

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Reducción de costos de mantenimiento aplicado a transformadores de
distribución monofásicos"

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIEROS INDUSTRIALES

Presentado por:

Santiago David Cueva Andrade

María Daniela Dreher Pozo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres por brindarme su apoyo en cada etapa de mi vida, por aconsejarnos y enseñarme valores para ser una persona de bien, a mi hermano por ayudarme en cada oportunidad, a mis abuelos, amigos y profesores que me acompañaron a lo largo de la carrera y ser parte de mi vida.

A la M.Sc. Jenny Gutiérrez por orientarnos en la elaboración de nuestro proyecto de graduación.

Santiago.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, que siempre me brindó su apoyo incondicional. A mis amigos por ser una parte importante de mi vida.

A nuestra tutora de tesis M.Sc. Jenny Gutiérrez por guiarnos durante la ejecución del proyecto integrador.

Daniela.

DECLARACIÓN EXPRESA

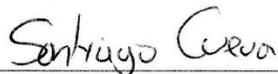
“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Santiago David Cueva Andrade

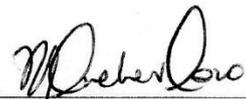
María Daniela Dreher Pozo

MSc. Jenny Gutiérrez

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Santiago David Cueva
Andrade



María Daniela Dreher
Pozo



MSc. Jenny Gutiérrez
Tutora de Proyecto integrador

RESUMEN

La unidad de negocio de Guayaquil de la empresa ABC, comercializadora y distribuidora de electricidad, cuenta con un taller de mantenimiento de transformadores monofásicos de distribución. Según la base de datos históricos entre octubre del 2016 a octubre del 2017 el taller no abastece la demanda requerida de mantenimientos mensual, a pesar de utilizar horas extras. Además, existe un incremento del 65% desde el 2014 hasta la actualidad en el costo unitario de mantenimiento de transformadores monofásicos de distribución.

El objetivo del proyecto es reducir los costos unitarios de mantenimiento de transformadores, y disminuir los tiempos de reparación para lograr abastecer la demanda mensual con la aplicación de la metodología DMAIC.

Para el desarrollo del proyecto se definió el problema, el alcance y sus objetivos; se realizó una recolección de datos, una vez recolectados los datos, se procedió a realizar el análisis y la resolución del problema. Con la implementación de una célula de manufactura, se logró reducir el tiempo de mantenimiento de los transformadores para cumplir con el *takt time*, que es el tiempo máximo requerido para realizar los mantenimientos y abastecer la demanda sin utilizar horas extras. Esto representa un 7% de ahorros por mantenimientos unitarios, y un total de aproximadamente \$14.800,00 anualmente.

Palabras Clave: Reducir costos, célula de manufactura, mantenimiento.

ABSTRACT

The Guayaquil location of the company ABC, which distributes electric power to the city, has a maintenance shop for single phase transformers. According to historic data, between October 2016 and October 2017, the maintenance shop has not been able to satisfy the monthly demand in spite of constantly working overtime. Furthermore, there has been a 65% increase of the unit maintenance cost of single phase power distribution transformers.

The goal of this project is to decrease the maintenance expenses while also improving the repairs lead time; thus, being able to satisfy the monthly maintenance demand. To accomplish this, the DMAIC methodology was be used.

The development of the project obeyed to the following steps. The problem was defined, then the scope and objectives of the project were stated. Relevant data was collected to proceed with the analysis and solution of the problem. Implementing a manufacturing cell resulted in a significant reduction of the repairment time, reaching the calculated takt time, which is the maximum required to satisfy the demand without working overtime. This generates savings of 7% in unit maintenance cost, and a total of \$14.800,00 annually.

Keywords: Decrease expenses, manufacturing Cell, maintenance.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Definición	1
1.1.1 Descripción del problema	1
1.1.2 Objetivos.....	4
1.1.3 Marco Teórico.....	5
1.1.4 Transformador de distribución monofásico	10
1.1.5 Tipos de transformadores	10
1.1.6 artes y componentes de un transformador de distribución tipo poste.....	12
CAPÍTULO 2	18
2. METODOLOGÍA.....	18
2.1 Definición	18
2.2 5w +1H.....	19
2.3 Enfoque.....	20
2.3.1 SIPOC	20
2.4 Medición.....	22
2.4.1 Plan de recolección de datos	22
2.4.2 Cálculo del tamaño de muestra	23
2.4.3 Confiabilidad de los datos	27
2.4.4 Recolección de datos.....	29
2.5 Etapa de Análisis	35
2.5.1 Análisis de datos recolectados.....	35
2.5.2 Mapa del Flujo de Valor (VSM)	43
2.5.3 Problemas Enfocados.....	46
2.5.4 Diagramas de Ishikawa.....	47
2.5.5 Priorización de causas.....	50
2.5.6 Verificación de causas	52

2.5.7	Determinación de causas raíces	56
2.6	Etapa de Mejora	58
2.6.1	Propuestas de mejora	58
2.6.2	Priorización de soluciones	59
2.6.3	Plan de implementación de mejoras	60
2.6.4	Desarrollo de las mejores seleccionadas	65
CAPÍTULO 3		84
3.	RESULTADOS	84
CAPÍTULO 4		94
4.	Conclusiones y Recomendaciones	94
4.1	Conclusiones.....	94
4.2	Recomendaciones.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....		96
APÉNDICE.....		97

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ABC	Empresa comercializadora y distribuidora de electricidad
UN	Unidad de Negocio
VOC	Voice of Customer
CTQ	Critical to Quality
SIPOC	Supplier Input Output Customer
DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar
FMIK	Frecuencia media de interrupción
TTIK	Tiempo medio de interrupción
MTTR	Mean Time to Repair
MTBF	Mean Time Between Failures
PCB	Bifenilos Policlorados
FVU	Fin de Vida Útil
VSM	Value Stream Mapping
TPM	Total Productive Maintenance
ROP	Reorder Point

SIMBOLOGÍA

Kva Kilovatio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Índices vs. el costo del mantenimiento de redes en millones de dólares.	2
Figura 1.2 Presupuesto del taller de mantenimiento.....	3
Figura 1.3 Cantidad de transformadores en Guayaquil.	3
Figura 1.4 Costo de mantenimiento de transformadores en función del número de transformadores existentes en Guayaquil.	4
Figura 1.5 Metodología de mejora DMAIC.	6
Figura 1.6 Estructura de un diagrama SIPOC.	7
Figura 1.7 Plantilla para realizar un diagrama de Gantt en Microsoft Excel.	8
Figura 1.8 Transformador de poste de 50Kva.	11
Figura 1.9 Transformadores de pedestal (pad mounted).	11
Figura 1.10 Bobina de baja tensión siendo elevada con un tecele.	12
Figura 1.11 Bushing de media tensión.	14
Figura 1.12 Bushing de baja tensión.	15
Figura 1.13 Válvula de sobrepresión.	15
Figura 1.14 Cambiador de tomas.	16
Figura 1.15 Luz de alerta de sobrecarga.	17
Figura 2.1 Voz del cliente.	19
Figura 2.2 5W+ 1H.....	19
Figura 2.3 SIPOC.....	21
Figura 2.4 Gráfica de normalidad de ingreso de transformadores.	24
Figura 2.5 Gráfica de normalidad de la toma de tiempos.	26
Figura 2.6 Estudio económico de precios unitarios.	28
Figura 2.7 Factura de materiales y partes utilizados para mantenimiento.	29
Figura 2.8 Cantidad de transformadores que ingresan y salen.....	30
Figura 2.9 Estados en los que se encuentran los transformadores.	30
Figura 2.10 Pareto de cantidad de transformadores por Kva.....	31
Figura 2.11 Pareto de Materiales nuevos utilizados.	32
Figura 2.12 Pareto Acciones correctivas en transformadores de 50 Kva.....	32
Figura 2.13 Lead Time.	33
Figura 2.14 Toma de tiempos.....	34
Figura 2.15 Costos del taller de transformadores.	35
Figura 2.16 Porcentaje de transformadores que salen vs. los que ingresan al taller. ...	36
Figura 2.17 Trabajos pendientes para el mes siguiente.	37
Figura 2.18 Precipitaciones mensuales en Guayaquil.	38
Figura 2.19 Diferencia medias de precipitaciones mensuales.	38
Figura 2.20 Diagrama de cajas de precipitaciones mensuales.	39
Figura 2.21 Pareto de estado de transformadores de 50 Kva.....	40
Figura 2.22 Pareto de costos de reparación de transformadores.	42
Figura 2.23 VSM Reparación de Bushing de baja tensión.....	43
Figura 2.24 VSM Fin de vida útil.....	45
Figura 2.25 Problemas Enfocados.	46
Figura 2.26 Ishikawa de reprocesos en los mantenimientos.	47
Figura 2.27 Ishikawa de elevado de tiempo de operación en mantenimientos.	48

Figura 2.28 Ishikawa de elevado tiempo de operación en transformadores FVU.	49
Figura 2.29 Ishikawa de altos costos de operación.	50
Figura 2.30 Matriz Impacto vs Esfuerzo de causas.	51
Figura 2.31 Matriz de Impacto vs Esfuerzo de soluciones.	60
Figura 2.32 Plan de Implementación de 5´S.....	61
Figura 2.33 Plan de Implementación de Rediseño de Procesos.....	62
Figura 2.34 Plan de Implementación de Política de Abastecimiento.....	63
Figura 2.35 Plan de Implementación de Célula de Manufactura.....	64
Figura 2.36 Plan de Implementación de Análisis Financiero.....	65
Figura 2.37 Presentación 5 S´.....	66
Figura 2.38 Posiciones a Analizar.	73
Figura 2.39 Resultado de Median Problem.	75
Figura 2.40 Prototipo célula de manufactura.	76
Figura 3.1 Fotos Antes.	85
Figura 3.2 Fotos Después.	85
Figura 3.3 Gavetas.....	87
Figura 3.4 Ahorros estimados, por aplicación de política de inventario.	88
Figura 3.5 Simulación Pro Model.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Plan de recolección de datos	22
Tabla 2.2 Comparación de precios unitarios	28
Tabla 2.3 Costos de acciones correctivas	41
Tabla 2.4 Resultado VSM Reparación de bushing	44
Tabla 2.5 Resultado VSM Fin de vida útil	45
Tabla 2.6 Costos de transformadores de 50Kva.....	46
Tabla 2.7 Verificación de Causas.....	52
Tabla 2.8 Verificación de Empaques agotados.....	54
Tabla 2.9 Verificación de espera de herramientas.	54
Tabla 2.10 Verificación de desmantelamiento de partes.	55
Tabla 2.11 Verificación de buscar herramientas.....	55
Tabla 2.12 Verificación de buscar repuestos.....	55
Tabla 2.13 Verificación del chequeo de transformadores dados de baja.....	56
Tabla 2.14 Cinco ¿Por qué?	57
Tabla 2.15 Posibles soluciones a las causas raíces.	58
Tabla 2.16 Verificación de distribuciones con las que se comportan los materiales.	67
Tabla 2.17 Calculo del ROP por materiales y repuestos.	68
Tabla 2.18 Combinatorias de Mantenimientos realizados por el taller	69
Tabla 2.19 Parámetros.	70
Tabla 2.20 Resolución de algoritmo Binario 1.....	71
Tabla 2.21 Resolución de Algoritmo Binario 2.	71
Tabla 2.22 Resolución Algoritmo Binario 3.....	71
Tabla 2.23 Resolución Algoritmo Binario 4.....	72
Tabla 2.24 Utilización anual por máquinas a analizar	73
Tabla 2.25 Median Problem.....	74
Tabla 2.26 Resolución Median Problem.	74
Tabla 2.27 Actividades célula de manufactura.....	76
Tabla 2.28 Actividades mantenimiento menor.	78
Tabla 2.29 Actividades mantenimiento mayor.....	79
Tabla 2.30 Costo de Mantenimientos Cotizados.	80
Tabla 2.31 Plan de Control 5´S	81
Tabla 2.32 Plan de Control de Política de Abastecimiento.....	82
Tabla 2.33 Plan de Control de Análisis Financiero	82
Tabla 2.34 Plan de Control de Célula de Manufactura	83
Tabla 3.1 Resultados de 5´S	84
Tabla 3.2 Simulación Manual Consumo de Materiales.....	86
Tabla 3.3 Resultados Simulación Manual.....	87
Tabla 3.4 Resumen Resultados Simulación.....	90
Tabla 3.5 Ahorros estimados	90
Tabla 3.6 Flujo de caja: Escenario 1.....	91
Tabla 3.7 Flujo de caja: Escenario 2.....	91
Tabla 3.8 Flujo de caja: Escenario 3.....	92
Tabla 3.9 Comparación de Resultados	92
Tabla 3.10 Punto de Equilibrio.....	93
Tabla 4.1 Ahorros Totales por Mejoras	94

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

ABC es una empresa distribuidora y comercializadora de energía eléctrica. Por sus ingresos se posiciona como la cuarta empresa más grande del país, ABC cubre con sus servicios al 44,5% del territorio nacional, y provee de electricidad al 50% de los ecuatorianos.

