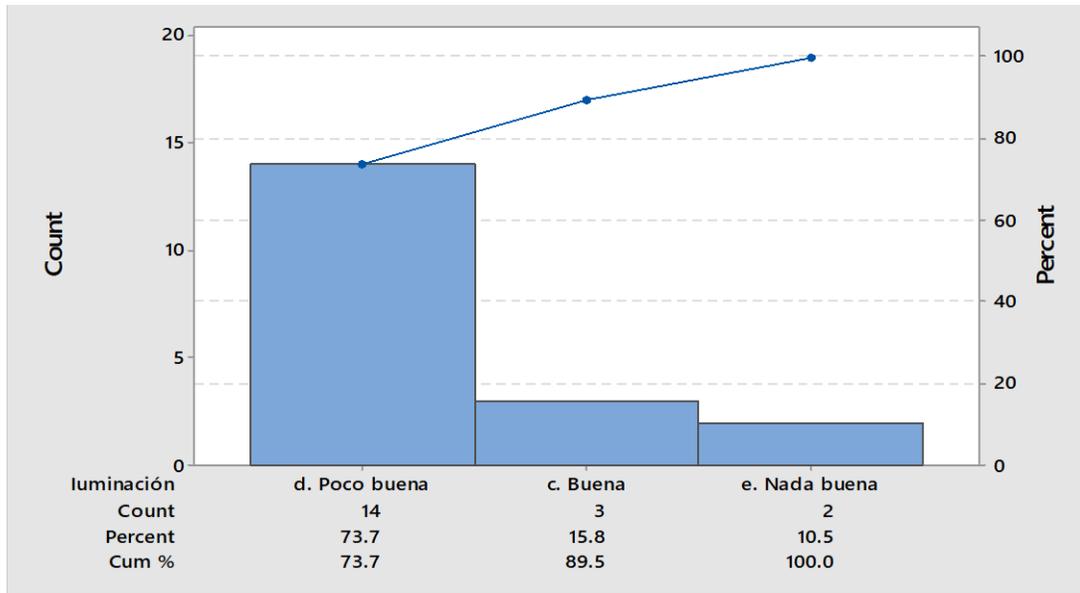
Queda en evidencia que el área de tintorería no posee la ventilación adecuada para la temperatura percibida por los empleados, el 100% de los entrevistados respondió que la ventilación es nada o poco buena. Al obtener el anterior resultado se procede a observar como las personas en el departamento de tintorería de TexVa se ven afectadas en su desempeño por la mala ventilación en el área y por consiguiente la alta temperatura percibida que es característica de la zona norte.



**Figura 14. Influencia de la temperatura en el desempeño del personal.**

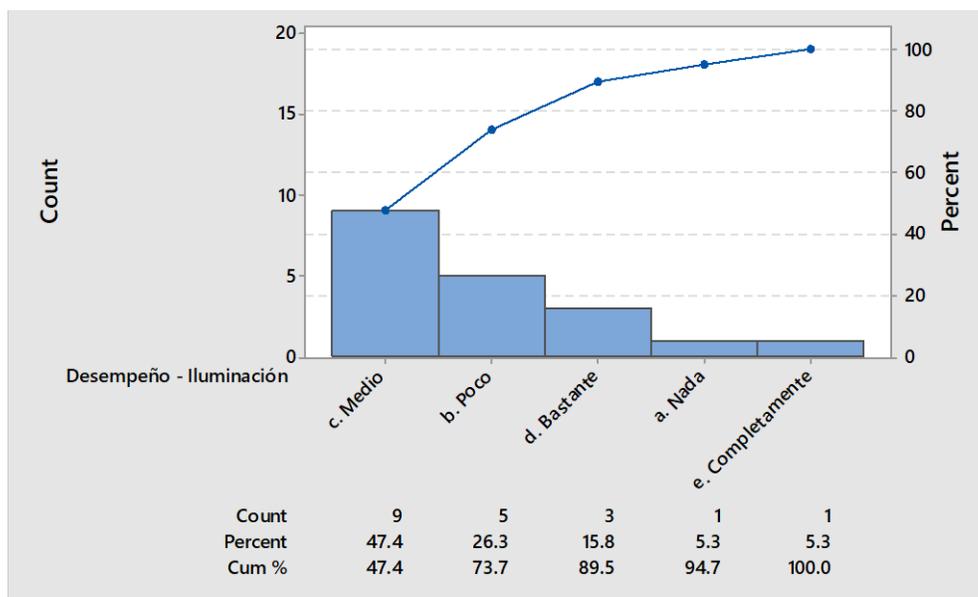
El 73.7% de las personas en el área de tintorería se ve afectada en el desempeño de sus labores debido a la alta temperatura percibida y solo el 26.3% piense que le afecta poco; es importante resaltar que la temperatura en el área sobrepasa los 45°C durante todo el tiempo de operación ya que no solo es la sensación térmica del ambiente de la zona norte la que se percibe, también el calor proviene del vapor utilizado para elevar la temperatura de las máquinas de teñido del proceso.

Se procede a presentar en el siguiente gráfico los resultados del análisis de iluminación en el área de tintorería luego de obtener los datos de las entrevistas realizadas a los colaboradores en TexVa.



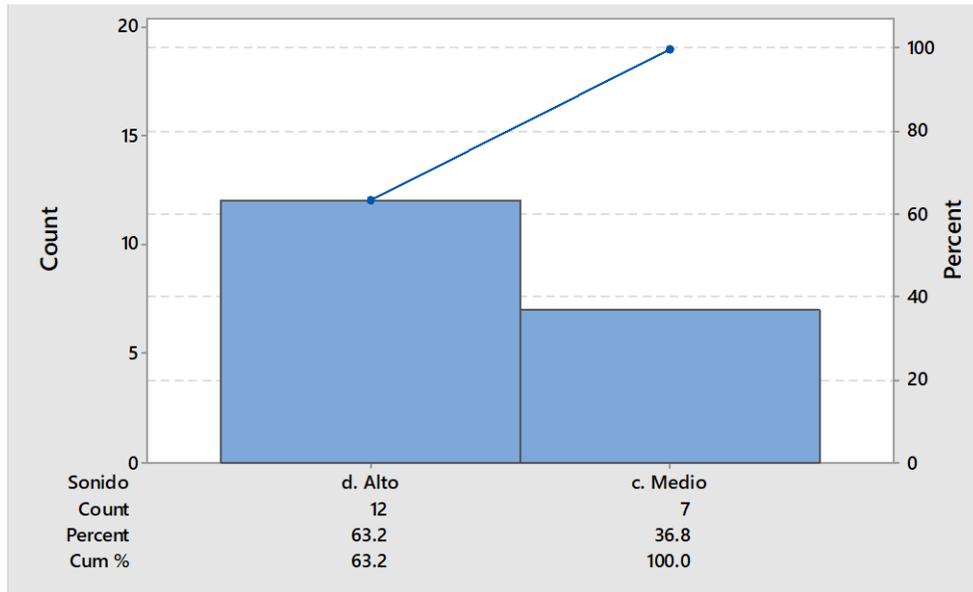
**Figura 15. Percepción del nivel de iluminación en el área de tintorería de TexVa.**

Solamente el 15.8% de los colaboradores percibe la iluminación de la planta como buena, lo que demuestra que al menos el 80% del personal no se encuentra satisfecha lo cual puede afectar el desempeño de sus labores y, por tanto, a continuación, se presenta el análisis de la influencia de la iluminación en las actividades diarias del personal.

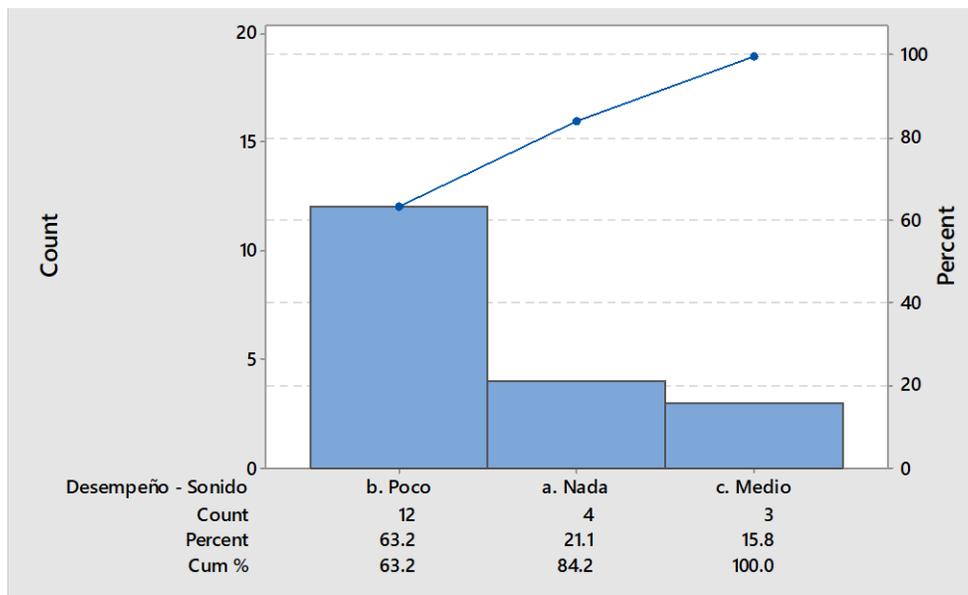


**Figura 16. Influencia de la iluminación en el desempeño del personal.**

Según los resultados observados en el gráfico anterior el 73% del personal coincide en que la iluminación no es un factor que influye negativamente en el desempeño de sus labores. A continuación, se procede a realizar el análisis de la percepción del sonido en el área de tintorería de TexVa y cómo las actividades del personal se ven afectadas por dicho indicador.



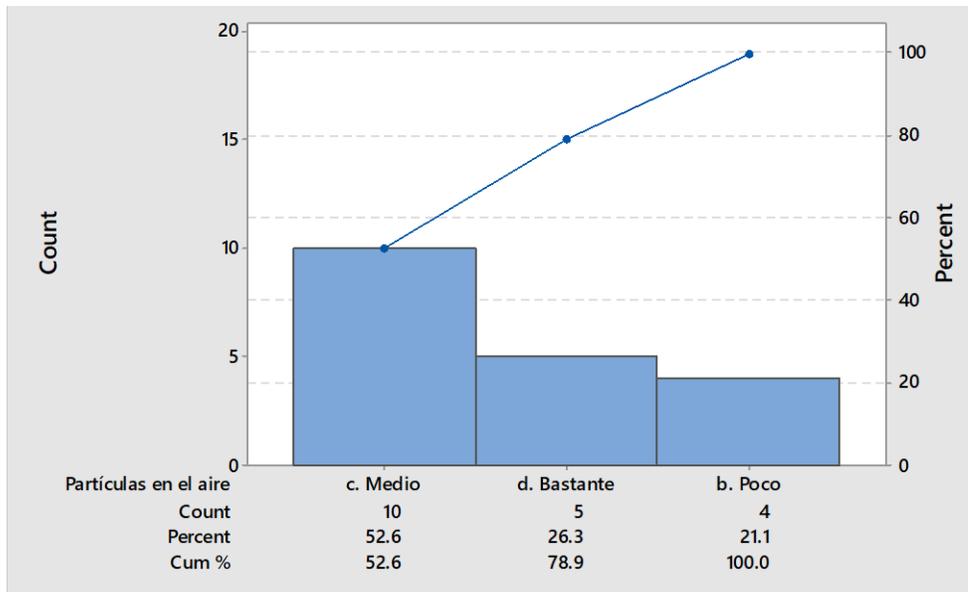
**Figura 17. Percepción del nivel de sonido en el área de tintorería de TexVa.**



**Figura 18. Influencia del sonido en el desempeño del personal.**

En los dos gráficos anteriores se observa que el sonido percibido por el 63% de los colaboradores en el área de tintorería de TexVa es alto, y medio para el 36.8% restante, sin embargo, no se ven afectados en el desempeño de sus labores por este indicador, esto último se puede deber a que existen rigurosos controles de seguridad que hacen obligatorio el uso de tapones para los oídos que permiten aislar el sonido de la maquinaria y así evitar molestias o consecuencias mayores en la salud del personal.

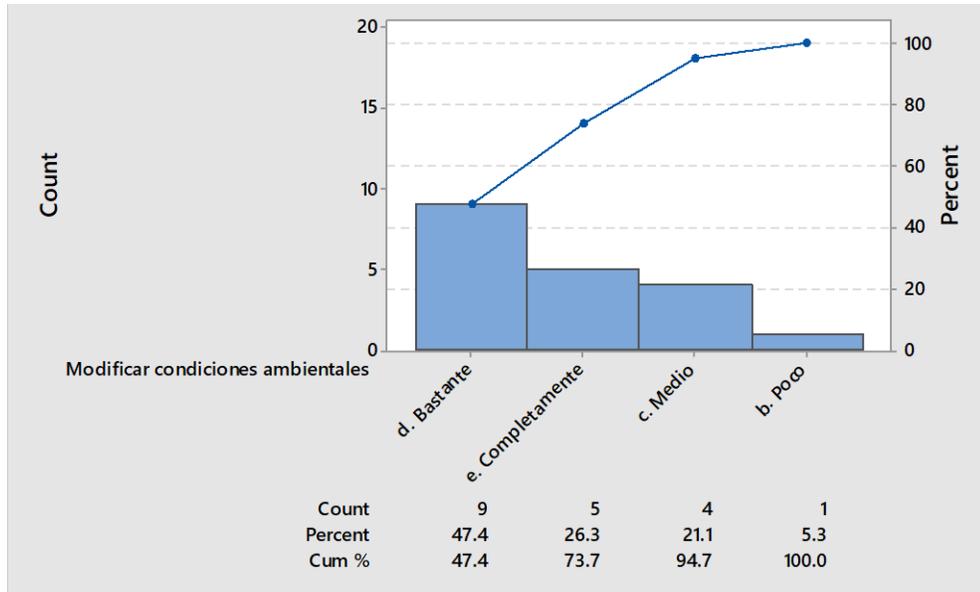
El siguiente gráfico muestra el análisis de los datos para el indicador de contaminación cruzada y la percepción de este por el personal en el área de tintorería de TexVa de la variable del medio ambiente, es decir, la contaminación en el aire que proviene de otros departamentos cercanos como ser el área de calderas que provee hollín, y el área de inspección que provee tamo de diferentes colores y que afectan el proceso y el producto final en el departamento de teñido.



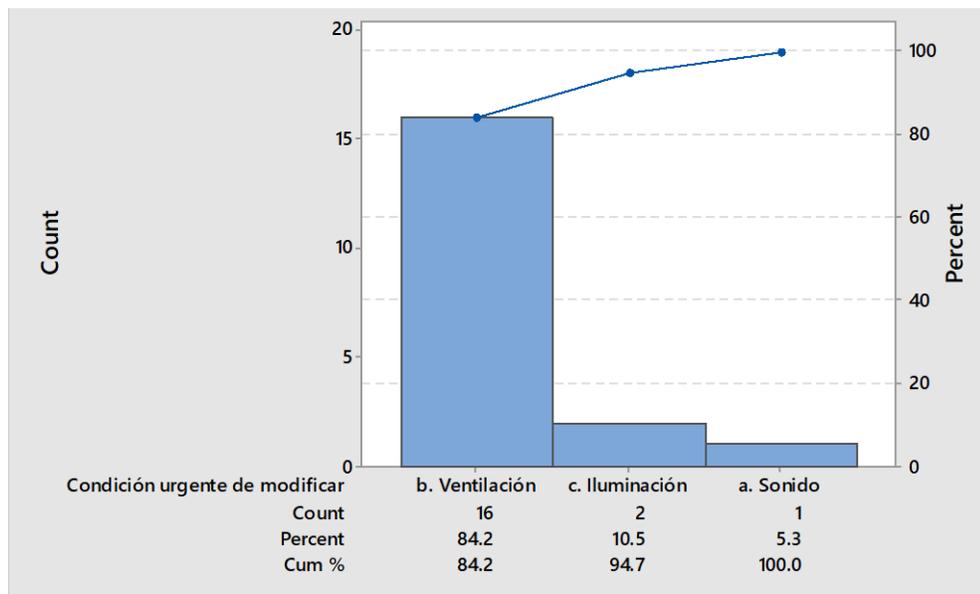
**Figura 19. Percepción del nivel de contaminación cruzada en el aire.**

Se percibe por el 78.9% de los colaboradores una contaminación cruzada en el aire, lo que puede afectar fuertemente la calidad del producto final de tintorería durante y al final del proceso, así como la salud del personal. A continuación, se presentan los últimos dos gráficos de análisis para la variable medio ambiente donde se muestran los resultados generales de si el personal considera necesario cambios y controles en los indicadores de temperatura, iluminación, sonido y

contaminación cruzada en el departamento de tintorería, así también, se muestra los resultados de la entrevista al cuestionar cuál es el factor más urgente para controlar.



**Figura 20. Necesidad de cambios y/o controles en las condiciones ambientales.**



**Figura 21. Condición ambiental urgente de modificar en el área de tintorería.**

Los resultados de los gráficos anteriores muestran que el personal ve la necesidad de cambios en los indicadores ambientales, sobre todo en la ventilación del área donde el 84% del personal considera urgente su gestión para reducir la sensación térmica percibida debido a las altas temperaturas en las que actualmente laboran y por las cuales se ve afectado su desempeño.

