

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**Ciclo Optativo de Profesionalización en
Gestión de Calidad Total y Productividad**



**“REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE PRENDAS DE SEGUNDA POR
DEFECTOS DE CONFECCIÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA
SEIS SIGMA, CASO: EMPRESA TEXTIL- CONFECCIONES”**

Presentado por:

**HERBERT ALFONSO YOPÁN COMECA
RENATO MARTIN GÁLVEZ CASTILLO**

Trabajo de Titulación para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ESTADÍSTICO E INFORMÁTICO

**LIMA – PERÚ
2014**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**Ciclo Optativo de Profesionalización en
Gestión de Calidad Total y Productividad**

**“REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE PRENDAS DE SEGUNDA POR
DEFECTOS DE CONFECCIÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA
SEIS SIGMA, CASO: EMPRESA TEXTIL- CONFECCIONES”**

Presentado por:

**HERBERT ALFONSO YOPÁN COMECA
RENATO MARTIN GÁLVEZ CASTILLO**

Trabajo de Titulación para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO ESTADÍSTICO E INFORMÁTICO

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

**Mg. Felipe De Mendiburu Delgado
Presidente**

**Mg. Raphael Félix Valencia Chacón
Miembro**

**Lic. Ana Cecilia Vargas Paredes
Miembro**

**Mg. Sc. Celso Gonzales Chavesta
Asesor**

DEDICATORIAS

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificios en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en la persona que soy. Es un privilegio ser su hijo, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Herbert Yopán Comeca

A mi familia, y en especial a mi madrina Flor Mercedes que fue la que siempre me apoyó y la que siempre creyó en mí desde los inicios hasta llegar a ser lo que soy ahora con mucho orgullo. Gracias

Renato Gálvez Castillo

Índice general

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1.	PROCESO DE FABRICACIÓN DE PRENDAS	4
2.2.	PROCESO DE COSTURA DE PRENDAS	5
2.3.	PRENDAS DE SEGUNDA	6
2.4.	DIAGRAMA SIPOC	6
2.5.	AMFE (Análisis de Modo, Falla y Efecto)	8
2.6.	DIAGRAMA DE PARETO	10
2.7.	DIAGRAMA DE FLUJO.....	12
2.8.	ESTUDIO DE NORMALIDAD	14
2.9.	REVISION DE PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZA.....	17
2.9.1.	Prueba de Bartlett	17
2.9.2.	Prueba de Levene.....	18
2.10.	REGRESION SIMPLE Y CORRELACIÓN.....	19
2.11.	CARTAS DE CONTROL	22
2.12.	ESTUDIO GAGE R&R.....	26
2.13.	ESTADISTICO KAPPA	27
2.14.	CAPACIDAD DE PROCESOS	28
2.14.1.	Concepto.....	28

2.14.2.	Índices CP y CPK.....	29
2.14.3.	Z de Bench.....	31
2.15.	METODOLOGIA SEIS SIGMA	32
2.15.1.	Definir.....	33
2.15.2.	Medir	33
2.15.3.	Analizar	33
2.15.4.	Mejorar	34
2.15.5.	Controlar.....	34
2.16.	EL NIVEL SIGMA	34
2.17.	COSTOS DE LA CALIDAD.....	35
2.17.1.	Costos de prevención.....	35
2.17.2.	Costos de evaluación	35
2.17.3.	Costos de falla internas.....	35
2.17.4.	Costos de fallas externas	35
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1.	LUGAR DE TRABAJO	36
3.2.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	36
3.2.1.	Equipos.....	36
3.2.2.	Documentos	36
3.3.	METODOLOGÍA DE TRABAJO	37
3.3.1.	Fase de Definir	37
3.3.2.	Fase de Medir	38
3.3.3.	Fase de Analizar	38

3.3.4.	Fase de Implementar.....	39
3.3.5.	Fase de Control.....	40
3.4.	CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1.	SELECCIÓN DEL PROBLEMA.....	42
4.2.	DIAGNÓSTICO	43
4.3.	PROPUESTA DE MEJORA.....	43
4.3.1.	Fase de Definición.....	44
4.3.2.	Fase de Medición.....	47
4.3.3.	Fase de Análisis	60
4.3.4.	Fase de Mejora	73
4.3.5.	Fase de Control.....	81
4.3.6.	Evaluación Económica	85
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
5.1.	CONCLUSIONES.....	88
5.2.	RECOMENDACIONES.....	89
VI.	BIBLIOGRAFIA	90
VIII.	ANEXOS.....	93

Índice de figuras

Figura 1: Proceso de Elaboración de Prenda.....	4
Figura 2: Proceso de Confección	5
Figura 3: Diagrama SIPOC.....	7
Figura 4: Diagrama de Pareto.....	12
Figura 5: Elementos del diagrama de flujo.....	13
Figura 6: Grafico de Normalidad de Datos	22
Figura 7: Gráficos de cartas de control P	25
Figura 8: Formulas para el estudio Gage R&R.....	41
Figura 9: Diagrama Pareto de Pérdidas económicas.....	42
Figura 10: Diagrama SIPOC del proceso de Costura.....	44
Figura 11: Diagrama de Pareto de Defectos por Costura	45
Figura 12: Diagrama de flujo de Costura de Prenda	48
Figura 13: Diagrama de Espina de pescado para el problema: Prendas de Segunda Calidad	49
Figura 14: Análisis AMFE del Proceso.....	50
Figura 15: Análisis de concordancia de atributos de la Calidad de Prendas.....	55
Figura 16: Grafica de probabilidad de Prendas de segunda calidad	57
Figura 17: Grafico P de Control de Prendas de segunda.....	58
Figura 18: Capacidad del proceso de prendas de segunda.....	59
Figura 19: Grafica de dispersión de Prendas de Segunda vs Polivalencia.....	61
Figura 20: Grafica de dispersión de prendas de segunda vs antigüedad de máquinas de coser	63
Figura 21: Gráfico de línea ajustada de prendas de segunda	65
Figura 22: Grafico de Probabilidades residuales.....	66
Figura 23: Prueba de igualdad de varianzas para agujas	68
Figura 24: Prueba de igualdad de varianzas para instalaciones.....	71
Figura 25: Prueba de igualdad de varianzas para instalaciones.....	77

Figura 26: Distribución de Polivalencias en Costura	78
Figura 27: Grafica de Efectos Principales de Prendas de Segunda Calidad.....	79
Figura 28: a) <i>AGUJAS ACTUALES</i> b) <i>AGUJAS NUEVAS</i>	80
Figura 29: Grafica P prendas de segunda	81
Figura 30: Capacidad de proceso de prendas de segunda.....	82

Índice de tablas

Tabla 01: Cuadro de Análisis AMFE	09
Tabla 02: Escala de Valores.....	09
Tabla 03: Comparación de las cartas de control por variables vs Atributos.....	24
Tabla 04: Tabla de Equivalencias de Kappa.....	28
Tabla 05: Criterio de decisión en Capacidad de Procesos.....	30
Tabla 06: Eficiencia de Procesos según nivel sigma.....	34
Tabla 07: Variables y Controlar.....	51
Tabla 08: Controles del proceso.....	84
Tabla 09: Costos totales de calidad.....	85

Índice de anexos

Anexo 1: Pruebas de Hipótesis.....	94
Anexo 2: Erro Tipo I Error Tipo II.....	96
Anexo 3: Nivel de Significancia.....	97
Anexo 4: Hoja de Autorización de Proyecto Seis Sigma.....	98
Anexo 5: Base De Datos Análisis De Repetibilidad Y Reproducibilidad.....	99

RESUMEN

El trabajo nace con la necesidad de mejorar el proceso de la confección de las prendas de vestir el cual origina un alto porcentaje de prendas de segunda calidad generando así grandes pérdidas económicas (US\$ 100,000 aprox. al año) y dañando la imagen de la empresa con sus clientes los cuales en su mayoría son de Europa, EEUU y Canadá. Hay que tener siempre en cuenta que los clientes establecen un máximo permitido de prendas defectuosas por pedido, un porcentaje mayor conlleva a penalidades y una baja puntuación por parte de los clientes al momento de las encuestas de satisfacción.

Por tal motivo la empresa implementó la metodología Seis Sigma para ofrecer un mejor producto o servicio al cliente, de una manera más rápida y al costo más bajo posible, la cual se inició el 04 de Marzo del 2013 y finalizó el 26 de Julio del 2013. Se empezó con una breve descripción del proceso de confección de prendas de vestir y las operaciones en el que está involucrado; luego se ejecutó el ciclo DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Implementar (Mejorar) y Controlar.

En la fase de **Definición**; se identificó las necesidades del cliente y los requerimientos críticos del producto (medidas de la prenda, costuras, modelo solicitado y doblado para despacho), como también de los principales defectos que generan prendas de segunda calidad, por lo que se utilizó diagramas SIPOC y gráficos de Pareto.

En la fase de **Medición**; se identificó y cuantificó las variables más relevantes del proceso de confección de prendas a controlar. Mediante el uso de herramientas de calidad como el estudio Gage R&R, gráficos de control, análisis de la capacidad del proceso y el nivel Seis Sigma se obtuvo la situación actual por la que atraviesa el proceso en estudio. El porcentaje promedio de productos no conformes por prendas de segunda calidad es del 0.90% con un nivel Six Sigma de 0.89 y un CPk de -0.20 lo cual nos indica que el proceso no es capaz de cumplir con los requerimientos del cliente, esta incapacidad del proceso se refleja en el alto porcentaje de piezas defectuosas por millón (PPM) que es de 72.92%.

En la fase de **Análisis**; se identificó las causas raíces que originan el problema, para ello se aplicó análisis de correlación, análisis de regresión múltiple y prueba de hipótesis que

ayudaron a identificar a la polivalencia de los costureros, el estado de las máquinas de coser, el número de la muestra de costura y la calidad de agujas como los factores mas importantes que afectan al porcentaje de prendas de segunda calidad.

En la fase de **Mejora**, se ejecutó las acciones en base a los resultados obtenidos en la fase de análisis con el objetivo de optimizar el proceso de confección de prendas de vestir; se plantean planes de acción; donde se ejecutan programas de capacitación al personal y se elaboran instructivos de trabajo para el proceso de costura.

La fase de **Control**; es la última de las fases y busca mantener los resultados obtenidos en la fase de mejora, para tal efecto calculamos el nuevo promedio y nivel Seis Sigma, obteniéndose los valores de 0.59% de prendas de segunda calidad y 3.89 nivel sigma respectivamente reduciendo significativamente el porcentaje de piezas defectuosas por millón (PPM) a 0.84%. Para tener bajo control el indicador y asegurar que mejore el tiempo, se diseñó planes de capacitaciones continuas a los 3 niveles operativos de la planta (operarios, supervisores, jefaturas). Es así que se asegura que el porcentaje de prendas de segunda calidad por defectos de costura se mantenga dentro del intervalo planteado.

Finalmente; en la evaluación económica realizada podemos notar claramente la reducción significativa de los costos de calidad, reduciéndose en promedio de S/. 24, 830 a S/. 10,100 al mes; esto significa una reducción del 60% de los costos de calidad. Si súmanos a esto la mejora de la imagen de la empresa entre sus clientes reflejadas en la disminución de penalidades por productos no conformes y una mayor puntuación en las encuestas al final de cada semestre el beneficio es aún mayor. En consecuencia, la ejecución del proyecto utilizando la metodología Seis Sigma ayudó a obtener beneficios económicos esperados.

I. INTRODUCCION

La industria textil - confecciones es uno de los sectores manufactureros de mayor importancia para el desarrollo de la economía peruana. Nuestro país tiene reconocimiento a nivel mundial respecto al algodón de alta calidad, cuya antigüedad data desde la época Pre Inca.

En la actualidad, el proceso de confección de prendas consta principalmente de tres etapas: Corte de tela (Ingreso de la materia prima principal: Tela), costura de prendas (proceso principal) y acabado de prendas (culminación de un producto). En cada una de estas etapas se genera un porcentaje de prendas defectuosas. En la etapa de costura estas prendas defectuosas son producto de errores en la confección y son clasificadas dependiendo de la gravedad de los defectos como prendas de segunda calidad por defectos de confección.

En los 2 últimos años se han incrementado el número de prendas de segunda calidad por defectos de confección (Proceso de costura), es así que en los 6 últimos meses este problema alcanzó un promedio del 0.90%. Si tenemos en cuenta que el 95% de los clientes de la empresa son extranjeros y exigen altos estándares de calidad para sus prendas, al punto de establecer un porcentaje máximo de 2.75% de prendas defectuosas por pedido; las cuales se separan en: 2.0% de prendas con defectos (Prendas de primera) y 0.75% de prendas de segunda calidad, estableciendo penalidades para la empresa si se pasa de estos porcentajes.

Este elevado porcentaje de prendas de segunda calidad significa una pérdida para la empresa por costos de calidad alrededor de US\$ 8,500 mensuales; este costo está compuesto por la sobreproducción realizada para poder cubrir el alto porcentaje de prendas defectuosas, las horas extras generadas para completar los pedidos y los costos originados por las inspecciones en los diferentes puntos del proceso para garantizar la calidad de las prendas. Este porcentaje significativo se ha convertido en un gran problema para la empresa; por lo que surge las

siguientes preguntas: ¿El proceso de costura cuenta con un nivel de desempeño productivo óptimo? ¿Es posible mejorar el proceso de confección para así reducir el porcentaje de prendas de segunda? ¿Se podrá crear estándares de producción que nos permitan asegurar un nivel de prendas de segundas mínimo?; para responder estas interrogantes la empresa ha decidido buscar una metodología estructurada que permita mejorar el proceso.

Para ayudar a la prevención de prendas defectuosas en el proceso de costura se aplicará Seis Sigma, que es una metodología de clase mundial.

A través de la metodología Seis Sigma mejoraremos el proceso de costura, usando un uso estructurado de las herramientas de mejora y de las técnicas estadísticas para la solución de problemas, la metodología nos ayudará a tomar decisiones en base a datos precisos y objetivos, buscaremos la causa raíz del alto porcentaje de prendas de segunda calidad para implementar soluciones sólidas y efectivas previniendo así la recurrencia de los problemas y finalmente con la ayuda de las cartas de control y capacidad de procesos nos enfocaremos en el control de las variables clave del proceso las cuales definen la calidad del producto.

Por todo lo mencionado, la empresa implementará un proyecto de mejora Seis Sigma que buscará responder las preguntas planteadas anteriormente y mejorar el proceso de costura.

OBJETIVOS:

Objetivo General:

Reducir el porcentaje de prendas de segunda calidad por defectos de confección de un 0.90% a 0.50%, utilizando la metodología Seis Sigma.

Objetivos Específicos:

- Identificar el nivel de desempeño actual del proceso de prendas de segunda calidad.
- Elaborar estándares de producción que permitan mantener un porcentaje aceptable de prendas de segunda calidad.

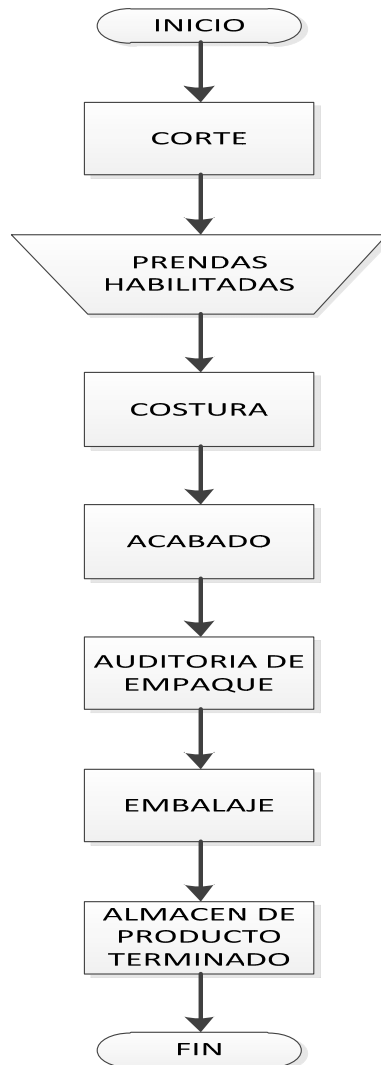
- Evaluar el criterio de las auditoras de calidad por medio del análisis de Repetibilidad y Reproducibilidad.
- Verificar las mejoras para asegurar que se cumplan los objetivos y que sean sostenibles en el tiempo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PRENDAS

El proceso de fabricación de la prenda fluye a lo largo de todos los procesos mostrados a continuación en el siguiente diagrama:

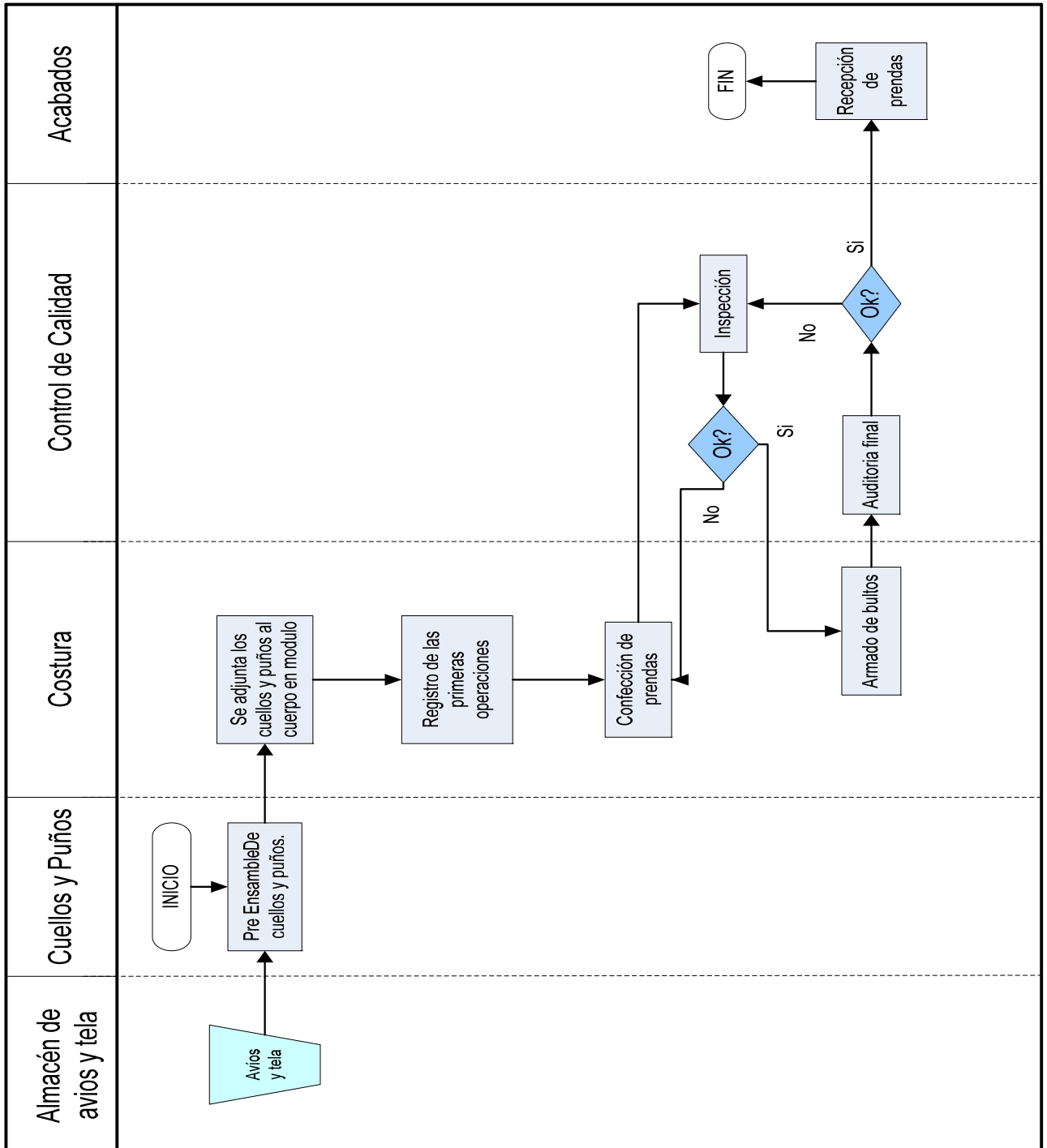
Figura 1: Proceso de Elaboración de Prenda



Fuente: Manual de Calidad de Texgroup S.A., 2012

2.2. PROCESO DE COSTURA DE PRENDAS

Figura 2: Proceso de Confección



Fuente: Manual de Calidad de Texgroup S. A., 2012

2.3. PRENDAS DE SEGUNDA

Se considera a una prenda como “Prenda de Segunda” a aquella que al momento de realizar la auditoría final (Auditoría de empaque) presenta defectos que no pueden solucionarse en un posterior reproceso, este defecto puede ser por causas de mala confección (costura) o defectos en los materiales usados (Tela, hilo, botón, etiquetas, etc).

En la empresa de confecciones se ha detallado todos los posibles defectos que derivan en Prendas de Segundas y se ha agrupado dichos defectos en el Catalogo de Fabricación de Prendas, con el cual se capacita constantemente al personal auditor para que pueda detectar dichos defectos y clasificar las prendas adecuadamente.

(Manual de Calidad de Texgroup S.A., 2012)

2.4. DIAGRAMA SIPOC

Un diagrama de SIPOC es una herramienta usada por un equipo para identificar todos los elementos relevantes de un proyecto de la mejora de proceso antes de que comience su trabajo.

Suppliers = Proveedores

Inputs = Insumos

Process = Proceso

Outputs = Salidas

Customers = Clientes

Una técnica que resulta muy útil para este propósito es el diagrama de alto nivel conocido como diagrama SIPOC, que sus siglas en español es Proveedor-Insumo-Proceso-Salidas-Cliente.