La empresa se constituye el 15 de diciembre del 2008, integrada por las empresas eléctricas de distribución disueltas de distintas provincias: Bolívar, el Oro, Esmeraldas, Guayas, los Ríos, Manabí, Milagro, Santo Domingo, Península de Santa Elena y, Sucumbíos.

El 17 de septiembre del 2014 la Unidad de Negocio Guayaquil se integra a ABC. En la actualidad la empresa cuenta con 12 unidades de negocio, en 10 provincias del país.

La empresa ha invertido fuertemente en el desarrollo de proyectos en los últimos años, con el fin de fortalecer la infraestructura civil, tecnológica y el sistema eléctrico de subtransmisión, distribución y alumbrado público; con estos proyectos la empresa ha logrado mejorar los indicadores de calidad del servicio y de pérdidas de energía eléctrica.

1.1 Definición

1.1.1 Descripción del problema

Existe un incremento significativo del costo anual de mantenimiento de transformadores de distribución de ABC a nivel nacional, se presenta al brindar un mejor nivel de servicio de suministro eléctrico, actualmente el costo presupuestado ha incrementado un 65% desde el 2014 con una tendencia de aumento en los datos históricos.

A continuación, se presenta un gráfico (Figura 1.1) de la evolución de los índices de servicio (TTIK y FMIK) vs el presupuesto para mantenimiento de redes. En la gráfica los costos están representados en millones.

EVOLUCIÓN DE ÍNDICES VS PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO DE REDES

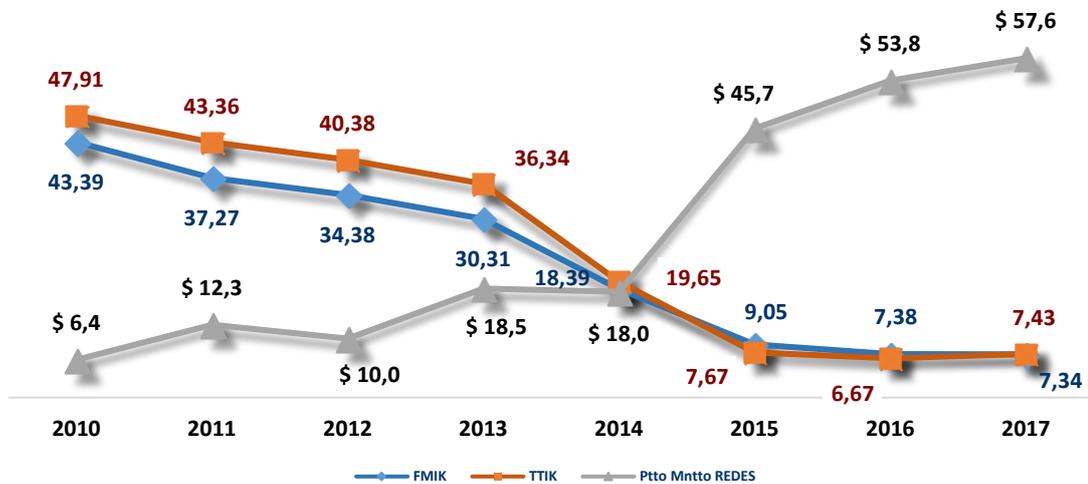


Figura 1.1 Índices vs. el costo del mantenimiento de redes en millones de dólares.

Fuente: Información de la empresa

Se analizan los datos desde el 2014 debido a que desde ese año se integra la UN Guayaquil a ABC. Se desglosa del presupuesto anual de mantenimiento de redes el presupuesto del taller de mantenimiento de transformadores de la UN Guayaquil. Se puede observar en la Figura 1.2, que el presupuesto destinado al taller incrementa un 87% desde 2014. Esto también se debe a que la cantidad de transformadores en la ciudad de Guayaquil se incrementa un 13% desde el 2014 hasta el 2017, como se muestra en la Figura 1.3.

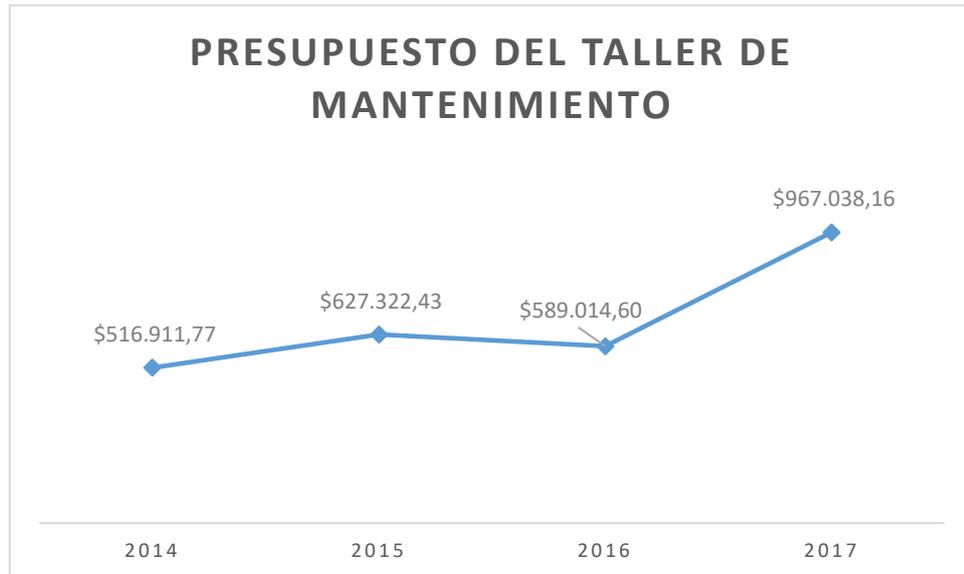


Figura 1.2 Presupuesto del taller de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

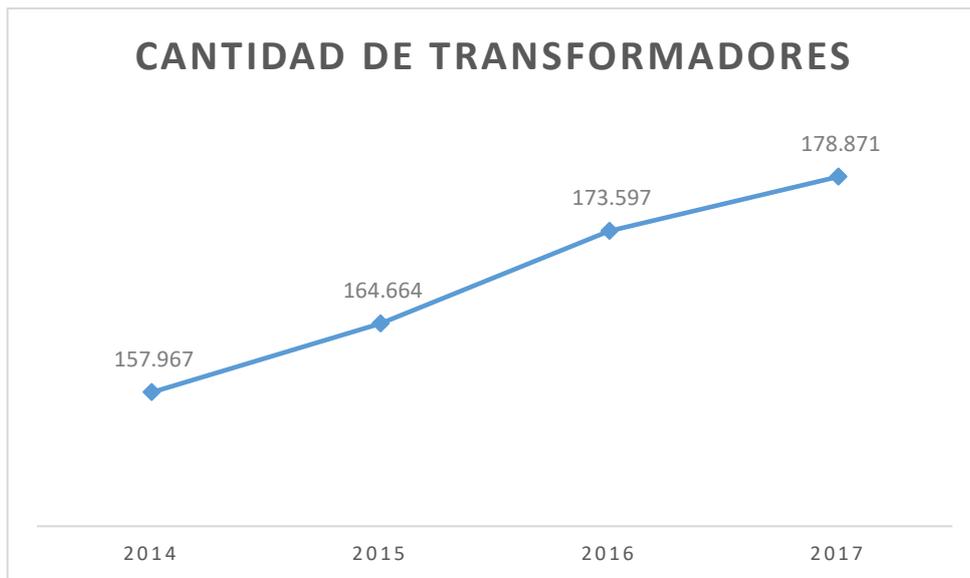


Figura 1.3 Cantidad de transformadores en Guayaquil.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se procede a determinar el presupuesto del taller de mantenimiento de manera unitaria, obteniendo de resultado un incremento del 65% desde el 2014 hasta la actualidad, como se muestra en la Figura 1.4.

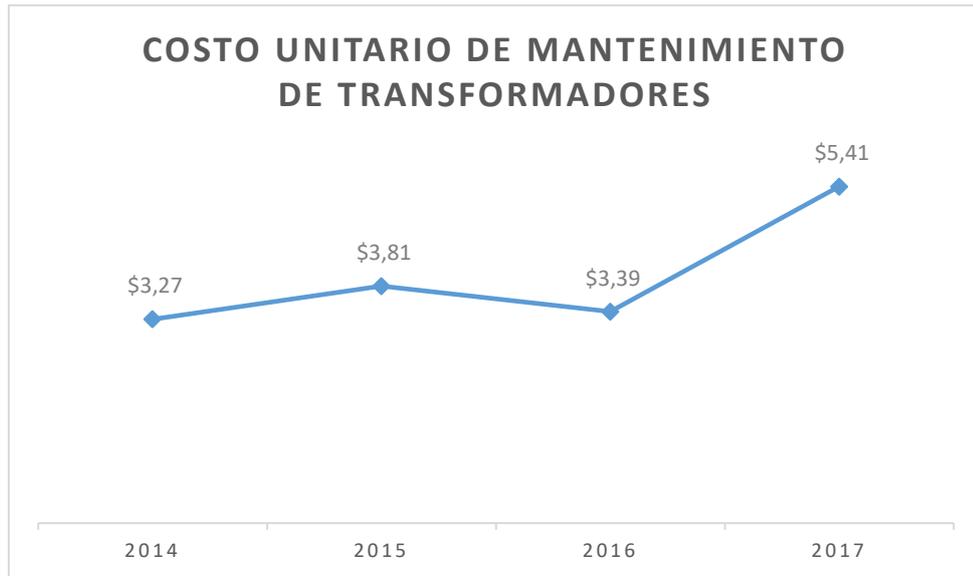


Figura 1.4 Costo de mantenimiento de transformadores en función del número de transformadores existentes en Guayaquil.

Fuente: Elaboración propia

1.1.2 Objetivos

1.1.2.1 Objetivo General

Reducir los costos anuales destinados al mantenimiento de transformadores de distribución en la ciudad de Guayaquil aplicando la metodología six sigma, la redefinición de procesos y analizar la viabilidad técnico-económica de implementar talleres para la reparación de transformadores de distribución versus la alternativa de contratación de servicios.

1.1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la situación actual técnica-económica del taller.
- Analizar datos históricos y determinar la cantidad de transformadores no conformes bajo pruebas de calidad y confiabilidad para determinar la eficiencia del proceso de reparación.
- Analizar la disponibilidad y mantenibilidad de los transformadores con indicadores TPM.
- Evaluar mejoras de calidad en el proceso de reparación de transformadores en taller optimizando costos.
- Determinar los ahorros para la empresa con la implementación del proyecto.