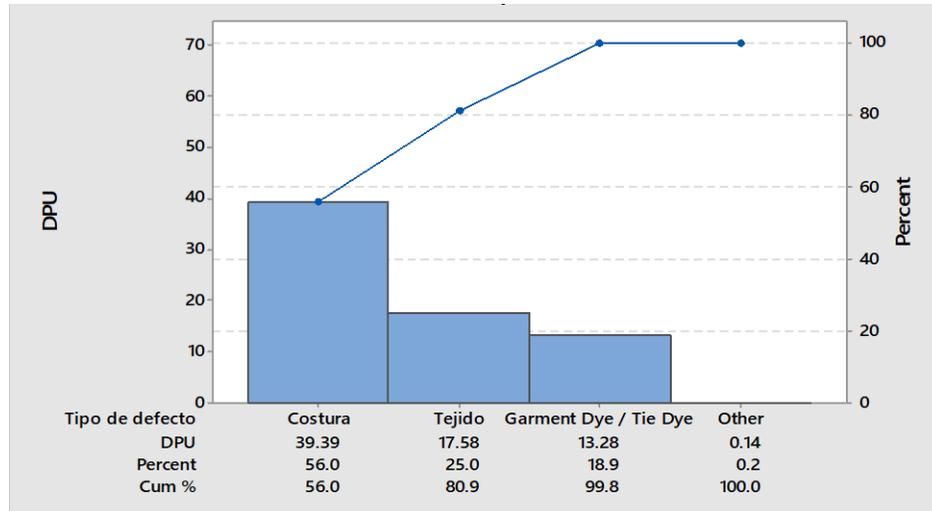
#### 4.5. APLICACIÓN METODOLOGÍA DMAIC

Como se definió en el Capítulo III, la metodología DMAIC consta de cinco pasos fundamentales que tienen un orden lógico definido y se listan de la siguiente forma: definir, medir, analizar, implementar o mejorar y controlar. Cada uno de estos pasos de la metodología cuenta con herramientas estadísticas que permiten estudiar y analizar a fondo el proceso en estudio, por lo que a continuación se procede a detallar la forma en que se procesaron cada uno de los pasos de la metodología, las herramientas que se emplearon y los resultados obtenidos a partir de ello.

##### 1) DEFINIR

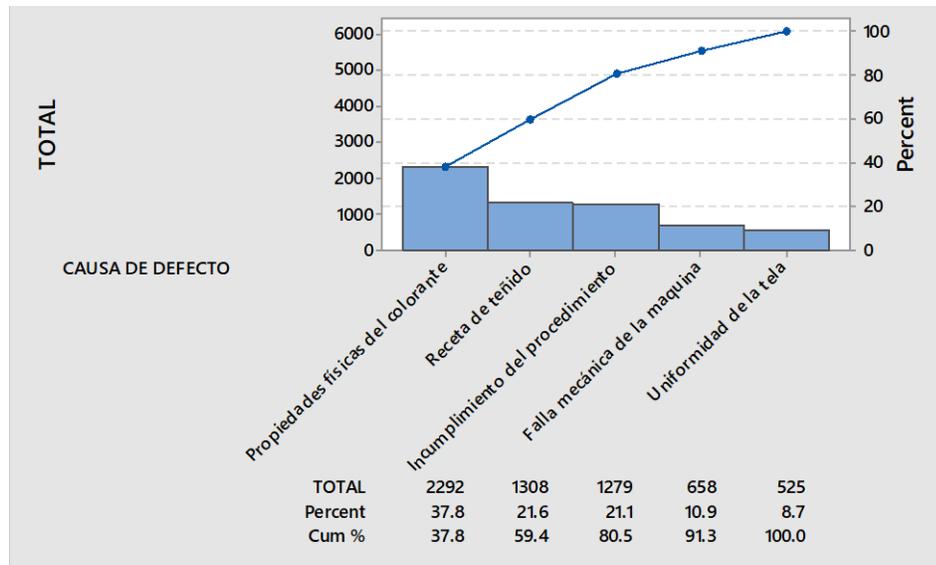
Es la primera etapa de la metodología, donde se define el proceso en estudio, analizando todos los problemas y métricas, se señala cómo afecta al cliente y se precisan los beneficios esperados del proyecto; además, se establece quienes son los responsables o propietarios del proceso y el equipo que ejecutará las acciones a implementar. Se puede resumir, que esta etapa de la metodología define las variables que afectan el proceso y los posibles resultados de este. Esta etapa se compone de dos pasos:

Paso 1: Seleccionar las características de entrada es decir las variables independientes del proceso. Para comenzar el análisis de las características de entrada se debe comenzar de lo general a lo específico para lograr enfocar los esfuerzos en las variables correctas para generar un cambio significativo que reduzca la variabilidad del proceso para llevarlo bajo control para luego proceder a su ajuste en los límites de especificación del cliente y lograr tener un proceso capaz bajo control. A continuación, se presenta un gráfico donde se observan los resultados del área de inspección final en cuanto a la cantidad de defectos que aporta cada área de la estructura vertical de TexVa.



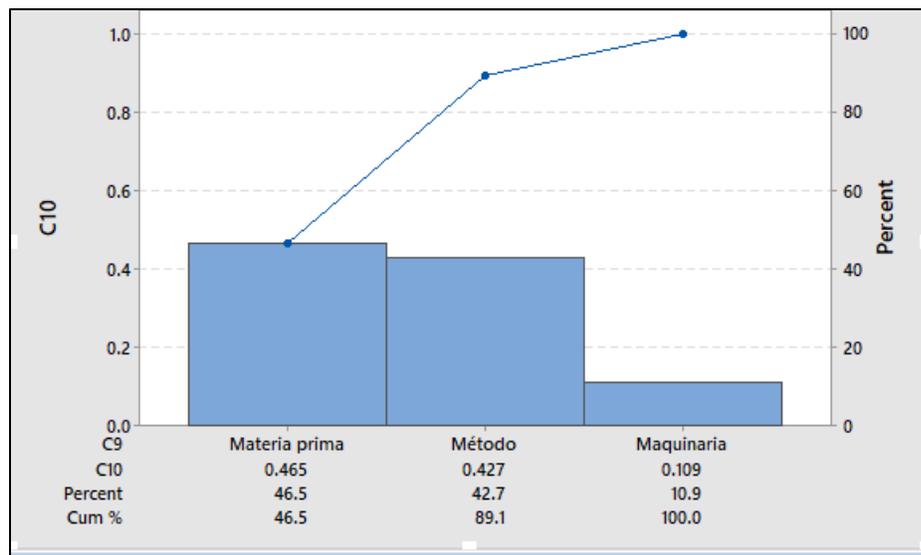
**Figura 22. Defectos por unidad que aporta cada departamento de TexVa.**

El 80% de los defectos los aporta el departamento de costura y tejido, se recomienda hacer un proyecto de mejora en dichas área para su gestión y reducción de defectos que proveerán a la empresa ahorros significativos; sin embargo, el objetivo y alcance de este estudio se basa en el enfoca en el área de tintorería que aporta el 18.9% de los defectos globales y para el cual se desarrolla el proyecto seis sigma esperando lograr una reducción en la variación del proceso y en consecuencia una reducción de los defectos que se traduce en mejora de la calidad y ahorros económicos para la organización. Haciendo un Pareto de segundo nivel se procede a presentar los resultados de los porcentajes de las causas potenciales de defectos que se presentan solamente en el área de tintorería.



**Figura 23. Causas de defectos en el área de tintorería en TexVa.**

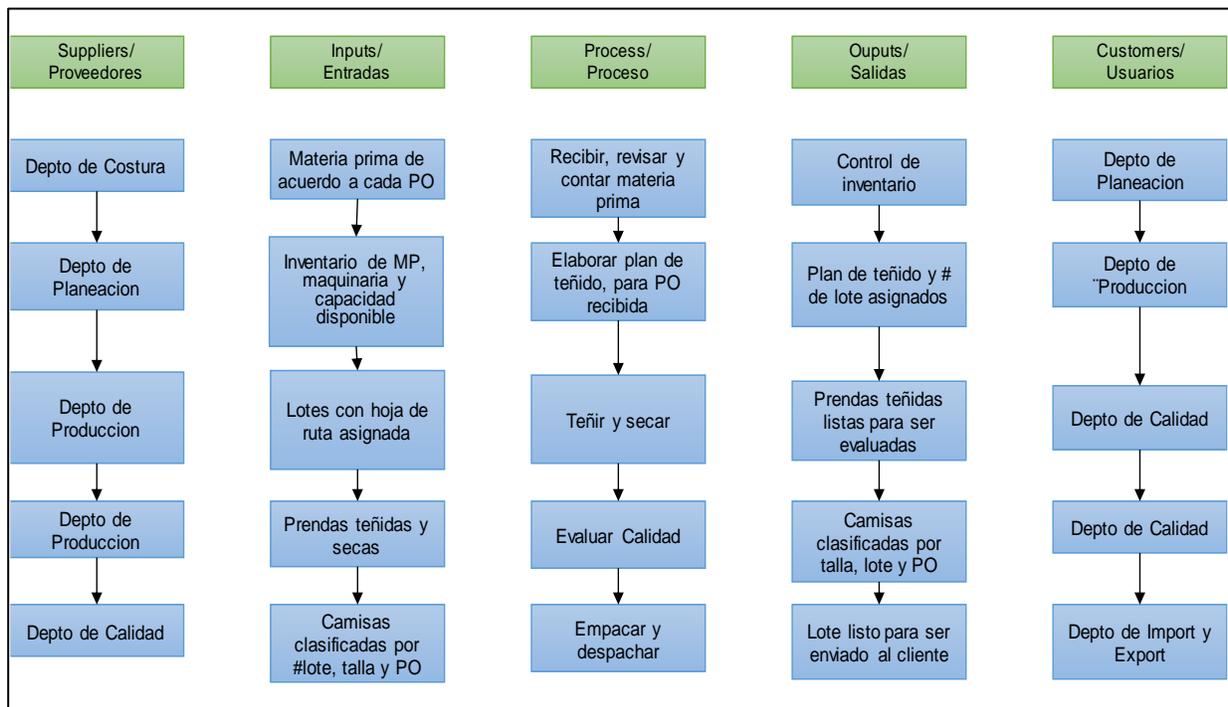
Para lograr resultados evidentes lo ideal es centrarse en las causas que aportan el 80% de los defectos; el gráfico anterior muestra los aportes de los indicadores de cada variable independiente, donde se observa las propiedades del colorante, receta de teñido e incumplimiento de la receta como causas potenciales; en el siguiente gráfico se hace el análisis por variable independiente.



**Figura 24. Impacto de las variables independientes en los defectos de calidad.**

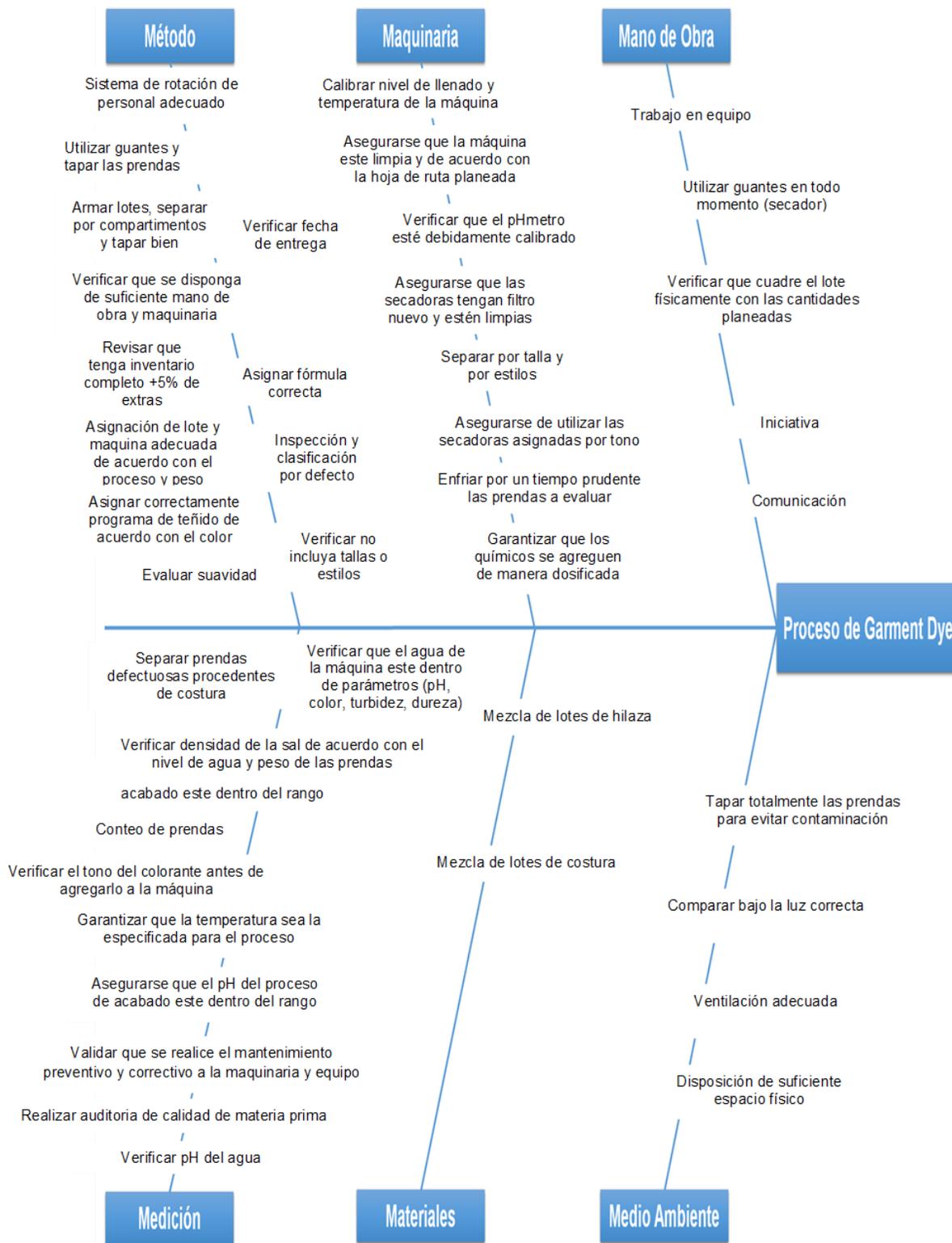
La materia prima y el método son las variables independientes que aportan mayor cantidad de defectos de calidad, sin embargo, no se puede concluir de cuál de ellas es la que más impacta hasta realizar un análisis estadístico.

Paso 2: Identificar entradas y salidas del proceso; las herramientas por utilizar son: SIPOC, diagrama de Ishikawa y mapa del proceso. Se comienza mostrando el SIPOC para el proceso de tintorería, donde se detallan las etapas de proceso más importantes con sus entradas, salidas, clientes y proveedores.



**Figura 25. SIPOC del departamento de tintorería TexVA.**

Del diagrama anterior se obtiene el panorama general del proceso de tintorería donde se puede observar rápidamente los clientes y proveedores internos de cada etapa del proceso, así como las salidas y entradas que permiten que el flujo del proceso sea el correcto. Se procede a mostrar el diagrama de Ishikawa para hacer el análisis de las causas que impactan en los resultados del área de tintorería de TexVa y el mapa de procesos donde se muestra más a detalle el proceso y las etapas que agregan valor.



**Figura 26. Diagrama de Ishikawa para el departamento de tintorería de TexVA.**

Entrada		Proceso		Sálidas	
Correo de notificación: # P.O, cliente, estilo, color, cantidades por tallas, estandar aprobado por el cliente, fecha de exportación.		Recibir la P.O	NVA	Plan de teñido: calculo de la cantidad de lotes a procesar, consumo y costos del proceso.	Yi
Prendas de la P.O	Xi	Recibir materia prima contra P.O (Conteo y clasificación)	VA	Inventario cotejado con P.O	Yi
Prendas e inventario revisado de la P.O	Xe	Auditar materia prima	VA	Decisión: Aprobación o rechazo de las prendas y se debe regresar a proveedor.	Yi
Plan de teñido e Inventario de aprobación de prendas	Xi	Generar hoja de ruta	VA	# lote, tamaño de lote, peso de lote, color, tallas, # maquina, # secadora.	Yi
Hoja de ruta		Entregar hoja de ruta a preparador de carga	NVA		
Hoja de ruta	Xi	Alistar lote según el proceso y maquina	VA	Carga armada, pesada y separada por compartimentos de la maquina	Yi
Hoja de ruta y carga armada		Entregar hoja de ruta y las prendas al supervisor	NVA		
Hoja de ruta	Xi	Llevar hoja de ruta a producción	NVA		
Hoja de ruta: Peso, color, # lote, maquina.	Xi	Generar formula de teñido	VA	Formula de proceso y quimicos, hoja de procedimiento, formula de colorante y requisición a bodega	Yi
Formula de colorante y requisicion a bodega, formula de proceso		Entrega formula de colorante a pesador y formula de proceso a operador de maquina	NVA		
Prendas, formula de proceso y quimicos, formula de colorantes y hoja de ruta.	Xi	Cargar la maquina con la MP	NVA	Máquina cargada	Yi
Formula proceso, formula de colorantes.	Xe	Pesar los quimicos y colorantes	VA	Quimicos y colorantes pesados	Yi
Formula de proceso y hoja de ruta	Xi	Configurar el programa y el peso del lote en la maquina	VA	Maquina configurada	Yi
Agua	Xi	Esperar llenado de agua de maquina y absorción de la fibra	NVA	Fibra humectada	Yi
Quimicos primarios	Xi	Agregar quimicos primarios	VA	Químico primario en la maquina	Yi
Quimico en tanque de la maquina	Xi	Dosificar químico primario	VA	Quimico en el baño de proceso	Yi
Muestra del baño, salinómetro, tabla de densidad	Xi	Verificar la densidad del baño de proceso	VA	Confirmación para avance. Agregar decision: Si la lectura esta fuera de rango, se corrige la cantidad de sal(si esta muy baja la lectura) o la cantidad de agua (en caso que este muy baja)	Yi
		Esperar tiempo de disolución	NVA		
Quimicos auxiliares	Xi	Agregar quimicos auxiliares	VA	Químico auxiliar en la maquina	Yi
Quimicos auxiliares en tanque de la maquina	Xi	Dosificar quimicos auxiliares	VA	Quimicos auxiliares en baño de proceso	Yi
Visualización del tanque de la maquina	Xi	Verificación de residuos de químico	VA	Confirmación para avance. Para verificar que no haya residuos de químico en el tanque. Si hay residuos hacer retrolavado	Yi

Figura 27. Mapa de procesos del área de tintorería de TexVa.