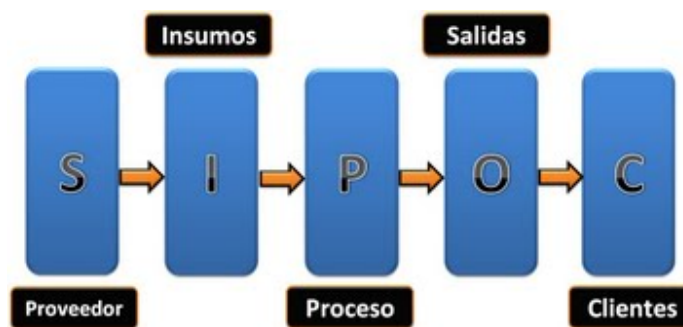
- Proveedor es cualquier persona que suministre algún insumo o recurso.
- Insumo es todo aquello que se requiera para realizar nuestro proceso, y puede ser desde información, materiales, actividades o recursos.

- Proceso es un conjunto de actividades o eventos (coordinados u organizados) que se realizan o suceden (alternativa o simultáneamente) con un fin determinado.
- Salida es el resultado del proceso.
- Cliente es la persona o proceso (interno o externo) que se ve afectada por el resultado del proceso. El objetivo más importante, al cual debemos de brindar una solución.

(Escalante Vázquez, E. 2003)

SIPOC es una herramienta que consiste en un diagrama, que permite visualizar al proceso de manera sencilla y general. Este esquema puede ser aplicado a procesos de todos los tamaños y a todos los niveles, incluso a una organización completa.

Figura 3: Diagrama SIPOC



Fuente: Escalante Vázquez, E., 2003

A través de la vinculación de estructuras SIPOC de un extremo a otro dentro de la empresa, podemos identificar la interacción que tiene los procesos de toda la organización, ya que podemos visualizar como el resultado de un proceso se convierte en la entrada de otro, y así sucesivamente, de tal manera que, al final podemos visualizar a toda la organización como un conjunto de procesos interrelacionados.

(Escalante Vázquez, E., 2003)

2.5. AMFE (Análisis de Modo, Falla y Efecto)

El Análisis de modos y efectos de fallas potenciales, AMFE, es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

Por lo tanto, el AMFE puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema
Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema.
- Documentar el proceso.

Aunque el método del AMFE generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste es aplicable para la detección y bloqueo de las causas de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, ya sea que estos se encuentren en operación o en fase de proyecto; así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios

En el análisis AMFE se toma en cuenta 3 importantes conceptos:

- SEVERIDAD: Indica que grave es la falla para el proceso.
- OCURRENCIA: Indica con qué frecuencia se presenta la falla.
- DETECCION: Indica con qué facilidad se puede detectar la falla.

Tabla 1: Cuadro de Análisis AMFE

Proceso	Modo de Falla	Efecto de la Falla	S E V	Causas	O C C	Control	D E T	R P N	Acción Recomendada	Responsable

Fuente: Gutiérrez Pulido, H., y Román de la Vara Salazar. 2009

El resultado del análisis AMFE es el resultado del producto de la SEVERIDAD, OCURRENCIA y DETECCION

Tabla 02: Escala de valores AMFE

Valor	SEVERIDAD	OCURRENCIA		DETECCION
10	Peligroso sin aviso	1 de 2	Muy Alta	Absoluta incertidumbre
9	Peligroso con aviso	1 de 3	Muy Alta	Muy remota
8	Muy Alto	1 de 8	Alta	Remota
7	Alto	1 de 20	Alta	Muy baja
6	Moderado	1 de 80	Moderada	baja
5	bajo	1 de 400	Moderada	Moderada
4	Muy Bajo	2,000	Moderada	Moderadamente alta
3	Menor	15,000	Baja	Alta
2	Muy Menor	150,000	Baja	Muy Alta
1	Ninguno	1,500,000	Remota	Casi Cierta

Fuente: Gutiérrez Pulido, H., y Román de la Vara Salazar. 2009

FORMULA DEL CÁLCULO DEL NÚMERO PRIORITARIO DE RIESGO (RPN)

$$RPN = SEV \times OCC \times DET$$

Dónde:

RPN: Número Prioritario de Riesgo (Por sus siglas en ingles)

SEV: Severidad

OCC: Ocurrencia

DET: Detección

(Gutiérrez Pulido, H., y Román de la Vara Salazar, 2009)

2.6. DIAGRAMA DE PARETO

El Análisis de Pareto es una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores según su contribución a un determinado efecto.

El objetivo de esta comparación es clasificar dichos elementos o factores en dos categorías: Las "Pocas Vitales" (los elementos muy importantes en su contribución) y los "Muchos Triviales" (los elementos poco importantes en ella).

- Características principales

A continuación se comentan una serie de características que ayudan a comprender la naturaleza de la herramienta.

- Priorización

Identifica los elementos que más peso o importancia tienen dentro de un grupo.

- Unificación de Criterios

Enfoca y dirige el esfuerzo de los componentes del grupo de trabajo hacia un objetivo prioritario común.

- Carácter objetivo

Su utilización fuerza al grupo de trabajo a tomar decisiones basadas en datos y hechos objetivos y no en ideas subjetivas.

No obstante, el principio de Pareto permite utilizar herramientas de gestión, como el diagrama de Pareto, que se usa ampliamente en cuestiones relacionadas con el control de calidad (el 80 % de los defectos radican en el 20 % de los procesos). Así, de forma relativamente sencilla, aparecen los distintos elementos que participan en un fallo y se pueden identificar los problemas realmente relevantes, que acarrearán el mayor porcentaje de errores.

(Vilar Barrio, J., y Delgado Tejada, T. 2005)

TABLAS Y DIAGRAMAS DE PARETO

- Definición

Las Tablas y Diagramas de Pareto son herramientas de representación utilizadas para visualizar el Análisis de Pareto.

El Diagrama de Pareto es la representación gráfica de la Tabla de Pareto correspondiente.

- Características principales

A continuación se comentan una serie de características fundamentales de las Tablas y los Diagramas de Pareto.

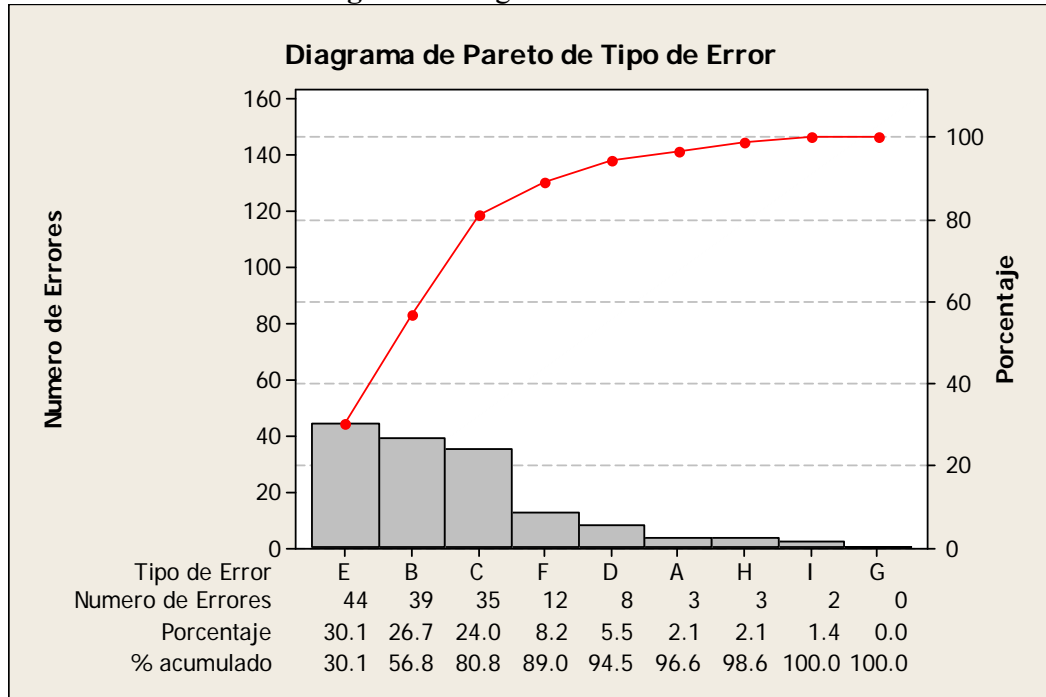
- Simplicidad

Tanto la Tabla como el Diagrama de Pareto no requieren ni cálculos complejos ni técnicas sofisticadas de representación gráfica.

- Impacto visual

El Diagrama de Pareto comunica de forma clara, evidente y de un "vistazo", el resultado del análisis de comparación y priorización.

Figura 4: Diagrama de Pareto



Fuente: Vilar Barrio, J., y Delgado Tejada, T. 2005

2.7. DIAGRAMA DE FLUJO

Diagrama de Flujo es una representación gráfica de la secuencia de etapas, operaciones, movimientos, decisiones y otros eventos que ocurren en un proceso. Esta representación se efectúa a través de formas y símbolos gráficos.

Características:

- *Capacidad de Comunicación*

Permite la puesta en común de conocimientos individuales sobre un proceso, y facilita la mejor comprensión global del mismo.

- Claridad



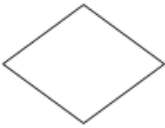
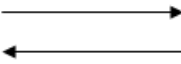


Proporciona información sobre los procesos de forma clara, ordenada y concisa.

Debido a sus características principales, la utilización del Diagrama de Flujo será muy útil cuando:

- Se quiere conocer o mostrar de forma global un proceso.
- Para comparar dos procesos o alternativas de uno dado.
- Se necesita una guía que permita un análisis sistemático de un proceso.

(Vilar Barrio, J., y Delgado Tejada, T. 2005)

Figura 5: Elementos del diagrama de flujo

Nombre Símbolo	Descripción	Símbolo
Terminador	Representa el inicio o fin de un diagrama de flujo	
Proceso	Representa una actividad o proceso.	
Decisión	Representa la bifurcación de un proceso	
Flecha	Representa el camino que une los elementos del diagrama	
Documento	Representa documentos en el soporte papel	
Base de Datos	Representa información en soporte digital	

Fuente:

Material de entrenamiento Green Belt, Instituto para la calidad (2008)

2.8. ESTUDIO DE NORMALIDAD

Muchos métodos estadísticos se basan en la hipótesis de normalidad de la variable objeto de estudio. De hecho, si la falta de normalidad de la variable es suficientemente fuerte, muchos de los contrastes utilizados en los análisis estadístico-inferenciales no son válidos. Incluso aunque las muestras grandes tiendan a disminuir los efectos perniciosos de la no normalidad, el investigador debería evaluar la normalidad de todas las variables incluidas en el análisis.

Existen varios métodos para evaluar la normalidad de un conjunto de datos que pueden dividirse en dos grupos: los métodos gráficos y los contrastes de hipótesis.

(Salvador Figueras, M. y Gargallo, P, 2003)

Métodos gráficos

El método gráfico univariante más simple para diagnosticar la normalidad es una comprobación visual del histograma que compare los valores de los datos observados con una distribución normal. Aunque atractivo por su simplicidad, este método es problemático para muestras pequeñas, donde la construcción del histograma puede distorsionar la representación visual de tal forma que el análisis sea poco fiable.

Otras posibilidades, también basadas en información gráfica, consisten en realizar diagramas de cuantiles (Q-Q plots).

Los diagramas de cuantiles comparan en un sistema de coordenadas cartesianas, los cuantiles muestrales (eje X) con los cuantiles esperados bajo la hipótesis normalidad. Si la distribución de partida es normal dichos diagramas tenderán a ser rectas que pasan por el origen. Cuanto más se desvíen de una recta menos normal serán los datos.

Contrastes de Hipótesis

La segunda de las formas para comprobar la normalidad de una distribución se efectúa a través

de un *contraste de hipótesis*. No existe un contraste óptimo para probar la hipótesis de normalidad. La razón es que la potencia relativa depende del tamaño muestral y de la verdadera distribución que genera los datos. Desde un punto de vista poco riguroso, el contraste de Shapiro y Wilks es, en términos generales, el más conveniente en muestras pequeñas ($n < 30$), mientras que el contraste de Kolmogorov-Smirnov, en la versión modificada de Lilliefors es adecuado para muestras grandes.

En el *test de Kolmogorov-Smirnov* la hipótesis nula que se pone a prueba es que los datos proceden de una población con distribución normal frente a una alternativa de que no es así. Este contraste calcula la distancia máxima entre la función de distribución empírica de la muestra y la teórica. Si la distancia calculada es mayor que la encontrada en las tablas, fijado un nivel de significación, se rechaza el modelo normal.

El *contraste de Shapiro y Wilks* se utiliza para muestras pequeñas ($n < 30$) y utiliza el hecho de que si $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$ es una muestra ordenada de la $N(\mu, \sigma)$ entonces:

por lo que $E[x_{(i)}] = \mu + \sigma C_{i,n}$ y el gráfico de $x_{(i)}$ frente a $C_{i,n}$ será una recta.

$$E\left[\frac{x_{(i)} - \mu}{\sigma}\right] = C_{i,n} \quad \text{donde } C_{i,n} = \phi^{-1}\left(\frac{i - 3/8}{n + 1/4}\right)$$

Dado que $\phi(C_{i,n}) + \phi(C_{n+1-i,n}) = 1$ $i=1, \dots, n/2$ se tiene que $C_{i,n} = -C_{n+1-i,n}$ por lo que $C_{1,n} + \dots + C_{n,n} = 0$.

El test de Shapiro-Wilks se basa en calcular el coeficiente de correlación entre $x_{(i)}$ y $C_{i,n}$ y cuanto más cerca de 1 esté, mayor será el grado de normalidad de la distribución y viene dado por la expresión:

$$r^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{(i)} C_{i,n}\right)^2}{nS^2 \left(\sum_{i=1}^n C_{i,n}^2\right)}$$

Shapiro y Wilks evalúan la distribución del estadístico r^2 bajo hipótesis de normalidad y proporcionan un test que rechaza dicha normalidad cuando el ajuste es bajo, es decir, cuando el estadístico toma valores pequeños.

Otros contrastes muy utilizados son los *tests de asimetría y curtosis* cuyos estadísticos muestrales vienen dados por:

$$z_{asimetria} = \frac{asimetria}{\sqrt{\frac{6}{N}}} \quad \text{y} \quad z_{curtosis} = \frac{curtosis}{\sqrt{\frac{24}{N}}}$$

Donde N es el tamaño muestral. Si es cierta la hipótesis de normalidad ambos se distribuyen asintóticamente según una $N(0,1)$.

(Gutiérrez Pulido, H., y Román de la Vara Salazar. 2009)

La *prueba de Anderson-Darling* es una prueba no paramétrica sobre si los datos de una muestra provienen de una distribución específica. La fórmula para el estadístico determina si los datos $\{Y_1 < \dots < Y_N\}$ (observar que los datos se deben ordenar) vienen de una distribución con función acumulativa F

$$A^2 = -N - S$$

$$S = \sum_{k=1}^N \frac{2k-1}{N} [\ln F(Y_k) + \ln(1 - F(Y_{N+1}))]$$

El estadístico de la prueba se puede entonces comparar contra las distribuciones del estadístico de prueba (dependiendo que F se utiliza) para determinar el P-valor.

(Gutiérrez Pulido, H., y Román de la Vara Salazar. 2009)

2.9. REVISION DE PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZA

2.9.1. Prueba de Bartlett

Introducida por Bartlett en 1937, es una modificación del test de Neyman y Pearson para “corregir el sesgo” ; esta prueba es la que se utiliza con más frecuencia para probar la homogeneidad de las varianzas (Conover et al. 1981). En esta prueba los ni en cada tratamiento no necesitan ser iguales; sin embargo, se recomienda que los ni no sean menores que 3 y muchos de los ni deben ser mayores que 5

El estadístico de prueba se define como:

$$U = \frac{1}{C} \left[(N - k) \ln(s^2) - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln s_i^2 \right]$$

Donde:

$$C = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left(\sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{N - k} \right)$$

Cuando la hipótesis nula es cierta, el estadístico tiene d istribución aproximadamente X² con k-1 grados de libertad; cuando el muestreo se realiza en poblaciones normales, la aproximación es buena para muestras bastante pequeñas (Layard 1973). No requiere que los tamaños de las muestras sean iguales. Es muy sensible a alejamientos del supuesto de normalidad

(Montgomery 2013)

Si tenemos evidencia fuerte de que los datos vienen de hecho de una distribución normal, o casi normal, entonces la prueba de Bartlett tiene un buen desempeño.

2.9.2. Prueba de Levene

El estadístico de la prueba de Levene, W, se define como sigue:

$$W = \frac{(N - k) \sum_{i=1}^k N_i (Z_{i.} - Z_{..})^2}{(k - 1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (Z_{ij} - Z_{i.})^2}$$

Dónde:

- W es el resultado de la prueba.
- k es el número de diferentes grupos a los que pertenecen los casos incluidos en la muestra.
- N es el número total de casos en todos los grupos,
- N_i es el número de casos en el grupo i-ésimo,
- $Y_{\{ij\}}$ es el valor de la variable medida para el caso j-ésimo del grupo i-ésimo
- $Z_{ij} = \begin{cases} \{Y_{ij} - \bar{Y}_i\} \dots \bar{Y}_i & \text{es la media del i-ésimo grupo} \\ \{Y_{ij} - \tilde{Y}_i\} \dots \tilde{Y}_i & \text{es la mediana del i-ésimo grupo} \end{cases}$
- $Z_{..} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} Z_{ij}$ es la media de Z_{ij}
- $Z_{i.} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_i} Z_{ij}$ es la media de Z_{ij} para el grupo i

El significado de W se prueba contra F (α , k-1, N-K) donde F es un cuantil de la distribución de la prueba F, con k-1 y N-k sus grados de libertad, y α es el nivel de significación elegido (por lo general 0,05 o 0,01).

La prueba de Levene ofrece una alternativa más robusta que el procedimiento de Bartlett, ya que es poco sensible a la desviación de la normalidad. Eso significa que será menos probable

que rechace una verdadera hipótesis de igualdad de varianzas solo porque las distribuciones de las poblaciones muestreadas no son normales

Fuente: http://www.emis.de/journals/RCE/V29/V29_1_57CorreaIral.pdf

2.10. REGRESION SIMPLE Y CORRELACIÓN

La Regresión y la correlación son dos técnicas estadísticas que se pueden utilizar para solucionar problemas comunes en los negocios.

Muchos estudios se basan en la creencia de que es posible identificar y cuantificar alguna Relación Funcional entre dos o más variables, donde una variable depende de la otra variable.

Se puede decir que Y depende de X, en donde Y y X son dos variables cualquiera en un modelo de Regresión Simple.

$$Y = f(X)$$

Como Y depende de X,

Y es la variable dependiente, y

X es la variable independiente.

En el Modelo de Regresión es muy importante identificar cuál es la variable dependiente y cuál es la variable independiente.

(Gutiérrez Pulido, H., y Román de la Vara Salazar. 2009)

ANALISIS ESTADISTICO

En el estudio de la relación funcional entre dos variables poblacionales, una variable X, llamada independiente, explicativa o de predicción y una variable Y, llamada dependiente o variable respuesta, presenta la siguiente notación:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_{ij}$$

Dónde:

β_0 , es el valor de la ordenada donde la línea de regresión se intercepta con el eje Y.

β_1 , es el coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta).

e_{ij} , es el error.

SUPOSICIONES DE LA REGRESIÓN LINEAL

1. Los valores de la variable independiente X son fijos, medidos sin error.
2. La variable Y es aleatoria.
3. Para cada valor de X, existe una distribución normal de valores de Y (subpoblaciones Y)
4. Las variancias de las subpoblaciones Y son todas iguales.
5. Todas las medias de las subpoblaciones de Y están sobre la recta.
6. Los valores de Y están normalmente distribuidos y son estadísticamente independientes.

(Gutiérrez Pulido, H., y Román de la Vara Salazar. 2009)

ESTIMACIÓN DE LA ECUACIÓN DE REGRESIÓN MUESTRAL

Consiste en determinar los valores de " b_0 " y " b_1 " a partir de la muestra, es decir, encontrar los valores de a y b con los datos observados de la muestra. El método de estimación es el de **Mínimos Cuadrados**, mediante el cual se obtiene:

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2}$$

Luego, la ecuación de regresión muestral estimada es

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X$$

Que se interpreta como:

b_0 , es el estimador de β_0

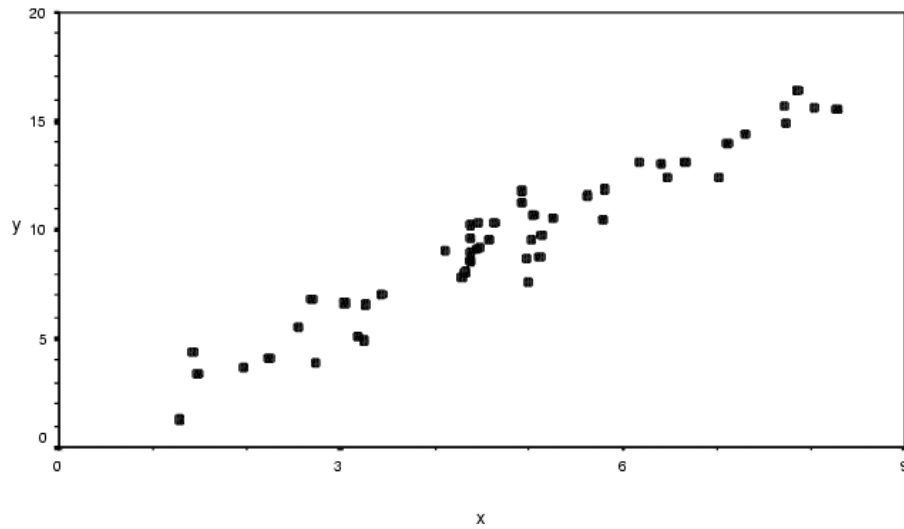
Es el valor estimado de la variable Y cuando la variable X = 0

b_1 , es el estimador de β_1 , es el coeficiente de regresión

Está expresado en las mismas unidades de Y por cada unidad de X. Indica el número de unidades en que varía Y cuando se produce un cambio, en una unidad, en X (pendiente de la recta de regresión).

Un valor negativo de b_1 sería interpretado como la magnitud del decremento en Y por cada unidad de aumento en X.

Figura 6: Grafico de Normalidad de Datos



Fuente: Gutiérrez Pulido, H., y Román de la Vara Salazar. 2009

2.11. CARTAS DE CONTROL

Las cartas de control son la herramienta más poderosa para analizar la variación en la mayoría de los procesos. Han sido difundidas exitosamente en varios países dentro de una amplia variedad de situaciones para el control del proceso.