- Proponer criterios técnicos y económicos bajo los cuales sea factible realizar mantenimientos a los transformadores dependiendo del tipo de falla y su vida útil.
- Proporcionar directrices generales de la implementación del proyecto en las demás Unidades de Negocio.

1.1.3 Marco Teórico

1.1.3.1 SIX SIGMA

Motorola introdujo por primera vez la metodología six sigma en el año de 1987, fue llevado a cabo por un grupo de directivos cuyo líder era el presidente de la compañía Bob Galvin teniendo como objetivo la reducción de defectos en productos electrónicos, Motorola ahorró 1000 millones de dólares en un lapso de 3 años y ganó el premio a la calidad Malcolm Baldrige en el año de 1988 con la aplicación de esta metodología, de ahí en adelante six sigma ha sido empleada por un gran número de compañías en todo el mundo. (Pulido, 2005)

Six sigma es una metodología para la mejora continua de un negocio, que tiene el propósito de encontrar y eliminar las causas que ocasionan errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, estos deben ser reducidos a 3.4 ocasiones por cada millón de oportunidades. (Shrivastava, 2008)

La metodología six sigma se enfoca en la mejora de la calidad de un producto o un proceso, esta posee tres áreas prioritarias para actuar: satisfacción del cliente, reducción de los tiempos de ciclo y la eliminación de los defectos. (Pulido, 2005)

1.1.3.2 DMAIC

Todos los proyectos six sigma siguen un método sistemático y estandarizado conocido como DMAIC, el cual es un proceso formalizado para la resolución de problemas, el método DMAIC puede mejorar cualquier tipo de proceso en una organización con el fin de obtener una mejor eficiencia y efectividad (Giyi, 2005)

DMAIC es un acrónimo de 5 palabras interrelacionadas que se detalla en la Figura 1.5, cada una de estas palabras representa una fase en las cuales se utilizan diferentes herramientas con el propósito de responder a las interrogantes específicas que dirigen la mejora del proceso. (Jared Ocampo, 2012)

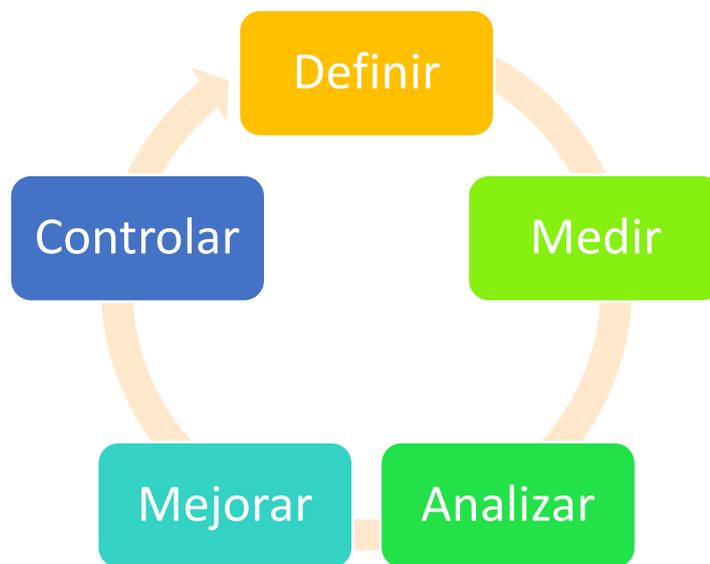


Figura 1.5 Metodología de mejora DMAIC.

Fuente: Elaboración propia

Definir: es la primera fase de la metodología en la cual se determina los objetivos y el alcance del proyecto, se recopila información del proceso y del cliente, se define los entregables al cliente. (Shrivastava, 2008)

Las herramientas claves que nos permiten completar esta fase son:

➤ **SIPOC**

Esta herramienta permite crear un mapa de proceso de alto nivel definiendo los elementos claves de un proceso además de proveer una visualización clara del mismo, la estructura de un diagrama SIPOC se presenta en la Figura 1.6. (Scarborough, 2015)

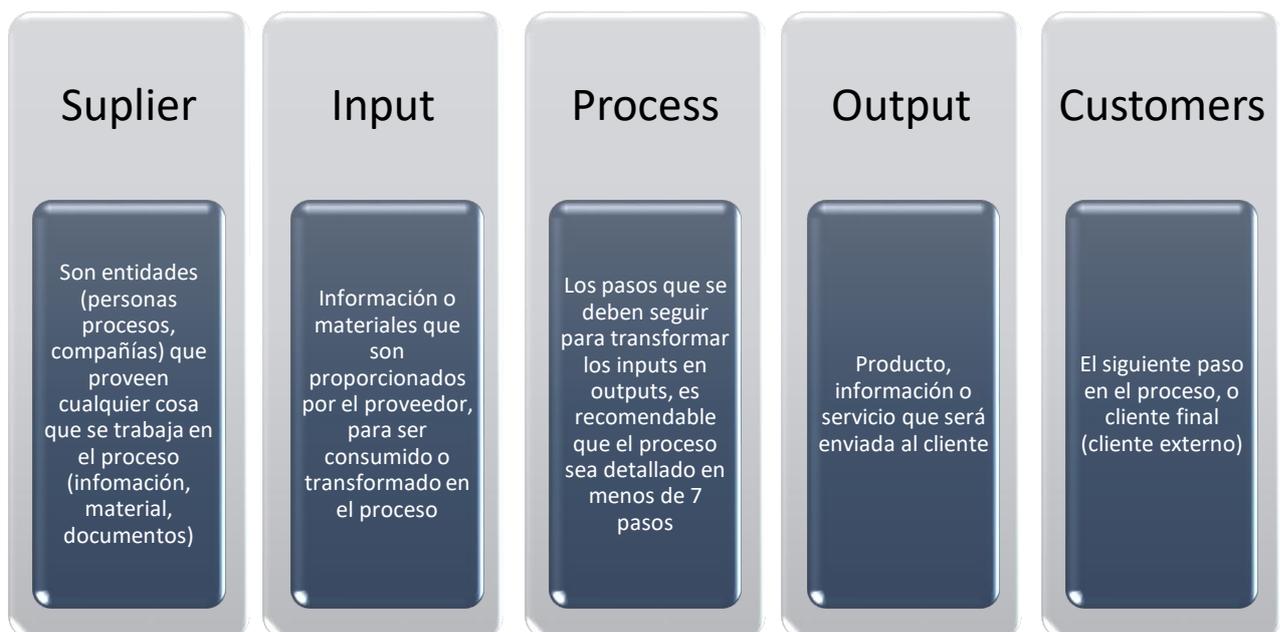


Figura 1.6 Estructura de un diagrama SIPOC.

Fuente: (George, 2003)

➤ Voice of Customer (VOC)

El VOC, voz del cliente traducido al español, es un procedimiento que consiste en obtener los requerimientos de los clientes internos y externos de un proyecto, se debe incluir a todos aquellos que serán impactados por el desarrollo del proyecto.

Para esto se debe identificar y seleccionar el método adecuado para la recolección de la información (cuestionarios, entrevistas, observación, grupos de enfoque), para conocer mejor las necesidades del cliente, los datos recolectados deben ser objetivos y estar diseñados para hallar los requerimientos del cliente. (T. M. Kubiak, 2005)

➤ Gantt Chart

El diagrama de Gantt nace alrededor de los años 40 en respuesta a la necesidad de administrar proyectos de una mejor manera, este diagrama nos permite observar de forma anticipada y de forma sencilla las fechas de culminación de las diferentes actividades de un proyecto a manera de barras graficadas con respecto al tiempo en el eje de las equis. En la Figura 1.7 se presenta un esquema del diagrama de Gantt (Niebel, 2009)

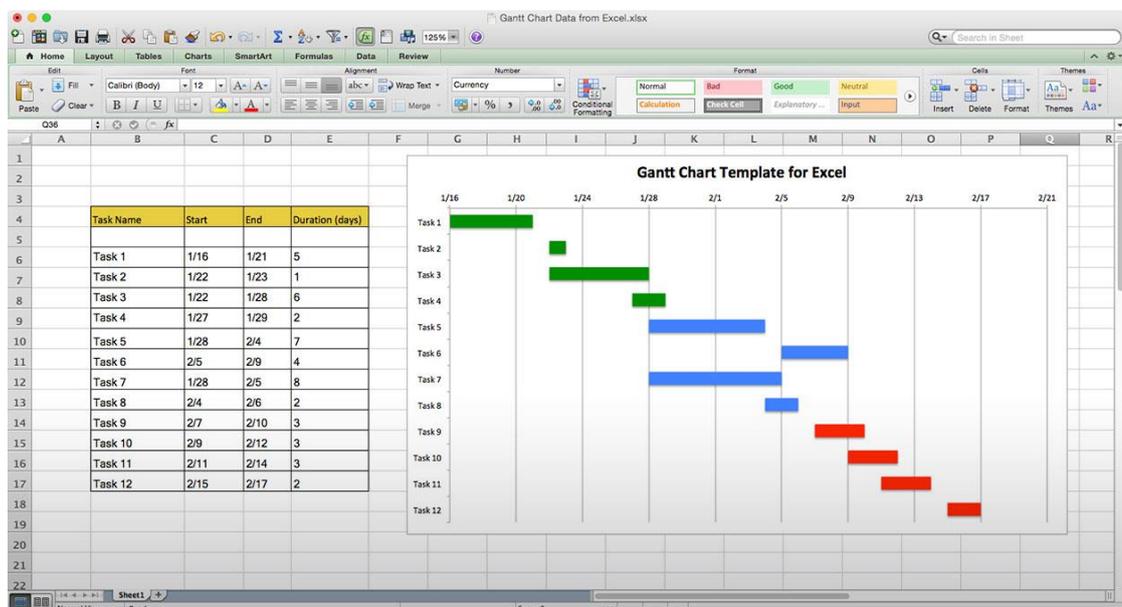


Figura 1.7 Plantilla para realizar un diagrama de Gantt en Microsoft Excel.

Fuente: www.smartsheet.com

Medir: una vez definido el problema que se quiere a resolver en la fase anterior, se recolecta información precisa para determinar la situación actual del proceso que se está evaluando. Esta información que se recolecta debe reflejar la ejecución del proceso y la relación del bien o servicio con las metas que se desean alcanzar. (Daniela Arango, 2012). Las herramientas usadas en esta fase son:

➤ **Diagrama de Pareto**

En el diagrama de Pareto los datos de interés deben ser identificados para posteriormente medirlos en una misma escala, estos deben ordenarse de manera descendente, de manera de distribución acumulativa. Generalmente el 20% de los datos analizados corresponden al 80% o más de la actividad total, por esta razón la técnica toma el nombre de “regla del 80-20”. (Niebel, 2009)

Analizar: el propósito de esta fase es de entender toda la información y los datos recolectados en la fase anterior, se usa esta información para confirmar las fuentes de retrasos, desperdicios, y mala calidad. (George, 2003)

➤ **Diagrama de Ishikawa**

Los diagramas de Ishikawa también se los conoce como diagramas de espina de pescado o diagramas causa-efecto, tienen la finalidad de encontrar la causa raíz de un problema. Este diagrama fue creado en los años 40 por el ingeniero químico Kauro Ishikawa mientras trabajaba en un proyecto de control de calidad para la compañía de acero Kawasaki en el país Nipón.

Se debe definir un problema, siendo este el efecto y se lo coloca en la cabeza del pescado.

Luego se identifica los factores que afectan al problema, estos son las causas y son las espinas del pescado unidas a la columna vertebral que se conecta a la cabeza del pescado.