Colorante pesado	Xi	Tamizar y agregar colorante a tanque	VA	Colorante en tanque de reserva	Yi
Muestra de solución de colorante (para evaluar tono del mismo)	Xi	Verificación de color en tanque	VA	Confirmación para avance y proceder a agregar la solución de colorante. Decisión: Si esta bien se procede a confirmar, si esta malo se dreña el colorante y se manda a pesar nuevamente.	Yi
	Xi	Esperar homogenización	NVA		
Químico regulador de pH	Xi	Agregar por dosificación el regulador de pH	VA	Confirmación para avance. Para verificar que no haya residuos de químico en el tanque. Si hay residuos hacer un retrolavado.	Yi
Muestra del baño de proceso	Xi	Verificar el pH	VA	Confirmación para avance. Para verificar que el pH este dentro de rango, si no corregirlo y repetir el paso de verificación.	Yi
Análisis visual, medición de temperatura	Xi	Esperar que la Temperatura llegue al valor configurado del programa y mantener el tiempo de trabajo	VA	Confirmación para avance. Si esta en el valor seteado avance, sino llamar a mantenimiento.	Yi
		Drenar el baño	NVA		
Agua y vapor	Xi	Enjuagar a la temperatura especificada	VA	Fibra lista para jabonado	Yi
Detergente, neutralizador	Xi	Agregar detergente y neutralizar	VA	Fibra jabonada y neutralizada	Yi
Agua	Xi	Enjuagar para eliminar detergente	VA	Fibra libre de residuos	Yi
Agua, vapor, análisis visual		Esperar llenado de agua de la maquina y temperatura especificada	NVA	Confirmación para avance. Si esta en el valor seteado avance, sino llamar a mantenimiento.	Yi
Muestra del baño de proceso	Xi	Verificar pH del baño	VA	Confirmación para avance. Para verificar que el pH este dentro de rango, si no corregirlo y repetir el paso de verificación.	Yi
Suavizante	Xi	Agregar suavizante al tanque	VA	Suavizante en el tanque	Ye
Suavizante en el tanque	Xi	Dosificación de suavizante	VA	Confirmación para avance. Para verificar que no haya residuos de suavizante en el tanque. Si hay residuos hacer un enjuague y enviar a la maquina.	Yi
		Esperar tiempo de absorción	VA		Yi
		Drenar el baño y exprimir la prenda	NVA	Prenda teñida	Yi
Prenda teñida, hoja de ruta y formula de proceso		Enviar a secado		Prenda lista para secar	Yi
Prenda con formula de proceso y hoja de ruta	Xi	Secar	NVA	Prenda seca	Yi
Prenda seca	Xi	Dar tiempo de reposo	VA	Prenda lista para evaluación	Yi
Muestra de la prenda para evaluación	Xi	Revisar producto contra estandar	VA	Resultado visual y lectura del espectrofotometro. Si esta dentro de rango se aprueba, si no enviar a producción nuevamente	Ye
Prenda con formula de proceso y hoja de ruta		Entregar lote a control de calidad	NVA	Carga clasificada por talla y PO, con su hoja de ruta	Yi
Carga clasificada por talla y PO, con su hoja de ruta		Doblar y empacar	NVA	Carga doblada y empacada con su hoja de ruta, a la espera de completar la P.O	Yi
Carga con la P.O completa	Xi	Entregar a Import & Export	NVA	Producto final listo para exportación	Ye

Continuación de figura 27.

Las imágenes anteriores son una representación gráfica del proceso actual de tintorería en TexVa, proporcionan información basados en hechos como base para entender y analizar los problemas actuales, facilita la identificación de oportunidades de mejora en el proceso y la definición de las variables independientes críticas.

## 2) MEDIR

La segunda etapa donde se logra obtener un mejor entendimiento del proceso, validar métricas, verificar que el sistema de medición puede medir bien y determinar situación actual general.

Paso 3: Analizar los modos de falla y efecto; la herramienta por utilizar es: AMEF.

**Tabla 9. AMEF para modo de falla materia prima.**

Procesos:	Modo Potencial de la Falla	Efecto(s) potencial de la Falla	SEV	Causa/Mecanismo de la Falla Potencial	OCC	Controles actuales del proceso	DIET	RPN	Acción(s) Recomendadas	Responsable Fecha de Compromiso	Resultado(s) de las Acciones
Preparado	Materia Prima	Mala Calidad	8	Uniformidad de la tela (composicion)	3	Revisión de inventario y verificación de cotejo de lotes de acuerdo a PO	7	168	Creación de un sistema que evalúe la trazabilidad e integridad del lote desde tejido hasta costura. Crear una ubicación específica por talla y estilo para evitar confusiones.	Jefe de Calidad / Jefe de Planeación Diciembre 2018	Mejorar la calidad final de las prendas
				Talla de la prenda							
			9	Propiedades físicoquímicas de colorantes	6	Verificación visual del colorante disuelto contra el tono estándar establecido por pruebas anteriores	4	216	Establecer como procedimiento la evaluación del tono de cada colorante, cada vez que se cambie de lote.	Supervisor de producción de teñido	Asegurar que el tono final del colorante sea el esperado

**Tabla 10. AMEF para modo de falla método y maquinaria.**

Procesos:	Modo Potencial de la Falla	Efecto(s) potencial de la Falla	SEVERIDAD	Causa/Mecanismo de la Falla Potencial	OCCURRENCIA	Controles actuales del proceso	DET	RPN	Acción(s) Recomendadas	Responsable Fecha de Compromiso	Resultado(s) de las Acciones
Auditoria de procesos	Metodo	Mala Calidad	5	Reproducibilidad de la receta	3	Revisión del tono en la prenda de maquinas de desarrollo contra la prenda de producción.	5	75	Crear archivo que permita llevar un control del comportamiento del color en las distintas maquinas	Jefe de Teñido / De inmediato	Poder predecir el comportamiento del desarrollo del color por maquina
			6	Ejecución apropiada del procedimiento	3	Seguimiento del procedimiento correspondiente al programa de teñido en la maquina	4	72	Generar un estadístico donde podamos recoger los datos recolectados de cada parte del proceso de teñido.	Asistente de Produccion / De inmediato	Mejor control estadístico de los pasos críticos del proceso
			4	Control e inspección del procedimiento	3	Hojas de verificación	4	48	Crear un check list por proceso y por lote independiente de la receta o formula de teñido.	Asistente de Produccion / De inmediato	Aseguramiento del cumplimiento del procedimiento
Mantenimiento	Maquinaria	Mala Calidad	8	Planes de calibración de maquinaria y equipo		No hay	5	360	Enlistar maquinaria y equipo utilizado en el proceso que requiera de una calibración y planificar con mantenimiento las fechas de acuerdo al plan de teñido	Jefe de Mantenimiento / Diciembre 2018	Garantizar que el equipo de medición este operando en condiciones optimas y sin variación
			8	Certificados de calibración de equipo y maquinaria	9	No hay	5	360	Definir procedimiento de creación de dicho certificado y en que casos aplique	Jefe de Mantenimiento / Diciembre 2018	Conocimiento de todas las partes involucradas, acerca del mantenimiento del mismo
				Plan de mantenimiento preventivo y correctivo		No hay	5	360	Enlistar maquinaria y equipo utilizado en el proceso que requiera mantenimiento preventivo y correctivo, definir fechas estrategicas.	Jefe de Mantenimiento / Diciembre 2018	Garantizar que la maquinaria y el equipo este operando en condiciones optimas y sin variación

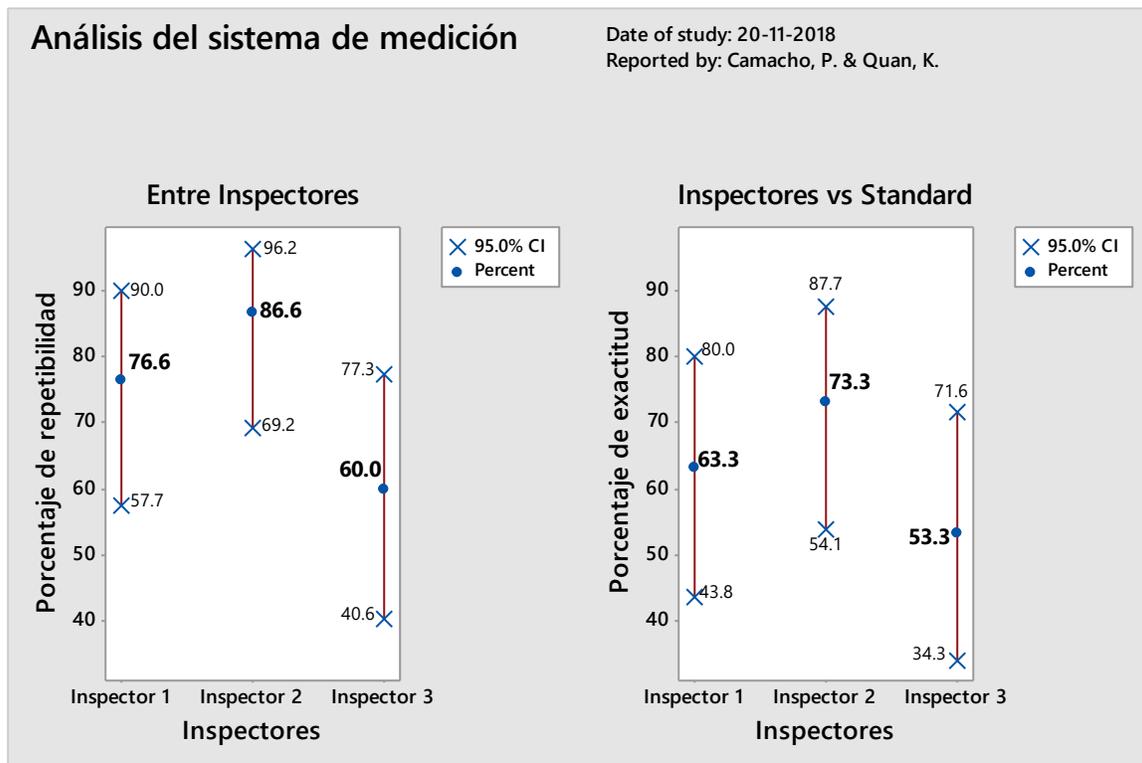
**Tabla 11. AMEF para modo de falla mano de obra, medición y medio ambiente.**

Procesos:	Modo Potencial de la Falla	Efecto(s) potencial de la Falla	SEV	Causa/Mecanismo de la Falla Potencial	OCC	Controles actuales del proceso	DET	RPN	Acción(s) Recomendadas	Responsable Fecha de Compromiso	Resultado(s) de las Acciones
Teñido	Mano de Obra	Mala Calidad	2	Capacitación y actualización del personal en nuevos procedimientos	1	Mediante reuniones informativas y pruebas de implementación de cambios	5	10	Implementar un plan de capacitación continua a través del depto de ingeniería	Jefe de Ingeniería / Enero 2019	Asegurar que todo el personal este capacitado y actualizado con los procedimientos
				Entrenamiento adecuado del personal para seguir los procedimientos establecidos		Seguimiento del desempeño del personal hasta validar su capacidad.			Dar seguimiento por parte del instructor de ingeniería hasta que complete su entrenamiento	Jefe de Ingeniería / Enero 2019	Personal capaz y proceso seguro
Teñido	Sistema de Medicion	Mala Calidad	6	Repetibilidad para reducir la variacion entre mediciones	3	no hay	10	180	Recolectar y tabular todos aquellos datos del proceso que se miden mediante un instrumento, para evaluar su repetibilidad.	Asistente de Produccion / De inmediato	Mejor control del proceso de medicion
				Reproducibilidad para reducir la variacion entre distintas personas		no hay			Recolectar y tabular todos aquellos datos del proceso que se miden mediante un instrumento, para evaluar su reproducibilidad.	Asistente de Produccion / De inmediato	Mejor control del proceso de medicion
				Exactitud para mantenerse cerca del patron establecido como estandar		no hay			Recolectar y tabular todos aquellos datos del proceso que se miden mediante un instrumento, para evaluar su exactitud.	Asistente de Produccion / De inmediato	Mejor control del proceso de medicion
Auditoria SOP	Medio Ambiente	Mala Calidad	1	Iluminación adecuada para que el personal operativo pueda llevar a cabo correctamente sus funciones	1	Se debe solicitar a mantenimiento para que habilite la iluminacion artificial	7	7	Realizar un estudio que determine si la iluminacion debe permanecer las 24 horas encendidas para asegurar las condiciones minimas de operación	Jefe de Seguridad e Higiene / Junio 2019	Condiciones seguras e higienicas para todo el personal
				Sensación térmica que influya en el adecuado desempeño del personal		Reportar el mal funcionamiento de extractores o fugas en tuberías de vapor o drenajes abiertos.			Realizar un estudio que determine si la temperatura y los sistemas de ventilacion y acondicionamiento son los adecuados para asegurar las condiciones minimas de operación	Jefe de Seguridad e Higiene / Junio 2019	Condiciones seguras e higienicas para todo el personal
				Contaminación cruzada por tamo, residuos y colorante foraneo		Aislar las prendas con cobertores y reportar el exceso de contaminacion y sus fuentes			Realizar un estudio que determine las fuentes de contaminacion para asegurar las condiciones minimas de operación	Jefe de Seguridad e Higiene / Junio 2019	Condiciones seguras e higienicas para todo el personal

Los gráficos anteriores muestran el resumen de documentación de lo que los investigadores del presente estudio evaluaron que puede ser un riesgo para el cliente, muestra qué acción realizar si alguno de los procesos y sus entradas fallan, contiene recomendaciones e implementación de mejoras que minimizan el riesgo. Al asignar valores de severidad, ocurrencia y nivel de detección para cada causa se obtiene el número de prioridad de riesgo (RPN), el cual se utiliza para priorizar las acciones recomendadas. Se debe prestar atención a las clasificaciones de alta severidad incluso si la frecuencia y la detección son bajas.

Para el presente estudio la calidad del colorante, de la fibra y la maquinaria tienen mayor puntuación en la severidad por tanto se recomienda acciones en dichas variables para reducir los riesgos de generar mala calidad por defectos de las causas antes mencionadas.

Paso 4: Analizar el Sistema de medición; la herramienta por utilizar es: estudio de gage R&R. A continuación, se procede a presentar los resultados del estudio.



**Figura 28. Gráfico de resultados de Análisis gage R&R.**

Attribute Agreement Analysis for Results				
Within Appraisers				
Assessment Agreement				
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Inspector 1	30	23	76.67	(57.72, 90.07)
Inspector 2	30	26	86.67	(69.28, 96.24)
Inspector 3	30	18	60.00	(40.60, 77.34)

# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

**Figura 29. Resultado para la repetibilidad.**

En la figura anterior se observa que solo uno de los inspectores posee un porcentaje de repetibilidad mayor a 80%.

Each Appraiser vs Standard				
Assessment Agreement				
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Inspector 1	30	19	63.33	(43.86, 80.07)
Inspector 2	30	22	73.33	(54.11, 87.72)
Inspector 3	30	16	53.33	(34.33, 71.66)

# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

**Figura 30. Resultado para la exactitud de cada inspector contra el estándar.**

Ninguno de los inspectores llega al mínimo valor de 80% de exactitud para dar confiabilidad en sus resultados.

<b>Between Appraisers</b>			
Assessment Agreement			
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	11	36.67	(19.93, 56.14)
# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.			

**Figura 31. Resultado para la reproducibilidad.**

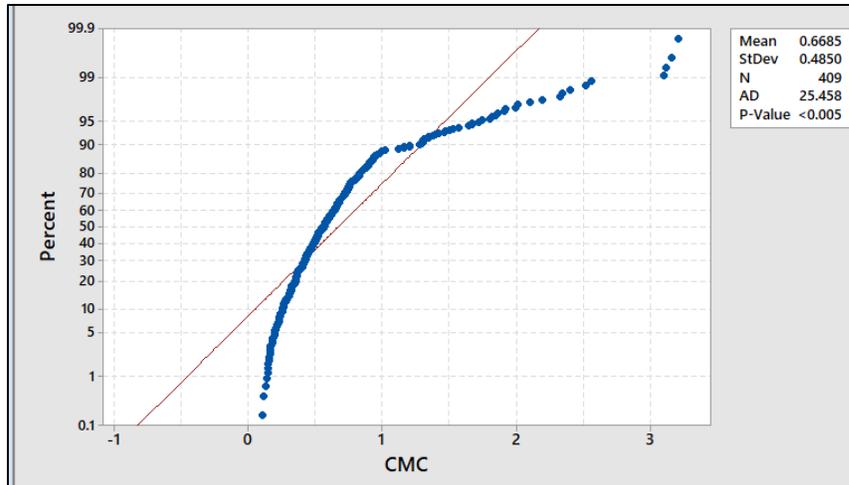
No existe reproducibilidad entre los inspectores, lo cual muestra que no existe unificación de criterios de evaluación.