Las cartas de control enfocan la atención hacia las causas especiales de variación cuando estas aparecen y reflejan la magnitud de la variación debida a las causas comunes.

Las *causas comunes o aleatorias* se deben a la variación natural del proceso.

Las *causas especiales o atribuibles* son por ejemplo: un mal ajuste de máquina, errores del operador, defectos en materias primas.

Se dice que un proceso está bajo *Control Estadístico* cuando presenta causas comunes únicamente. Cuando ocurre esto tenemos un proceso estable y predecible. Cuando existen causas especiales el proceso está fuera de Control Estadístico; las gráficas de control detectan la existencia de estas causas en el momento en que se dan, lo cual permite que podamos tomar acciones al momento.

(Escalante Vázquez, 2003)

Cartas por Variables y por Atributos

En Control de Calidad mediante el término ***variable*** se designa a cualquier característica de calidad “medible” tal como una longitud, peso, temperatura, etc. Mientras que se denomina ***atributo*** a las características de calidad que no son medibles y que presentan diferentes estados tales como conforme y disconforme o defectuoso y no defectuoso.

Según sea el tipo de la característica de calidad a controlar así será el correspondiente Gráfico de Control que, por tanto, se clasifican en Cartas de Control por Variables y Cartas de Control por Atributos.

Tabla 03: Comparación de las cartas de control por Variables vs. Atributos

	<i>Cartas de Control por variables</i>	<i>Cartas de control por atributos</i>
<i>Ventajas significativas</i>	Conducen a un mejor procedimiento de control.	Son potencialmente aplicables a cualquier proceso.
	Proporcionan una utilización máxima de la información disponible de datos.	Los datos están a menudo disponibles. Son rápidos y simples de obtener.
		Son fáciles de interpretar.
		Son frecuentemente usados en los informes a la Gerencia.
	Más económicas	
<i>Desventajas significativas</i>	No se entienden a menos que se de capacitación; puede causar confusión entre los límites de especificación y los límites de tolerancia.	No proporciona información detallada del control de características individuales.
		No reconoce distintos grados de defectos en las unidades de producto.

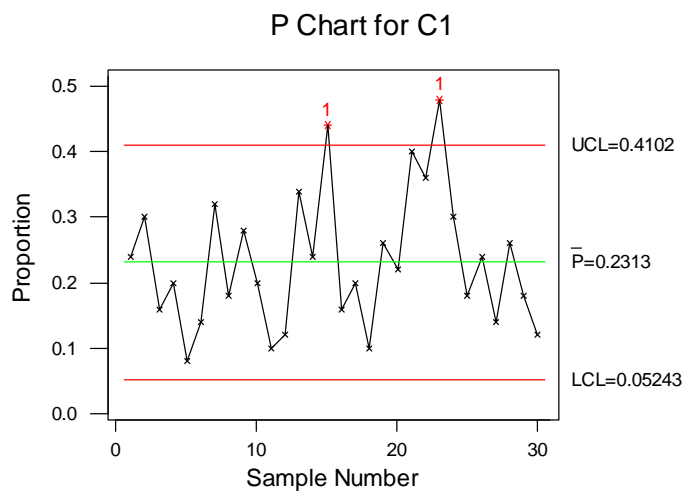
Fuente: Escalante Vázquez

Gráfica P para fracción de Unidades Defectuosas (atributos)

La gráfica p mide la fracción defectuosa o sea las piezas defectuosas en el proceso. Se puede referir a muestras de 75 piezas, tomada dos veces por día; 100% de la producción durante una hora, etc. Se basa en la evaluación de una característica (¿se instaló la pieza requerida?) o de muchas características (¿se encontró algo mal al verificar la instalación eléctrica?). Es importante que cada componente o producto verificado se registre como aceptable o defectuoso (aunque una pieza tenga varios defectos específicos se registrará sólo una vez como defectuosa).

(Escalante Vázquez, 2003)

Figura 7: Gráficos de cartas de control P



Fuente: Escalante Vázquez, E. 2003

2.12. ESTUDIO GAGE R&R

Es una herramienta estadística que mide la cantidad de variación en el sistema de la medida que se presenta del dispositivo de la medida y de la gente que toman la medida. Los errores en los sistemas de medición pueden clasificarse en dos categorías: errores de exactitud y errores de precisión. La exactitud describe la diferencia entre el valor registrado y el real. La precisión describe la variación que se observa al medir el mismo elemento de forma repetida y usando el mismo método de medición. Podemos encontrarnos con sistemas de medición que se vean afectados sólo por alguno de estos tipos de errores y otros que sufran de falta de exactitud y de precisión:

Podemos descomponer la exactitud de un sistema de medida en tres componentes:

- a. Linealidad: Indica cómo varía el nivel de exactitud obtenido en la medición en función del tamaño del objeto medido. Da una idea de cómo el tamaño del elemento a medir afecta a la exactitud del sistema de medida.
- b. Exactitud: Es la diferencia entre la medición media observada y un valor maestro”. Da una idea de lo “centrado” o “ajustado” que está el sistema de medida.
- c. Estabilidad: Es la variación total que se obtendría al medir el mismo elemento repetidas veces usando un mismo aparato de medición. Nos da una idea de cómo de exacto o estable es el sistema con el paso del tiempo.

Análogamente, podemos descomponer la precisión o medida de la variación en dos partes:

- a. Repetibilidad: Es la variación observada cuando el mismo operario mide el mismo elemento de forma repetida usando el mismo aparato. Da una idea de la variación debida a dicho aparato de medida.
- b. Reproducibilidad: Es la variación observada cuando distintos operarios miden el mismo elemento usando el mismo aparato. Nos da una idea de la variación debida al operario.

Fuente: NTP ISO 5725- 2013 Exactitud

Entre las fórmulas más utilizadas en una prueba Gage R&R, se tiene:

Fórmulas para el estudio Gage R&R

$$\text{Número de categorías} = \frac{\text{Variación de las piezas} \times 1.414}{R \& R}$$

$$\% \text{Variación del estudio} = \frac{\text{Variación de los componentes del estudio} \times 100}{\text{Variación total del estudio}}$$

$$R \& R = \frac{R \& R}{\text{Variación total}} \times 100$$

Fuente: (Gutiérrez Pulido, H., y Román de la Vara Salazar. 2009)

2.13. ESTADISTICO KAPPA

Para estudiar los análisis de congruencia de atributos, se utilizan los estadísticos Kappa; estos estadísticos se utilizan cuando los datos recolectados son de forma binaria o nominal; el estadístico trata a todas las mediciones clasificadas erróneamente de igual manera, sin importar su magnitud. Mientras mayor sea la congruencia entre mediciones, mayor será el valor del estadístico Kappa, por lo que si toma un valor de 1, significa que la congruencia es perfecta; si toma un valor de 0 entonces se interpreta como que la congruencia fue la misma que los resultados que se obtendrían basándose únicamente en la suerte; finalmente, si el estadístico Kappa presenta un valor menor que cero entonces la congruencia es menor que la que se esperaría si sólo estuviera influenciada por suerte.

(Montgomery, 2005)

Tabla 04: Tabla de Equivalencias de Kappa

<i>Valor de k</i>	<i>Fuerza de la Concordancia</i>
< 0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Buena
0.81 – 1.00	Muy buena

Fuente: Elaboración Propia

2.14. CAPACIDAD DE PROCESOS

2.14.1. Concepto

La principal razón para cuantificar la capacidad de un proceso es la de calcular la habilidad del proceso para mantener dentro de las especificaciones del producto. Para procesos que están bajo control estadístico, una comparación de la variación de 6σ con los límites de especificaciones permite un fácil cálculo del porcentaje de defectuosos mediante la tolerancia estadística convencional.

(Escalante Vázquez, E. 2003)

2.14.2. Índices CP y CPK

El índice de capacidad del proceso es la fórmula utilizada para calcular la habilidad del proceso de cumplir con las especificaciones y se expresa de la siguiente manera:

$$ICP = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Dónde: ICP: Índice de

Capacidad del Proceso

LSE: Límite superior Especificado

LIE: Límite inferior Especificado

σ : Desviación estándar de los datos individuales

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Dónde:

\bar{R} = Promedio de los rangos de la carta de control.

d_2 = Constante de cálculo.

(Escalante Vázquez, E. 2003)

El ICP puede asumir varios valores, que los analistas clasifican entre valor 1 y valor 4 según sea la habilidad del proceso para cumplir con las especificaciones:

Tabla 05: Criterio de decisión en Capacidad de Procesos

ICP	Decisión
ICP > 1.33	Proceso Capaz.
1 < ICP < 1.33	Proceso capaz pero requiere seguimiento estricto.
ICP < 1	Proceso no capaz.

Fuente: Escalante Vázquez, 2003

Otra medida para la cuantificación del índice de capacidad de proceso es el Cpk, que está definido como el menor valor encontrado entre el Cpu y el Cpl, que se define como:

$$C_{pu} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma} \qquad C_{pl} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}$$

Donde C_{pu} : Capacidad de proceso teniendo en cuenta únicamente la especificación superior del proceso.

LIE: Limite de especificación inferior de la variable

LSE: Limite de especificación superior de la variable

\bar{X} : Valor promedio encontrado de los datos

σ : Desviación estándar del proceso

C_{pu} y C_{pl} solo evalúan la mitad de la distribución de los datos teniendo en cuenta solo 3σ . Es útil cuando la especificación de la variable, solo se expresa como un máximo o como un mínimo, para indicar al analista en que sector de la especificación (superior o inferior) se presenta más riesgo de incumplimiento de los valores establecidos.

Los valores de Cpk, son ampliamente utilizados como indicadores de la calidad de un proceso o producto. El valor de $Cpk = 1.33$ se ha establecido como un parámetro deseado porque la obtención de este valor en un proceso o producto significa que por cada 10000 mediciones 3 de ellas existe la probabilidad estadística que se encuentre fuera de los límites de especificación.

(Escalante Vázquez, 2003)

2.14.3. Z de Bench

El Z en Z.Bench se refiere a la distribución normal estándar con media 0 y desviación estándar 1. Esta estadística se considera un "punto de referencia", ya que es una norma por la cual el proceso se puede medir (es decir, la estadística es un informe de la capacidad de la sigma del proceso).

Una de sus características atractivas, es que también tiene en cuenta la información sobre los dos lados de la curva, que, como se mencionó anteriormente en el caso del Cpk / Ppk, no sucede de la misma manera. El Z.Bench es el valor de z que se obtiene de un estándar distribución normal si coloca la probabilidad de defectos por completo en la cola derecha

Otra característica en particular es que también pasa a estar un paso más cerca de lo que representa un valor en unidades PPM, si lo multiplicamos por un millón. Así, un ZBench igualando 4.5 es equivalente a 3.4 PPM defectuoso. Depende de uno elegir con cual se trabajara.

El cambio de 1,5 sigma se puede utilizar para calcular la capacidad a largo plazo de un proceso cuando sólo pocas observaciones se han recogido mediante el uso de la relación: $Z_{bench}(\text{largo}) = Z_{bench}(\text{corto}) - 1,5$.

(Juan Carlos Correa, Rene Iral, Lucinia Rojas, 2006)

2.15. METODOLOGIA SEIS SIGMA

Fue iniciado en Motorola el año 1982 por el ingeniero Bill Smith, como una estrategia de negocios y mejora de la calidad, pero posteriormente mejorado y popularizado por General Electric. El Seis Sigma es una metodología de mejora continua que se enfoca en la reducción de defectos en todo tipo de procesos, para de esa forma reducir costos de mala calidad e incrementar la satisfacción de los clientes.

(Vilar Barrio, J., y Delgado Tejada, T. 2005)

El propósito del Seis Sigma es disminuir el número de defectos en un producto o servicios y llegar a un máximo de 3,4 “defectos” por millón de instancias u oportunidades, entendiéndose como “defecto”, cualquier instancia en que un producto o un servicio no logran cumplir los requerimientos del cliente. El Seis Sigma, integra el factor humano y las herramientas de mejora.

- El Factor Humano: crea una infraestructura humana (Champions, Master Black Belt, Black Belt y Green Belt) que lideran, despliegan y llevan a cabo las propuestas.
- Herramientas de mejora: Ordena y relaciona las herramientas (principalmente herramientas estadísticas) que han probado su efectividad en procesos de mejora.

Además, es una medida de rendimiento de los procesos, es una metodología de mejora del negocio, es una iniciativa de transformación empresarial y establece una metodología sistemática y ordenada de mejora de la calidad.

- Champion: Corresponde a la alta gerencia o ejecutivos.
- Master Black Belt: Pueden ser los gerentes o jefes con dominio de herramientas estadísticas.
- Black Belt: Pueden ser ingenieros, técnicos o personal con 5 o más años de experiencia. Un BB es la persona que tutoriza o dirige un equipo Seis Sigma a tiempo

- Green Belt: Suelen ser empleados que han recibido suficiente formación Seis Sigma. En general es el personal técnico o de soporte del área involucrada.

(Vilar Barrio, J., y Delgado Tejada, T. 2005)

El proceso Seis Sigma se ha desarrollado como sistema para la resolución de problemas el método DMAIC (Definir el problema o el defecto, Medir y recopilar datos, Analizar datos, Mejorar y Controlar).

2.15.1. Definir

Es la primera etapa del DMAIC, definir es identificar de qué se trata el proceso y que debe lograr el proceso. Para ello el equipo revela y registra los requerimientos y expectativas de los clientes, además determina el alcance del proyecto.

2.15.2. Medir

Cuantificar el rendimiento actual del proceso es el segundo paso, el desarrollo de esta etapa es recolectar los datos y se identifican la fuente de los mismos. El equipo mide variables claves proceso, para cual valida sus sistemas de medición

2.15.3. Analizar

Entender la relación entre los resultados del proceso y sus variables. En esta etapa se lleva acabo el análisis de la información obtenida para determinar las causas raíz de los defectos y oportunidades de mejora, de acuerdo a la importancia del cliente.

2.15.4. Mejorar

Diseñar, validar e implementar las soluciones que atacarán el problema raíz y lleve los resultados a las expectativas de los clientes.

2.15.5. Controlar

Verificar, implementar y asegurar la permanencia de los resultados es el objetivo de esta fase. (Vilar Barrio, J., y Delgado Tejada, T. 2005)

2.16. EL NIVEL SIGMA

Los niveles de mejora del Seis Sigma, es el valor de la cantidad de sigmas, correspondientes a la variación del proceso, que “entran” dentro de la mitad de las especificaciones.

Tabla 06: Eficiencia de Procesos según el nivel sigma

Nivel Sigma	Defectos por Millón de oportunidades (DPMO)	Eficiencia del Proceso
1	690,000	31%
2	308,538	69%
3	66,807	93.30%
4	6,210	99.38%
5	233	99.98%
6	3.4	99.99%

Fuente: Elaboración Propia

2.17. COSTOS DE LA CALIDAD

Los costos de la calidad son un medio para detectar oportunidades para llevar a cabo mejoras en la calidad. Mediante un análisis de Pareto se define y se da prioridad. Este análisis permite al programa de mejora de la calidad en concentrarse en los procesos vitales.

2.17.1. Costos de prevención

Aquellos en los que incurren buscando que la producción de productos se encuentre dentro de las especificaciones. Representan el costo de todas las actividades llevadas a cabo para evitar los defectos.

2.17.2. Costos de evaluación

Son aquellos costos incurridos en la búsqueda y detección de imperfecciones en los productos que por alguna razón no cumplen las especificaciones requeridas.

2.17.3. Costos de falla internas

Una vez que se han detectado las fallas internas y antes de ser enviado a los clientes es necesario eliminar las imperfecciones encontrados en los productos, esto incluye costos en materiales, mano de obra, etc.

2.17.4. Costos de fallas externas

Son aquellos costos incurridos después que el producto ha sido entregado al cliente, se detectan productos que no cumplan con las especificaciones.

(Nelson H. Pagella, 2005)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE TRABAJO

El trabajo de investigación se realizó en una empresa de confecciones ubicada en la urbanización Vulcano – Ate.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Equipos

- Hardware: Computadora e impresora
- Software: Windows 7, Word 2010, Excel 2010, Minitab 16, Internet Explorer.

3.2.2. Documentos

- NTP-ISO 2859-1 2013. PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO PARA INSPECCIÓN POR ATRIBUTOS. Parte 1
- NTP-ISO 3435-1:2006. Vocabulario y símbolos. Parte 1. Términos generales de estadística y probabilidad.
- NTP –ISO 5725. Exactitud. Parte 1
- Manual de Calidad – Documento interno.

- Procedimiento de Auditoría final de Costura – Documento interno.
- Instructivo de Auditoría de Costura – Documento interno.

3.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El trabajo se desarrolló en base a la metodología Seis Sigma con los pasos plenamente establecidos en la metodología, las cuales vienen a ser: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Para el inicio del proyecto se formó un equipo con personas que conocían el proceso y por ende aportaron sus conocimientos en la mejora del indicador. Se procedió a redactar la hoja de autorización del proyecto donde se especifica los miembros del equipo (compromiso de trabajo), origen del proyecto, impacto en la empresa y autorización de la dirección. (ANEXO 04)

Posteriormente se desarrolló uno a uno los pasos de la metodología, los cuales se muestran a continuación.

3.3.1. Fase de Definir

Conjuntamente con la gerencia y jefaturas involucradas se definió los objetivos del proyecto, tanto el principal como los secundarios, se definió el alcance del mismo mediante el mapa del proceso. Se elaboró el mapa SIPOC para poder definir las entradas y salidas del proceso a analizar.

En estas reuniones se definió tanto la variable respuesta como las metas a alcanzar al final del proyecto como del ahorro esperado.

Para esta fase nos apoyamos de herramientas de gestión como matriz de selección, diagrama SIPOC, y diagramas de Pareto.

3.3.2. Fase de Medir

Se procedió a elaborar el mapa del proceso para poder tener una visión general del mismo, la recopilación de información se obtuvo mediante reuniones con los operarios y supervisores, a través de una lluvia de ideas se elaboró el diagrama de causa - efecto que nos permitió poder identificar las variables que afectan a nuestra variable objetivo. Posteriormente se realizó el cuadro de análisis, modo, falla y efecto (AMFE) que nos ayudó a través del RPN a clasificar los problemas de mayor significancia en el proyecto.

Se validó el sistema de medición con la prueba de repetibilidad y reproducibilidad, identificando así a los auditores de calidad que presentaban deficiencia en sus auditorías. Mediante la elaboración de estadísticas descriptivas obtuvimos una visión general de los resultados del proceso y evidenciar algún problema en el mismo si existiera.

Finalmente, se analizó la variable objetivo mediante cartas de control que nos permitió conocer si el indicador está bajo control o no. Mediante el análisis de la capacidad de procesos observamos que tan capaz es el proceso, CPk y nivel sigma del mismo al inicio del proyecto.

3.3.3. Fase de Analizar

Mediante el análisis de correlación, regresión y prueba de hipótesis se buscó confirmar las teorías establecidas sobre las causas que impiden a la variable de estudio se encuentre dentro de los límites requeridos.

Las causas potenciales de variación son:

- Polivalencia de Costureros
- Estado de máquinas de coser.

- Número de muestra de costura.
- Calidad de agujas.
- Limpieza de instalaciones.

En esta fase se buscó tener un análisis completo tanto de la variable objetivo como de las variables que la afectan para así poder implementar adecuadamente las mejoras en el proceso.

3.3.4. Fase de Mejorar

En esta fase se tomaron acciones de mejora en las variables que se identificaron en la fase de análisis, estas variables son:

- Polivalencia de Costureros
- Estado de máquinas de coser.
- Número de muestra de costura.
- Calidad de agujas.

Entre las acciones que se realizó se encuentra el entrenamiento al personal de calidad luego del cual se realizó un análisis de repetibilidad y reproducibilidad para validar el sistema de medición. También se programaron capacitaciones al personal en general en temas de calidad y producción. Dichas capacitaciones se seguirán realizando en el tiempo según programación.

Como parte de la mejora en el proceso se realizó una revisión general a las maquinas del área de costura identificando así su estado actual y proceder a dar el mantenimiento o reparación correspondiente. Esto nos ayudara a contar con máquinas 100% operativas para el proceso de costura.

Se creó el área de capacitación “escuelita” que tiene como fin capacitar a los costureros en diferentes técnicas de costura, logrando así mayor número de costureros polivalentes.

Se estandarizó el número de muestra a tomar antes de cada producción, esto permitirá un conocimiento del modelo a coser por parte de los operarios minimizando los errores de costura.

Se definió un nuevo proveedor de agujas con una calidad reconocida en el mercado, con esto se aumentará la vida útil de las agujas y se asegurará que no generen piquetes a la prenda en el momento de la costura.

Finalmente, se verificó el cumplimiento de los procedimientos e instructivos del área de costura para validar el proceso. Posteriormente se procedió a la modificación de los mismos para poder así estandarizar las actividades del proceso.

3.3.5. Fase de Control

En la fase de Control se monitoreó el desempeño de las variables de estudio posterior a la implementación de las mejoras. Para tal fin mediante cartas de control nos permitió conocer si el indicador está bajo control o no. Mediante el análisis de la capacidad de procesos observamos que tan capaz es el proceso, CPk y nivel sigma.

Con estos valores se realizó comparativos del antes y después del proyecto para poder tener en claro en cuanto mejoro nuestro proceso y si logramos alcanzar la meta propuesta.

Finalmente, se generó mecanismos de seguimiento al indicador para poder detectar adicionales oportunidades de mejora.

Para generar una curva de aprendizaje adecuada definió un plan de capacitaciones en los 3 niveles de planta (Jefe, supervisores, operarios) el cual se cumplirá estrictamente en los tiempos definidos.

3.4. CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN

El proyecto tuvo una duración de 5 meses en los cuales se ejecutó cada una de las fases detalladas anteriormente.

Fecha de inicio: 04 de Marzo del 2013.