Estas las causas principales se subdividen en 6 categorías:

- Mano de obra
- Máquinas
- Materiales
- Medio ambiente
- Administración

- Métodos

Cada causa se subdivide en sub-causas. (Niebel, 2009)

➤ **Value Stream Mapping**

El Value Stream Map o Mapa de Flujo Valor en español, es una herramienta que permite observar y comprender un proceso además de identificar desperdicios.

Un flujo de valor ayuda a la detección de ventajas competitivas, establece un lenguaje común entre los usuarios del mismo, comunicando de mejor manera las ideas de mejora. (Calva, 2013)

Mejorar: el principal propósito de la fase mejorar, es realizar cambios en el proceso para eliminar defectos, desperdicios, costos, etcétera. Estos están relacionados con las necesidades del cliente las cuales fueron identificadas en la etapa de definición. (Niebel, 2009)

Controlar: la finalidad de esta de fase es asegurarse de que los beneficios obtenidos prevailezcan, hasta que nuevos conocimientos o datos demuestren que existe una mejor forma de operar el proceso. (George, 2003)

1.1.4 Transformador de distribución monofásico

El transformador de distribución cumple la función de disminuir las tensiones primarias que varían entre 34.5 Kva y 7.62 Kva, hasta las tensiones secundarias estandarizadas de 120v y 240v que son las que se utilizan comúnmente en las zonas residenciales. (Fernández y Zambrano 2006)

1.1.5 Tipos de transformadores

Los tipos transformadores de distribución monofásicos que se utilizan para proveer energía eléctrica a las zonas residenciales en el Ecuador son:

➤ **Transformador de Poste**

El transformador de tipo poste sumergido en aceite es el más usado a nivel nacional (Figura 1.8), el tamaño y las características varían dependiendo de la capacidad (Kva) que estos posean y la tensión primaria que reciban.

Este transformador está compuesto por núcleo y bobinas sujetas a un tanque metálico lleno de aceite, en la parte exterior del tanque se encuentran ubicados los terminales de media y baja tensión. (Fernández y Zambrano 2006)



Figura 1.8 Transformador de poste de 50Kva.

Fuente: Elaboración propia

➤ **Transformador de pedestal (Pad Mounted)**

El transformador de pedestal es un transformador de distribución encerrado en un gabinete y va montado en una base de cemento por la cual atraviesa y salen los conductores de corriente. (Figura 1.9)

Este tipo de transformadores se utilizan en zonas residenciales que poseen sistemas de distribución de electricidad subterráneos, los transformadores van instalados al nivel del suelo. (Fernández y Zambrano 2006)



Figura 1.9 Transformadores de pedestal (pad mounted).

Fuente: Ecuatran 2017

1.1.6 artes y componentes de un transformador de distribución tipo poste

Un transformador de distribución tipo poste consta de las siguientes partes:

➤ Núcleo Magnético

Conforma el circuito magnético del equipo y se encarga de transferir la energía de un circuito a otro, su función principal es de conducir el flujo activo.

El núcleo magnético se encuentra fijo a un tanque de metal a través de herrajes metálicos que evitan las vibraciones y sonidos producto del calentamiento. (Fernández y Zambrano 2006)

➤ Devanados

Los devanados componen los circuitos eléctricos del transformador (Figura 1.10), estos pueden ser primarios y secundarios. Los devanados primarios cumplen la función de generar un flujo magnético para inducir en los devanados secundarios una fuerza electromotriz y transferir la potencia eléctrica del devanado primario hacia el secundario, mientras se realiza este proceso, se pierde una mínima cantidad de energía.

Los materiales más comunes utilizados para la fabricación de los devanados son cobre y aluminio. (Fernández y Zambrano 2006)



Figura 1.10 Bobina de baja tensión siendo elevada con un tecele.

Fuente: Elaboración propia

➤ **Tipo de aislamiento**

Los transformadores de distribución tienen materiales aislantes los cuales conforman el sistema de aislación del equipo, estos aislantes son sólidos y líquidos. A continuación, se detalla cada tipo de aislante.

Aislante líquido

Los transformadores utilizan un aceite dieléctrico, compuesto de aceite mineral para transformador y aceite de silicona, este aceite además de ser aislante eléctrico también cumple la función de refrigerar el equipo; al momento de ser llenado se debe evitar la presencia de humedad y las burbujas de aire, ya que estas pueden ocasionar daños severos.

El askarel es un tipo de aceite que solía ser empleado como aislante líquido en los transformadores, este tipo de aceite contiene un alto porcentaje de bifenilos policlorados (PCB'S), lo que lo convierte en una sustancia peligrosa y carcinógena.

Aislante sólido

El aislamiento de material sólido es susceptible ante el calor, humedad y sustancias ácidas. El papel se degrada con el tiempo y el calor desprendiendo la celulosa que lo compone, esta celulosa contamina el aceite que se encuentra dentro del tanque y ocasiona pérdida en las propiedades dieléctricas del aceite. (Fernández y Zambrano 2006)

El aislante solido está compuesto por los siguientes materiales:

- Papel Kraft
- Cartón prensado
- Papel manila
- Papel corrugado
- Esmalte
- Recubrimiento de polvo epóxico
- Algodón
- Plásticos, tela

➤ **Bushing media tensión**

Es un dispositivo ubicado en la parte superior de la tapa el cual permite el paso de la corriente que proviene de las líneas primarias sin tener un tipo de contacto con el tanque y que no exista un escape de corriente protegiendo al transformador de arcos de corriente. (Figura 1.11)

Los materiales con los que se construyen estos dispositivos generalmente suelen ser porcelana o polímeros recubiertos con barniz el cual les proporciona mejores propiedades mecánicas y eléctricas. (Fernández y Zambrano 2006)



Figura 1.11 Bushing de media tensión.

Fuente: alibaba.com, 2017

➤ **Bushing de baja tensión**

Un bushing de baja tensión es de similares características y materiales a los bushings de media tensión (Figura 1.12), varía sus dimensiones dependiendo de la capacidad del transformador, este dispositivo evita que los conductores que se encuentran en el interior giren en la pared del tanque, logrando que estos queden fijos. (Fernández y Zambrano 2006)



Figura 1.12 Bushing de baja tensión.

Fuente: <http://rvrtransformadores.com>, 2017

➤ **Válvula de presión**

La válvula de presión es un dispositivo construido de material anticorrosivo cuya función principal es la eliminación de la sobrepresión de gases del aceite dieléctrico que se puede generar en el interior del transformador debido a las altas temperaturas y cortocircuitos. (Figura 1.13).

Esta válvula se encuentra ubicada en el exterior de la pared del tanque y por encima del nivel de aceite del transformador. El dispositivo actúa a una presión de 0.7 kg/cm^2 liberando los gases del interior del transformador. (Fernández y Zambrano 2006)



Figura 1.13 Válvula de sobrepresión.

Fuente: <https://adajusa.es>, 2017

➤ **Cambiador de tomas (conmutador)**

Este dispositivo permite regular la tensión primaria del transformador cambiando la relación de las espiras que se encuentran en la bobina (Figura 1.14), se encuentra ubicado en el exterior del tanque, comúnmente los generados poseen 4 derivaciones a parte de la toma nominal permitiendo un ajuste de hasta el 5% por encima o debajo del voltaje nominal del transformador. (Fernández y Zambrano 2006)



Figura 1.14 Cambiador de tomas.

Fuente: Fernández y Zambrano, 2006

➤ **Luz de alerta**

Cuando el transformador se encuentra sobrecargado, el aceite se encuentra por encima del nivel normal cerrando los contactos de un elemento bimetálico ocasionado que se encienda a luz indicadora de sobrecarga. (Figura 1.15)

Esta luz indicadora permite al personal de la empresa eléctrica identificar con facilidad los transformadores que se encuentran sobrecargados. (Fernández y Zambrano 2006)



Figura 1.15 Luz de alerta de sobrecarga.

Fuente: Fernández y Zambrano, 2006

➤ **Tanque o recipiente**

Este elemento cumple la función de alojar el aceite y el ensamblaje del transformador, está construido con láminas de acero y poseen un reborde en el fondo del tanque para protegerlo de la corrosión y daños causados por la manipulación del transformador.

La estructura del tanque debe estar bien sellada para evitar fugas de aceite y prevenir la entrada de agentes contaminantes como aire húmedo y agua, para ello se utiliza empaques de corcho-neopreno en las uniones del transformador. (Fernández y Zambrano 2006)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describe las etapas correspondientes a la metodología DMAIC, la cual se utiliza para la mejora continua de los procesos, estas etapas son Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

Las etapas de Definir, Medir consisten en obtener información y datos correspondientes a los mantenimientos de los transformadores, para posteriormente en la etapa de Análisis, encontrar las causas que ocasionan un aumento en los costos de los mantenimientos de los transformadores.

Por último, en las etapas de Mejorar y Controlar, se plantean posibles soluciones ante los problemas encontrados en las etapas anteriores, estas mejoras deberán tener planes de implementación para que sean sostenibles en el tiempo.

2.1 Definición

El primer paso para la correcta definición del problema es determinar lo que espera el cliente del servicio brindado por el taller de mantenimiento de transformadores monofásicos. Para esto, se utiliza la herramienta VOC para determinar la voz del cliente (Figura 2.1), y conocer sus expectativas del servicio, obteniendo una visión clara sobre las características claves por las que el cliente está dispuesto a pagar, y qué es lo que necesita.

Para la identificación del VOC se realiza una entrevista al personal del Departamento de mantenimiento de redes de Distribución y del Departamento de Operaciones de la Red de Distribución, con ella se pudo determinar qué características en el servicio eran requeridas:

- Respuesta rápida.
- Trabajo rápido.
- Calidad y confiabilidad.
- Reducir los costos unitarios del mantenimiento de transformadores.

Al traducir los requerimientos del cliente en las variables críticas de calidad (CTQ´s), por sus siglas en inglés, cuyos límites de especificación o estándares deberán de cumplirse para satisfacer al cliente. Estos CTQ'S tienen la finalidad de ocasionar ahorros a la empresa.

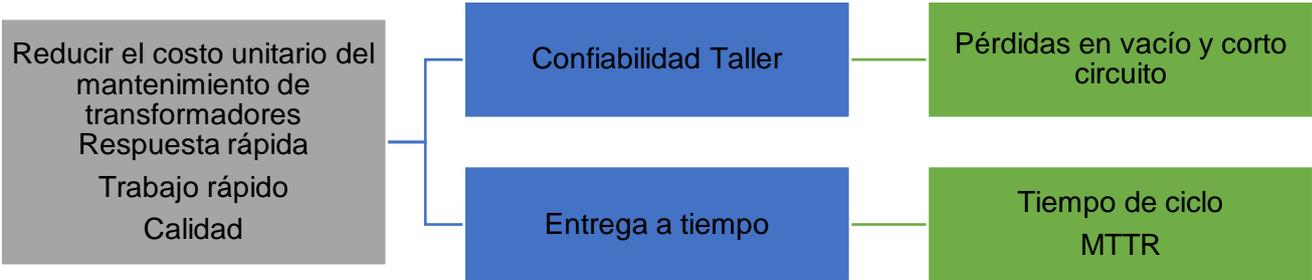


Figura 2.1 Voz del cliente.

Fuente: Elaboración propia

2.2 5w +1H

Con la aplicación de la herramienta 5W + 1H se obtuvo una definición clara del problema que está ocurriendo en la compañía, a continuación, en la Figura 2.2 se presenta el desarrollo de la herramienta.