<b>All Appraisers vs Standard</b>			
Assessment Agreement			
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	10	33.33	(17.29, 52.81)
# Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.			

**Figura 32. Resultado de exactitud global del sistema de medición.**

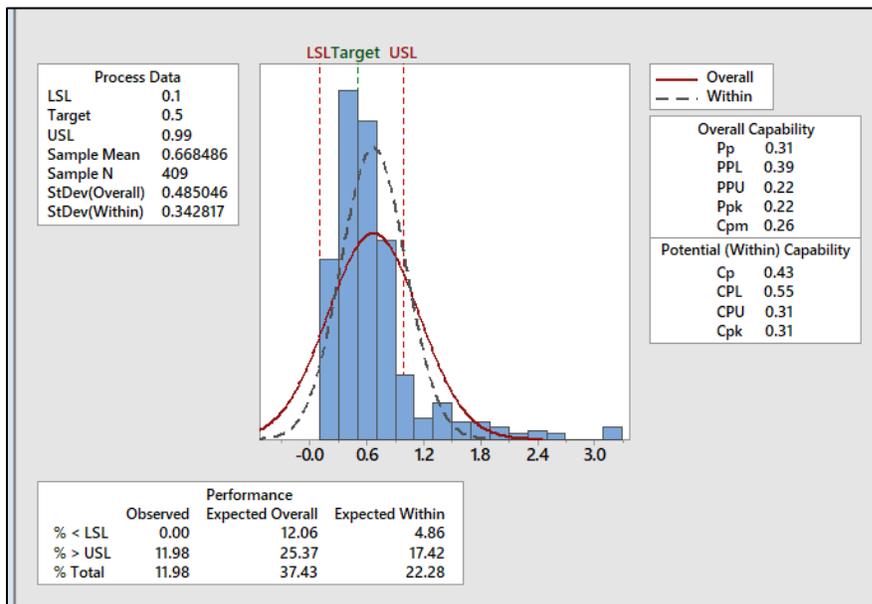
El porcentaje de exactitud del sistema de medición de TexVa no satisface los requerimientos de que aseguran la obtención de datos confiables para entregar al cliente la calidad requerida. Es necesaria la urgente intervención para la capacitación, entrenamiento y unificación de criterios para la correcta evaluación del producto en base a los requerimientos del cliente.

Paso 5: Establecer la capacidad inicial del proceso; la herramienta por utilizar es: capacidad de proceso normal. Para realizar el análisis de capacidad del proceso se necesita realizar la prueba de normalidad de los datos, la cual se presenta a en la siguiente figura:



**Figura 33. Prueba de normalidad.**

Al observar el resultado de normalidad en la figura anterior  $p\text{-value} < 0.05$ ; por tanto, se concluye que los datos no son normales, sin embargo, el teorema del límite central justifica seguir con el análisis ya que si la muestra de los datos es suficientemente grande se puede considerar que los datos son normales.



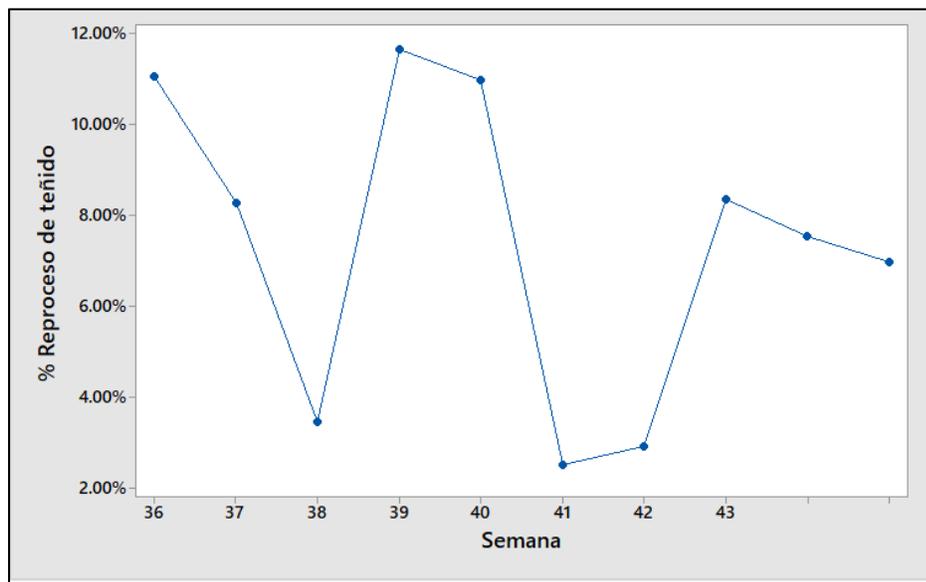
**Figura 34. Análisis de la capacidad del proceso actual.**

La figura anterior nos muestra un resultado de  $Cpk < 1$ , por tanto, el proceso no es capaz hay mucha variación y no se encuentra centrado. Sabiendo que cuando un proceso no está bajo control lo primero que se debe hacer es reducir su variación y una vez se logre se procede a ajustar para centrar en base a los límites provenientes de los requerimientos del cliente.

### 3) ANALIZAR

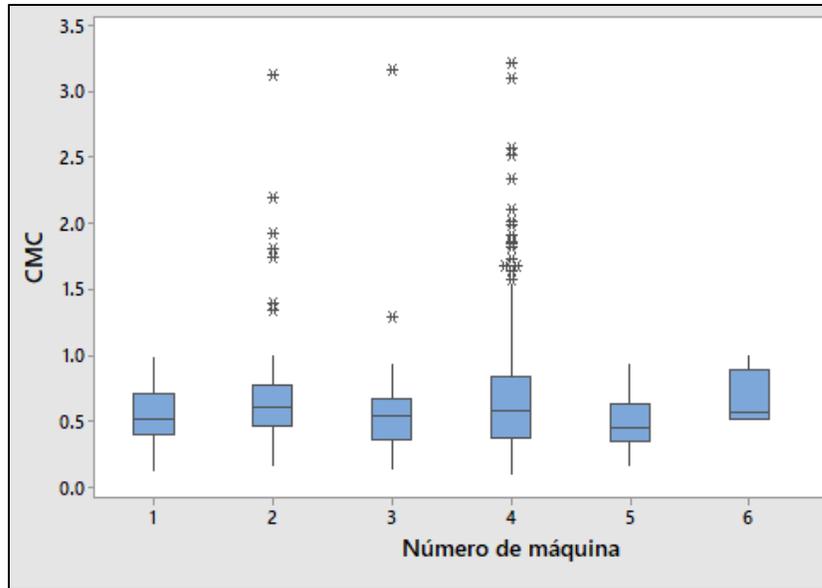
En esta tercera etapa se tiene como objetivo identificar fuentes de variación (las X), cómo se genera el problema y confirmar las X vitales con datos.

Paso 6: Identificar Fuentes de variación; las herramientas por utilizar son: métodos gráficos. Se analiza gráficamente algunos de los datos para ver si guían el estudio a las variables críticas que se necesitan gestionar para controlar el proceso. El primer gráfico es una tendencia para observar el cambio del proceso en el tiempo.



**Figura 35. Grafica de tendencia del porcentaje de defectos por semana.**

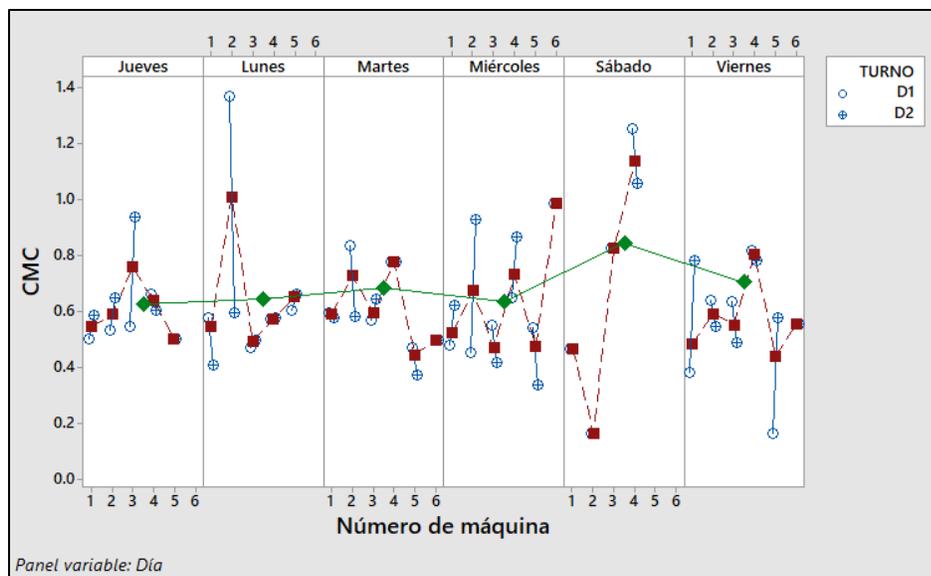
No se visualiza un patrón o tendencia. El resultado no es concluyente.



**Figura 36. Boxplot para el número de máquina.**

El diagrama de caja anterior es la representación gráfica del conjunto de datos del indicador de defectos de la calidad, donde nos muestra el análisis comparativo para la seis máquinas que posee el departamento de tintorería y donde se puede observar los puntos atípicos, para el presente estudio se observa que la mayoría de resultados fuera de especificación recae en la máquina cuatro, para comprobar si realmente existe una diferencia en el impacto a la calidad de dicha máquina, en el siguiente paso de la metodología se aplica una prueba de hipótesis que nos ayuda estadísticamente a concluir para poder gestionar la variable.

Se continúan presentando gráficos para analizar si existen variables críticas que estas impactando en la calidad en el departamento de tintorería, la siguiente figura es un gráfico multivari la cual es una herramienta que ayuda como varias variables independientes interactúan entre sí para afectar la variable dependiente, ayuda a identificar causas especiales obvias de variabilidad del proceso, proporciona dirección para las acciones de mejora a realizar.



**Figura 37. Gráfico multi-vari para turno-día-Máquina.**

El gráfico multi-vari mostrado para la base de datos analizada que es de nueve semanas, nos ayuda a concluir que el promedio de los defectos más alto generalmente sucede en el turno de día, en las máquinas cuatro y dos y se debe poner atención al desempeño de la mano de obra los días lunes y sábado. Recordando que gráficamente no es posible concluir, se necesitan pruebas de hipótesis que sustenten un verdadero impacto estadístico de las variables.

Paso 7: Filtrar causas potenciales; las herramientas por utilizar son: prueba de hipótesis. Como se observó en el paso definir que la materia prima y el método son las variables independientes críticas, sin embargo, en el presente estudio por limitantes de tiempo se decidió gestionar durante dos semanas la variable materia prima por medio de las propiedades físicas de colorante que aporta el 37.8% de los defectos de calidad y la maquinaria por medio de la gestión de fallas mecánicas en las máquinas que representan el 10.9%, para reforzar las acciones tomadas para llevar el proceso bajo control estadístico, se presentan las siguientes pruebas de hipótesis, como se mostró anteriormente la base de datos utilizada para el presente estudio posee datos no normales y aunque se pueden considerar normales por el teorema del límite central procedemos a realizar las pruebas kruskal-wallis y Mann-Whitney para datos no paramétricos según sea el caso para aplicar cada una.

**Kruskal-Wallis Test: Frecuencia versus Variable**

Kruskal-Wallis Test on Frecuencia

Variable	N	Median	Ave Rank	Z
Maquinaria	45	0.000000000	56.4	-2.44
Materia prima	45	0.000000000	73.9	1.23
Método	45	0.000000000	73.8	1.21
Overall	135		68.0	

H = 5.96 DF = 2 P = 0.051  
H = 10.55 DF = 2 P = 0.005 (adjusted for ties)

**Figura 38. Prueba Kruskal – Wallis para maquinaria-método-materia prima.**

La prueba hipótesis muestra un p-value < 0.05 por tanto si existe diferencia estadística en las medianas de la frecuencia de defectos de las variables independientes maquinaria, materia prima y método. Observando el estadístico Z, dicha diferencia se deriva de lo alejado que este resultado de la maquinaria de las otras dos variables, sin embargo, las otras dos variables están cercanas entre sí, en conclusión, se pueden esperar un fuerte impacto en los defectos de calidad al gestionar la materia prima y el método.

**Kruskal-Wallis Test: Frecuencia versus No. Máquina**

Kruskal-Wallis Test on Frecuencia

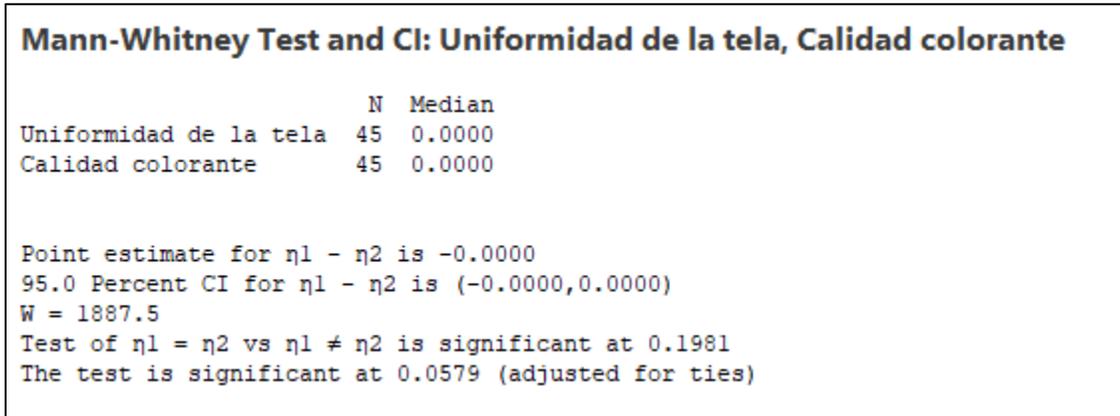
No. Máquina	N	Median	Ave Rank	Z
Maquina 1	25	0.000000000	61.5	-1.77
Maquina 2	25	0.000000000	73.7	-0.22
Maquina 3	25	0.000000000	66.9	-1.08
Maquina 4	25	1.000000000	125.2	6.26
Maquina 5	25	0.000000000	61.5	-1.77
Maquina 6	25	0.000000000	64.2	-1.42
Overall	150		75.5	

H = 40.57 DF = 5 P = 0.000  
H = 88.01 DF = 5 P = 0.000 (adjusted for ties)

**Figura 39. Prueba Kruskal – Wallis para las seis máquinas.**

Como se explicó, por limitantes de tiempo y recursos una de las acciones de mejora para llevar el proceso bajo control estadístico y la prueba de hipótesis es la justificación del porqué para

la máquina cuatro para realizarle una revisión, reparación y calibración significaría un impacto en la calidad del producto,  $p\text{-value} < 0.05$ , por tanto si existe evidencia en la mediana de los diferentes conjuntos de datos y al observar el estadístico Z el resultado que se aleja de todos los demás proviene de la máquina cuatro.



**Figura 40. Prueba Mann-Whitney para indicadores de la variable materia prima.**

La segunda acción de mejora implementada se realizó en la calidad del colorante por que la empresa posee el recurso de un laboratorio de teñido que permitió y aceptó realizar el contron de calidad a los colorante; como soporte a lo antes dicho se realizó la prueba de hipótesis de Mann-Whitney que nos muestra que no existe la evidencia estadística de una diferencia entre la frecuencia de defectos que aportan la uniformidad de la tela o la calidad del colorante; entonces tomar cualquiera de la dos resultaría en un impacto en la calidad del producto final.

#### 4) MEJORAR

En la cuarta etapa se evalúa e implementan soluciones, para asegurar que se cumplen los objetivos.

Paso 8: Definir plan de acción; se establecen acciones de mejora en el plan de mejora y ajuste de variables críticas.

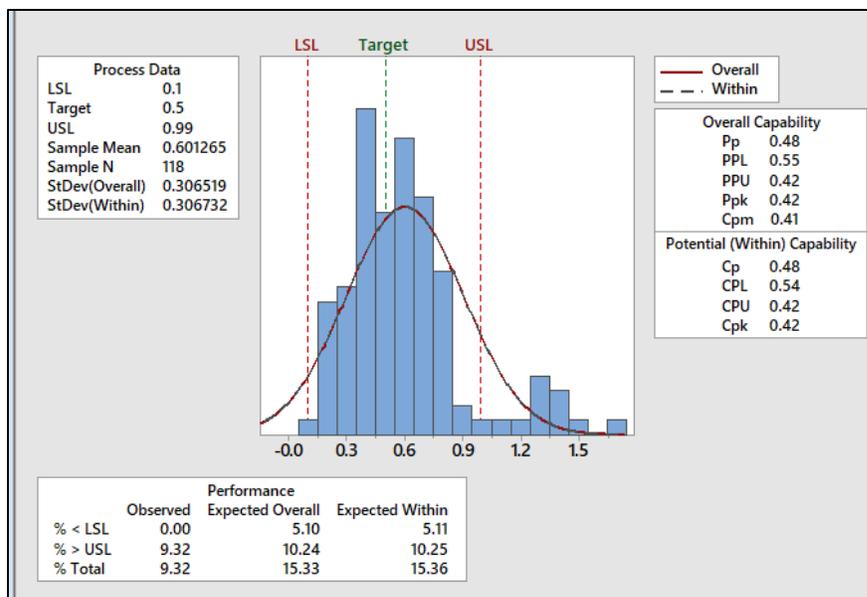
**Tabla 12. Plan de mejora**

	CAUSAS IDENTIFICADAS	ACCION PLANTEADA	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	INMEDIATA	TEMPORAL	PERMANENTE	RESPONSABLE
Materia Prima	Deficiencia en el control de calidad de colorantes.	Designar una persona para que en caso cambie un lote de colorante, se encargue de verificar la uniformidad del mismo, mediante el teñido de cada colorante a una concentración establecida contra un estándar definido.	5 Noviembre 2018		X		X	Jefe de Laboratorio de teñido
	Deficiencia en el control de calidad de químicos.	Exigir al proveedor que envíe certificados validados acerca de la uniformidad de cada químico, evaluando sus parámetros críticos, como ser pH, densidad, % de sólidos, entre otros, etc.. En caso este fuera de especificaciones se rechaza.						Jefe de Laboratorio de teñido
	Deficiencia en el control de calidad de la tela.	Garantizar la trazabilidad desde el lote de tejido, corte, costura, teñido, para asegurarse que todas las prendas fueron hechas y separadas exclusivamente para ese lote de hilo, así se garantiza que la receta fue desarrollada únicamente para ese lote de hilo y que en caso cambie, deberá desarrollarse una receta para este cambio, así que al momento de costurar y teñir no se mezclaran lotes que ocasionen un tono diferente o una variación de tono en la misma prenda.					X	Jefe de Laboratorio de Calidad de tela

Continuación de tabla 12.