Figura 8: Formulas para el estudio Gage R&R

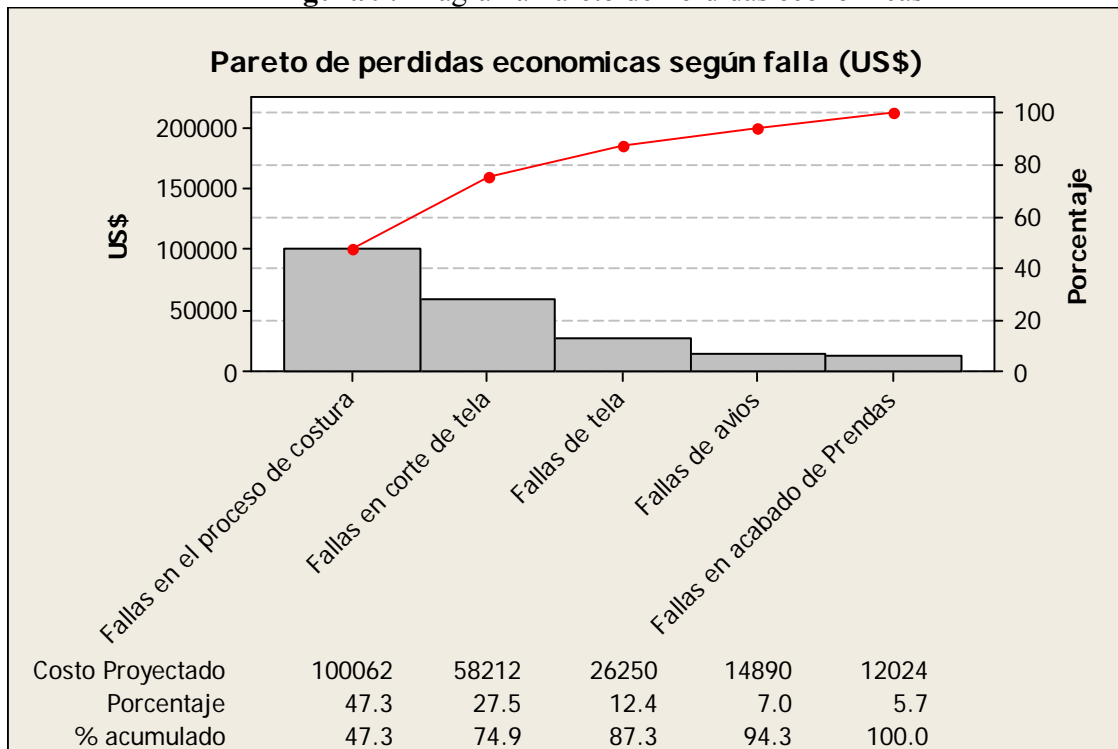
Actividades	Descripción	Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				
		Sem 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04	Sem 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04	Sem 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04	Sem 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04	Sem 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04	
DEFINIR	Definición del proyecto, alcance y variables a analizar.	■																				
MEDIR	Planteamiento de mecanismos de medición de las variables de estudio.				■																	
ANALIZAR	Análisis de las variables, estado actual de proceso.						■															
IMPLEMENTAR	Ejecución de las acciones para mejorar el proceso.									■												
CONTROL	Monitoreo de las acciones implementadas, creación de estándares de trabajo y seguimiento a los indicadores.													■								

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. SELECCIÓN DEL PROBLEMA

Los errores en el proceso de costura siempre conllevan a la generación de mermas y por consiguiente a grandes pérdidas en las empresas textiles, así que se analiza cuáles de los problemas presentes en esas originan una mayor pérdida económica. Para esto se realiza un gráfico de Pareto el cual nos permitirá seleccionar los problemas a atacar en base al concepto del 20:80. Es decir que el 20% de las causas justifican el 80% del problema.

Figura 9: Diagrama Pareto de Pérdidas económicas



En la figura 9 se aprecia que el 20% de las causas de pérdidas económicas (Fallas en el proceso de costura) nos representa el 50% del total de pérdidas (US\$ 100,000 anuales).

Las fallas en el proceso de costura impactan relevantemente pues son las generadoras de prendas de segunda calidad, y a partir de este porcentaje obtenido luego de la inspección final de prendas podemos obtener los costos (Perdidas).

Si bien el problema de las fallas en el corte de tela representa el otro 30% de las pérdidas totales (US\$ 58,000) se tomó la decisión de enfocarse en la causa principal para posteriormente trabajar en la segunda causa. En este caso nuestra relación en el gráfico de Pareto es de 20:50.

4.2. DIAGNÓSTICO

A partir de los resultados mostrados se puede concluir que la empresa de confecciones presenta grandes pérdidas debido a las fallas en el proceso de costura lo cual origina prendas de segunda calidad (US\$ 100,000 anuales), por tal razón es una variable crítica a controlar y mejorar.

4.3. PROPUESTA DE MEJORA

La propuesta de mejora se basó en el proceso de costura de las prendas la cual debe ser analizada y mejorada para poder reducir el porcentaje de prendas de segunda debido a fallas en este proceso. Para tal efecto se aplicó la metodología seis sigma la cual nos permitirá mejorar y controlar el proceso.

4.3.1. Fase de Definición

4.3.1.1 Identificación del Proceso

Se desarrolló un diagrama SIPOC (Supplier – Input – Process – Output – Client) de la empresa el cual nos permitió identificar las fases más relevantes del proceso de costura en el cual implementaremos las mejoras.

Figura 10: Diagrama SIPOC del proceso de Costura

Proveedores	Entradas	Requisitos de las entradas	Proceso	Salidas	Requisitos de las salidas	Clientes
Cliente	Especificaciones de prenda	- Color - Modelo - Talla	<pre> graph TD A[Explosión de materiales] --> B[Ingreso de orden de producción al programa de producción] B --> C[Tizado] C --> D[Corte] D --> E[Costura] E --> F[Acabados] F --> G[Entrega a almacén de despacho] </pre>	Orden de producción terminado (Prendas)	- Medidas - Costura - Modelo - Doblado	Almacén de despacho
Almacén de telas	Telas	- Color - Ancho				
Almacén de Insumos	Hilo botones Etiqueta	- Color - Modelo - Calidad				
PCP	Orden de Producción	- Modulo de costura - Cantidad - Fecha ingreso / entrega - Materiales				

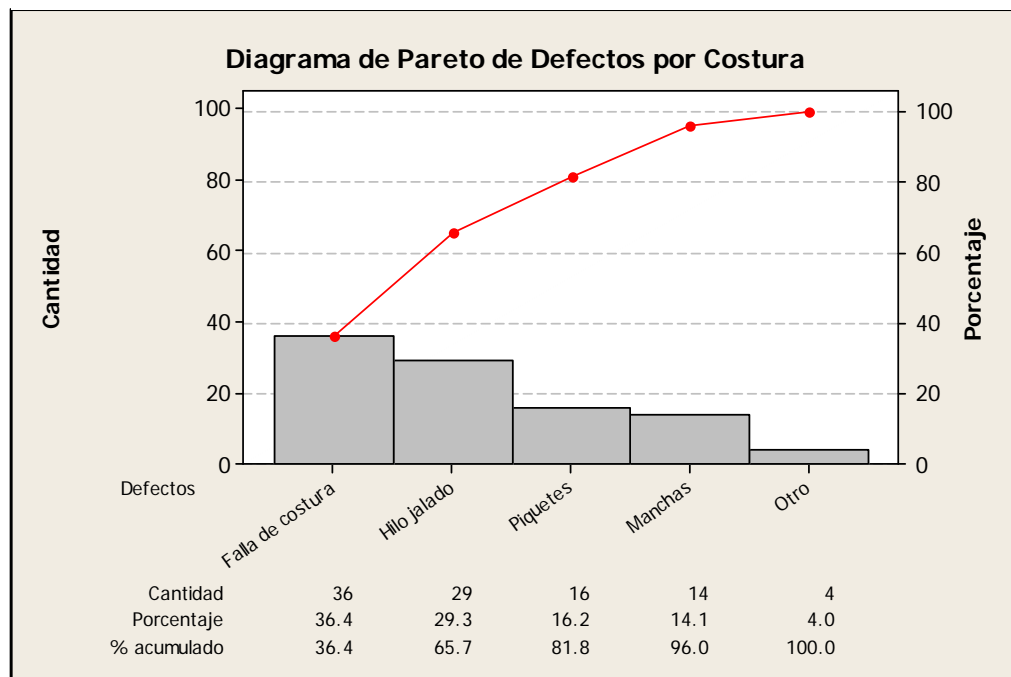
Se puede notar en el diagrama SIPOC de la figura 10 que luego del sub procesos de costura viene el de acabados luego de la cual recién se entrega la prenda al almacén de despacho. Podemos notar que entre los requisitos de salida están la costura, medidas, modelo y doblado los cuales se verificarán para poder clasificar una prenda ya sea como de primera o segunda.

Para poder obtener mayor detalle del proceso de costura se presenta un diagrama del mismo mostrando mayor detalle.

4.3.1.2 Definición del CTQ (Crítico para la Calidad)

Dentro del área de control de Calidad se lleva un control detallado de las causas que originan que una prenda sea declarada como de segunda calidad. Dicha información ha servido para elaborar el siguiente diagrama de Pareto.

Figura 11: Diagrama de Pareto de Defectos por Costura



Tal como se puede apreciar en la figura 11 el 36.4% de los defectos de costura se deben a una falla en la costura propiamente dicha, seguido del hilo jalado en la prenda con un 29%.

Se puede observar claramente que los cuatro defectos mostrados son los que tienen mayor impacto en la prenda, tanto es así que la variable Otros solo representa el 4%.

Si bien la gráfica de Pareto nos ayuda a enfocarnos en los principales problemas (20:80) en este proyecto se trabajará en los 4 problemas que muestra la gráfica debido a que el porcentaje de incidencia de estos es muy similar y el costo de la implementación de mejoras no es muy alto.

Por lo tanto el (Crítico para la Calidad) del cliente a controlar y mejorar son los siguientes:

Y = Prendas de segunda calidad.

X_1 = Prendas con falla de costura.

X_2 = Prendas con hilo jalado.

X_3 = Prendas con piquetes.

X_4 = Prendas manchadas.

4.3.1.3 Definición de la métrica

La métrica que se usa para el control de las prendas de segunda calidad es porcentaje (N° de prendas clasificadas como de segunda calidad / N° total de prendas confeccionadas).

Los resultados presentados por el área de calidad sobre prendas de segunda calidad deben estar dentro de los límites especificados de 0.25% a 0.75% con un promedio de 0.5%. Estos límites son definidos a partir del requerimiento del cliente que solicita un porcentaje máximo de prendas de segunda calidad del 0.75% por pedido.

4.3.1.4 Definición del problema

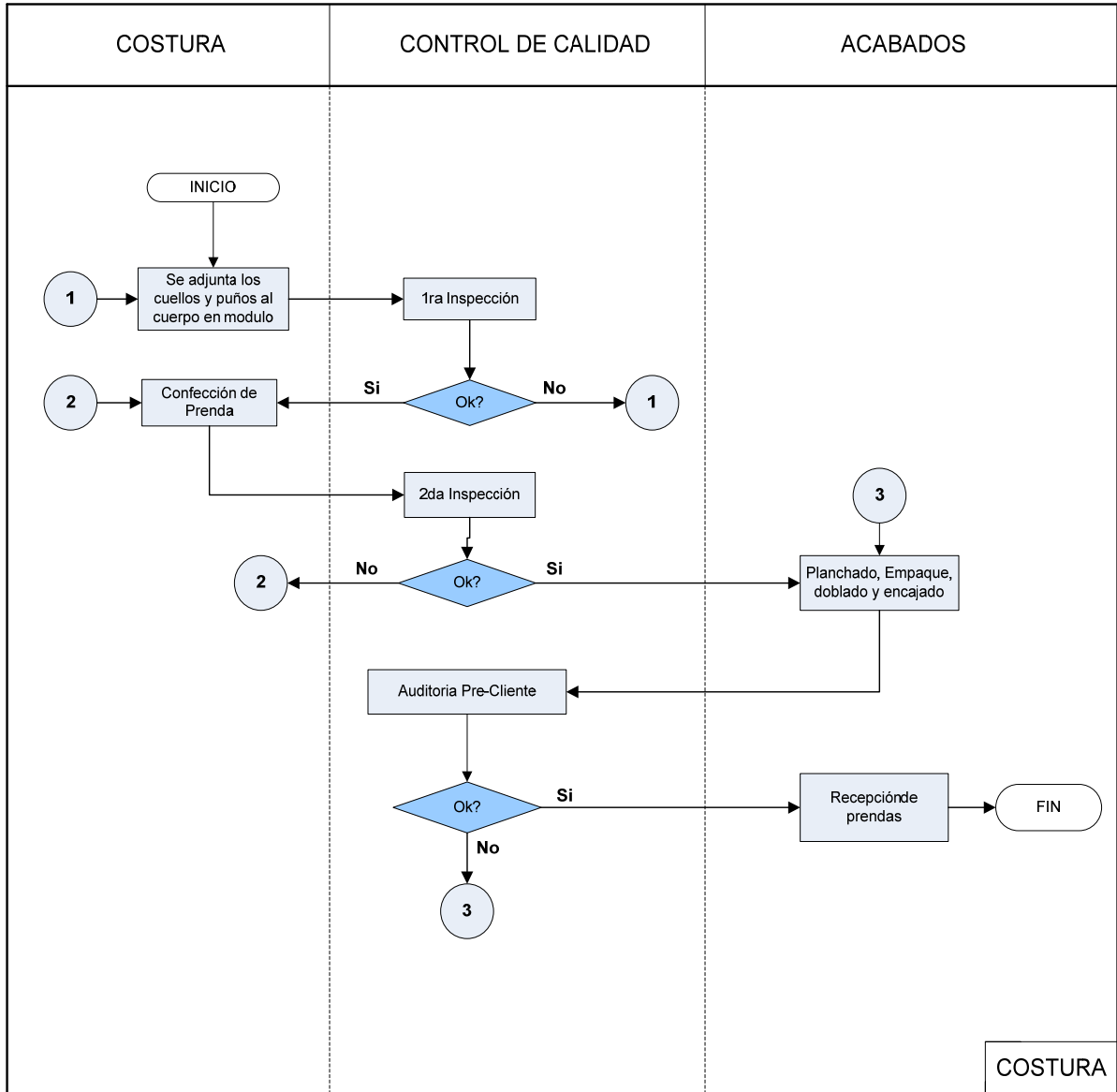
Al final del proceso de producción de costura se está detectando un alto porcentaje de prendas con defectos de falla de costura, hilo jalado, piquetes y manchas las cuales están elevando el porcentaje de prendas de segunda calidad, ocasionando una gran pérdida económica a la empresa como de insatisfacción de los clientes al no contar con el 100% de sus productos de primera calidad.

4.3.2 Fase de Medición

4.3.2.1 Mapeo del Proceso

El mapeo presentado muestra detalladamente el proceso de costura con sus respectivos puntos de inspección y auditoría.

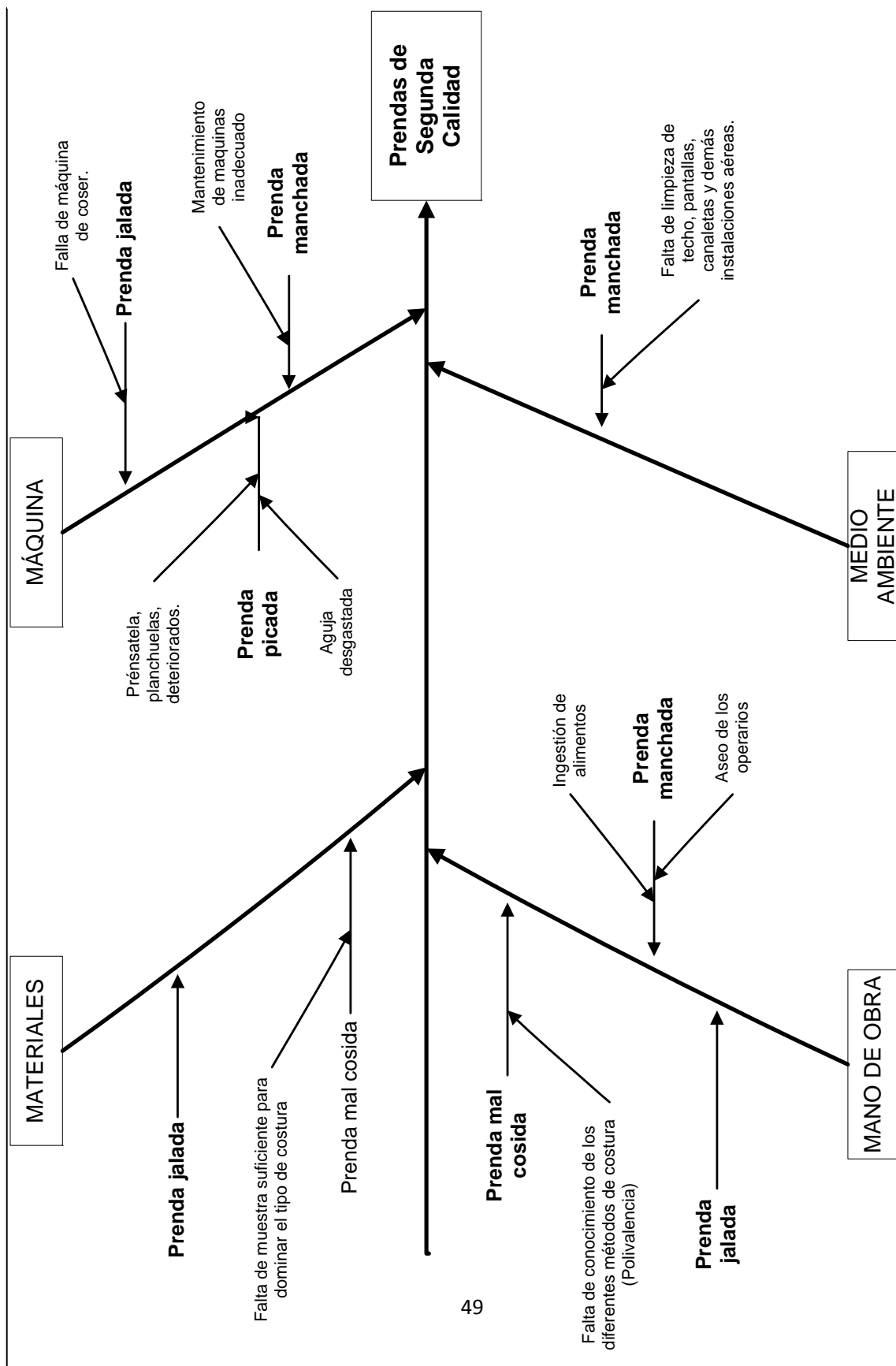
Figura 12: Diagrama de flujo de Costura de Prenda



4.3.2.2 Diagrama Causa y efecto

Se realizó un diagrama de causa y efecto para poder encontrar las causas más relevantes que originan que las prendas presenten defectos las cuales hacen que las prendas sean catalogadas como de segunda calidad.

Figura 13: Diagrama de Espina de pescado para el problema: Prendas de Segunda Calidad



4.3.2.3 Análisis de Modo falla y efecto (AMFE)

Las causas principales detectadas en el diagrama de causa y efecto que originan prendas de segunda calidad son analizadas en el Tabla AMFE presentado; las cuales han sido priorizadas dependiendo de su modo de falla y efecto.

Figura 14: Análisis AMFE del Proceso

Proceso	Modo de Falla	Efecto de Falla	S E V	Causas	O C C	Control	D E T	R P N	Acción Recomendada
Costura	Falla de costura	Prenda mal cosida	8	Falta de conocimiento de los diferentes métodos de costura (Polivalencia)	7	Supervisor de entrenamiento	7	392	identificar costureros no polivalentes y capacitarlos en diferentes métodos de costura.
	Falla de costura	Prenda mal cosida	7	Falta de muestra suficiente para dominar el tipo de costura	7	Analista de PCP	8	392	Crear procedimiento para obtención de muestra previa de las ordenes de costura.
	Piquetes	Prenda picada	8	Aguja desgastada	6	Costurero	8	384	- Revisión constante de agujas de costura. - Mejorar la calidad de las agujas.
	Hilo jalado	Prenda jalada	9	Falla de máquina de coser.	4	Mantenimiento	8	288	- Mantenimiento general de máquinas. - Compra de máquinas nuevas.
	Manchas	Prenda manchada	8	Falta de limpieza de techo, pantallas, canaletas y demás instalaciones aéreas.	5	Inspección final	6	240	Crear cronograma anual de limpieza de instalaciones.
	Piquetes	Prenda picada	9	Prénsatela, planchuelas, deteriorados.	4	Mantenimiento	3	108	Validar la preparación de máquinas previa al ingreso al módulo
	Manchas	Prenda manchada	7	Aseo de los operarios	4	Supervisión al personal	3	84	Campana de aseo y limpieza (charlas, check list y carteles)
	Manchas	Prenda manchada	8	Mantenimiento de maquinas inadecuado	2	Informe de Mantenimiento	5	80	Mantenimiento quincenal por maquina (incluye informe)
	Hilo jalado	Prenda jalada	9	Planchuela de doblado en mal estado	1	Supervisión	8	72	Elabora el check list del doblador donde se incluye la revisión diaria de las planchuelas de doblado.
	Manchas	Prenda manchada	7	Ingestión de alimentos	1	Supervisión al personal	5	35	Campana de aseo y limpieza (charlas, check list y carteles)

De la figura 14 podemos notar que la falta de conocimiento en diferentes métodos de costura por parte de los costureros presenta el mayor índice de prioridad de riesgo, seguido de la falta de muestra de prendas para practicar la costura del modelo entrante.

A su vez vemos que las agujas desgastas y las fallas constantes en las máquinas de coser representan un índice alto de riesgo. Por último la falta de limpieza de instalaciones es la principal causa de la presencia de manchas en las prendas.

De la figura 14 Análisis AMFE del proceso determinamos las variables a controlar:

Tabla 7: Variables a Controlar

Variables a controlar	Criterio
Polivalencia de costureros.	Nivel de destreza (1-5)
Número de muestras de Costura.	Porcentaje del total de la producción
Calidad de Agujas.	Nivel de resistencia a la costura
Estado de máquina de coser.	Años de antigüedad (5, 10, 15, 20)
Limpieza de instalaciones.	Si se realizó / No se realizó

4.3.2.4 Análisis del sistema de medición

Con el personal del área de Control de Calidad se procedió a realizar la prueba de Repetitividad y Reproducibilidad (R&R), tomando como referencia el indicador de concordancia Kappa ($K > 0.7$); para así poder validar el sistema de inspección que se viene realizando tanto dentro del proceso de costura como al momento de ser entregado el producto.