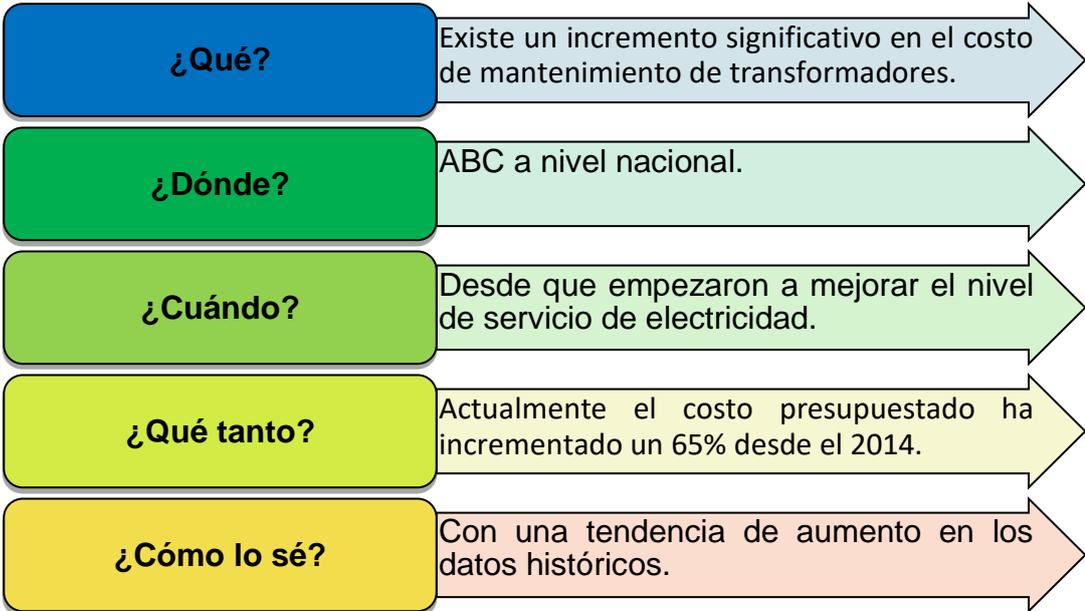


Figura 2.2 5W+ 1H

Fuente: Elaboración propia

2.3 Enfoque

El proyecto se lleva a cabo en la UN Guayaquil debido a la facilidad de su ubicación, la disponibilidad de los datos, además, que está UN posee un taller de mantenimiento de transformadores.

2.3.1 SIPOC

Con la herramienta SIPOC se provee de una visión general del macro-proceso, donde se definen los proveedores que forman parte del proceso, los ingresos, salidas y los respectivos clientes de cada una de las actividades. Por lo tanto, esta herramienta ayuda a enfocar el proyecto y determinar el alcance de este como se evidencia en la Figura 2.3.

SUPPLIER	INPUT	PROCESS	OUTCOME	CUSTOMER
Departamento de servicio al cliente	Queja de falla de transformador	Se genera la orden de retirar el transformador	Orden de retirar transformador	Departamento de Mantenimiento de las Redes de Distribución Departamento Operaciones de la Red de Distribución
Departamento de mantenimiento de redes	Orden de retirar transformador	Retirar transformador con carro canasta	Transformador dañado	
Taller	Transformadores dañados	Ingresar transformador dañado al área de espera	Transformadores dañados Hoja de Ingreso	
Taller	Transformador dañado Hoja de Ingreso	Evaluar y priorizar mantenimientos	Ficha técnica Priorización y evaluación (Medición de continuidad, Medición de aislamiento)	
Taller	Ficha técnica Priorización y evaluación (Medición de continuidad, Medición de aislamiento)	Ingresar transformador dañado al taller	Información de Ficha técnica en el modulo Transformador dañado Documento de transformadores revisados y reparados (Sección: Características)	
Taller	Información de Ficha técnica en el modulo Transformador dañado Documento de transformadores revisados y reparados (Sección: características)	Realizar acciones correctivas	Transformador reparado Documento de transformadores revisados y reparados (Sección: características, Trabajos realizados, Resultados, Materiales nuevos)	
Taller	Transformador reparado Documento de transformadores revisados y reparados (Sección: características, Trabajos realizados, Resultados, Materiales nuevos)	Revisar la reparación en el Banco de prueba	Transformador reparado revisado Documento de transformadores revisados y reparados (Sección: características, Trabajos realizados, Resultados, Materiales nuevos, Banco de Prueba)	
Taller	Transformador reparado revisado	Pintar y almacenar transformador remanufacturado	Transformador remanufacturado	

Figura 2.3 SIPOC.

Fuente: Elaboración propia

2.4 Medición

2.4.1 Plan de recolección de datos

Una vez definido el problema, los requerimientos del cliente, su enfoque y alcance se procede a recolectar los datos que son importantes para la resolución de este.

Para la medición primero se deberá de elabora un plan para la recolección de datos, siguiendo el siguiente esquema:

- Identificar los datos que nos servirán para resolver el problema.
- Diseñar formatos de registro para la toma de datos.
- Solicitar información existente a la compañía.
- Calcular el tamaño de la muestra.
- Recolectar datos.
- Analizar la confiabilidad de los datos.

Siguiendo el esquema mencionado se realiza el plan de recolección de datos, el cual se detalla en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Plan de recolección de datos

PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS								
No	Variable	Tipo de dato	¿Cómo es medido?	Condiciones		¿Dónde se registra?	Uso futuro de datos	Responsables
1	Cantidad de transformadores, que ingresan al taller	Discreto	Registro en hojas de trabajo del mantenimiento a transformadores	¿Qué?	Cantidad de transformadores que ingresan	Base de datos del taller	Productividad del taller	Personal del taller
				¿Dónde?	Taller			
				¿Cuándo?	Mensual			
2	Tiempo que permanece el transformador en el taller	Continuo	Estudio de tiempos	¿Qué?	Datos del transformador	Documento de recolección de datos	Tiempo de ciclo	Daniela
				¿Dónde?	Taller			
				¿Cuándo?	Días programados para la medición			

Continuación de la Tabla 2.1.

3	Tipo de mantenimiento a realizar	Cualitativo	Registrar tipo de mantenimientos a realizar en el transformador	¿Qué?	Tipo de mantenimiento	Hoja de trabajo (Base de datos)	Determinar el mantenimiento más representativo en términos económicos	Santiago
4	Número de veces que regresa el transformador al taller	Discreto	Cuantas veces ingresa un transformador al taller en el lapso de un año	¿Qué?	Registro de ingresos al taller del transformador	Base de datos del taller	Confiabilidad de los transformadores	Daniela
				¿Dónde?	Taller de mantenimiento			
				¿Cuándo?	Anualmente			
5	Tiempo que el transformador está en cola	Continuo	Diferencia entre las fechas de entrada a la sala de espera y el taller de mantenimiento	¿Qué?	Tiempo de espera hasta que el transformador es reparado	Documento de ingreso y hoja de trabajo	WIP Tiempo de espera en cola	Personal del taller
				¿Dónde?	Área de espera y taller			
				¿Cuándo?	Diariamente			
6	Costos asociados al mantenimiento de distribución	Discreto	Cantidad de dinero que se invierte por la actividad de mantenimiento	¿Qué?	Cantidad de dinero invertida	Estudio de costos y mano de obra	Conocer cuánto cuesta las distintas acciones correctivas en el mantenimiento de los transformadores	Dpto. de estudios económicos
				¿Dónde?	Taller de mantenimiento			
				¿Cuándo?	Anualmente			

Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Cálculo del tamaño de muestra

Una vez recolectados los datos especificados en el plan presentado anteriormente, se procede a determinar la confiabilidad de los mismos.

Base de datos de mantenimientos del taller:

Empezando por la verificación de los datos de la base de datos de Excel que maneja el taller se realiza una prueba piloto de 30 hojas físicas de trabajo, donde se verifica que sean los mismos datos los transcritos en el Excel. En el análisis sólo se encuentra un documento que presenta inconsistencia.

Se comprueba que los ingresos mensuales de transformadores al taller, del año analizado (Figura 2.4.), sigan una distribución normal.

H0: Los datos se comportan como una distribución normal.

H1: Los datos no se comportan como una distribución normal.

Debido a que $p > \alpha$ no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

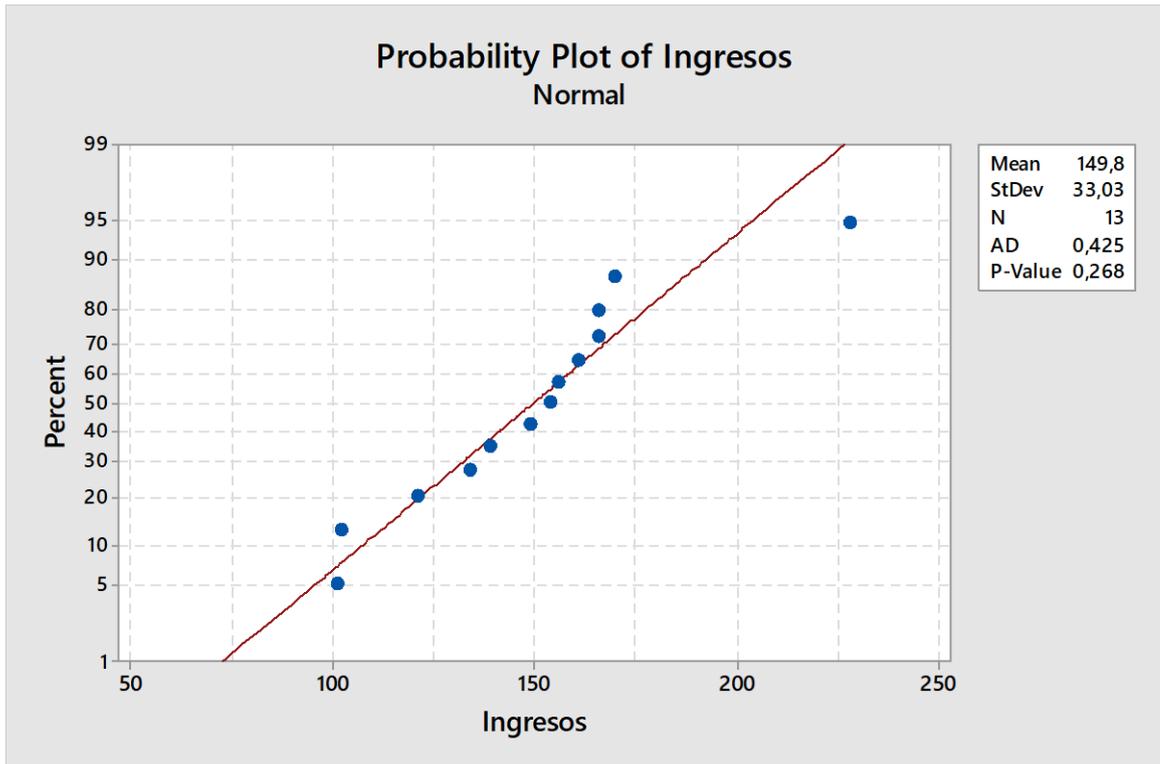


Figura 2.4 Gráfica de normalidad de ingreso de transformadores.

Fuente: Elaboración propia

Una vez verificada la distribución con la que se comportan los ingresos del taller, se continúa con el análisis de confiabilidad de datos.

Al tratarse de datos que presentan una distribución normal utilizamos la fórmula (1) para calcular el tamaño de muestra de proporciones para población infinita:

$$n = \frac{z^2 * p * (1-p)}{e^2} \quad (1)$$

Con un nivel de confianza del 95% y un error del 0.05%:

$$e = 0.05$$

$$z_{\alpha/2} = 1.96$$

Se calcula la proporción:

$$p = \frac{29}{30}$$

$$p = 0.97$$

Aplicando la fórmula (1) se obtiene un tamaño de muestra de 50 hojas de trabajo, las cuales serán analizadas posteriormente:

$$n = 50$$

Estudio de tiempos de mantenimientos del taller:

Debido a que los tiempos de mantenimiento de los transformadores son bastante elevados y existen restricciones de tiempo, se realiza una prueba piloto de 11 transformadores.