	CAUSAS IDENTIFICADAS	ACCION PLANTEADA	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	INMEDIATA	TEMPORAL	PERMANENTE	RESPONSABLE
Metodo	Fallas en la reproducibilidad de la receta	Ingresar a laboratorio la receta, para asegurar la confiabilidad de la misma.					X	Jefe de teñido
Maquinaria	Maquina con mayor generacion de defectos	Parar y revisar dicha maquina, hasta que se garantice su correcto funcionamiento.	5 Noviembre 2018		X	X		Jefe de teñido
Mano de Obra	Turno con mayor generacion de defectos	Establecer un auditor de proceso que evalúe el cumplimiento de los procedimientos durante el día.				X		Jefe de Ingeniería
Sistema de Medicion	Falla del sistema de medicion	La precision, repitibilidad y exactitud del personal encargado de evaluar si el color pasa o no pasa necesita entrenamiento y estandarizar los criterios de evaluacion			X		X	Jefe de Ingeniería
Medio Ambiente	Debido a la carencia de la iluminacion y ventilacion correcta se detectaron fallas en la repetibilidad y reproducibilidad de evaluacion de color	Adquirir un espacio para la caja de luces en la condiciones de ventilacion e iluminacion del entorno adecuado					X	Gerencia de Planta

Paso 9: Validar los resultados; se realiza estudio de capacidad de proceso después de la mejora, gráficas de tendencia y se muestra evidencias del antes y el después.



**Figura 41. Capacidad del proceso después de las mejoras.**

Después de la mejoras el Cpk del proceso sigue siendo  $< 1$ , aún el proceso no es capaz porque tiene mucha variabilidad y no está centrado sin embargo para el poco tiempo de la implementación ya se visualiza una mejora en el control estadística ya que paso de un  $Cpk = 0.31$  a un  $Cpk = 0.42$ ; al seguir recolectando datos por más tiempo existe posibilidad de llegar al control estadístico requerido para mejorar la calidad y no incurrir en costos de reprocesos ni atrasos en las entregas.

**Tabla 13. Referencia para nivel sigma del proceso a partir del Cpk.**

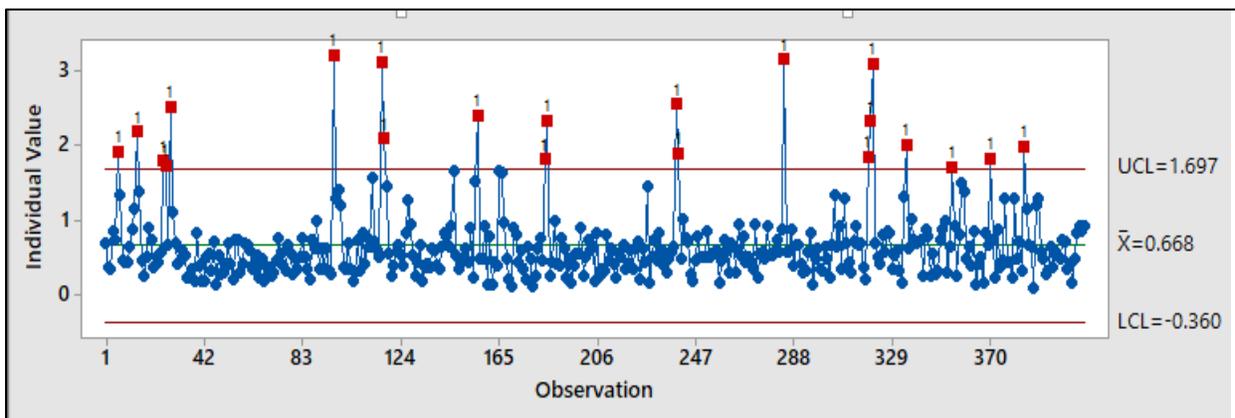
$\sigma$	PPM <sub>ST</sub>	C <sub>DkST</sub>	Z <sub>LT</sub>	PPM <sub>LT</sub> (-1.5 $\sigma$ )	C <sub>DkLT</sub>
0.0	500,000	0.00	-1.5	933,193	-0.5
0.1	460,172	0.03	-1.4	919,243	-0.5
0.2	420,740	0.07	-1.3	903,199	-0.4
0.3	382,089	0.10	-1.2	884,930	-0.4
0.4	344,578	0.13	-1.1	864,334	-0.4
0.5	308,538	0.17	-1.0	841,345	-0.3
0.6	274,253	0.20	-0.9	815,940	-0.3
0.7	241,964	0.23	-0.8	788,145	-0.3
0.8	211,855	0.27	-0.7	758,036	-0.2
0.9	184,060	0.30	-0.6	725,747	-0.2
1.0	158,655	0.33	-0.5	691,462	-0.2
1.1	135,666	0.37	-0.4	655,422	-0.1
1.2	115,070	0.40	-0.3	617,911	-0.1
1.3	96,801	0.43	-0.2	579,260	-0.1

La implementación de la metodología busca un  $Cpk = 2$  donde la capacidad del proceso posee un nivel seis sigma que representa 0.001 defectos por millón de oportunidades. A partir de la tabla de referencia mostrada y los datos mencionados del  $Cpk$  antes y después de la mejora se puede conocer el nivel sigma del proceso realizando una interpolación los datos obtenidos son los siguientes:  $\sigma$  antes de la mejora = 0.933, que representa 175,591 defectos por millón de oportunidades,  $\sigma$  después de la mejora = 1.267, que representa 102,890 defectos por millón de oportunidades.

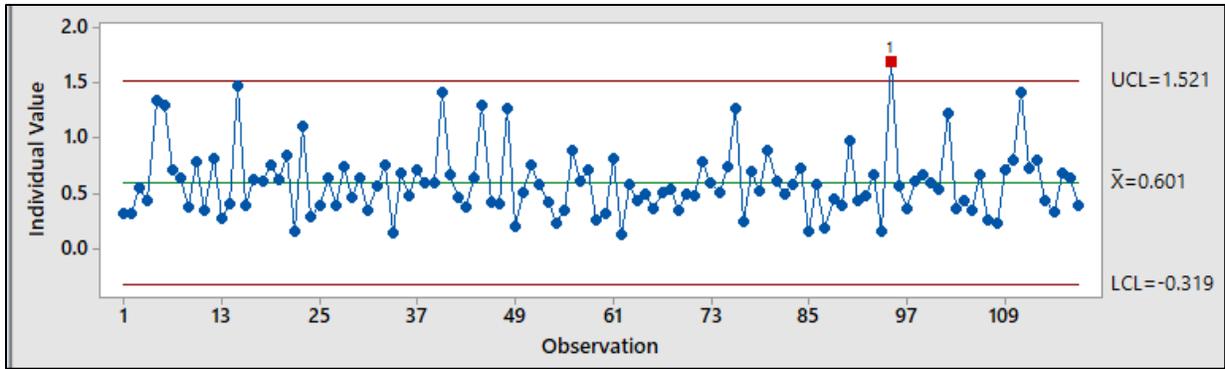
## 5) CONTROLAR

En esta última etapa se diseña un sistema para mantener las mejoras logradas (controlar X vitales). Y se finaliza cerrando el proyecto.

Paso 10: Implementar controles en el proceso. Las herramientas por utilizar son: control estadístico del proceso (SPC) por medio de los gráficos de control y un plan de control. A continuación, se presentan las cartas de control para los datos antes y después de la mejora para visualizar el comportamiento de los datos a través del tiempo y poder tomar decisiones acerca de las mejoras implementadas y las que se puedan llegar a implementar más adelante. Se realizó una carta de control individual – MR para datos continuos.



**Figura 42. Carta de control antes de la mejora.**



**Figura 43. Carta de control después de la mejora.**

Se observa una considerable mejora en el control estadístico del proceso, lo que esto nos dice que se está logrando reducir la variabilidad del proceso, una vez se obtenga el control estadístico deseado, lo que se deberá realizar es el ajuste del proceso para centrarlo dentro de los límites de especificación del cliente.

#### 4.6. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para la comprobación de la hipótesis y determinación de obtención de un cambio en el resultado de los defectos de calidad al implementar la metodología seis sigma DMAIC se partió del análisis de los datos y la capacidad del proceso que mostraron que el porcentaje de defectos global del proceso era de 11.98% que es un porcentaje bastante elevado de rechazos y reprocesos y que representa un aumento de costos significativo para la TexVa; a partir de lo concluido de las pruebas de hipótesis realizadas en el capítulo de resultados para las variables independientes, se tomó la decisión de implementar dos mejoras inmediatas del plan de control que pudiesen ejecutarse en el corto tiempo del estudio y que TexVa contara con los recursos para realizar los cambios que se explican a continuación: para la variable maquinaria la acción de mejora fue el paro inmediato de la máquina número 4 ya que presentaba mayor incidencia de defectos de calidad que las demás máquinas y para la variable materia prima la acción de mejora fue el control de calidad de los lotes de colorantes al recibirlos en planta, luego de implementar dichas mejoras se midió la cantidad de defectos de calidad durante dos semanas para luego poder determinar si existe una diferencia en la cantidad de defectos de calidad en el proceso antes y después de las mejoras.

Debido a que los datos analizados no son normales se debe utilizar pruebas de hipótesis para datos no paramétricos, se utiliza entonces, una prueba de Mann-Whitney 2 T para muestras independientes, el tamaño de las muestras no necesita ser igual y prueba estadísticamente si existe diferencia entre las dos medianas, bajo la hipótesis nula de que son iguales para el siguiente análisis  $n_1$  es la mediana de los defectos de calidad antes de la mejora y  $n_2$  es la mediana de los defectos de calidad después de las mejoras.

- 1)  $H_0 : n_1 - n_2 = 0$
- 2)  $H_i : n_1 - n_2 \neq 0$

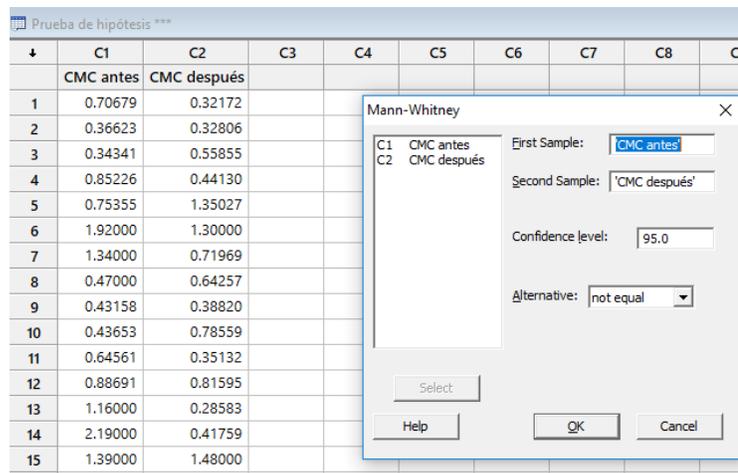


Figura 44. Configuración de prueba de hipótesis Mann-Whitney en minitab.

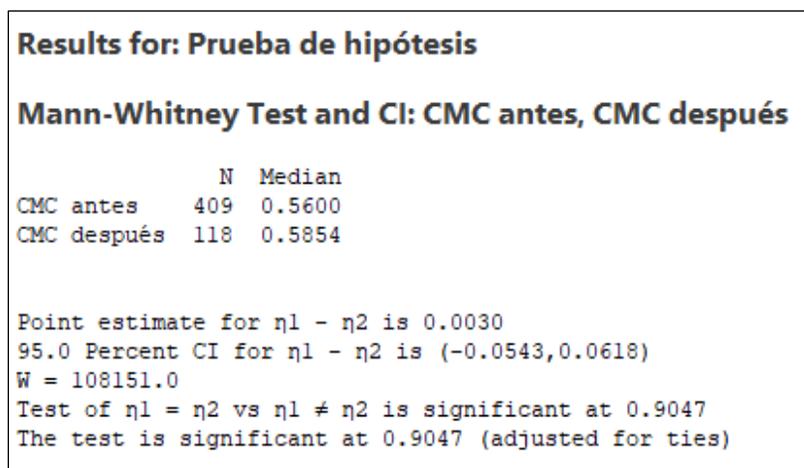


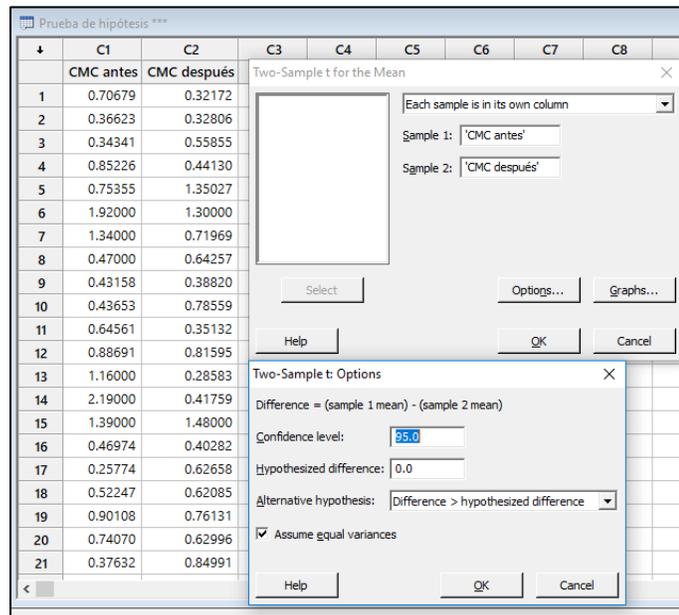
Figura 45. Resultados de la prueba Mann-Whitney.

El valor de p-value para el análisis anterior es igual a  $0.9047 > 0.05$  por lo que se concluye que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar  $H_0$ , es decir que la mediana de los defectos de calidad antes y después de las mejoras realizadas son iguales, no se presentó una diferencia en el indicador de la calidad global proceso de tintorería de TexVa. El teorema del límite central menciona la siguiente: “cuando el tamaño de la muestra es lo suficientemente grande, la distribución de las medias sigue aproximadamente una distribución normal” (Levine D., 2006). Por tanto, podemos aplicar la siguiente prueba de hipótesis para corroborar que no existe diferencia o mejora en la calidad al haber gestionado la maquinaria y la materia prima.

Se aplicó una prueba de hipótesis two-sample T de dos muestras relacionadas. La cual se plantea de la siguiente manera:  $\mu_D = \mu_1 - \mu_2$ , donde  $\mu$  es la media de los defectos y donde  $\mu_1$  es la media de los defectos antes de la mejora y  $\mu_2$  es la media de los defectos después de las mejoras. Para valorar una mejora de los resultados las hipótesis se expresan estadísticamente:

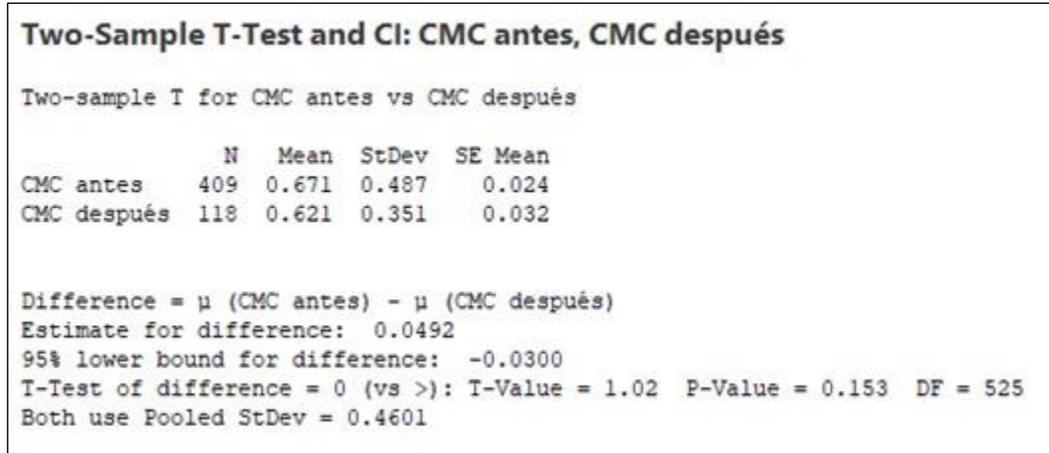
- 1)  $H_0 : \mu_D = 0$
- 2)  $H_i : \mu_D > 0$

En la siguiente imagen se muestra la prueba de hipótesis planteada en Minitab con los parámetros y las hipótesis explicadas anteriormente.