Para tal efecto se obtuvo una muestra de 10 camisas las cuales presentabas diferentes defectos. Se convocó a las 5 auditoras encargadas de la inspección de prendas y cada auditora reviso prenda por prenda clasificándolas (Prenda de 1ra / Prenda de 2da) detallando el motivo de su decisión.

Basándonos en la clasificación de una auditora experta se obtuvieron importantes resultados.

ANALISIS DE CONCORDANCIA DE ATRIBUTOS

- **Lugar de prueba:** Sala de capacitación de Control de Calidad
- **Variable:** Calidad de Prenda.
- **Muestra:** 10 unidades.
- **Nº Evaluaciones:** 3 evaluaciones con 2 días de diferencia cada una.
- **Unidad de muestra:** 1 prenda confeccionada.
- **Auditores:** Cesar Castro, Gladys Sánchez, Silvia Pacheco, Susana Agüero, Vilma Roca.
- **Criterio de Clasificación:** Prenda de 1ra calidad / Prenda de 2da calidad.

Tabla de resultados:

Análisis de concordancia de atributos para Calidad de Prenda Dentro de los evaluadores

Acuerdo de evaluación

Evaluador	No. inspeccionado	No. de coincidencias	Porcentaje	95 % IC
Cesar	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Gladys	10	6	60.00	(26.24, 87.84)
Silvia	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Susana	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Vilma	10	10	100.00	(74.11, 100.00)

No. de coincidencias: El evaluador coincide consigo a través de las pruebas.

Estadísticas Kappa de Fleiss

Evaluador	Respuesta	Kappa	Kappa de Error estándar	Z	P(vs. > 0)
Cesar	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Gladys	N	0.36508	0.182574	1.99962	0.0228
	S	0.36508	0.182574	1.99962	0.0228
Silvia	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Susana	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Vilma	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000

Cada evaluador vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

Evaluador	No. inspeccionado	No. de coincidencias	Porcentaje	95 % IC
Cesar	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Gladys	10	5	50.00	(18.71, 81.29)
Silvia	10	9	90.00	(55.50, 99.75)
Susana	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Vilma	10	10	100.00	(74.11, 100.00)

No. de coincidencias: La estimación del evaluador a través las pruebas coincide con el estándar conocido.

Discrepancia en la evaluación

Evaluador	# S / N	Porcentaje	# N / S	Porcentaje	No. combinado	Porcentaje
Cesar	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Gladys	1	33.33	0	0.00	4	40.00
Silvia	0	0.00	1	14.29	0	0.00
Susana	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Vilma	0	0.00	0	0.00	0	0.00

S / N: Evaluaciones a través de ensayos = S / estándar = N.
 # N / S: Evaluaciones a través de ensayos = N / estándar = S.
 No. combinado: Las evaluaciones de los ensayos no son idénticas.

Estadísticas Kappa de Fleiss

Evaluador	Respuesta	Kappa	Kappa de Error estándar	Z	P(vs. > 0)
Cesar	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Gladys	N	0.38608	0.182574	2.11465	0.0172
	S	0.38608	0.182574	2.11465	0.0172
Silvia	N	0.78022	0.182574	4.27344	0.0000
	S	0.78022	0.182574	4.27344	0.0000
Susana	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Vilma	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000

Entre evaluadores

Acuerdo de evaluación

No. inspeccionado	No. de coincidencias	Porcentaje	95 % IC
10	5	50.00	(18.71, 81.29)

No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden entre sí.

Estadísticas Kappa de Fleiss

Respuesta	Kappa	Kappa de Error estándar	Z	P(vs. > 0)
N	0.706758	0.0308607	22.9016	0.0000
S	0.706758	0.0308607	22.9016	0.0000

Todos los evaluadores vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

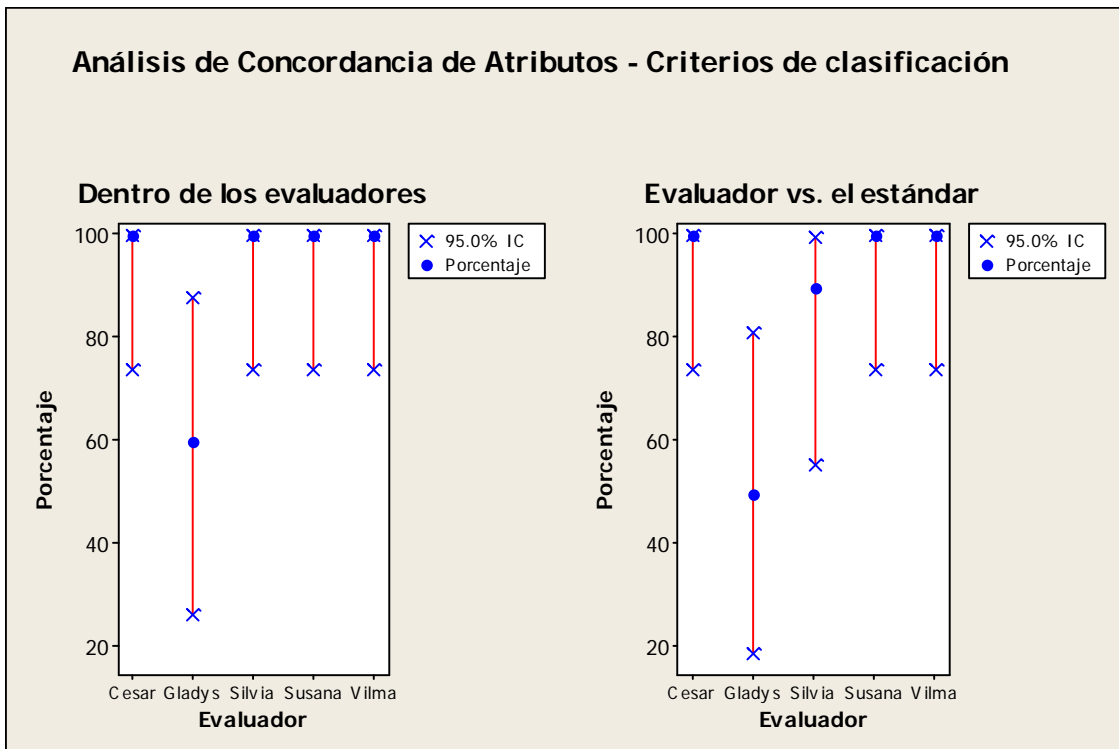
No. inspeccionado	No. de coincidencias	Porcentaje	95 % IC
10	5	50.00	(18.71, 81.29)

No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden con el estándar conocido.

Estadísticas Kappa de Fleiss

Respuesta	Kappa	Kappa de Error estándar	Z	P(vs. > 0)
N	0.833260	0.0816497	10.2053	0.0000
S	0.833260	0.0816497	10.2053	0.0000

Figura 15: Análisis de concordancia de atributos de la Calidad de Prendas



A partir de los resultados mostrados podemos indicar lo siguiente:

- Podemos notar que los auditores Silvia y Gladys tienen un indicador kappa de 0.78 y 0.39 con respecto a la congruencia con el experto. Tener en cuenta que se requiere un kappa > 0.7 para que la prueba sea confiable.
- El porcentaje más alto de congruencia de la clasificación entre auditores fue la de los auditores Cesar, Silvia, Susana y Vilma con 100%.
- En las clasificaciones entre auditores la mayoría consideraron a la prendas de primera calidad, a excepción de Gladys que fue la única que cambio se resultado a prenda de segunda calidad en unas de las evaluaciones subsiguientes. Finalmente al ver el estadístico de Kappa vemos que es de 1 en casi el 80% de los casos, lo cual nos indica que el sistema de medición es confiable.
- Se concluye que el mayor problema se centra en la reproducibilidad del estudio, debido a que las auditoras tuvieron mayor precisión que exactitud en sus resultados obtenidos. Por tal motivo se tomará en cuenta estos resultados para las mejoras a realizar posteriormente.

4.2.3.4 Recolección de datos

La variable en estudio (% de prendas terminadas de 2da calidad) es medida en la parte final del proceso de Costura en el área de acabados antes de ser empacado para el despacho, dichos datos son el resultado del cálculo realizado a partir del registro de los auditores de calidad.

$$\% \text{ de prendas de Segunda Calidad} = \frac{\# \text{ de Prendas de Segunda Calidad}}{\# \text{ de Prendas revisadas}} \times 100$$

La obtención de los datos del proyecto para los respectivos análisis, se realizó por medio de censos, ya que con esto nos asegurábamos de tomar todo el mix de clientes.

Para el análisis se procedió a revisar los porcentajes de prendas de segunda calidad obtenida en los últimos 3 meses. Esto nos permitirá poder tener suficiente información del comportamiento de este indicador.

4.2.3.5 Gráficos de control para el porcentaje de prendas de segunda calidad

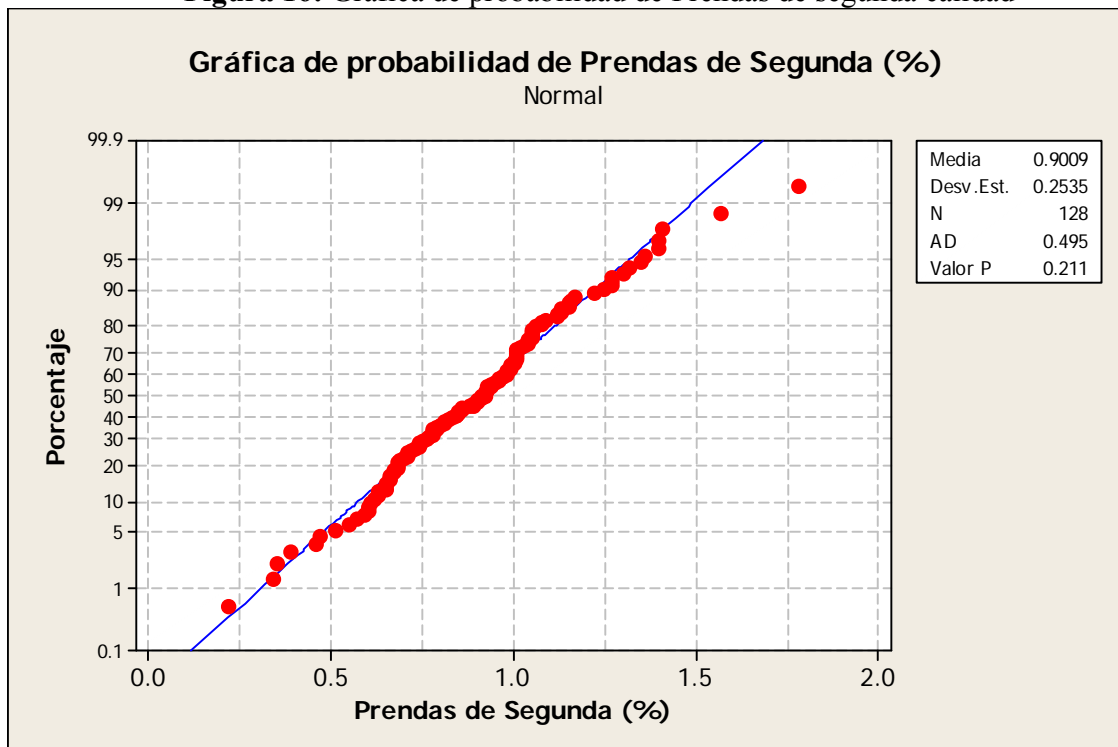
Prueba de Normalidad:

H_0 :El porcentaje de las prendas de segunda calidad se distribuyen de forma normal.

H_1 :El porcentaje de las prendas de segunda calidad no se distribuyen de forma normal.

$$\alpha = 0.05$$

Figura 16: Grafica de probabilidad de Prendas de segunda calidad



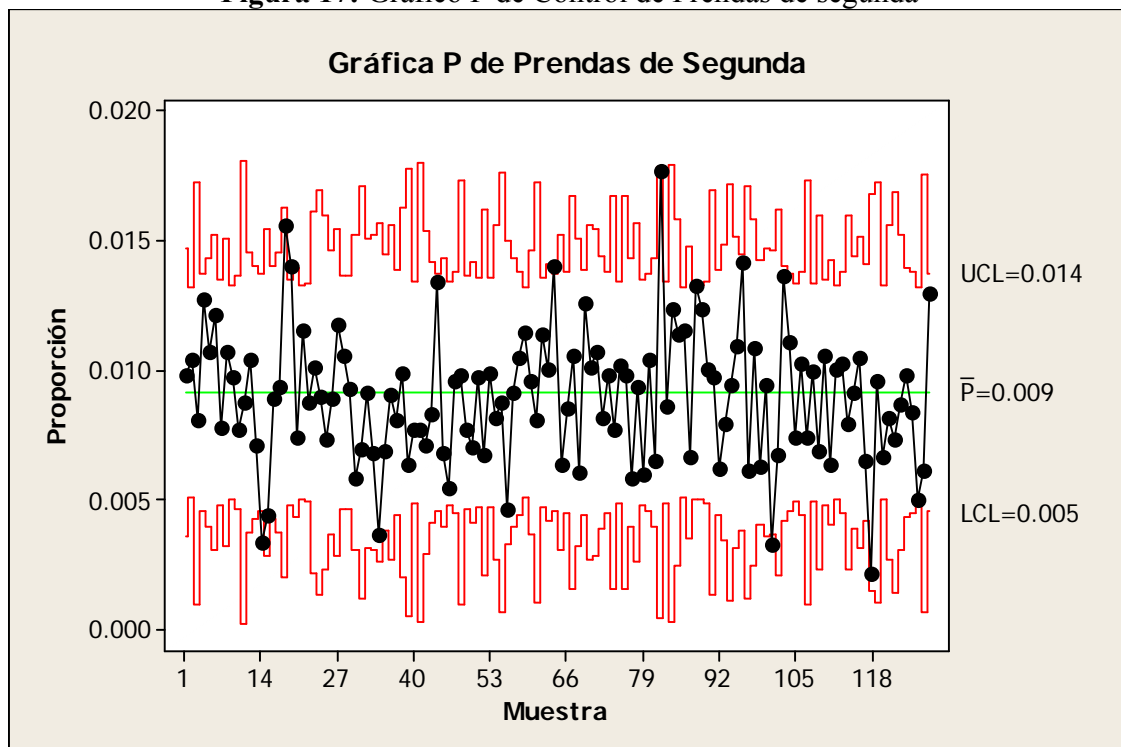
Realizada prueba de normalidad – Anderson Darling se puede concluir que existe suficiente evidencia estadística para No rechazar la hipótesis planteada. Es decir, el porcentaje de prendas de segunda calidad se distribuyen normalmente.

Gráficos de Control

Para la elaboración de las cartas de control se utiliza la grafica P

A continuación se muestra una carta de control P para analizar el comportamiento del número de prendas de segunda calidad a través del tiempo. En esta grafica en valor de la muestra será el del total de prendas por pedido.

Figura 17: Grafico P de Control de Prendas de segunda

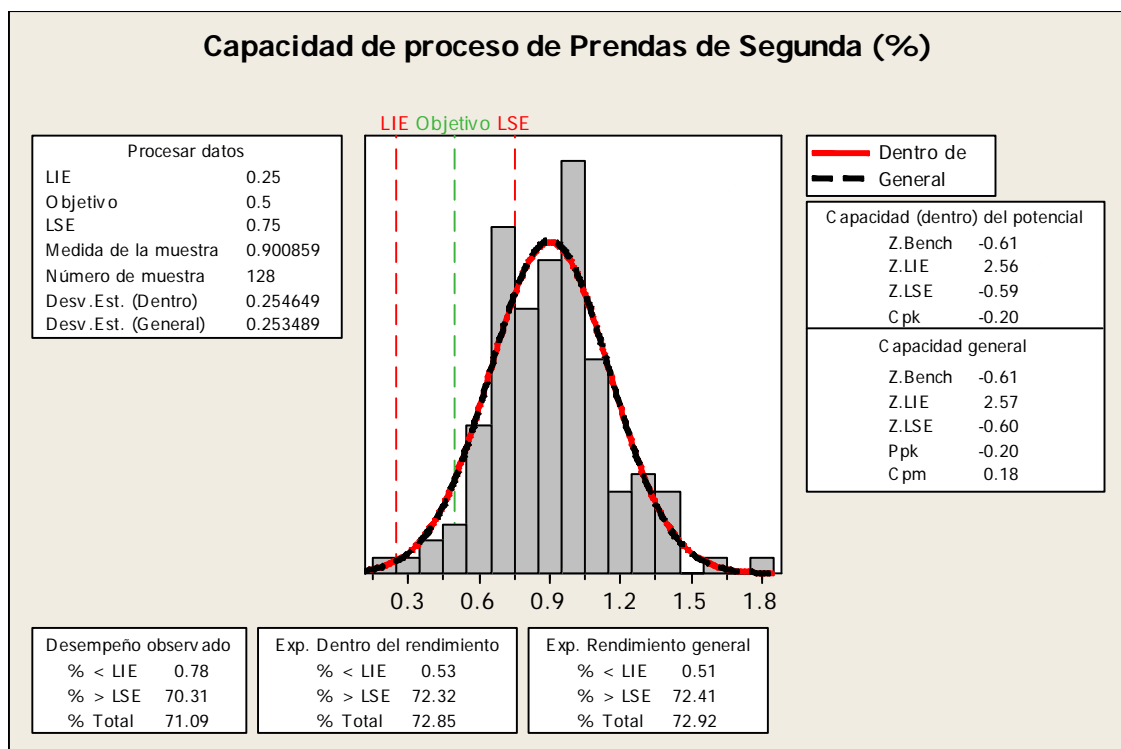


En la figura 17 se puede apreciar que todos los demás datos se encuentran dentro de los límites de control, sin embargo estos límites son mucho más amplios que los límites de especificación (0.25% – 0.75%) lo que origina que el porcentaje de prendas de segunda calidad este muy por encima de lo deseado.

4.2.3.6 Capacidad inicial del proceso – Nivel Sigma

A continuación se grafica la Capacidad del proceso con la finalidad de poder evaluar el nivel sigma actual como también del rendimiento del proceso.

Figura 18: Capacidad del proceso de prendas de segunda



Para encontrar el Nivel sigma se toma en cuenta la adición de 1.5 al Z.bench por el desplazamiento que tendrá la grafica en el largo tiempo. Así que:

$$-0.61 (\text{Z.Bench}) + 1.5 (\text{Desplazamiento}) = 0.89 \text{ sigma}$$

En la figura 18 se puede notar que el proceso no es capaz de cumplir las especificaciones, eso se refleja con un Z.bench de -0.61 que equivale a un nivel sigma de 0.89. En la figura se puede notar que por cada millón de pedidos despachados existe 72,4122.23 de pedidos (72.92%) que tienen el porcentaje de prendas de segunda por encima del límite superior de especificación.

Un Cpk de -0.20 nos indica que la media del proceso se encuentra muy por fuera de los límites de especificación requeridos por la empresa; a su vez corrobora las conclusiones dadas por el nivel sigma.

4.3.3 Fase de Análisis

Se procedió a analizar la significancia de cada una de las variables principales con el porcentaje de de prendas de segunda calidad generados en el proceso.

4.3.3.1 Correlación

Variable: Polivalencia de Costureros (Nivel de destreza)

El análisis con esta variable se realiza en base al nivel de destreza en los métodos de costura (Polivalencia) de los costureros, los cuales son de 1, 2, 3, 4 o 5 métodos.

Para este análisis se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson ya que esta prueba es muy robusta cuando se analizan 2 variables cuantitativas. En nuestro caso tenemos una variable continua y una variable discreta.

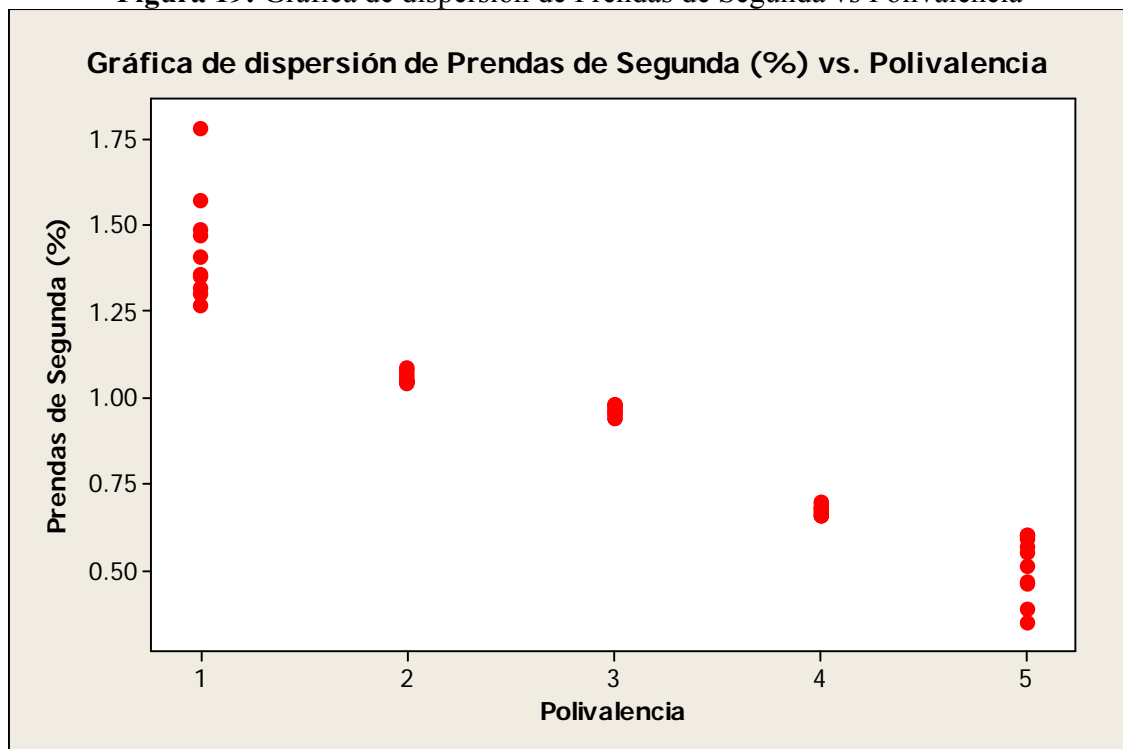
Los resultados se muestran a continuación:

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

$$\alpha = 0.05$$

Figura 19: Grafica de dispersión de Prendas de Segunda vs Polivalencia



Correlaciones: Prendas de Segunda (%), Polivalencia

Correlación de Pearson de Prendas de Segunda (%) y Polivalencia = **-0.959**

Valor P = **0.000**

En el análisis a la variable podemos apreciar que la variable Polivalencia de costureros está altamente correlacionada inversamente con la variable objetivo. El valor de -0.959 nos indica que la cantidad de métodos de costura que dominen los costureros influirá directamente en el porcentaje de prendas de segunda que se obtengan en el pedido. Notamos que costureros con una Polivalencia no mejor a 4 métodos de coser (4 ó 5) generan un porcentaje de prendas de segunda calidad dentro del intervalo deseado.