Para comprobar la distribución con la que se comportan los datos se realiza una prueba de hipótesis.

H0: Los datos se comportan como una distribución normal.

H1: Los datos no se comportan como una distribución normal.

Con la Figura 2.5. se puede apreciar que los datos se asemejan a la distribución normal. Se obtiene que $p > \alpha$, por lo tanto, no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

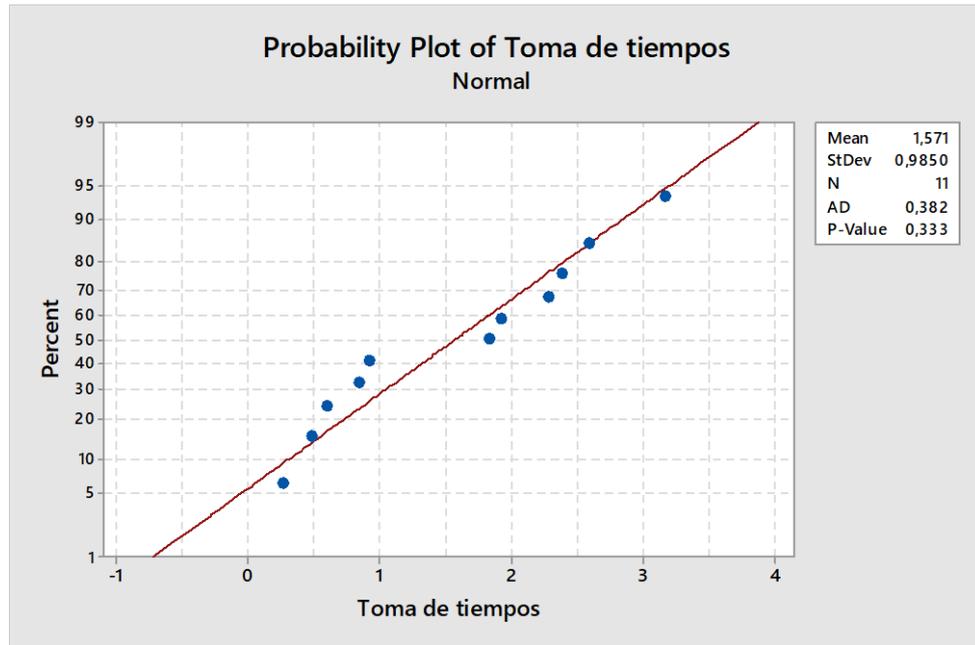


Figura 2.5 Gráfica de normalidad de la toma de tiempos.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se utiliza la ecuación (2) para calcular el tamaño de muestra:

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{u e} \quad (2)$$

Con un nivel de confianza del 95% y un error del 0.05%:

$$e = 0.05$$

$$z_{\alpha/2} = 1.96$$

Con una media de 1.57 min/transformadores y una desviación estándar de 0.985.

$$u = 2.36$$

$$\sigma = 0.49$$

Una vez realizados los cálculos, se obtiene un tamaño de muestra de 48 mantenimientos, el cual se presentará posteriormente.

$$n = 48$$

2.4.3 Confiabilidad de los datos

Con los tamaños de muestra calculados en el apartado 2.4. se procede con las verificaciones de confiabilidad de los datos. Las cuales se detallan a continuación:

Base de datos de mantenimientos del taller:

Como resultado se deberá de analizar 50 hojas de trabajo para determinar la confiabilidad del mismo. En el muestreo realizado se encuentra un error en la transcripción de los datos, por lo tanto, se obtiene una confiabilidad del 98%.

$$\text{confiabilidad} = \frac{49}{50} \times 100$$

$$\text{confiabilidad} = 98\%$$

Estudio de tiempos de mantenimientos del taller:

No se pudo realizar la toma de tiempo del tamaño de muestra propuesto debido a que el taller dejó de realizar sus operaciones normales por mantenimiento de las instalaciones.

Se trabajó con los datos recolectados en la prueba piloto, los cuales fueron levantados por los autores de este proyecto, el error del cronómetro utilizado en este proyecto es de 0.003 segundos.

Estudio de costos del taller:

Otro aspecto muy importante para analizar son los costos de los materiales e insumos utilizados en el proceso de los mantenimientos, para esto se realiza una comparación entre los valores estimados por estudios económicos (Figura 2.6)

versus las facturas actuales de repuestos y materiales del taller (Figura 2.7). Se puede apreciar en la Tabla 2.2 que no existe una diferencia significativa entre sus costos, por lo tanto, no se realizará un muestreo mayor.

Tabla 2.2 Comparación de precios unitarios

Descripción	Costo de Estudios Económicos	Costo de Facturas	% Error
Bushing baja tensión	\$ 37,00	\$ 37,19	1%
Empaque capaceta	\$ 1,48	\$ 1,48	0%
Empaque tapa	\$ 4,55	\$ 4,60	1%
Cinta teflón	\$ 0,76	\$ 0,76	0%

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Rubro: Mantenimiento, retiro de Impureza y humedad del aceite dialéctico Y elin Núm. EEC				MT-
Unidad:				U
MATERIALES DIRECTOS				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Y		A	B	C=A*B (Yd)
Bushing baja tensión	U	3,00	37,03	111,10
Empaque tipo capaceta	U	2,00	1,48	2,96
Empaque tipo Bushing Media Tensión	U	2,00	1,78	3,55
Empaque tipo tapa	mtr.	1,00	4,55	4,55
Empaque de Manubrio	U	1,00	2,20	2,20
Empaque tipo luz piloto	U	1,00	1,11	1,11
Empaque tipo Tap	U	1,00	2,20	2,20
Cinta Teflon	U	0,13	0,76	0,10
Trapos de waype	Kilo	0,25	2,25	0,56
Pegamentos de acción rapida de 3gr.	U	0,13	2,99	0,37
Solventé dieléctrico	litro	0,25	6,50	1,63
Desengrasante	litro	0,13	6,60	0,82
Silicón Trasparente 300ml(cartucho)	U	0,13	2,95	0,37
Precintos PVC anti U:V de amarre 8x28mm	U	4,00	0,16	0,64
SUBTOTAL O				132,16

Figura 2.6 Estudio económico de precios unitarios.

Fuente: Empresa ABC

BODEGAS CNEL UN GUAYAQUIL		ALMACEN GENERAL MANTENIMIENTO DE DISTRIBUCION			
USUARIO SOLICITANTE :	MARIA FERNANDA CLAVIJO SALVATIERRA				
USUARIO APROBADOR :	EDUARDO ENRIQUE DECKER ARTETA				
MOTIVO DE EGRESO :	**EGRESO DE ACTIVOS Y ESTRUCTURAS ELECTRICAS	N. DE SOLICITUD :	103475		
ITEM	DESCRIPCION	UBICACION	CANTIDAD	UNIDADES	MONTO
214506121000	PAPEL FILTRO	0202	112.00	UNI	\$99.23
214702022000	DILUYENTE	0202	5.00	UNI	\$47.33
099999999046	EMPAQUE CAPACETA 42X8X3 MM	0202	15.00	UNI	\$22.23
099999999049	EMPAQUE BUSHING BAJA TENSION EXT TRAF0 50 KVA 45X35X4 MM	0202	40.00	UNI	\$87.88
099999999050	EMPAQUE BUSHING BAJA TENSION INT TRAF0 50 KVA 25X13X4 MM	0202	40.00	UNI	\$88.32
099999999036	EMPAQUE PARA TAPA DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION, TIPO CORDON DE FORMA ROMBO, DIAMETRO INTERNO 8 MM, GROSOR 14MM	0202	40.00	UNI	\$184.15
099999999032	BUSHING DE BAJA TENSION DE PORCELANA PARA TRANSFORMADOR DE 50 KVA	0202	3.00	UNI	\$111.58
219999999479	TAMBOR 55 GL. PINTADOS ESMALTE HORNEABLE TAPA Y SUNCHO	0202	1.00	UNI	\$72.02
219999999479	TAMBOR 55 GL. PINTADOS ESMALTE HORNEABLE TAPA Y SUNCHO	0202	1.00	UNI	\$72.02
219999999448	SOLVENTE DIELECTRICO	0202	5.00	UNI	\$292.48
219999999478	TANQUES DE 55 GL METALICO CON TAPA	0202	1.00	UNI	\$55.28
219999999611	PEGAMENTO INSTANTANEO	0202	1.00	UNI	\$2.30
				TOTAL :	\$1,134.82

Figura 2.7 Factura de materiales y partes utilizados para mantenimiento.

Fuente: Empresa ABC

2.4.4 Recolección de datos

Luego del cálculo de tamaño de muestra, la recopilación y comparación de datos se logra verificar que los datos son confiables.

Posteriormente se presentarán los datos recopilados, estos estarán sujetos a análisis.

Excel de base de datos de mantenimientos del taller:

El personal del taller nos proporcionó una base de datos con información desde octubre del 2016 hasta octubre del 2017. La cual se utilizará para recolectar los datos para el análisis del proyecto.

Ingresos y salidas del taller:

Con los datos ya mencionados anteriormente se procede a determinar los ingresos y salidas de los transformadores, como se observa en la Figura 2.8. Estos datos serán analizados en la etapa de análisis.

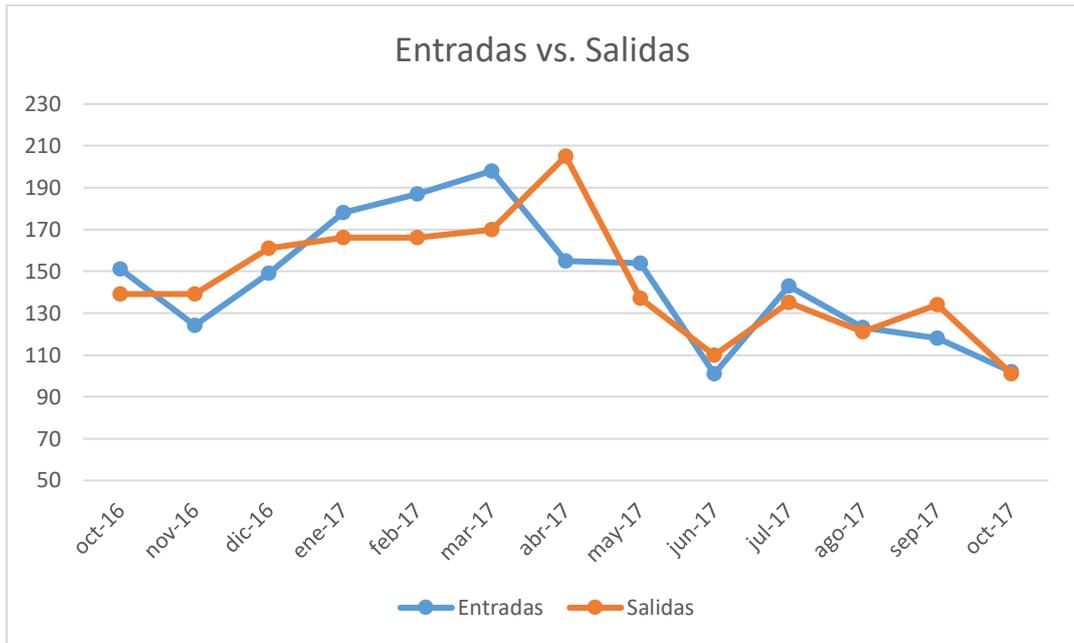


Figura 2.8 Cantidad de transformadores que ingresan y salen.