**Figura 46. Configuración de prueba de hipótesis t de dos muestras en Minitab.**

Luego de realizar la configuración la siguiente imagen nos muestra los resultados obtenidos:

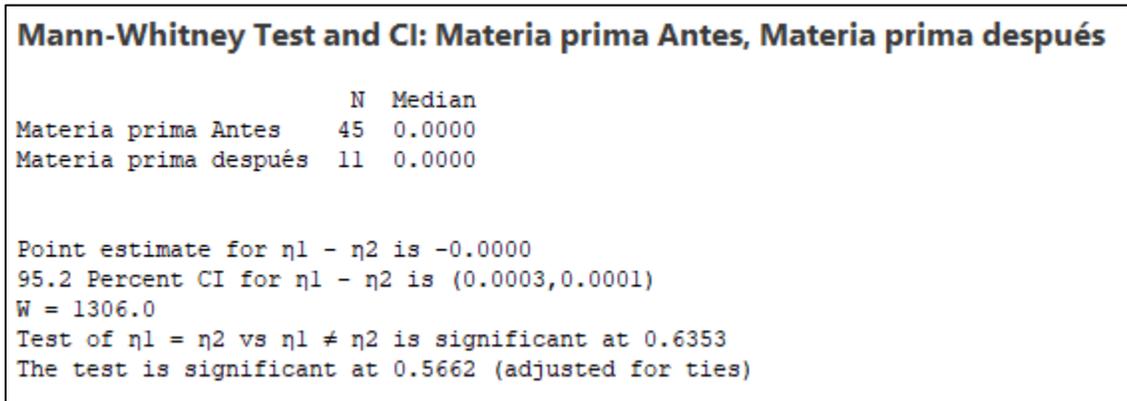


**Figura 47. Resultados de la prueba de hipótesis t.**

A partir de los resultados mostrados en la imagen anterior y sabiendo que P-Value es un tipo de inferencia estadística que demuestra la evidencia para aceptar o rechazar la hipótesis acerca de un parámetro de la población; si  $P\text{-Value} > 0.05$  (5%) el riesgo de estar equivocado al rechazar  $H_0$  es muy alto y se concluirá que no ha habido cambio (Bussiness Operational Improvement, 2018). Procedemos a decir que debido a que  $P\text{-Value} = 0.153 > 0.05$ , no existe suficiente evidencia estadística para rechazar  $H_0$ , es decir, no hay diferencia entre la media de los defectos antes y después de la mejora lo cual refuerza el resultado de la prueba de hipótesis de Mann-Whitney.

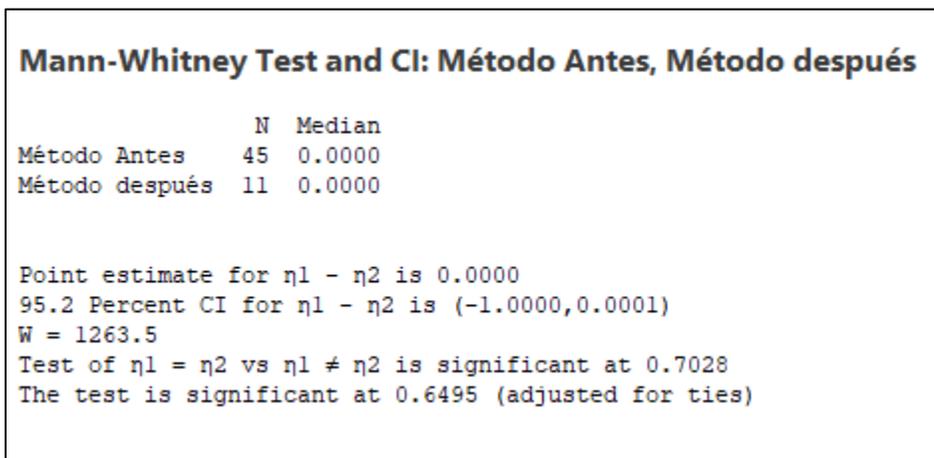
Es importante aclarar que esta conclusión no significa que no se tienen mejores resultados al implementar las mejoras ya que en general el porcentaje de defectos paso de 11.98% a 9.32%, hay que recordar que se están comparando datos de nueve semanas contra datos de dos semanas debido a las limitantes de tiempo. Lo recomendable es seguir tomando datos por un tiempo más prolongado y realizar nuevamente la prueba de hipótesis y de ser posible implementar más mejoras propuestas en el plan de acción y por supuesto monitorear mediante cartas de control los datos para detectar más rápidamente alguna anomalía en los resultados de calidad.

Las siguientes pruebas de hipótesis a presentar son pruebas 2 T Mann-Whitney para datos no paramétricos debido a que nuestros datos no son normales y se realizan al conjunto de datos de la frecuencia de defectos de calidad para cada variable independientes antes y después de la mejora.



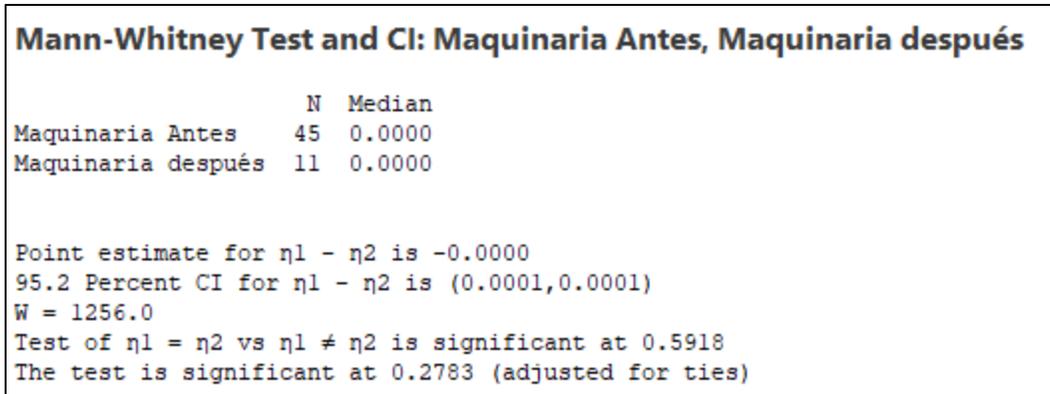
**Figura 48. Prueba Mann-Whitney para la materia prima antes y después de la mejora.**

Debido a que  $p\text{-value} > 0.05$  no existe diferencia estadística entre la mediana de la frecuencia de defectos de calidad provenientes de la variable materia prima antes y después de la mejora.



**Figura 49. Prueba Mann-Whitney para el método antes y después de la mejora.**

Debido a que  $p\text{-value} > 0.05$  no existe diferencia estadística entre la mediana de la frecuencia de defectos de calidad provenientes de la variable método antes y después de la mejora.



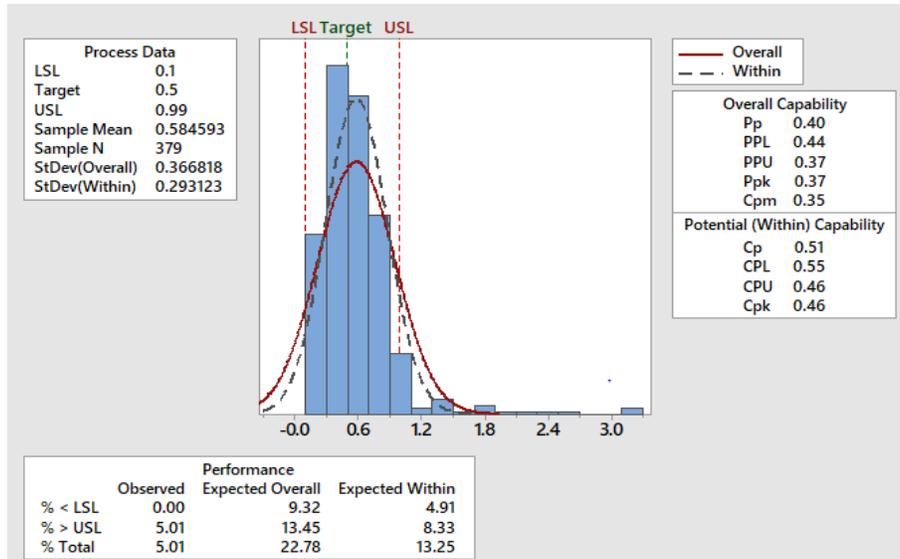
**Figura 50. Prueba Mann-Whitney para la maquinaria antes y después de la mejora.**

Debido a que  $p\text{-value} > 0.05$  no existe diferencia estadística entre la mediana de la frecuencia de defectos de calidad provenientes de la variable maquinaria antes y después de la mejora.

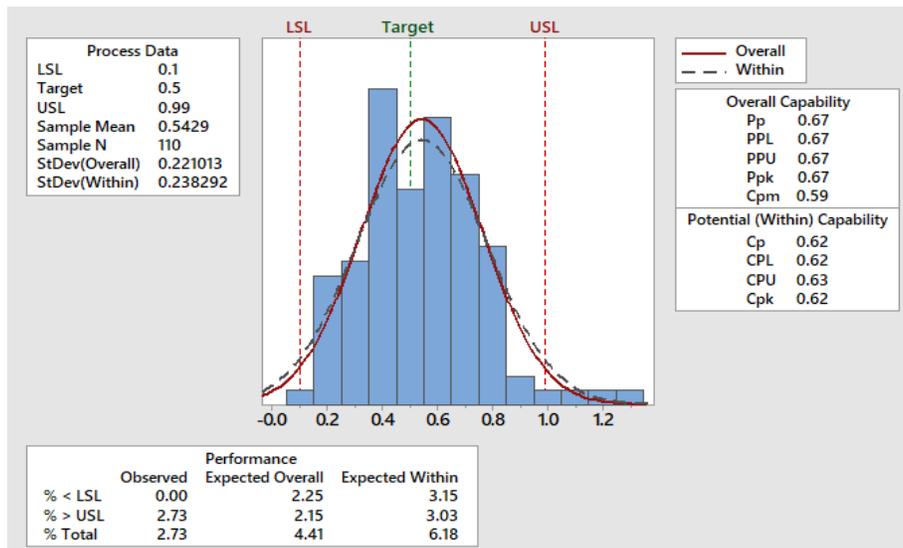
El hecho que estadísticamente no exista diferencia entre el antes y después de la mejora no significa que las mejoras implementadas no dan resultados, recordar que la limitante tiempo es importante porque conlleva a una muestra pequeña de datos, sin embargo, en las cartas de control mostradas en el capítulo de aplicabilidad se puede observar que el proceso está entrando en control estadístico es decir, se está reduciendo la variabilidad del proceso, lo recomendable es seguir tomando datos durante un tiempo más prolongado para observar nuevamente a mediano y a largo el impacto estadístico.

#### 4.7. ANÁLISIS ESPECÍFICO DE MATERIA PRIMA

A continuación, se presenta un análisis de la capacidad del proceso considerando solamente los defectos provenientes de las materias primas.



**Figura 51. Capacidad del proceso antes de las mejoras (materia prima)**



**Figura 52. Capacidad del proceso después de las mejoras (materia prima)**

Se observa una mejora en la capacidad del proceso donde pasa de un  $Cpk = 0.46$  a  $0.62$ . Aún el proceso no es un proceso capaz y gráficamente se puede concluir que hubo una mejoría en la variación del proceso pero que aún falta gestión y más tiempo de monitoreo de resultados para

lograr centrarlo dentro de los límites de especificación. En la siguiente tabla se presentan los valores sigma correspondientes a las capacidades del proceso antes mostradas.

**Tabla 14. Referencia para nivel sigma del proceso a partir del Cpk.**

$\sigma$	PPM <sub>ST</sub>	C <sub>pkST</sub>
0.0	500,000	0.000
0.1	460,172	0.033
0.2	420,740	0.067
0.3	382,089	0.100
0.4	344,578	0.133
0.5	308,538	0.167
0.6	274,253	0.200
0.7	241,964	0.233
0.8	211,855	0.267
0.9	184,060	0.300
1.0	158,655	0.333
1.1	135,666	0.367
1.2	115,070	0.400
1.3	96,801	0.433
1.4	80,757	0.467
1.5	66,807	0.500
1.6	54,799	0.533
1.7	44,565	0.567
1.8	35,930	0.600
1.9	28,716	0.633

1)  $\sigma_{antes} = 1.38$

2)  $\sigma_{después} = 1.86$

#### 4.8. BRECHAS POTENCIALES

Con el objetivo de lograr que el proceso de teñido de TexVa obtenga un nivel clase mundial seis sigma, se enlistan las brechas potenciales donde deberá enfocarse la gerencia del proceso:

- 1) Realizar un Proyecto seis sigma para el área de tejido y costura para eliminar la variación proveniente de la fibra como materia prima.
- 2) Desarrollar capacitaciones y entrenamiento del personal de inspección de la calidad y verificar la unificación de criterios de aprobación mediante pruebas gage R&R programadas mensualmente; para obtener datos confiables que no aporten variabilidad a la capacidad del proceso.
- 3) Hacer evaluaciones de desempeño de los proveedores de colorante, donde se evalué la trazabilidad, confiabilidad y sobre todo reproducibilidad de los colores sin distinción de lote para asegurar un abastecimiento confiable bajo los parámetros establecidos para cada colorante según la receta desarrollada para el teñido.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo se hace una síntesis del análisis y la mejora del área de tintorería aplicando la metodología DMAIC seis sigma en TexVa; se toman los resultados obtenidos explicados en el capítulo anterior y a partir de ellos se permite llegar a las siguientes conclusiones para complementar el trabajo expuesto, al mismo tiempo se hacen las recomendaciones que dan lugar a futuras líneas de investigación que por las limitantes del estudio mencionadas en el presente no se lograron realizar.

### 5.1. CONCLUSIONES

En esta sección se procede a exponer las conclusiones más importantes de cada variable las cuales se obtuvieron a partir de los resultados presentados luego del análisis de la base de datos, entrevista y prueba de gage R&R realizados en el área de tintorería de TexVa.

1) Los resultados de la incidencia en los defectos de calidad permiten concluir que los indicadores de la materia prima que están aportando mayor variabilidad al proceso son las propiedades físicas del colorante y la uniformidad de la tela, sin una diferencia estadística entre ambos en la aportación de defectos, por lo que la gestión de cualquiera de estos dos indicadores puede disminuir la variabilidad del proceso.

2) La eficacia del desarrollo de la receta y procedimiento de teñido influyen en el 42.7% de los defectos del proceso, y en conjunto conforman la segunda variable, seguida de la materia prima, que aporta mayor variabilidad al proceso.

3) Al realizar el análisis estadístico de la maquinaria se determinó, mediante pruebas estadística, que la máquina número cuatro está asociada al mayor aporte de variabilidad al proceso y se concluyó que era urgente su intervención inmediata.

4) Existe evidencia para concluir que la mano de obra tiene incidencia al momento de presentarse defectos de calidad en el área de tintorería TexVa, es decir, la variabilidad del proceso se está viendo afectada por la capacitación y entrenamiento que posee el personal operativo y al

tratarse del recurso más importante de las organizaciones es necesario determinar qué factores pueden estar afectando el aprendizaje y desempeño del personal.

5) Se concluye que el sistema de medición de la calidad no es confiable, su ineficacia queda evidenciada en los resultados del análisis gage R&R realizado, donde la exactitud, la reproducibilidad y la repetibilidad no alcanzan los valores mínimos de aceptación. Lo que agrega variabilidad a los resultados del proceso por la incertidumbre que genera un falso resultado positivo o negativo.

6) A partir de los resultados para evaluar el medio ambiente se concluye que, existe una evidente y urgente necesidad de gestionar, modificar y controlar los indicadores ambientales en el área de tintorería de TexVa, principalmente el control de la temperatura para asegurar la salud y seguridad de los colaboradores, así como garantizar el mejor desempeño en sus actividades.

## 5.2. RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan las recomendaciones a seguir para lograr gestionar y mejorar los resultados obtenidos en cada variable analizada y establecer líneas de investigación que lleven a resultados más específicos que satisfagan los objetivos establecidos en el presente estudio.

1) Se recomienda la inmediata intervención para la gestión y control de la materia prima de los indicadores que aportan la mayor cantidad de defectos; es decir, las propiedades físicas del colorante que al ser una materia prima ha quedado en evidencia su incidencia en la calidad del producto final en el proceso de teñido y debido a ello se deberían establecer parámetros de aceptación a los proveedores que aseguren la consistencia de sus colorantes a lo largo del tiempo además de realizar pruebas de calidad al ingreso de cada lote de materia prima antes de que ingrese a producción,

2) Se recomienda la gestión de la receta de teñido y el incumplimiento del procedimiento, lo cual da una guía de la necesidad que tiene el departamento de establecer puntos de control en el proceso en las etapas críticas que aseguren el debido cumplimiento de todos los procedimientos e

inspecciones, la receta de teñido se debe replicar en laboratorio con los lotes de materia prima a utilizar ante de lanzarla a producción para evitar reprocesos por ajustes de receta.

3) Se recomienda que la empresa establezca un plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria y equipo, estableciendo revisiones cada seis meses con la finalidad de prolongar la vida útil de las máquinas y asegurar que su correcto funcionamiento sea un aliado en la disminución de defectos en el proceso.

4) Se recomienda realizar un estudio detallado de los factores que afectan el desempeño del personal para determinar su grado de conocimiento y entrenamiento en el proceso de tintorería y posterior a ello proceder a empoderarlos mediante herramientas de aprendizaje, capacitaciones, pruebas y talleres que les permitan obtener las habilidades necesarias para operar y controlar cada etapa del proceso asegurando la calidad del producto final.