Variable: Estado de máquinas de coser (Años de antigüedad)

El análisis con esta variable se realiza en base a los años de antigüedad de las máquinas de coser, las cuales están clasificadas en 5, 10, 15 y 20 años. Hay que tener en cuenta que las máquinas de coser con menos de 5 años y mayores a 20 años son clasificadas en los valores de 5 años y 20 años respectivamente.

Para este análisis se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson ya que esta prueba es muy robusta cuando se analizan 2 variables cuantitativas. En nuestro caso tenemos una variable continua y una variable discreta.

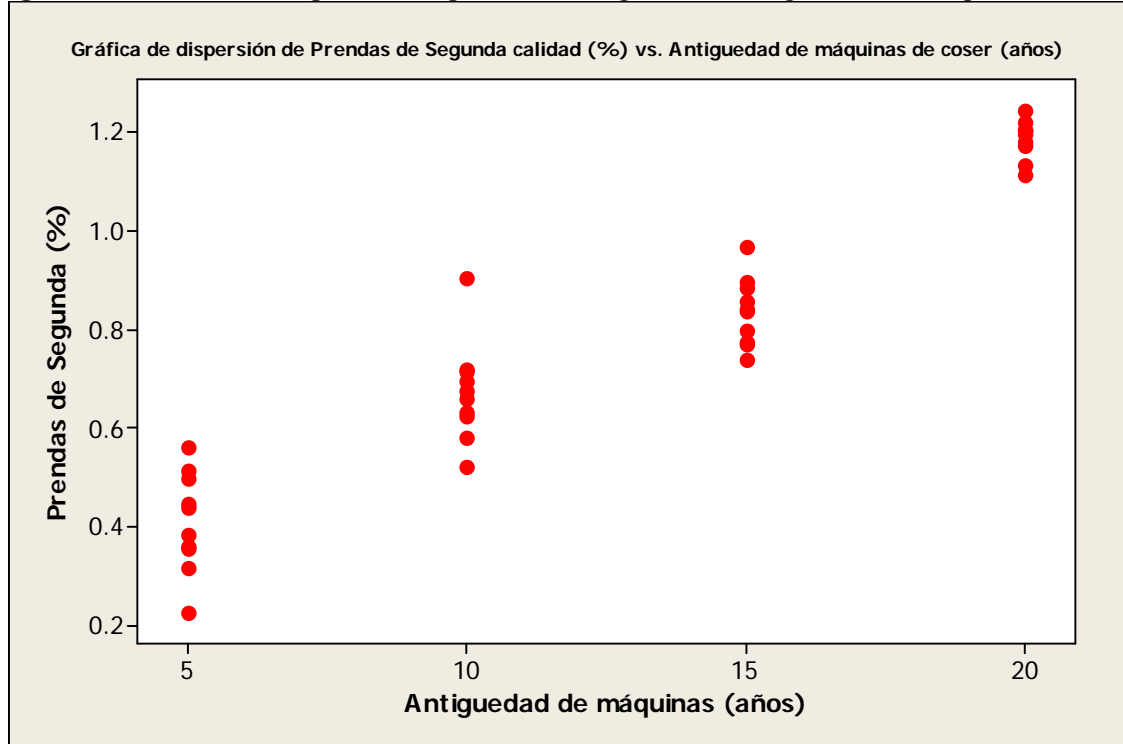
Los resultados se muestran a continuación:

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

$$\alpha = 0.05$$

Figura 20: Grafica de dispersión de prendas de segunda vs antigüedad de máquinas de coser



Correlaciones: Prendas de Segunda (%)_1, Antigüedad de máquinas (años)

Correlación de Pearson de Prendas de Segunda (%)_1 y Antigüedad de máquinas(años) = **0.954**

Valor P = 0.000

En el análisis a la variable podemos apreciar que la variable Estado de máquinas de coser está altamente correlacionada directamente con la variable objetivo. El valor de 0.954 nos indica que estado de las máquinas de coser expresado en años influirá directamente en el porcentaje de prendas de segunda que se obtengan en el pedido. Notamos que máquinas con una antigüedad no mayor a 10 años generan un porcentaje de prendas de segunda calidad dentro del intervalo deseado.

4.3.3.2 Regresión lineal

Variable: Numero de muestra de costura. (Porcentaje del total de la producción)

Se analiza el porcentaje de prendas de segunda calidad con respecto al número de muestra tomada antes de la costura de la prenda, es importante determinar un modelo probabilístico que nos explique el comportamiento de ambas variables.

Análisis de regresión: Prendas de Segunda (%) vs. Muestra

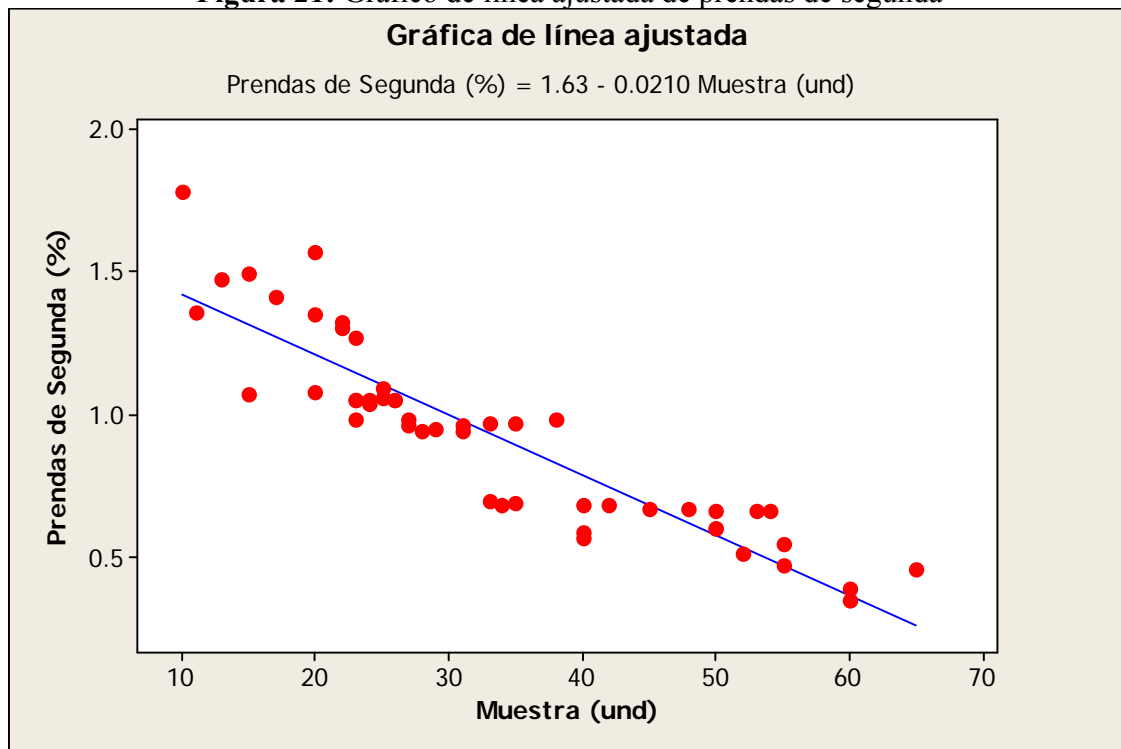
La ecuación de regresión es

$$\text{Prendas de Segunda (\%)} = 1.63 - 0.0210 \text{ Muestra (und)}$$

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	1.62654	0.05107	31.85	0.000
Muestra	-0.020964	0.001409	-14.88	0.000

S = 0.141718 R-cuad. = 82.2% **R-cuad.(ajustado) = 81.8%**

Figura 21: Gráfico de línea ajustada de prendas de segunda



Una vez realizado el análisis de regresión lineal se puede indicar que el número de prendas en cada muestra afecta al porcentaje de prendas de segunda calidad. Es así que:

El 81.8% de la variación existente en el porcentaje de prendas de segunda calidad es explicada por la variabilidad existente en el número de prendas de la muestra.

$b_1 = -0.0210$ nos indica que cuando la muestra aumenta en una 1 unidad (Prenda), se estima que en promedio el porcentaje de prendas de segunda calidad disminuirá en 0.0210%.

Normalidad de los residuales

Para validar el análisis de regresión es necesario verificar el supuesto de normalidad de residuales. Para tal efecto realizamos una prueba de hipótesis.

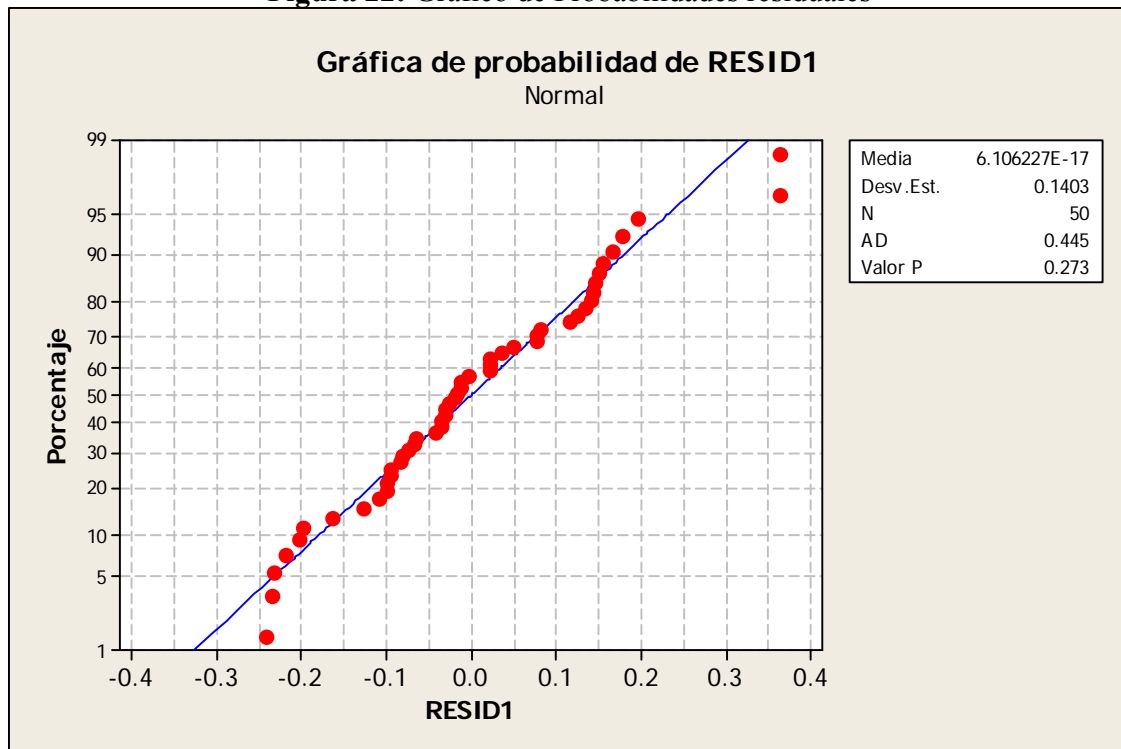
Prueba de Hipótesis:

$$H_0 : \varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

H_1 : Los errores no siguen una distribución normal.

$$\alpha = 0.05$$

Figura 22: Grafico de Probabilidades residuales



Se presentan los resultados del análisis de normalidad de residuos, en los cuales se pueden verificar que los residuos se distribuyen normalmente (Valor P=0.273). Es decir que existe suficiente evidencia estadística para no rechazar la hipótesis planteada. Prueba realizada con un nivel de significación del 5%.

4.3.3.3 Prueba de Hipótesis

Variable: Calidad de agujas. (Nivel de resistencia)

Para analizar esta variable se comparará las agujas usadas actualmente con agujas nuevas de diferente calidad y el impacto de ambas en el porcentaje de prendas de segunda calidad.

Prueba de Homogeneidad de Varianzas

Para poder realizar una adecuada prueba de hipótesis es importante validar el supuesto de homogeneidad de varianzas. Teniendo en cuenta previamente los siguientes supuestos ya verificados:

- Las dos muestras tomadas provienen de muestras totalmente independientes
- Se verifica que las dos muestras se distribuyen normalmente.

Para tal motivo realizamos la siguiente prueba:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

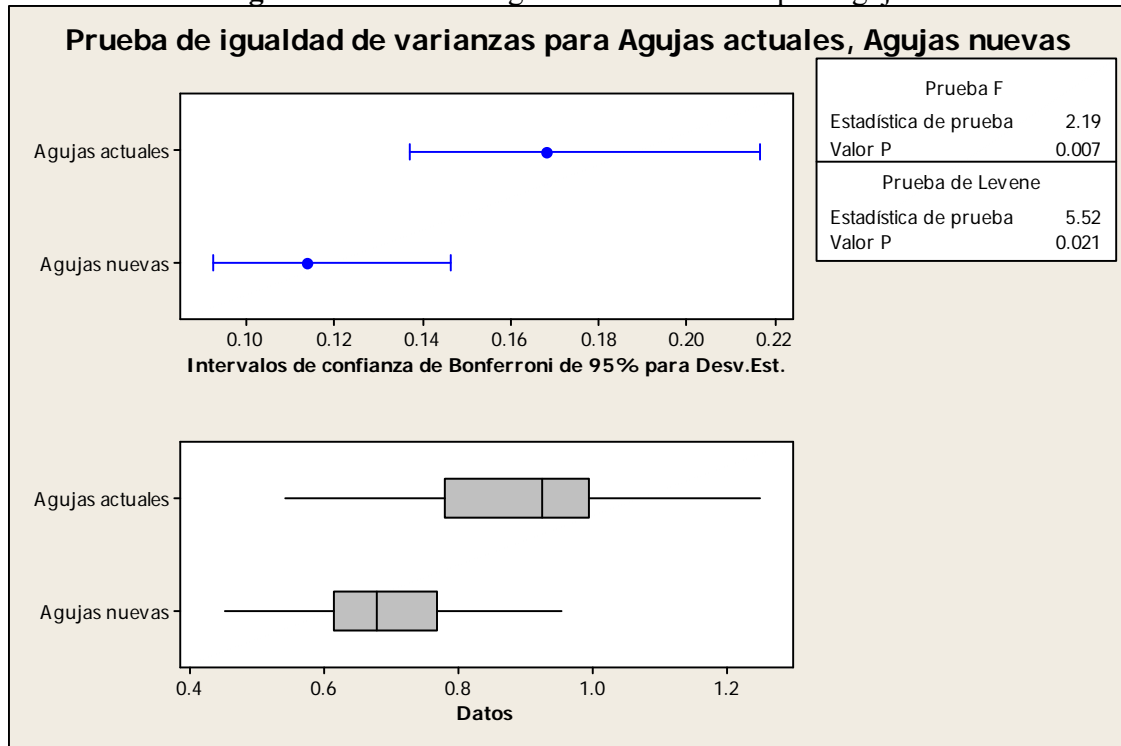
$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$\alpha = 0.05$$

Prueba de Levene

Utilizamos esta prueba debido que a comparación de otras este supuesto es menos sensible a las desviaciones de la normalidad, no ocurre lo mismo en la prueba de Bartlett.

Figura 23: Prueba de igualdad de varianzas para agujas



Se presentan los resultados del análisis de homogeneidad de varianzas, obteniéndose un valor $p=0.021$. Es decir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la Hipótesis planteada. Por tal motivo se concluye que las muestras presentan varianzas heterogéneas.

Prueba realizada con un nivel de significación del 5%.

PRUEBA DE COMPARACION DE MEDIAS:

Agujas con marca actual y agujas de marca nueva

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Se asume que muestras no presentas homogeneidad de varianzas

$$\alpha = 0.05$$

Prueba T e IC de dos muestras: Agujas actuales, Agujas nuevas

T de dos muestras para Agujas actuales vs. Agujas nuevas

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Agujas actuales	50	0.898	0.168	0.024
Agujas nuevas	50	0.695	0.113	0.016

Diferencia = μ (Agujas actuales) - μ (Agujas nuevas)

Estimado de la diferencia: 0.2031

Límite inferior 95% de la diferencia: 0.1554

Prueba T de diferencia = 0 (vs. >): Valor T = 7.08 Valor P = 0.000 GL = 85

Al analizar los resultados de la prueba de comparación de medias se tiene un valor $P= 0.000$ así que se rechaza la hipótesis planteada. Es decir que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que la media del porcentaje de prendas de segunda calidad es mayor con las agujas de la marca actual en comparación a la media del porcentaje de prendas de segunda calidad obtenido con las agujas de la marca nueva.

Variable: Limpieza de instalaciones. (Si se realizó / No se realizó)

Para analizar esta variable se comparará en el porcentaje de prendas de segunda calidad en las condiciones actuales de las instalaciones y luego de realizar la limpieza general.

Prueba de Homogeneidad de Varianzas

Para poder realizar una adecuada prueba de hipótesis es importante validar el supuesto de homogeneidad de varianzas. Teniendo en cuenta previamente los siguientes supuestos ya verificados:

- Las dos muestras tomadas provienen de muestras totalmente independientes
- Se verifica que las dos muestras se distribuyen normalmente.

Para tal motivo realizamos la siguiente prueba:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

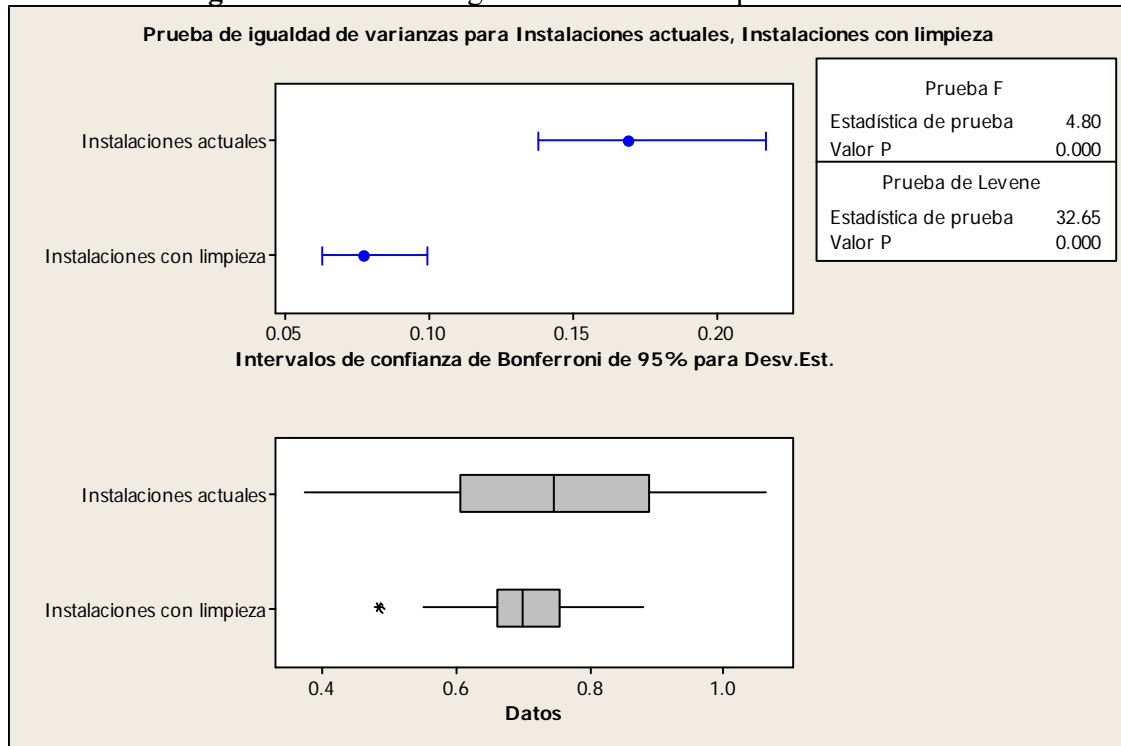
$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$\alpha = 0.05$$

Prueba de Levene

Utilizamos esta prueba debido que a comparación de otras este supuesto es menos sensible a las desviaciones de la normalidad, no ocurre lo mismo en la prueba de Bartlett.

Figura 24: Prueba de igualdad de varianzas para instalaciones



Se presentan los resultados del análisis de homogeneidad de varianzas, obteniéndose un valor $p=0.00$. Es decir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la Hipótesis planteada. Por tal motivo se concluye que las muestras presentan varianzas heterogéneas.

Prueba realizada con un nivel de significación del 5%.

PRUEBA DE COMPARACION DE MEDIAS:

Instalaciones actuales e instalaciones con limpieza

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

$$\alpha = 0.05$$

Prueba T e IC de dos muestras: Instalaciones actuales, Instalaciones con limpie

T de dos muestras para Instalaciones actuales vs. Instalaciones con limpieza

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Instalaciones actuales	50	0.745	0.169	0.024
Instalaciones con limpie	50	0.7072	0.0771	0.011

Diferencia = μ (Instalaciones actuales) - μ (Instalaciones con limpieza)

Estimado de la diferencia: 0.0377

IC de 95% para la diferencia: (-0.0147, 0.0901)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1.43 **Valor P = 0.156** GL = 68

Al analizar los resultados de la prueba de comparación de medias se tiene un valor $P= 0.156$ así que se no rechaza la hipótesis planteada. Es decir que no existe suficiente evidencia estadística para afirmar que la media del porcentaje de prendas de segunda calidad es diferente con las instalaciones con las condiciones de limpieza actuales en comparación a la media del porcentaje de prendas de segunda calidad obtenido con las instalaciones con condiciones nuevas de limpieza.