Fuente: Elaboración propia

Estado del transformador:

Con la base de datos también se puede verificar el estado en el que llega el transformador, para facilitar la interpretación de los datos se realiza un diagrama de Pareto mostrado en la Figura 2.9. Estos datos serán analizados más adelante.

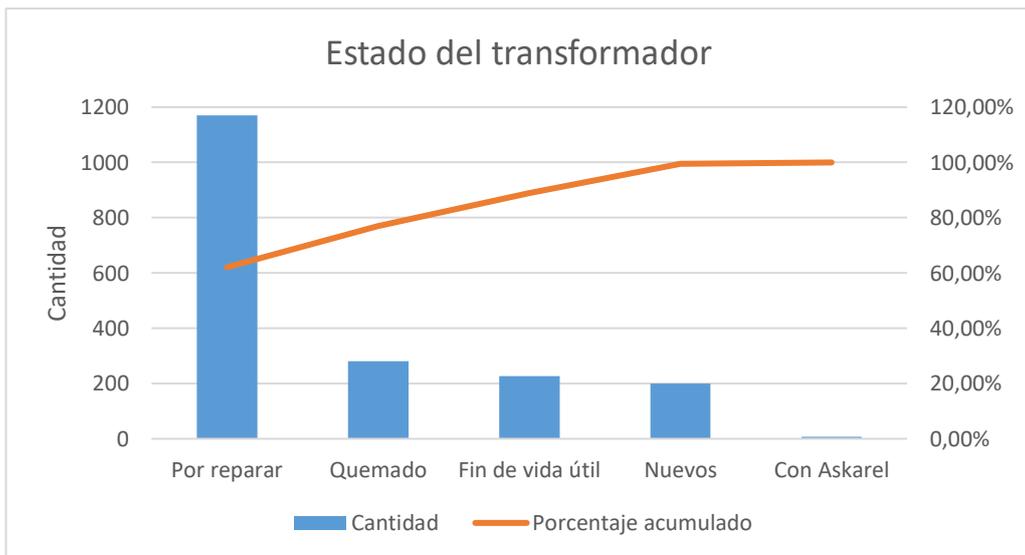


Figura 2.9 Estados en los que se encuentran los transformadores.

Fuente: Elaboración propia

Datos de mantenimientos realizados:

Ingresos de transformadores por Kva

Con la base de datos se realiza un Pareto donde se observa la cantidad y porcentaje de ingresos de transformadores por potencia, como se muestra en la Figura 2.10.

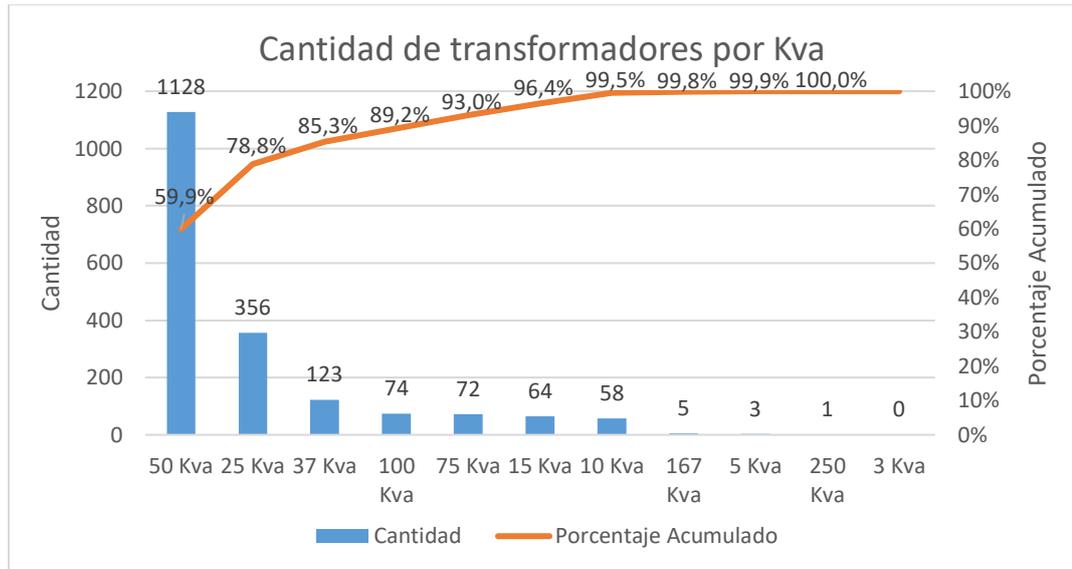


Figura 2.10 Pareto de cantidad de transformadores por Kva.

Fuente: Elaboración propia

Materiales nuevos

También se puede determinar el consumo de los repuestos o materiales (Figura 2.11) más utilizados en las reparaciones que realiza el taller junto con las acciones correctivas más frecuentes (Figura 2.12.). Esta información es útil para determinar los costos en los que incurre el taller.

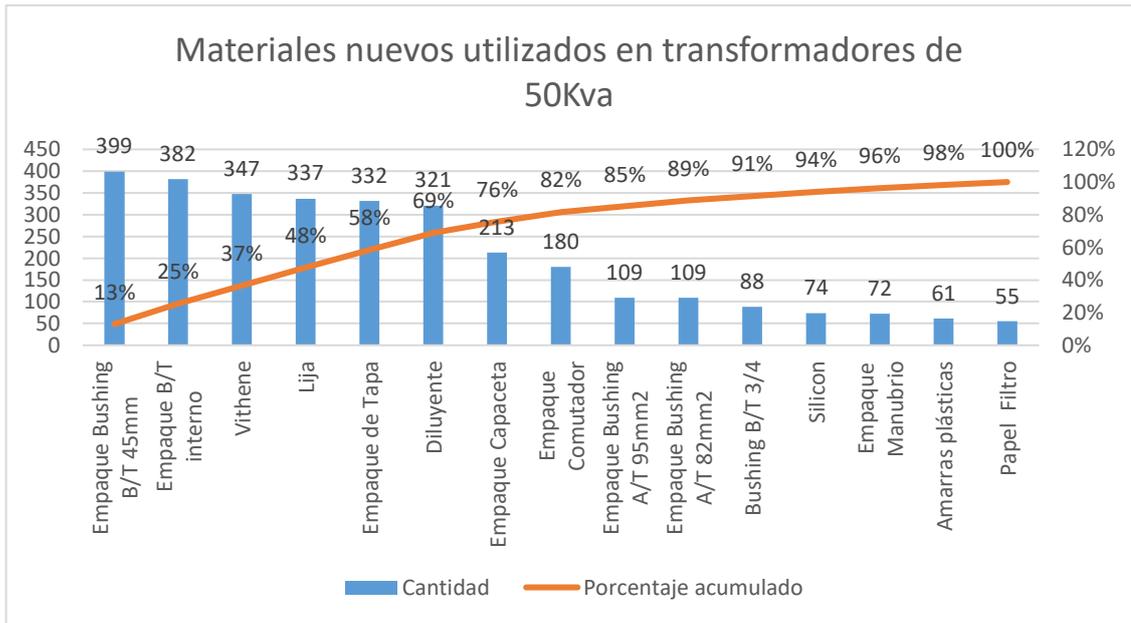


Figura 2.11 Pareto de Materiales nuevos utilizados.

Fuente: Elaboración propia

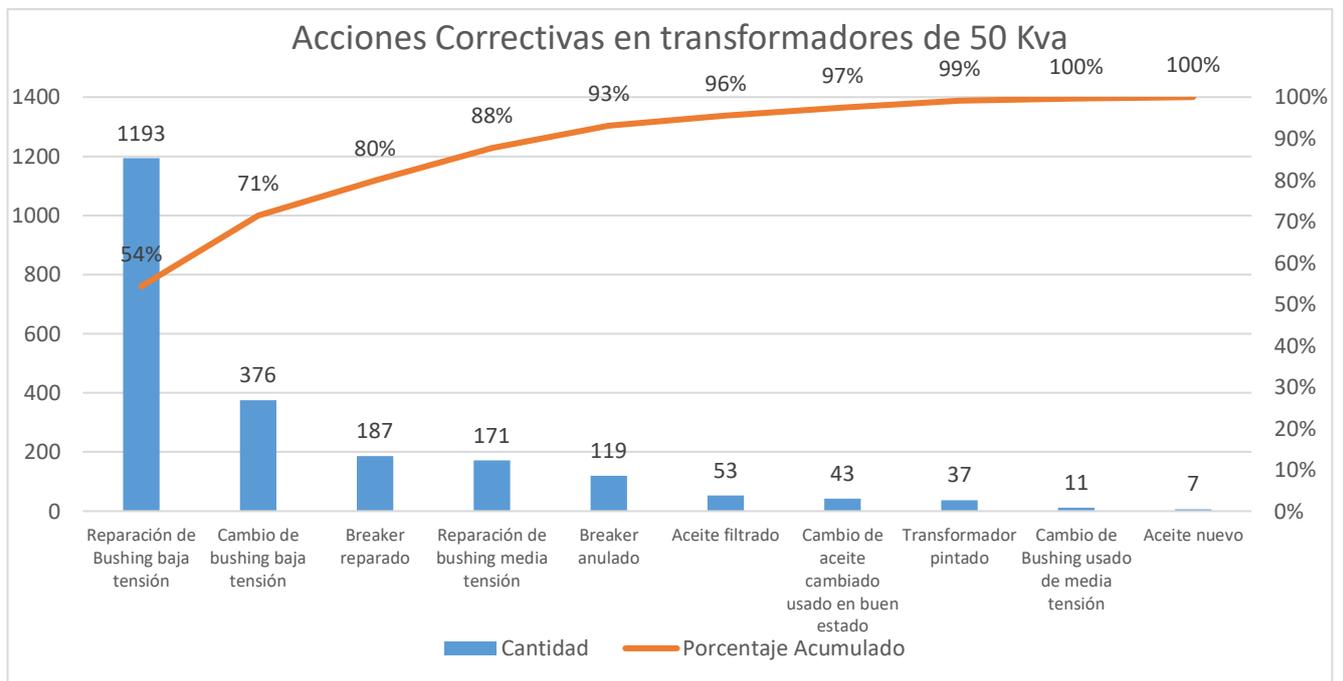


Figura 2.12 Pareto Acciones correctivas en transformadores de 50 Kva.

Fuente: Elaboración propia

Lead Time

Por último, se analiza el tiempo que pasa el transformador en el taller, esto incluye la espera a ser atendido, el tiempo de mantenimiento, y la espera a ser retirado del taller una vez reparado o chequeado, en la Figura 2.13. se puede observar el resultado de este análisis.