5) Se recomienda la capacitación y entrenamiento de los evaluadores de la calidad del área de tintorería de TexVa para unificar criterios de aceptación en base a los estándares internos y del cliente poder generar resultados confiables que no agreguen variabilidad a los resultados del proceso y que aseguren la entrega y satisfacción del cliente.

6) Se recomienda hacer un análisis completo de salud, higiene y seguridad laboral en el área de tintorería, para gestionar todos los indicadores ambientales y los riesgos que influyen en el desempeño de las labores del personal, comenzando urgentemente por proveer la adecuada ventilación que permita reducir la sensación térmica que ocasionan las altas temperaturas en el área; además, es importante gestionar un ambiente controlado que asegure no tener contaminación de las áreas cercanas que pueden dañar el proceso y el producto final de tintorería.

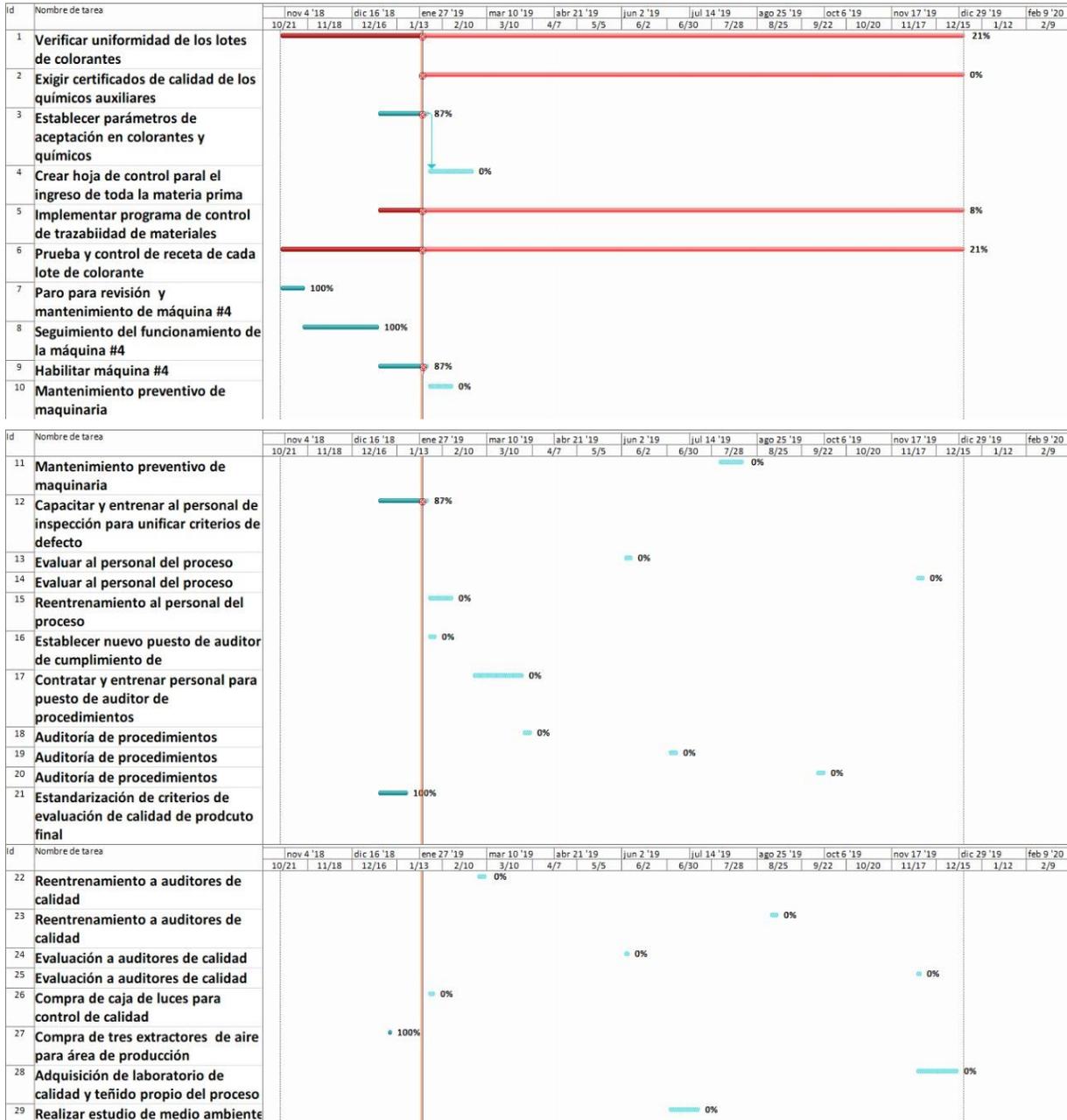
## **CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD**

El presente capítulo es una parte fundamental del estudio, en él se comprende la aplicación de la investigación al mundo laboral, realizando un plan de acción que oriente a la empresa y en específico al proceso de teñido a lograr la disminución de los defectos en el producto final, logrando con ello una reducción en la frecuencia de los reprocesos. Así mismo, en el presente capítulo se establece los parámetros y un plan de control, a fin de mantener el proceso dentro de los límites que aseguren que el porcentaje de defectos de la calidad no sobrepasen los valores de control que aseguren en cumplimiento de los requerimientos.

### **6.1 PLAN DE ACCIÓN DE MEJORA.**

Se presenta una lista de acciones organizadas según el orden cronológico necesario para que el proceso se modifique gradualmente según los recursos y requerimientos de la empresa, los hallazgos obtenidos del presente estudio y el objetivo meta planteado por la empresa de reducir la frecuencia de reprocesos a fin de obtener un nivel seis sigma de calidad, para ello se detallan fechas requeridas según mes calendario para cada acción a implementar en la siguiente tabla.

**Tabla 15. Plan de acción de mejora.**



En el cronograma se presenta el porcentaje de avance que presentan las acciones ya implementadas en el proceso y los resultados luego de establecer las primeras acciones conforman la segunda muestra de la investigación. Como parte del plan de acción se proponen lineamientos que deben ejecutarse continuamente, como la verificación de las especificaciones del colorante, prueba y control de la receta y el control en el ingreso de los lotes de químicos; y otras, que son

periódicas y que deben realizarse cada tres o seis meses, como las auditorías de los procedimientos, evaluaciones y capacitaciones del personal y el estudio del medio ambiente del plantel de producción.

## 6.2 PLAN DE CONTROL.

Luego de definir las acciones que según el análisis podrían tener un impacto en el proceso de teñido y su implementación gradual en orden cronológico según requerimientos y recursos de la empresa, es necesario establecer controles que determinen que los cambios requeridos se estén ejecutando según el plan, y establecer las auditorías necesarias a fin de ajustar los resultados del proceso dentro de los parámetros establecidos por la empresa y los clientes, y lograr que estos resultados sean sostenibles en el tiempo. Para lo cual se enlistan en la siguiente tabla el plan de control del proceso de teñido de prendas de TexVa.

**Tabla 16. Plan de control por variable**

PLAN DE CONTROL					
QUÉ		POR QUÉ	CÓMO		QUIÉN
Objetivo	Meta	Factor Crítico de Éxito	Actividades	Mecanismo de seguimiento	Departamento Responsable
Reducir el riesgo de falla para evitar reprocesos en el área de tintorería	Ejecutar y mantener las acciones de mejora.	MATERIA PRIMA	Designar una persona para que en caso cambie un lote de colorante, se encargue de verificar la uniformidad del mismo, mediante el teñido de cada colorante a una concentración establecida contra un estándar definido.	Registro de control de entrada de materia prima	Laboratorio de calidad
			Exigir al proveedor que envíe certificados validados acerca de la uniformidad de cada químico, evaluando sus parámetros críticos, como ser pH, densidad, % de sólidos, entre otros, etc.. En caso este fuera de especificaciones se rechaza.		
			Garantizar la trazabilidad desde el lote de tejido, corte, costura, teñido, para asegurarse que todas las prendas fueron hechas y separadas exclusivamente para ese lote de hilo, así se garantiza que la receta fue desarrollada únicamente para ese lote de hilo y que en caso cambie, deberá desarrollarse una receta para este cambio, así que al momento de costurar y teñir no se mezclaran lotes que ocasionen un tono diferente o una variación de tono en la misma prenda.		
		MÉTODO	Ingresar a laboratorio la receta, para asegurar la confiabilidad y reproducibilidad de la misma.	Registro de cada lote y cada cambio realizado a la receta.	Laboratorio de teñido

Continuación de tabla 16.

PLAN DE CONTROL							
QUÉ		POR QUÉ	CÓMO		QUIÉN		
Objetivo	Meta	Factor Crítico de Éxito	Actividades	Mecanismo de seguimiento	Departamento Responsable		
Reducir el riesgo de falla para evitar reprocesos en el área de tintorería	Ejecutar y mantener las acciones de mejora.	MAQUINARIA	Control de mantenimientos preventivo y correctivo.	Check list de funcionamiento de las maquinas.	Operario de la maquina		
				Programación de mantenimientos preventivos.	Mantenimiento		
				Control de solución de problemas correctivos	Mantenimiento		
				MANO DE OBRA	Realizar evaluaciones de desempeño para evaluar el desarrollo, seguimiento y control del personal.	Registro, análisis, gestión y seguimiento de resultados de las evaluaciones.	Recursos Humanos
		SISTEMA DE MEDICIÓN	Capacitación del personal de inspección.	Programa de capacitaciones.	Ingeniería		
			Seguimiento constante del desempeño del sistema de medición.	Análisis gage R&R mensuales.	Control de calidad		
		MEDIO AMBIENTE	Gestionar todas las variables medio ambientales, temperatura, iluminación, sonido.	Hacer reglamento de medidas preventivas, seguridad e higiene ocupacional.	Higiene y seguridad Industrial		
			Realizar auditoras ambientales.	Informes de auditorias.	Higiene y seguridad Industrial		

## BIBLIOGRAFÍA

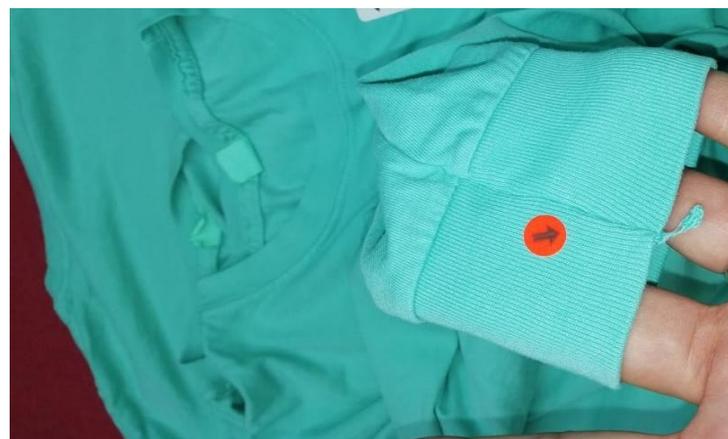
- Aiteco. (2018). Aiteco consultores. Obtenido de Biografía y vidas: <https://www.aiteco.com/lo-que-no-se-mide/>
- American Society for Quality. (2018). *Quality Glossary / ASQ*. Obtenido de <https://asq.org/quality-resources/quality-glossary>
- Anderson D., S. D. (2008). *Estadística para administración y economía*. México: Cengage Learning Editores, S.A.
- Asociación Peruana de Técnicos textiles. (15 de Octubre de 2018). *APTT*. Obtenido de APTT Perú: <http://www.apttperu.com>
- Banco Central de Honduras. (2017). *Informe de Bienes para la transformación y actividades conexas anual 2017, perspectivas 2018-2019*.
- Borjas, C. M. (2005). Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad. *Ingeniería Mecánica*, 1-9.
- Business Operational Improvement. (2018). *Six Sigma Greenbelt Fieldbook*.
- Compañía Española de Seguros de Crédito a la Exportación. (2017). *Informe Sectorial de la Economía Española 2017. Sector Textil*. Madrid.
- Department of Health and Human Services. CDC. NIOSH. (2016). *Occupational Exposure to Heat and Hot Environments*.
- Dirección General de Comunicación Estratégica. (2016). *Honduras busca convertirse en el país líder del sector textil en las Américas*. Tegucigalpa.
- Equipo de investigaciones laborales y la red de solidaridad de la maquila. (2016). *Las trabajadoras (es) de la industria maquiladora en Centroamérica*.
- Exteriores, S. d. (2016). Honduras busca convertirse en el país líder del sector textil en las Américas. Tegucigalpa, MDC.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la vara Salazar, R. (2009). *Control Estadístico de la Calidad y Six Sigma* (II ed. ed.). DF, Mexico: McGRAW-HILL.

- Hernández Sampieri R., F.-C. C. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Humberto Gutiérrez Pulido, R. d. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. México: McGraw-Hill.
- Isabel Briceño Valderrama, G. G. (2013). Mejora de un Proceso de Teñido en una Empresa. *Sinergia e Innovación*, 1(1), 44-68., <https://revistas.upc.edu.pe/index.php/sinergia/article/view/155/329>.
- Jared R. Ocampo, A. E. (2012). Integrando la metodología DMAIC de seis sigma con la simulación de eventos discretos en Flexsim. *Megaprojects: Building Infrastructure by Fostering Engineering Collaboration, Efficient and Effective Integration and Innovate Planning*. Panamá City, Panamá.
- Justo, J. (12 de Febrero de 2012). *Tendencias textiles*. Obtenido de Maldonado Tintorería Industria: <http://www.tintoreriamaldonado.com/blog/el-proceso-del-tenido-de-telas>
- Kerlinger, F. y. (2002). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en ciencias sociales*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores.
- Levine D., K. T. (2006). *Estadística para administración. Cuarta edición*. México: Pearson Educación .
- Organización Internacional del Trabajo. (s.f.). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Ruido*. Programa de las Organizaciones unidas del Medio A. (2017). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Nueva York.
- Rios, G. E. (2017). *Mejora de procesos en una empresa textil exportadora*. Lima. Perú.
- Rodríguez Peñuelas, M. A. (2010). *Métodos de Investigación*. México: Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (30 de Diciembre de 2008). Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. . *Diario Oficial*.
- Solis, S. M. (2017). *Implementación de puntos críticos de control en el proceso de teñido*. Guatemala de la Asunción.
- Textiles del Valle. (2018). *Base de Datos*. Choloma.
- Unidad de Apoyo Técnico. (1999). *La maquila textil en Honduras*.



## ANEXOS

ANEXO 1. Tipos de defectos de calidad en el área de tintorería en TexVa.



ANEXO 2. Entrevista a personal operativo del área de tintorería de TexVa.

**EVALUACIÓN DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL ÁREA DE TINTORERIA**

Edad: \_\_\_\_\_

Sexo: M \_\_\_\_\_ F \_\_\_\_\_

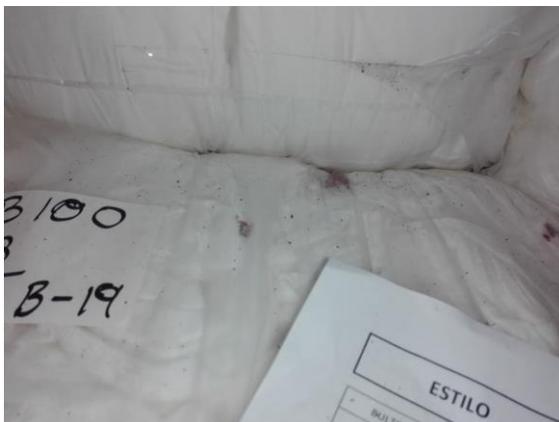
Instrucciones: Seleccione la respuesta que usted considere correcta.

1. Tiempo desde el cual se desempeña en el área de tintorería:
  - a. Meses
  - b. 1-2 años
  - c. 3-5 años
  - d. Más de 5 años
2. Considera que el sonido dentro del plantel es:
  - a. Nulo
  - b. Poco
  - c. Medio
  - d. Alto
  - e. Excesivo
3. Considera que la ventilación del plantel es:
  - a. Excelente
  - b. Muy buena
  - c. Buena
  - d. Poco buena
  - e. Nada buena
4. Considera que la iluminación del plantel es:
  - a. Excelente
  - b. Muy buena
  - c. Buena
  - d. Poco buena
  - e. Nada buena
5. En su opinión las condiciones actuales de sonido dentro del plantel afectan el desempeño de sus labores:
  - a. Nada
  - b. Poco
  - c. Medio
  - d. Bastante
  - e. Completamente
6. En su opinión las condiciones actuales de temperatura dentro del plantel afectan el desempeño de sus labores:
  - a. Nada
  - b. Poco
  - c. Medio
  - d. Bastante
  - e. Completamente

7. En su opinión las condiciones actuales de iluminación dentro del plantel afectan el desempeño de sus labores:
  - a. Nada
  - b. Poco
  - c. Medio
  - d. Bastante
  - e. Completamente
8. Ha notado que partículas o restos de material de otros procesos afectan el proceso de teñido:
  - a. Nada
  - b. Poco
  - c. Medio
  - d. Bastante
  - e. Completamente
9. Ha notado que partículas o restos de material de otros procesos afectan el producto final del área de teñido:
  - a. Nada
  - b. Poco
  - c. Medio
  - d. Bastante
  - e. Completamente
10. Considera necesario las modificaciones al medio ambiente actual del área de producción de tintorería:
  - a. Nada
  - b. Poco
  - c. Medio
  - d. Bastante
  - e. Completamente
11. Qué condición considera que es más urgente modificar en el medio ambiente actual del área de producción de tintorería:
  - a. Sonido
  - b. Ventilación
  - c. Iluminación
  - d. Control de partículas de otros procesos
  - e. Limpieza

¡Gracias por su colaboración!