4.3.4 Fase de Mejora

4.3.4.1 Mejora en sistema de medición

Se realizó un programa de capacitaciones en el año al personal del área de Calidad (Auditoras) por parte de la especialista con el fin de estandarizar criterios de evaluación a las prendas para su correcta clasificación.

La primera capacitación tuvo una duración de 4 horas (Teórico/Practico) en las cuales se tocó los siguientes temas:

- Correcta lectura de Hojas de especificaciones de la prenda.
- Evaluación de avíos en las prendas.
- Defectos en las prendas (Críticos y no críticos).
- Criterios de evaluación de Prendas (Prendas de 1ra calidad / Prendas de 2da calidad).

Luego de 3 días se procedió a realizar la prueba de repetitividad y Reproducibilidad (R&R) para así poder validar el sistema de inspección luego de la capacitación

Para tal efecto se obtuvo una muestra de 10 camisas las cuales presentabas diferentes defectos. Se convocó a las mismas 5 auditoras de la primera evaluación y así ver sus mejoras.

Nuevamente se basó en la clasificación de una auditora experta.

ANALISIS DE CONCORDANCIA DE ATRIBUTOS

- **Lugar de prueba:** Sala de capacitación de Control de Calidad
- **Variable:** Calidad de Prenda.
- **Muestra:** 10 unidades.
- **Nº Evaluaciones:** 3 evaluaciones con 2 días de diferencia cada una.
- **Unidad de muestra:** 1 prenda confeccionada.
- **Auditores:** Cesar Castro, Gladys Sánchez, Silvia Pacheco, Susana Agüero, Vilma Roca.
- **Criterio de Clasificación:** Prenda de 1ra calidad / Prenda de 2da calidad.

Tabla de resultados:

Análisis de concordancia de atributos para Calidad de Prenda

Dentro de los evaluadores

Acuerdo de evaluación

Evaluador	No. inspeccionado	No. de coincidencias	Porcentaje	95 % IC
Cesar	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Gladys	10	9	90.00	(55.50, 99.75)
Silvia	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Susana	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Vilma	10	10	100.00	(74.11, 100.00)

No. de coincidencias: El evaluador coincide consigo a través de las pruebas.

Estadísticas Kappa de Fleiss

Evaluador	Respuesta	Kappa	Kappa de Error estándar	Z	P(vs. > 0)
Cesar	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Gladys	N	0.82955	0.182574	4.54361	0.0000
	S	0.82955	0.182574	4.54361	0.0000
Silvia	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Susana	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Vilma	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000

Cada evaluador vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

Evaluador	No. inspeccionado	No. de coincidencias	Porcentaje	95 % IC
Cesar	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Gladys	10	9	90.00	(55.50, 99.75)
Silvia	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Susana	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Vilma	10	10	100.00	(74.11, 100.00)

No. de coincidencias: La estimación del evaluador a través las pruebas coincide con el estándar conocido.

Discrepancia en la evaluación

Evaluador	# S / N	Porcentaje	# N / S	Porcentaje	No. combinado	Porcentaje
Cesar	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Gladys	0	0.00	0	0.00	1	10.00
Silvia	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Susana	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Vilma	0	0.00	0	0.00	0	0.00

S / N: Evaluaciones a través de ensayos = S / estándar = N.

N / S: Evaluaciones a través de ensayos = N / estándar = S.

No. combinado: Las evaluaciones de los ensayos no son idénticas.

Estadísticas Kappa de Fleiss

Evaluador	Respuesta	Kappa	Kappa de Error estándar	Z	P(vs. > 0)
Cesar	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Gladys	N	0.91111	0.182574	4.99036	0.0000
	S	0.91111	0.182574	4.99036	0.0000
Silvia	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Susana	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
Vilma	N	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000
	S	1.00000	0.182574	5.47723	0.0000

Entre evaluadores

Acuerdo de evaluación

No. inspeccionado	No. de coincidencias	Porcentaje	95 % IC
10	9	90.00	(55.50, 99.75)

No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden entre sí.

Estadísticas Kappa de Fleiss

Respuesta	Kappa	Kappa de Error estándar	Z	P(vs. > 0)
N	0.967839	0.0308607	31.3616	0.0000
S	0.967839	0.0308607	31.3616	0.0000

Todos los evaluadores vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

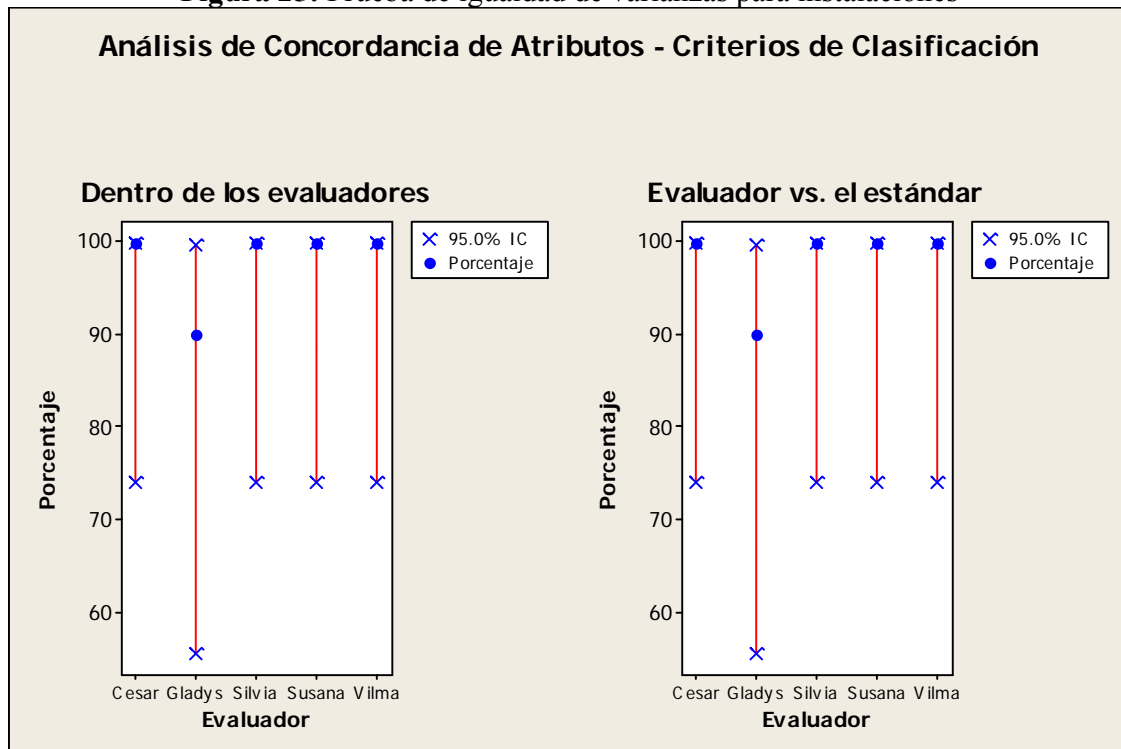
No. inspeccionado	No. de coincidencias	Porcentaje	95 % IC
10	9	90.00	(55.50, 99.75)

No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden con el estándar conocido.

Estadísticas Kappa de Fleiss

Respuesta	Kappa	Kappa de Error estándar	Z	P(vs. > 0)
N	0.982222	0.0816497	12.0297	0.0000
S	0.982222	0.0816497	12.0297	0.0000

Figura 25: Prueba de igualdad de varianzas para instalaciones



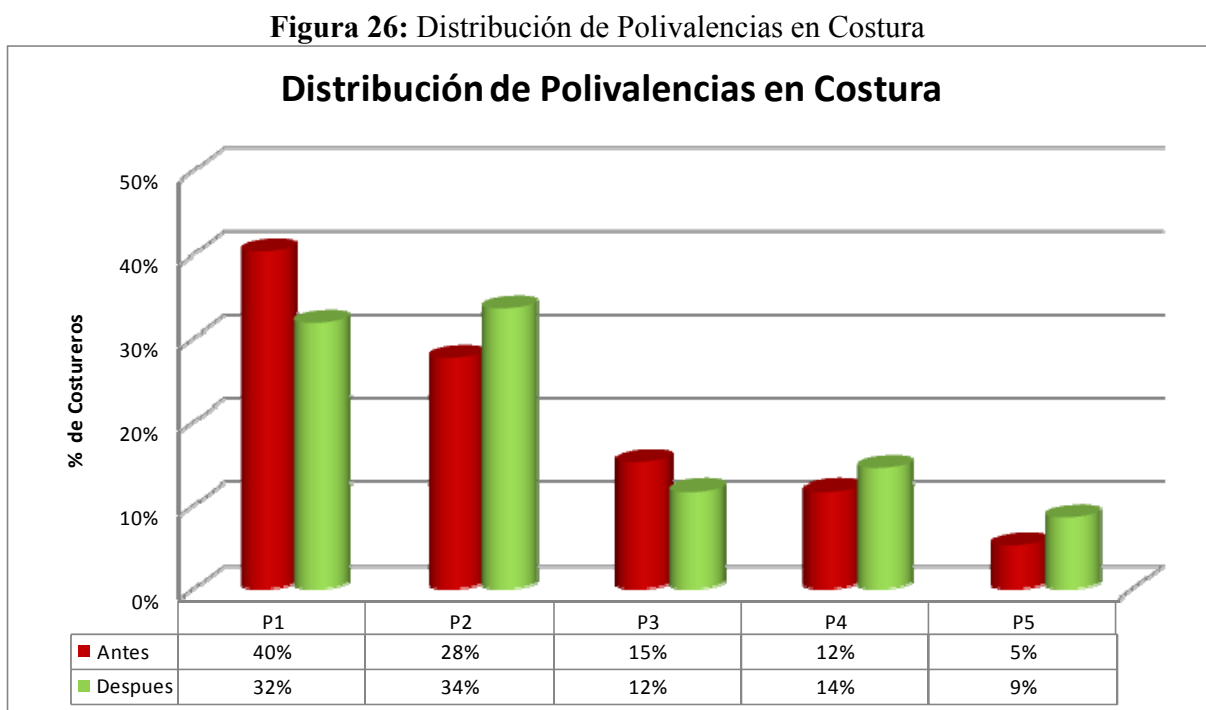
Del análisis realizado se observa que salvo la auditora Gladys (91%) todos los demás auditores tienen un 100% de Repetibilidad y Reproducibilidad en la prueba realizada.

Es así que se tiene un sistema de medición con 98.2% de reproducibilidad y 96.7% de Repetibilidad, se puede concluir que luego de las capacitaciones realizadas la empresa cuenta con un sistema de medición confiable.

4.3.4.2 Formación de Costureros Polivalentes

Se creó “LA ESCUELITA” la cual tiene como finalidad capacitar constantemente al personal para poder contar así con una mayor cantidad de costureros polivalentes.

A continuación se muestra la distribución de costureros según polivalencia.



Se puede notar que el porcentaje de costureros con polivalencia 5 ha crecido en un 4%, polivalencia 4 creció en un 2%. Además el porcentaje de costureros con polivalencia 1 se redujo en un 8%.

Se tiene proyectado que en el transcurso de un año se cuente con el 50% de costureros con una polivalencia mínima de 4 y al segundo año con un porcentaje de no menor al 80%

4.3.4.3 Mejora de máquinas de coser

El área de mantenimiento revisó todas las máquinas de coser de la planta dando un diagnóstico detallado de cada una de ellas. Posteriormente se gestionó con un proveedor local la compra de máquinas nuevas.

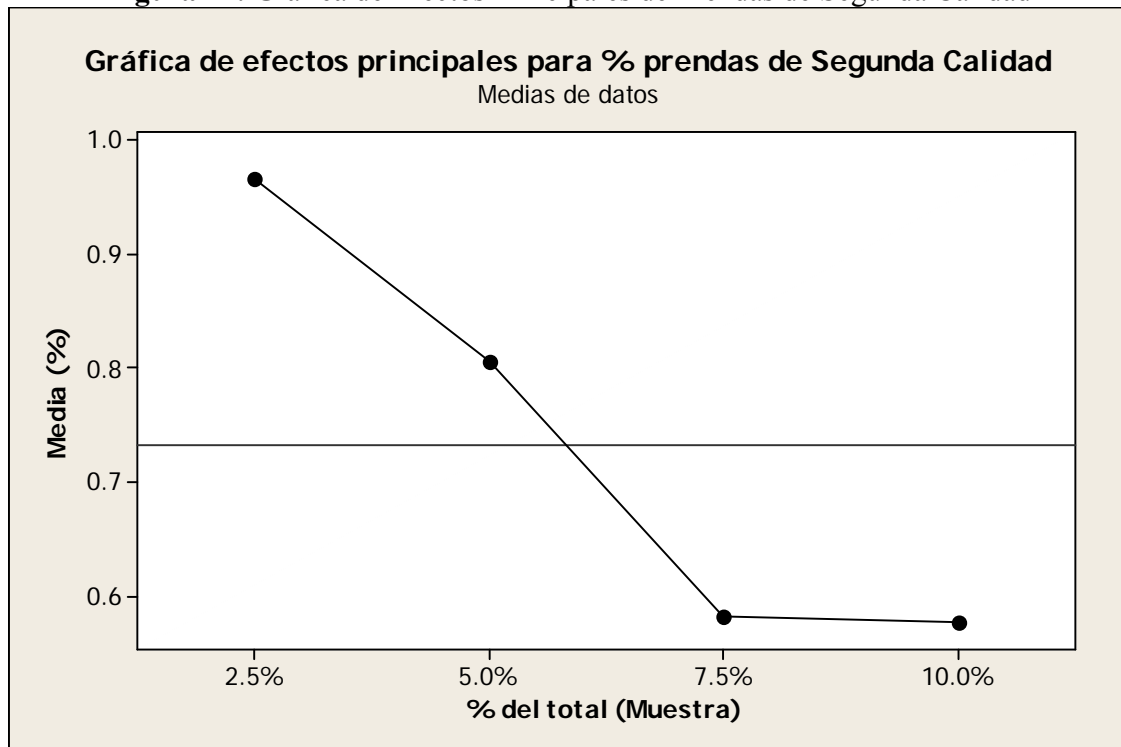
Para la compra de nuevas máquinas se elaboró un plan detallado para que esta renovación de máquinas sea programada y progresiva.

Se definió la política de contar con máquinas de coser no mayores a 10 años de antigüedad.

4.3.4.4 Estandarización de número de muestra

Para poder estandarizar el porcentaje de muestra que debe ingresar al módulo de costura previo a la producción, la cual garantice una reducción significativa de prendas de segunda calidad por problemas de costura, se realizó el siguiente análisis.

Figura 27: Gráfica de Efectos Principales de Prendas de Segunda Calidad



Se puede notar que el porcentaje promedio de prendas de segunda calidad se reduce significativamente cuando la muestra pasa de un 5% al 7.5 % del total de prendas a ingresar al módulo de costura. A su vez se nota que no existe una reducción significativa del porcentaje de prendas de segunda cuando la muestra pasa de un 7.5% a un 10%.

Así que, se estandariza que previo al ingreso al módulo de costura de un modelo nuevo se debe preparar el modulo con una cantidad de prendas equivalentes al 7.5% de la producción total.

4.3.4.5 Mejora en calidad de Agujas

Se conversó con el proveedor de agujas para que nos presente diferentes calidades de agujas (marcas y tipos). Es así que se decidió comprar y cambiar todas las agujas de producción por agujas de marca SHMETZ las cuales son consideradas como las mejores en el rubro de confecciones.

Es así que nos aseguramos mayor durabilidad y afilamiento, impactando esto directamente en el indicador del porcentaje de prendas de segunda calidad.



Figura 28: a) *AGUJAS ACTUALES*



b) *AGUJAS NUEVAS*

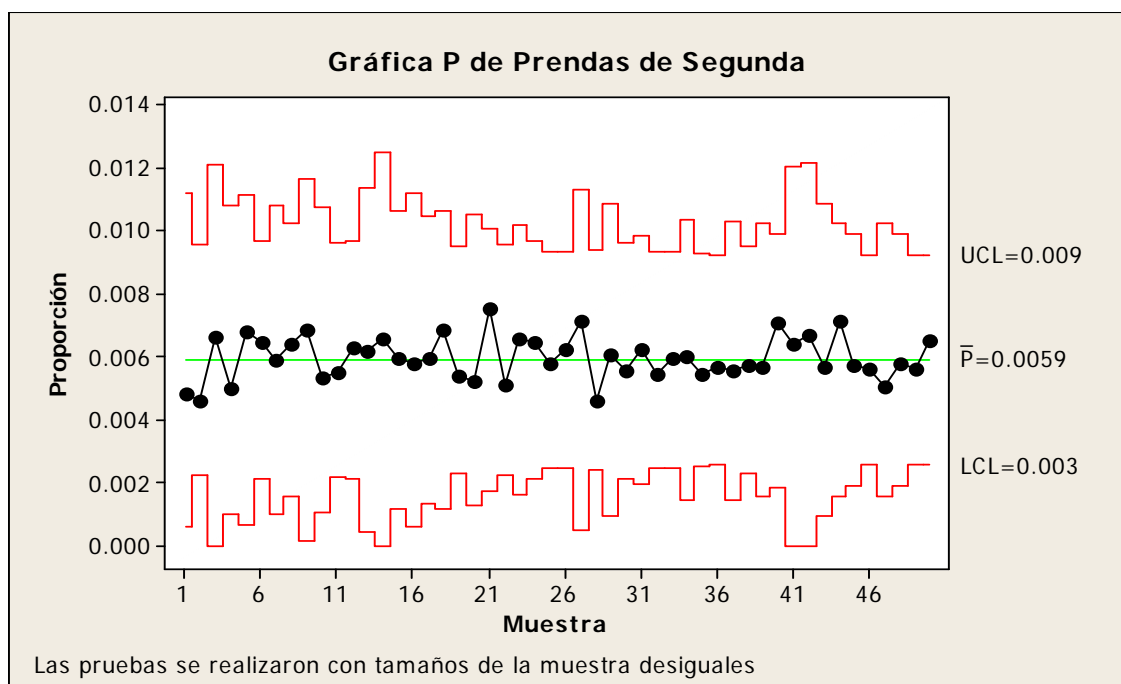
4.3.5 Fase de Control

Para poder mantener en el tiempo las mejoras obtenidas en el proceso es importante implementar planes de control que nos ayuden a poder identificar rápidamente desvíos en el proceso y a la vez poder tomar las acciones correctivas necesarias.

4.3.5.1 Mejoras del proceso

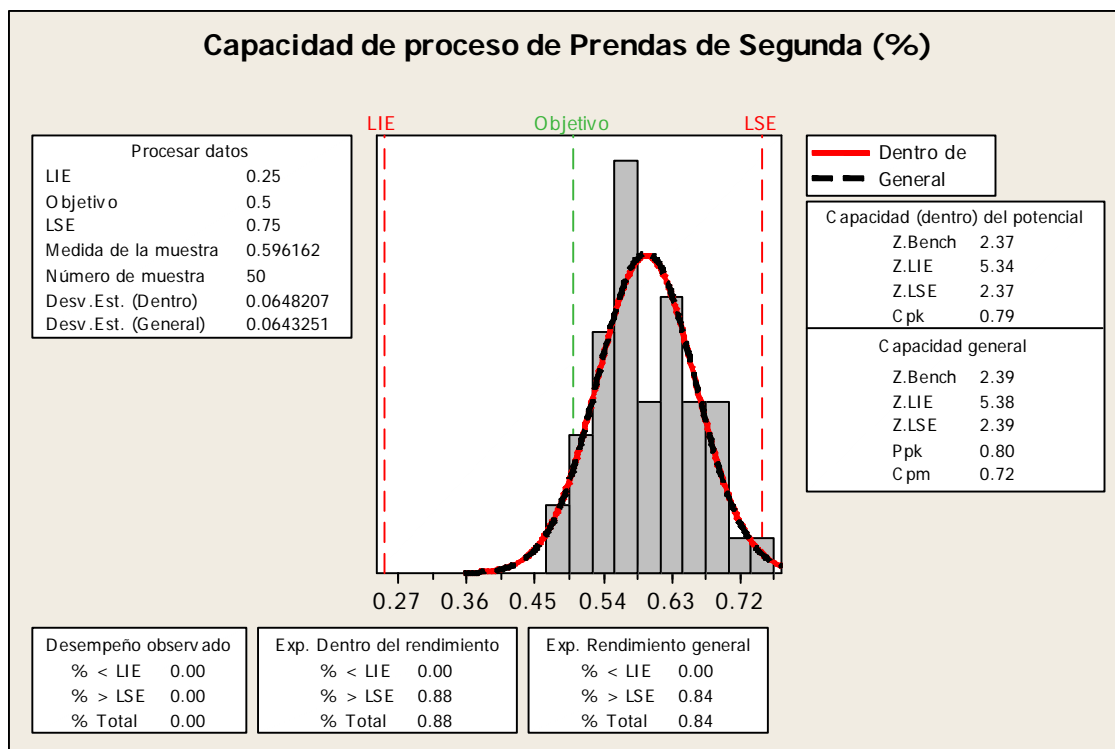
Es necesario poder analizar el proceso luego de las mejoras realizadas para poder medir el impacto de estas. A continuación revisamos los resultados obtenidos.

Figura 29: Grafica P prendas de segunda



Se puede apreciar en la figura 29 que no existen puntos fuera de los límites de control en el tiempo; por tal motivo podemos decir que el proceso se encuentra bajo control estadístico. Es importante notar que la variabilidad del porcentaje de prendas de segunda calidad se ha reducido y centrado alrededor de la media.

Figura 30: Capacidad de proceso de prendas de segunda



Para encontrar el Nivel sigma se toma en cuenta la adición de 1.5 al Z.bench por el desplazamiento que tendrá la gráfica en el largo tiempo. Así que:

$$2.39 \text{ (Z.Bench)} + 1.5 \text{ (Desplazamiento)} = 3.89 \text{ sigma}$$

En la figura 30 notamos que el nivel sigma ha mejorado de un 0.89 sigma a 3.89 sigma. Esta mejora sustancial nos indica que el proceso ahora es capaz de generar un porcentaje de prendas de segunda calidad dentro de los límites establecidos por la empresa.

Mejoras de la implementación del Proyecto

Entre las mejoras obtenidas luego de la implementación del proyecto Seis sigma podemos mencionar:

- Mejora del promedio mensual del porcentaje de prendas de segunda calidad teniendo un promedio inicial de 0.90% a un actual de 0.59%. Se espera que este promedio se reduzca con el pasar de los meses.
- Reducción de la desviación estándar del proceso de 0.25% a 0.06%
- Reducción significativa de los pedidos con prendas de segunda calidad fuera de los límites establecidos por la empresa, pasando de 72 4122.23 pedidos (72.92%) a 10 792.68 pedidos (0.84%). Se espera que este número de pedido siga reduciéndose al pasar de los meses.
- Se obtiene un CPk=0.79, que si bien no es el optimo ha mejorado considerablemente con respecto al valor inicial (CPk= -0.20). Como las mejoras implementadas conllevan aprendizaje del personal, se espera que estos indicadores mejoren el transcurso de los meses.

4.3.5.2 Implementación de sistema de control

Para poder asegurar que las mejoras continúen en el transcurso del tiempo se implementa controles en los tres niveles del proceso (costurero, supervisor, jefe). Este sistema cuenta con capacitaciones programadas de acuerdo al tema a tocar. A continuación se muestra el plan a ser ejecutado.

Tabla 08: Controles del proceso

Dirigido a	Temas	Frecuencia	Duración	Lugar	Capacitador
Jefe de Producción	- Cálculo e interpretación de herramientas estadísticas.	Anual	1 día	Sala de Producción	Jefe de Control de Calidad
	- Procedimientos e instructivos del proceso.				
	- Mejoras realizadas en el proceso.				
	- Registro de desviaciones en el proceso.				
Supervisores	- Cálculo e interpretación de cartas de control y capacidad de proceso.	Semestral	3 Horas	Auditorio Principal	Jefe de Producción
	- Procedimientos e instructivos del proceso.				
	- Mejoras realizadas en el proceso.				
	- Registro de desviaciones en el proceso.				
Costureros	- Mejoras realizadas en el proceso.	Mensual	30 min.	Auditorio Principal	Supervisores
	- Registro de desviaciones en el proceso.				

4.3.6 Evaluación Económica

4.3.6.1 Benéficos tangibles

La siguiente evaluación nos permite comparar los beneficios (S/.) obtenidos al implementar el proyecto de mejora en base a la metodología Seis Sigma.

Tabla 09: Costos totales de calidad

Costos antes del Proyecto Seis Sigma

I. Costos de Producción	S/.	% Costo
Costo de sobre producción	7,000	28.2
Horas extras	2,340	9.4
Costo de empaque	980	3.9
Sub Total	10,320	41.6
II. Costo de Inspección		
Costo de auditorías externas	1,450	5.8
Costos de inspección en línea	2,760	11.1
Sub Total	4,210	17.0
II. Costos de Prevención		
Costos de auditorías en proceso	4,300	17.3
Costos de capacitación	1,000	4.0
Costo de mantenimiento de equipos	5,000	20.1
Sub Total	10,300	41.5
TOTAL	24,830	

Costos luego del Proyecto Seis Sigma

I. Costos de Producción	S/.	% Costo
Costo de sobre producción	2,200	21.8
Horas extras	750	7.4
Costo de empaque	250	2.5
Sub Total	3,200	31.7
II. Costo de Inspección		
Costo de auditorías externas	350	3.5
Costos de inspección en línea	550	5.4
Sub Total	900	8.9
II. Costos de Prevención		
Costos de auditorías en proceso	2,000	19.8
Costos de capacitación	3,000	29.7
Costo de mantenimiento de equipos	1,000	9.9
Sub Total	6,000	59.4
TOTAL	10,100	

Costos totales de calidad	
Antes de Proyecto	S/. 24,830
Después de Proyecto	S/. 10,100
Reducción de Costos (%)	59%

Luego de hacer el análisis de Costos de calidad vemos que las mejoras obtenidas luego del proyecto seis sigma se obtiene una reducción del 59% de los costos generados por el porcentaje de las prendas de segunda calidad.

4.3.6.2 Beneficios intangibles

Entre los benéficos intangibles que se han obtenido con la reducción del porcentaje de prendas de segunda calidad tenemos:

- Satisfacción del cliente interno y externo de tener un producto que cumple las especificaciones requeridas.
- Personal capacitado y motivado para afrontar las exigencias del mercado.
- Satisfacción de las Jefaturas de contar con personal de calidad altamente calificado.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Al finalizar la revisión de los resultados obtenidos en la empresa textil se puede detallar las siguientes conclusiones:

1. El proceso de prendas de segunda calidad en la empresa textil presentaba un promedio de 0.90% de prendas de segunda calidad por defecto de confección al mes con una desviación estándar de 0.25% y un nivel sigma de 0.89 (Nivel 1) lo cual significaba 729,242.45 PPM de prendas de segunda calidad por defectos de confección (72.92%) incurriendo en un total de S/. 24,830 al mes en Costos de Calidad. Todo esto nos muestra que el proceso era totalmente incapaz de cumplir las especificaciones requeridas por el cliente.
2. Luego de la implementación del proyecto seis sigma se verifica que el proceso de prendas de segunda calidad presenta un promedio de 0.59% de prendas de segunda calidad por defecto de confección al mes con una desviación estándar de 0.06% y un nivel sigma de 3.89 (Nivel 4) lo cual significa 10,792.68 PPM de prendas de segunda calidad por defectos de confección (0.84%) incurriendo en un total de S/. 10,100 mensuales en Costos de Calidad. Se aprecia una mejora significativa en la capacidad proceso y con la creación de estándares de trabajo y una adecuada curva de aprendizaje de los operarios polivalentes se espera una mayor mejora en el mediano y largo plazo.
3. A partir del proyecto realizado se estableció estándares de producción los cuales nos aseguran mantener el porcentaje de prendas de segunda dentro de los límites deseados, estos estándares son:

- Muestra previa a la producción de 7.5% con referencia al total de prendas a confeccionar.
 - Máquinas de costura con una antigüedad máxima de 10 años.
 - Costureros polivalentes con un nivel de polivalencia no menor a 4 en todas las líneas de costura.
 - Agujas de costura de la marca SCHMETZ al 100% en producción.
4. Luego de realizar el estudio R&R y la posterior capacitación al personal auditor del área de Control de Calidad, podemos observar que se tiene un sistema de medición con 98.2% de reproducibilidad y 96.7% de Repetibilidad; muy por encima del promedio esperado (70%).

5.2. RECOMENDACIONES

1. Capacitar a mandos medios (Supervisores y Coordinadores) en la metodología Seis Sigma para que así se puedan formar diferentes proyectos en la empresa.
2. Actualizar los procedimientos e instructivos ISO 9001 incluyendo las acciones realizadas en el proyecto.
3. Hacer un seguimiento semanal del indicador de porcentaje de prendas de segunda calidad en conjunto las áreas de control de calidad y producción para poder detectar posibles anomalías.
4. Generar políticas de identificación del personal con la empresa para evitar la rotación de personal capacitado.
5. Generar procedimiento de capacitación en “LA ESCUELITA” para poder asegurar un adecuado desarrollo de la misma y así asegurar cubrir las necesidades en producción.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Besterfield, D. 1995 Control de calidad. Editorial Prentice-Hall. 508 p.
- Carot Alonso, V. 1998. Control Estadístico de la Calidad. Editorial Univ. Politéc. Valencia. 708 páginas
- Chang, R. 1996. Mejora Continua de Procesos. Ediciones Granica S.A. 110 p.
- Escalante Vázquez, E. 2003. Seis-Sigma: metodología y técnicas. Editorial Limusa. 435 p.
- Evans James, R.; Lindsay, W. 2008. Administración y Control de la Calidad. 6 ed. Edit. Internacional Thomson Editores. 848 p.
- Gutiérrez Pulido, H; Vara Salazar, R. de la. 2009. Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. Editorial McGraw Hill. 363 p.
- Hansen, Bertrand L.; Ghare, P. 1989. Control de calidad:Teoría y aplicaciones Ediciones Díaz de Santos. 549 p.
- International Standard Organization, NTP ISO 9000:2001 Sistema de Gestion de la Calidad Fundamentos y Vocabulario. Indecopi. Perú, 2007.140p.
- International estándar, Norme international. ISO/TR 10017. 2003. Orientacion sobre técnicas estadísticas para la norma ISO 9001:2000
- International estándar, Norme international. ISO 3534-1. 1993. (E/F)
- Joglekar, A. 2003. Stadistical methods for Six Sigma in R&D and Manufacturing. New Jersey: John Wiley & Sons. 550p.

- Juran, J.M. ; Gryna, F. 1993. Manual de Control de Calidad. Volumen I y II. Editorial McGraw Hill. Madrid. 1509 p.
- Manual de Calidad de Texgroup S.A. 2005. 30p.
- Material de entrenamiento Green Belt, Instituto para la calidad. 2008. 100p.
- Montgomery, D. 2005. Control Estadístico de la Calidad. 3 ed. Editorial Limusa S. A. 797 p.
- Ramirez Gonzales, A. Metodología de la Investigación Científica. Pontificia Universidad Javeriana. 540 p.
- Romero Pastor, J. 2006. Sistema de gestión integrada: calidad, prevención y medio ambiente. Editorial Visión Libros. 647 p.
- Salvador Figueras, M. ; Gargallo, P. 2003. Análisis Exploratorio de Datos. Universidad de Zaragoza. España. 200 p.
- Tamayo y Tamayo, Mario. 2001. El Proceso de la Investigación Científica. Editorial Limusa. 440 p.
- Vilar Barrio, J., ; Delgado Tejada, T. 2005. Control Estadístico de los Procesos FC Editorial. 512 p.

PAGINAS WEB VISITADAS

- Lefcovich, M. 2006. Hacia un nuevo paradigma en Gestión. <http://www.wikilearning.com/monografia/hacia_un_nuevo_paradigma_en_gestion-los_seis_sigma/11492-1> [Consulta: 10 de Noviembre del 2013].
- Pagella, NH. 2005. El sistema de costos de calidad: una forma de medir la gestión en la empresa.<http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/costosdecalidadgestion/> [Consulta: 10 de Noviembre del 2013].

- Universitat Oberta de Catalunya. (s.f). Análisis de Sistema de Medición.
<http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_2.pdf> [Consulta: 10 de Noviembre del 2013].

- Fistera.com. 2001. Índices de concordancia: El índice de Kappa.
<<http://www.fistera.com/mbe/investiga/kappa/kappa.asp>>. [Consulta: 10 de Noviembre del 2013].

- M. Smith. 2003. Definición del índice de Kappa. <
<http://www.isixsigma.com/dictionary/Kappa-531.htm>> [Consulta: 12 de Noviembre del 2013].

- Correa, JC; Iral, R; Rojas, L. (2006) Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza <http://www.emis.de/journals/RCE/V29/V29_1_57CorreaIral.pdf> [Consulta: 11 de Noviembre del 2013].

- Minitab Inc. (2007). Guía de Minitab Meet Minitab 15 for.
<<http://www.minitab.com/support/docs/rel15/MeetMinitabEs.pdf>> [Consulta: 14 de Noviembre del 2013].

- Revista Colombiana De Estadística (2009). Universidad Nacional de Colombia
<http://www.emis.de/journals/RCE/V29/V29_1_57CorreaIral.pdf> [Consulta: 14 de Noviembre del 2013].

ANEXOS

ANEXO 1: PRUEBA DE HIPOTESIS

La estadística inferencial es el proceso de usar la información de una muestra para describir el estado de una población. Sin embargo es frecuente que usemos la información de una muestra para probar un reclamo o conjetura sobre la población. El reclamo o conjetura se refiere a una hipótesis. El proceso que corrobora si la información de una muestra sostiene o refuta el reclamo se llama prueba de hipótesis.

Hipótesis

En la prueba de hipótesis se pone a prueba un reclamo hecho sobre la naturaleza de una población a base de la información de una muestra. El reclamo se llama hipótesis estadística.

Hipótesis Estadística

Una hipótesis estadística es un reclamo hecho sobre la naturaleza de una población.

Por ejemplo, la premisa formulada por un productor de baterías para autos de que su batería dura en promedio 48 meses, es una hipótesis estadística porque el fabricante no inspecciona la vida de cada batería que él produce.

Si surgieran quejas de parte de los clientes, entonces se pone a prueba el reclamo del fabricante. La hipótesis estadística sometida a prueba se llama la hipótesis nula, y se denota como H_0 .

Hipótesis Nula (H_0)

Premisa, reclamo, o conjetura que se pronuncia sobre la naturaleza de una o varias poblaciones.

Por ejemplo, para aprobar o desaprobar el reclamo pronunciado por el productor de baterías

debemos probar la hipótesis estadística de que $\mu \geq 48$. Por lo tanto, la hipótesis nula es:

$$H_0 : \mu \geq 48$$

Luego se procede a tomar una muestra aleatoria de baterías y medir su vida media. Si la información obtenida de la muestra no apoya el reclamo en la hipótesis nula (H_0), entonces otra cosa es cierta. La premisa alterna a la hipótesis nula se llama hipótesis alterna y se representa por H_1 .

Hipótesis Alterna

Una premisa que es cierta cuando la hipótesis nula es falsa.

Por ejemplo, para el productor de baterías

$$H_0 : \mu \geq 48$$

$$H_1 : \mu < 48$$

Para probar si la hipótesis nula es cierta, se toma una muestra aleatoria y se calcula la información, como el promedio, la proporción, etc. Esta información muestral se llama estadística de prueba.

Estadística de Prueba

Una estadística de prueba se basa en la información de la muestra como la media o la proporción.

(Carot Alonso, 1998)

ANEXO 2: ERROR TIPO I Y ERROR TIPO II

A base de la información de una muestra nosotros podemos cometer dos tipos de errores en nuestra decisión.

1. Podemos rechazar un H_0 que es cierto.
2. Podemos aceptar un H_0 que es falso.

Error tipo I

Cuando rechazamos una Hipótesis Nula que es cierta.

Error tipo II

Cuando aceptamos una Hipótesis Nula que es falsa.

(Carot Alonso, 1998)

ANEXO 3: NIVEL DE SIGNIFICANCIA (α)

Para ser muy cuidadosos en no cometer el error tipo 1, debemos especificar la probabilidad de rechazar H_0 , denotada por α . A ésta se le llama nivel de significancia.

Nivel de Significancia

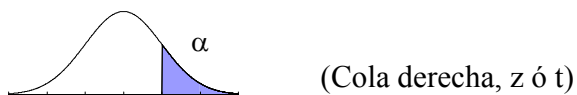
La probabilidad (α) más alta de rechazar H_0 cuando H_0 es cierto se llama nivel de significancia.

Usando un valor pre asignado de α se construye una región de rechazo o región crítica en la curva normal estándar o en la curva t que indica si debemos rechazar H_0 .

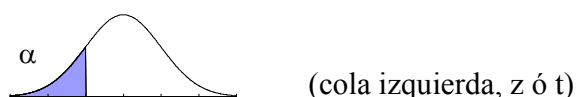
Región Crítica o de Rechazo

Una región crítica o de rechazo es una parte de la curva de z o de la curva t donde se rechaza H_0 . La región puede ser de una cola o de dos dependiendo de la hipótesis alterna.

Para $H_1: \alpha >$ valor aceptado, la región de rechazo está dada por:



Para $H_1: \alpha <$ valor aceptado, la región de rechazo está dada por:



(Carot Alonso, 1998)

ANEXO 4: HOJA DE AUTORIZACIÓN DE PROYECTO SEIS SIGMA
HOJA DE AUTORIZACIÓN DEL PROYECTO SIX SIGMA

IDENTIFICACION

Empresa: **TEXGROUP SA**

Black Belt: **ING. EDUARDO ROJAS**

Area: **PRODUCCIÓN**

Nombre del Proyecto: **REDUCCIÓN DEL % DE PRENDAS DE SEGUNDA CALIDAD POR DEFECTOS DE COSTURA.**

Tipo de Proyecto	Requerimiento de los miembros del equipo		Planificación	
<input type="checkbox"/> Manufactura <input type="checkbox"/> Servicios <input type="checkbox"/> Diseño	Áreas Involucradas	Habilidades/Experiencias Requeridas	Inicio	Finalización
	Costura	Auditorías de Calidad.	04 de Marzo 2013	26 de Julio 2013
	Calidad	Herramientas estadísticas.		
	Acabados	Proceso de costura.		

ORIGEN

Identificado por	Área donde se origina el proyecto	Data observada para identificar el proyecto
Eduardo Rojas (Jefe de Producción)	Acabado / Costura (Producción)	Porcentaje de prendas de segunda Calidad

IMPACTO

Cliente	Empresa	Métricas de desempeño de la empresa	Prioridad
Producción	Texgroup SA	Porcentaje de Prendas de Segunda Calidad	Baja Media Alta

DESCRIPCION

Producto	Proceso
Prendas terminadas	Costura
Descripción del Problema: Alto porcentaje de prendas de segunda calidad.	
Objetivo/Meta: Reducir el porcentaje de prendas de segunda calidad (0.50% promedio mensual)	
Beneficios del Proyecto: Reducción en los Costos de Calidad y Mejora de reputación de empresa.	

PARTICIPANTES

Nombre	Puesto	Función	Carta de Compromiso
Eduardo Rojas	Jefe de Producción	Black Belt	S1
Raúl Pinto	Jefe de Control de Calidad	Black Belt	S1
Herbert Yopán	Analista de Producción	Green Belt	S1
Renato Galvez	Analista de Control de Calidad	Green Belt	S1
Zonia Prado	Supervisora Principal de Calidad	Yellow Belt	S1
José Espiritu	Coordinador de Producción	Yellow Belt	S1

AUTORIZACIÓN

Título	Nombre	Puesto	VºBº
Champion/Manager	Carlos Parodi	Gerente de Planta	APROBADO

ANEXO 5: BASE DE DATOS ANALISIS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

- Base de datos Antes de Capacitación**

Pieza	Auditor	Revisión 1		Revisión 2		Revisión 3	
		Respuesta	Experto	Respuesta	Experto	Respuesta	Experto
1	Cesar	S	S	S	S	S	S
2		N	N	N	N	N	N
3		S	S	S	S	S	S
4		S	S	S	S	S	S
5		S	S	S	S	S	S
6		N	N	N	N	N	N
7		S	S	S	S	S	S
8		S	S	S	S	S	S
9		S	S	S	S	S	S
10		N	N	N	N	N	N
1	Gladys	S	S	N	S	S	S
2		N	N	S	N	N	N
3		S	S	N	S	S	S
4		S	S	S	S	S	S
5		S	S	S	S	S	S
6		S	N	S	N	S	N
7		S	S	S	S	S	S
8		S	S	S	S	S	S
9		N	S	N	S	S	S
10		N	N	N	N	N	N
1	Silvia	S	S	S	S	S	S
2		N	N	N	N	N	N
3		N	S	N	S	N	S
4		S	S	S	S	S	S
5		S	S	S	S	S	S
6		N	N	N	N	N	N
7		S	S	S	S	S	S
8		S	S	S	S	S	S
9		S	S	S	S	S	S
10		N	N	N	N	N	N
1	Susana	S	S	S	S	S	S
2		N	N	N	N	N	N
3		S	S	S	S	S	S
4		S	S	S	S	S	S
5		S	S	S	S	S	S
6		N	N	N	N	N	N
7		S	S	S	S	S	S
8		S	S	S	S	S	S
9		S	S	S	S	S	S
10		N	N	N	N	N	N
1	Vilma	S	S	S	S	S	S
2		N	N	N	N	N	N
3		S	S	S	S	S	S
4		S	S	S	S	S	S
5		S	S	S	S	S	S
6		N	N	N	N	N	N
7		S	S	S	S	S	S
8		S	S	S	S	S	S
9		S	S	S	S	S	S
10		N	N	N	N	N	N

- **Base de datos Después de Capacitación**

Pieza	Auditor	Revisión 1		Revisión 2		Revisión 3	
		Respuesta	Experto	Respuesta	Experto	Respuesta	Experto
1	Cesar	S	S	S	S	S	S
2		N	N	N	N	N	N
3		S	S	S	S	S	S
4		S	S	S	S	S	S
5		S	S	S	S	S	S
6		N	N	N	N	N	N
7		S	S	S	S	S	S
8		S	S	S	S	S	S
9		S	S	S	S	S	S
10		N	N	N	N	N	N
1	Gladys	S	S	S	S	S	S
2		N	N	N	N	N	N
3		S	S	S	S	S	S
4		S	S	S	S	S	S
5		S	S	S	S	S	S
6		N	N	N	N	S	N
7		S	S	S	S	S	S
8		S	S	S	S	S	S
9		S	S	S	S	S	S
10		N	N	N	N	N	N
1	Silvia	S	S	S	S	S	S
2		N	N	N	N	N	N
3		S	S	S	S	S	S
4		S	S	S	S	S	S
5		S	S	S	S	S	S
6		N	N	N	N	N	N
7		S	S	S	S	S	S
8		S	S	S	S	S	S
9		S	S	S	S	S	S
10		N	N	N	N	N	N
1	Susana	S	S	S	S	S	S
2		N	N	N	N	N	N
3		S	S	S	S	S	S
4		S	S	S	S	S	S
5		S	S	S	S	S	S
6		N	N	N	N	N	N
7		S	S	S	S	S	S
8		S	S	S	S	S	S
9		S	S	S	S	S	S
10		N	N	N	N	N	N
1	Vilma	S	S	S	S	S	S
2		N	N	N	N	N	N
3		S	S	S	S	S	S
4		S	S	S	S	S	S
5		S	S	S	S	S	S
6		N	N	N	N	N	N
7		S	S	S	S	S	S
8		S	S	S	S	S	S
9		S	S	S	S	S	S
10		N	N	N	N	N	N