ANEXO 3. Imágenes de algunos indicadores de las variables independientes.



ANEXO 4. Formato hoja de cálculo para la toma de datos.

PRODUCCION DIARIA																						
DEPARTAMENTO: TINTORERÍA TEXVA																						
FECHA	TURNO #M	LOTE	ESTILO	COLOR	PROCESO	CAUSA DE DEFECTO	XS	S	M	L	XL	2XL	3XL	4XL	5XL	TOTAL	LBS	OPERADOR	Semana	Día	CMC	Binomial

ANEXO 5. Tabla de resultados de prueba gage R&R del sistema de medición.

RunOrder	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards	RunOrder	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards	RunOrder	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
1	Inspector 1	1	Item 4	No pasa	No pasa	61	Inspector 3	1	Item 13	No pasa	Pasa	121	Inspector 2	2	Item 20	No pasa	No pasa
2	Inspector 1	1	Item 1	Pasa	Pasa	62	Inspector 3	1	Item 23	No pasa	No pasa	122	Inspector 2	2	Item 15	Pasa	Pasa
3	Inspector 1	1	Item 16	No pasa	No pasa	63	Inspector 3	1	Item 12	No pasa	Pasa	123	Inspector 2	2	Item 24	No pasa	Pasa
4	Inspector 1	1	Item 24	Pasa	Pasa	64	Inspector 3	1	Item 10	No pasa	No pasa	124	Inspector 2	2	Item 4	No pasa	No pasa
5	Inspector 1	1	Item 20	No pasa	No pasa	65	Inspector 3	1	Item 2	Pasa	Pasa	125	Inspector 2	2	Item 18	Pasa	Pasa
6	Inspector 1	1	Item 2	Pasa	Pasa	66	Inspector 3	1	Item 17	No pasa	No pasa	126	Inspector 2	2	Item 30	No pasa	No pasa
7	Inspector 1	1	Item 27	Pasa	No pasa	67	Inspector 3	1	Item 21	Pasa	No pasa	127	Inspector 2	2	Item 11	No pasa	No pasa
8	Inspector 1	1	Item 15	Pasa	Pasa	68	Inspector 3	1	Item 19	Pasa	Pasa	128	Inspector 2	2	Item 16	No pasa	No pasa
9	Inspector 1	1	Item 17	No pasa	No pasa	69	Inspector 3	1	Item 8	Pasa	Pasa	129	Inspector 2	2	Item 22	No pasa	No pasa
10	Inspector 1	1	Item 26	Pasa	Pasa	70	Inspector 3	1	Item 16	No pasa	No pasa	130	Inspector 2	2	Item 29	Pasa	Pasa
11	Inspector 1	1	Item 9	Pasa	No pasa	71	Inspector 3	1	Item 11	Pasa	No pasa	131	Inspector 2	2	Item 23	No pasa	No pasa
12	Inspector 1	1	Item 30	No pasa	No pasa	72	Inspector 3	1	Item 18	Pasa	Pasa	132	Inspector 2	2	Item 9	No pasa	No pasa
13	Inspector 1	1	Item 25	Pasa	Pasa	73	Inspector 3	1	Item 15	Pasa	Pasa	133	Inspector 2	2	Item 19	No pasa	Pasa
14	Inspector 1	1	Item 11	No pasa	No pasa	74	Inspector 3	1	Item 3	No pasa	No pasa	134	Inspector 2	2	Item 27	No pasa	No pasa
15	Inspector 1	1	Item 12	Pasa	Pasa	75	Inspector 3	1	Item 30	No pasa	No pasa	135	Inspector 2	2	Item 8	Pasa	Pasa
16	Inspector 1	1	Item 13	Pasa	Pasa	76	Inspector 3	1	Item 4	No pasa	No pasa	136	Inspector 2	2	Item 14	No pasa	No pasa
17	Inspector 1	1	Item 28	No pasa	Pasa	77	Inspector 3	1	Item 5	Pasa	Pasa	137	Inspector 2	2	Item 21	Pasa	No pasa
18	Inspector 1	1	Item 7	Pasa	No pasa	78	Inspector 3	1	Item 1	Pasa	Pasa	138	Inspector 2	2	Item 1	Pasa	Pasa
19	Inspector 1	1	Item 21	Pasa	No pasa	79	Inspector 3	1	Item 22	Pasa	No pasa	139	Inspector 2	2	Item 2	Pasa	Pasa
20	Inspector 1	1	Item 5	Pasa	Pasa	80	Inspector 3	1	Item 14	No pasa	No pasa	140	Inspector 2	2	Item 26	No pasa	Pasa
21	Inspector 1	1	Item 3	No pasa	No pasa	81	Inspector 3	1	Item 24	Pasa	Pasa	141	Inspector 2	2	Item 17	No pasa	No pasa
22	Inspector 1	1	Item 23	Pasa	No pasa	82	Inspector 3	1	Item 9	No pasa	No pasa	142	Inspector 2	2	Item 28	No pasa	Pasa
23	Inspector 1	1	Item 19	Pasa	Pasa	83	Inspector 3	1	Item 7	No pasa	No pasa	143	Inspector 2	2	Item 6	Pasa	Pasa
24	Inspector 1	1	Item 18	Pasa	Pasa	84	Inspector 3	1	Item 25	Pasa	Pasa	144	Inspector 2	2	Item 13	Pasa	Pasa
25	Inspector 1	1	Item 8	Pasa	Pasa	85	Inspector 3	1	Item 27	No pasa	No pasa	145	Inspector 2	2	Item 25	No pasa	Pasa
26	Inspector 1	1	Item 29	Pasa	Pasa	86	Inspector 3	1	Item 6	Pasa	Pasa	146	Inspector 2	2	Item 12	No pasa	Pasa
27	Inspector 1	1	Item 22	No pasa	No pasa	87	Inspector 3	1	Item 26	Pasa	Pasa	147	Inspector 2	2	Item 3	No pasa	No pasa
28	Inspector 1	1	Item 10	Pasa	No pasa	88	Inspector 3	1	Item 29	Pasa	Pasa	148	Inspector 2	2	Item 5	Pasa	Pasa
29	Inspector 1	1	Item 14	No pasa	No pasa	89	Inspector 3	1	Item 20	No pasa	No pasa	149	Inspector 2	2	Item 10	No pasa	No pasa
30	Inspector 1	1	Item 6	Pasa	Pasa	90	Inspector 3	1	Item 28	No pasa	Pasa	150	Inspector 2	2	Item 7	Pasa	No pasa
31	Inspector 2	1	Item 20	No pasa	No pasa	91	Inspector 1	2	Item 16	No pasa	No pasa	151	Inspector 3	2	Item 12	Pasa	Pasa
32	Inspector 2	1	Item 1	Pasa	Pasa	92	Inspector 1	2	Item 3	Pasa	No pasa	152	Inspector 3	2	Item 26	No pasa	Pasa
33	Inspector 2	1	Item 24	Pasa	Pasa	93	Inspector 1	2	Item 29	Pasa	Pasa	153	Inspector 3	2	Item 27	No pasa	No pasa
34	Inspector 2	1	Item 22	No pasa	No pasa	94	Inspector 1	2	Item 13	Pasa	Pasa	154	Inspector 3	2	Item 24	Pasa	Pasa
35	Inspector 2	1	Item 27	No pasa	No pasa	95	Inspector 1	2	Item 10	No pasa	No pasa	155	Inspector 3	2	Item 20	No pasa	No pasa
36	Inspector 2	1	Item 28	No pasa	Pasa	96	Inspector 1	2	Item 18	Pasa	Pasa	156	Inspector 3	2	Item 6	No pasa	Pasa
37	Inspector 2	1	Item 6	Pasa	Pasa	97	Inspector 1	2	Item 21	Pasa	No pasa	157	Inspector 3	2	Item 25	No pasa	Pasa
38	Inspector 2	1	Item 3	No pasa	No pasa	98	Inspector 1	2	Item 19	No pasa	Pasa	158	Inspector 3	2	Item 1	Pasa	Pasa
39	Inspector 2	1	Item 19	Pasa	Pasa	99	Inspector 1	2	Item 14	No pasa	No pasa	159	Inspector 3	2	Item 13	Pasa	Pasa
40	Inspector 2	1	Item 15	Pasa	Pasa	100	Inspector 1	2	Item 2	Pasa	Pasa	160	Inspector 3	2	Item 17	No pasa	No pasa
41	Inspector 2	1	Item 5	Pasa	Pasa	101	Inspector 1	2	Item 30	No pasa	No pasa	161	Inspector 3	2	Item 10	Pasa	No pasa
42	Inspector 2	1	Item 21	No pasa	No pasa	102	Inspector 1	2	Item 24	Pasa	Pasa	162	Inspector 3	2	Item 15	Pasa	Pasa
43	Inspector 2	1	Item 7	Pasa	No pasa	103	Inspector 1	2	Item 22	No pasa	No pasa	163	Inspector 3	2	Item 29	Pasa	Pasa
44	Inspector 2	1	Item 4	No pasa	No pasa	104	Inspector 1	2	Item 25	No pasa	Pasa	164	Inspector 3	2	Item 28	No pasa	Pasa
45	Inspector 2	1	Item 13	Pasa	Pasa	105	Inspector 1	2	Item 26	Pasa	Pasa	165	Inspector 3	2	Item 18	Pasa	Pasa
46	Inspector 2	1	Item 25	Pasa	Pasa	106	Inspector 1	2	Item 28	No pasa	Pasa	166	Inspector 3	2	Item 14	No pasa	No pasa
47	Inspector 2	1	Item 17	No pasa	No pasa	107	Inspector 1	2	Item 27	No pasa	No pasa	167	Inspector 3	2	Item 2	Pasa	Pasa
48	Inspector 2	1	Item 23	No pasa	No pasa	108	Inspector 1	2	Item 11	No pasa	No pasa	168	Inspector 3	2	Item 5	Pasa	Pasa
49	Inspector 2	1	Item 29	Pasa	Pasa	109	Inspector 1	2	Item 5	Pasa	Pasa	169	Inspector 3	2	Item 11	Pasa	No pasa
50	Inspector 2	1	Item 18	Pasa	Pasa	110	Inspector 1	2	Item 15	No pasa	Pasa	170	Inspector 3	2	Item 23	Pasa	No pasa
51	Inspector 2	1	Item 14	No pasa	No pasa	111	Inspector 1	2	Item 6	Pasa	Pasa	171	Inspector 3	2	Item 30	No pasa	No pasa
52	Inspector 2	1	Item 2	Pasa	Pasa	112	Inspector 1	2	Item 20	No pasa	No pasa	172	Inspector 3	2	Item 22	No pasa	No pasa
53	Inspector 2	1	Item 11	No pasa	No pasa	113	Inspector 1	2	Item 23	Pasa	No pasa	173	Inspector 3	2	Item 7	No pasa	No pasa
54	Inspector 2	1	Item 10	No pasa	No pasa	114	Inspector 1	2	Item 12	Pasa	Pasa	174	Inspector 3	2	Item 21	No pasa	No pasa
55	Inspector 2	1	Item 16	No pasa	No pasa	115	Inspector 1	2	Item 8	Pasa	Pasa	175	Inspector 3	2	Item 9	No pasa	No pasa
56	Inspector 2	1	Item 9	No pasa	No pasa	116	Inspector 1	2	Item 7	Pasa	No pasa	176	Inspector 3	2	Item 19	Pasa	Pasa
57	Inspector 2	1	Item 12	No pasa	Pasa	117	Inspector 1	2	Item 17	No pasa	No pasa	177	Inspector 3	2	Item 8	No pasa	Pasa
58	Inspector 2	1	Item 8	Pasa	Pasa	118	Inspector 1	2	Item 9	No pasa	No pasa	178	Inspector 3	2	Item 3	Pasa	No pasa
59	Inspector 2	1	Item 30	No pasa	No pasa	119	Inspector 1	2	Item 1	Pasa	Pasa	179	Inspector 3	2	Item 4	Pasa	No pasa
60	Inspector 2	1	Item 26	No pasa	Pasa	120	Inspector 1	2	Item 4	No pasa	No pasa	180	Inspector 3	2	Item 16	No pasa	No pasa

ANEXO 6. Tabla de datos utilizado para las pruebas de hipótesis de las variables independientes.

Frecuencia de impacto de las variables independientes en los defectos de calidad					
Antes			Después		
Materia prima	Método	Maquinaria	Materia prima	Método	Maquinaria
0	2	0	0	2	1
0	3	0	1	1	0
1	3	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
0	0	3	0	0	1
0	0	1	1	0	0
2	1	0	0	1	0
1	0	0			
0	0	0			
0	1	0			
0	0	0			
0	2	0			
0	0	0			
0	0	2			
0	0	0			
0	0	0			
1	2	0			
0	0	0			
0	0	0			
0	0	0			
0	1	0			
0	0	0			
0	0	0			
1	1	0			
1	0	0			
0	0	0			
0	0	0			
1	0	0			
1	0	0			
0	1	0			
1	0	0			
0	2	0			
1	2	0			
0	0	0			
1	2	0			
1	0	0			
2	0	0			
1	2	0			
1	0	0			
0	0	0			
0	0	0			

ANEXO 7. Tabla de datos utilizado para las pruebas de hipótesis de las máquinas.

Frecuencia de impacto de las máquinas en los defectos de calidad					
Maquina 1	Maquina 2	Maquina 3	Maquina 4	Maquina 5	Maquina 6
0	2	0	0	0	0
0	2	0	1	0	0
0	2	0	2	0	0
0	0	0	0	0	1
0	0	0	4	0	0
0	0	0	1	0	0
0	1	0	2	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	2	0	0
0	0	0	2	0	0
0	0	0	2	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	2	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	4	0	0
0	0	0	3	0	0
0	0	0	3	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	2	0	0
0	0	0	2	0	0
0	0	0	1	0	0

ANEXO 8. Tabla de referencia para encontrar el nivel sigma a partir del Cpk.

$\sigma$	PPM <sub>ST</sub>	C <sub>pkST</sub>	Z <sub>LT</sub>	PPM <sub>LT</sub> (-1.5 $\sigma$ )	C <sub>pkLT</sub>
0.0	500,000	0.00	-1.5	933,193	-0.5
0.1	460,172	0.03	-1.4	919,243	-0.5
0.2	420,740	0.07	-1.3	903,199	-0.4
0.3	382,089	0.10	-1.2	884,930	-0.4
0.4	344,578	0.13	-1.1	864,334	-0.4
0.5	308,538	0.17	-1.0	841,345	-0.3
0.6	274,253	0.20	-0.9	815,940	-0.3
0.7	241,964	0.23	-0.8	788,145	-0.3
0.8	211,855	0.27	-0.7	758,036	-0.2
0.9	184,060	0.30	-0.6	725,747	-0.2
1.0	158,655	0.33	-0.5	691,462	-0.2
1.1	135,666	0.37	-0.4	655,422	-0.1
1.2	115,070	0.40	-0.3	617,911	-0.1
1.3	96,801	0.43	-0.2	579,260	-0.1
1.4	80,757	0.47	-0.1	539,828	0.0
1.5	66,807	0.50	0.0	500,000	0.0
1.6	54,799	0.53	0.1	460,172	0.0
1.7	44,565	0.57	0.2	420,740	0.1
1.8	35,930	0.60	0.3	382,089	0.1
1.9	28,716	0.63	0.4	344,578	0.1
2.0	22,750	0.67	0.5	308,538	0.2
2.1	17,864	0.70	0.6	274,253	0.2
2.2	13,903	0.73	0.7	241,964	0.2
2.3	10,724	0.77	0.8	211,855	0.3
2.4	8,198	0.80	0.9	184,060	0.3
2.5	6,210	0.83	1.0	158,655	0.3
2.6	4,661	0.87	1.1	135,666	0.4
2.7	3,467	0.90	1.2	115,070	0.4
2.8	2,555	0.93	1.3	96,801	0.4
2.9	1,866	0.97	1.4	80,757	0.5
3.0	1,350	1.00	1.5	66,807	0.5
3.1	968	1.03	1.6	54,799	0.5
3.2	687	1.07	1.7	44,565	0.6
3.3	483	1.10	1.8	35,930	0.6
3.4	337	1.13	1.9	28,716	0.6
3.5	233	1.17	2.0	22,750	0.7
3.6	159	1.20	2.1	17,864	0.7
3.7	108	1.23	2.2	13,903	0.7
3.8	72.4	1.27	2.3	10,724	0.8
3.9	48.1	1.30	2.4	8,198	0.8
4.0	31.7	1.33	2.5	6,210	0.8
4.1	20.7	1.37	2.6	4,661	0.9
4.2	13.4	1.40	2.7	3,467	0.9
4.3	8.55	1.43	2.8	2,555	0.9
4.4	5.42	1.47	2.9	1,866	1.0

4.5	3.40	1.50	3.0	1,350	1.0
4.6	2.11	1.53	3.1	968	1.0
4.7	1.30	1.57	3.2	687	1.1
4.8	0.79	1.60	3.3	483	1.1
4.9	0.480	1.63	3.4	337	1.1
5.0	0.287	1.67	3.5	233	1.2
5.1	0.170	1.70	3.6	159	1.2
5.2	0.100	1.73	3.7	108	1.2
5.3	0.058	1.77	3.8	72	1.3
5.4	0.033	1.80	3.9	48	1.3
5.5	0.019	1.83	4.0	32	1.3
5.6	0.0107	1.87	4.1	21	1.4
5.7	0.0060	1.90	4.2	13	1.4
5.8	0.0033	1.93	4.3	8.5	1.4
5.9	0.0018	1.97	4.4	5.4	1.5
6.0	0.0010	2.00	4.5	3.4	1.5