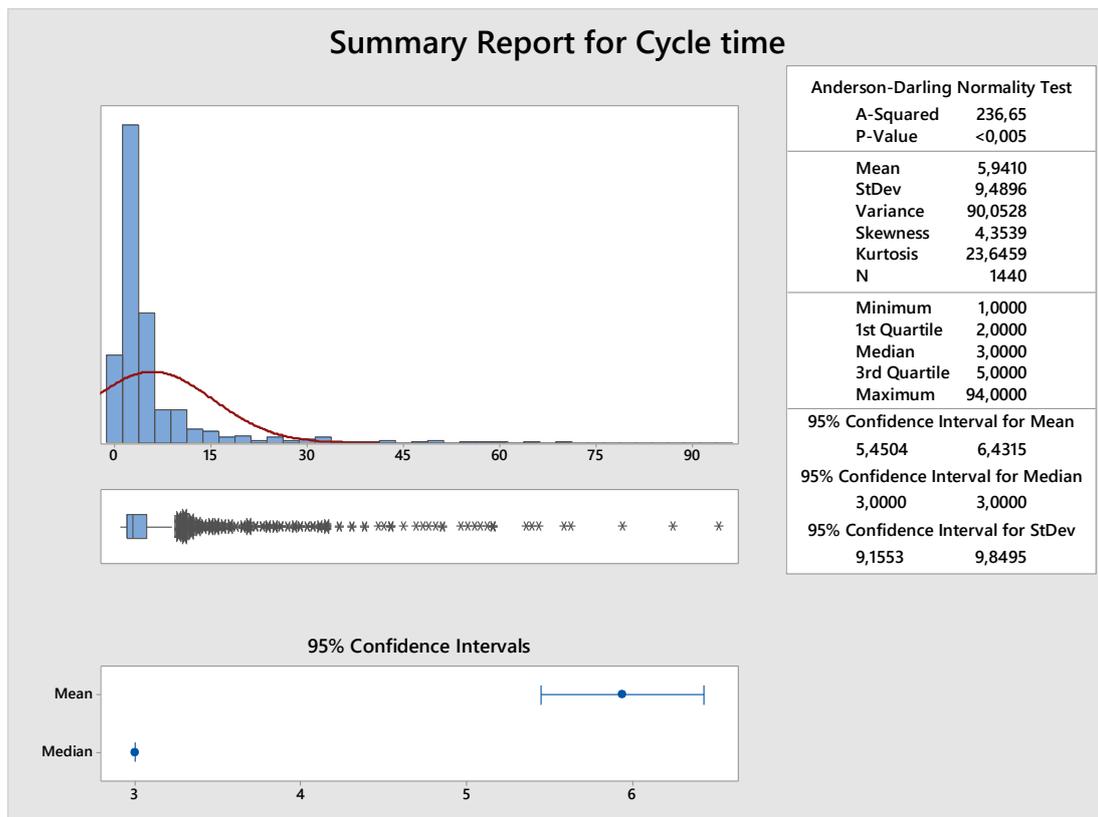


Figura 2.13 Lead Time.

Fuente: Elaboración propia

Estudio de tiempos de mantenimientos del taller:

Se realiza un estudio de tiempos en las reparaciones de los transformadores monofásicos para calcular los tiempos de ciclo de sus operaciones, como resultado obtuvimos que sus operaciones tienen un tiempo de ciclo de aproximadamente 1,57 horas, obsérvese en la Figura 2.14.

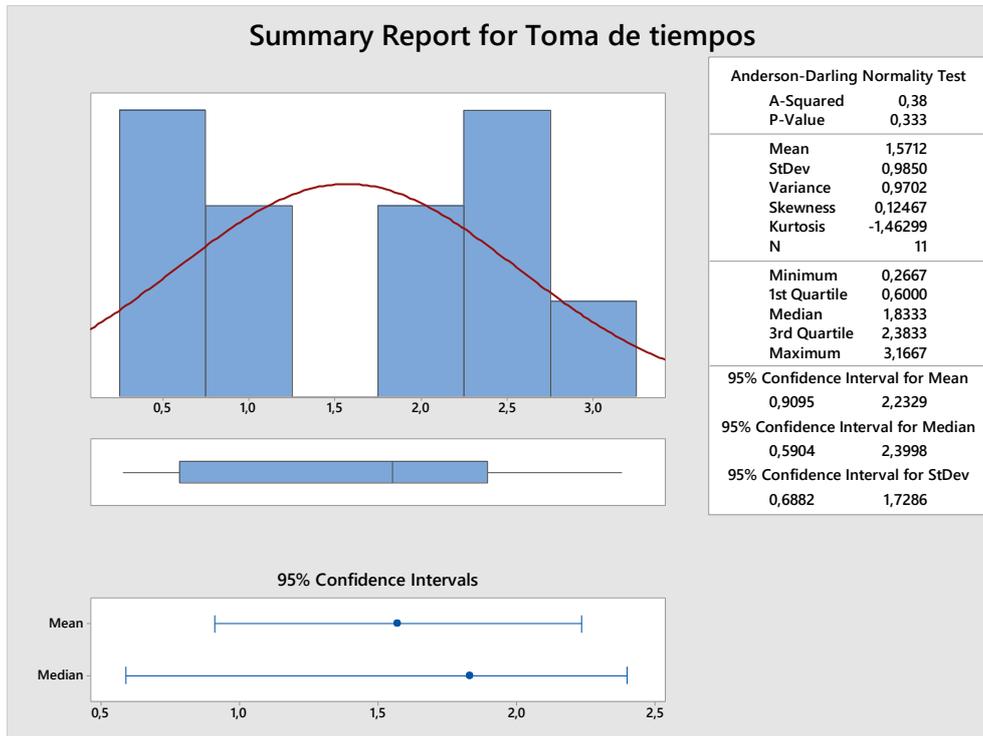


Figura 2.14 Toma de tiempos.

Fuente: Elaboración propia

Reprocesos:

Para el cálculo de la proporción de reprocesos dentro del taller se aplica la fórmula (3):

$$p = \frac{n}{N} \quad (3)$$

Se realiza un muestreo de 84 transformadores, donde se encontró que 15 de ellos debían de ser reprocesados por fugas de aceite:

$$N = 84$$

$$n = 15$$

Con la aplicación de fórmula se obtiene que el 18% de los transformadores deberá de ser reprocesado.

$$p = 18\%$$

Luego se valida con los técnicos los datos calculados por medio de entrevistas. Y se obtiene que 4 de cada 20 transformadores reparados deberán ser reprocesados, es decir el 20%, por lo tanto, se consideran confiables los datos estimados.

Estudio de costos del taller:

Estudio de costos que incurre el taller realizado por el departamento de Estudio Económico se presenta a continuación en la Figura 2.15. El que se utilizará posteriormente para realizar el análisis financiero.

MANTENIMIENTOS DE TRANSFORMADORES EN TALLER -2017								
ACTIVIDADES;	EQUIPOS	MOD	MATERIAL	TRANSPORTE	COST DIRECTO	COST. INDIRECTO	UTILIDAD	P.U. TOTAL
Rubro:Mantenimiento simple del transformador de distribución	10,97	64,49	132,16	9,13	216,75	6,77	0	223,52
Rubro: Mantenimiento, retiro de Impureza y humedad del aceite dialéctico Y eliminación de humedad de parte activa del transformador de distribución	40,08	143,32	132,16	9	324,56	15,39	0	339,95
Rubro:Pruebas de PCB en taller(Transformadores con posible contaminación)	0,28	13,12	14,3	0	27,7	1,07	0	28,77
Rubro:Pruebas de PCB en taller (Transformadores sin contaminación)	0,28	13,12	14,39	0	27,79	1,07	0	28,86
Rubro:Prueba eléctrica de vacío y corto circuito	1,1	9,86	0	0	10,96	0,88	0	11,84
Rubro: Preba de protocolos y elaboración de informe	5,96	34,53	0	10	50,49	4,04	0	54,53

Figura 2.15 Costos del taller de transformadores.

Fuente: Estudios económicos, empresa ABC

2.5 Etapa de Análisis

2.5.1 Análisis de datos recolectados

En esta sección se detallarán los análisis realizados con la información presentada en el apartado 2.4.2.

Ingresos y salidas del taller:

Con la información de las entradas vs las salidas de los transformadores se determinar el rendimiento del taller. Con la Figura 2.16 se puede determinar el nivel del servicio del taller, también se aprecia que ha incrementado ligeramente

su porcentaje en los últimos meses alcanzó su nivel máximo de 96% en el mes de septiembre, con una media del rendimiento del 83%.

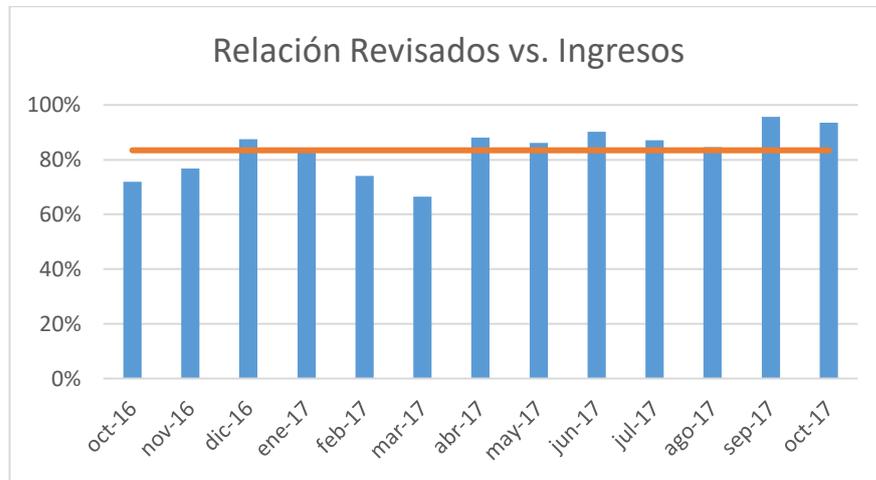


Figura 2.16 Porcentaje de transformadores que salen vs. los que ingresan al taller.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2.17. se observa la cantidad de transformadores que no se alcanzaron a arreglar en el mes, los picos apreciados por la gráfica se deben a la estacionalidad con la que se comportan los ingresos de transformadores al taller. Como dato atípico se observa que en octubre del 2016 se dio mantenimiento al piso del taller, provocando que no puedan trabajar al ritmo normal, por esta razón atrasan trabajo hasta el siguiente mes.

La estacionalidad de los datos se debe a que en los meses de lluvia los transformadores se dañan más, como se puede observar en la Figura 2.9. existen mayores ingresos de transformadores en invierno. En los históricos el máximo de transformadores pendientes es de 86 y su media es de 32.

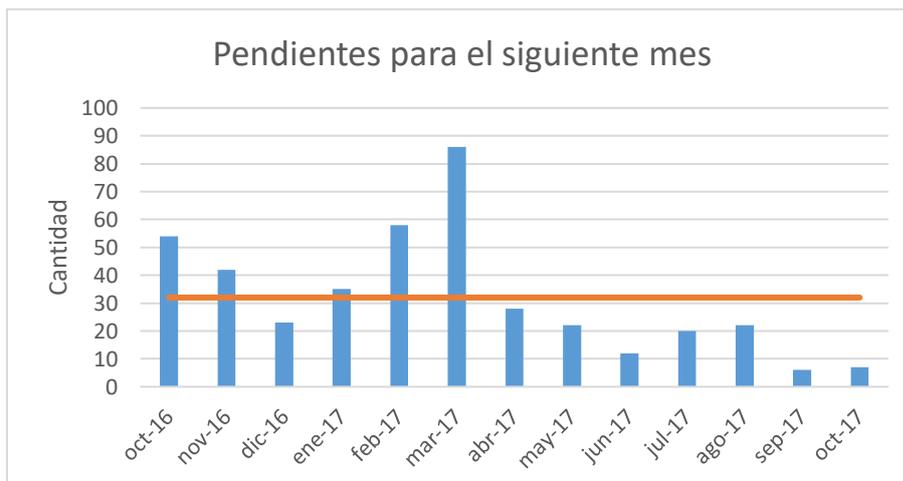


Figura 2.17 Trabajos pendientes para el mes siguiente.

Fuente: Elaboración propia

Para determinar si la cantidad de transformadores que ingresan en los meses de lluvia es significativamente diferente a la cantidad que ingresa en los meses secos, se procede a realizar una diferencia de medias. Se realiza esto con el fin de determinar las demandas a utilizar para la simulación de los mantenimientos.

También se puede observar en la Figura 2.9 una estacionalidad en la cantidad de ingresos que existe por mes, la cantidad se ve afectada por los meses de lluvia, posteriormente se analizará más a detalle esta situación.

En la Figura 2.18. se puede observar la cantidad de lluvia (milímetros cúbicos sobre metro cuadrado) en la ciudad de Guayaquil, esta información se obtuvo del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR).

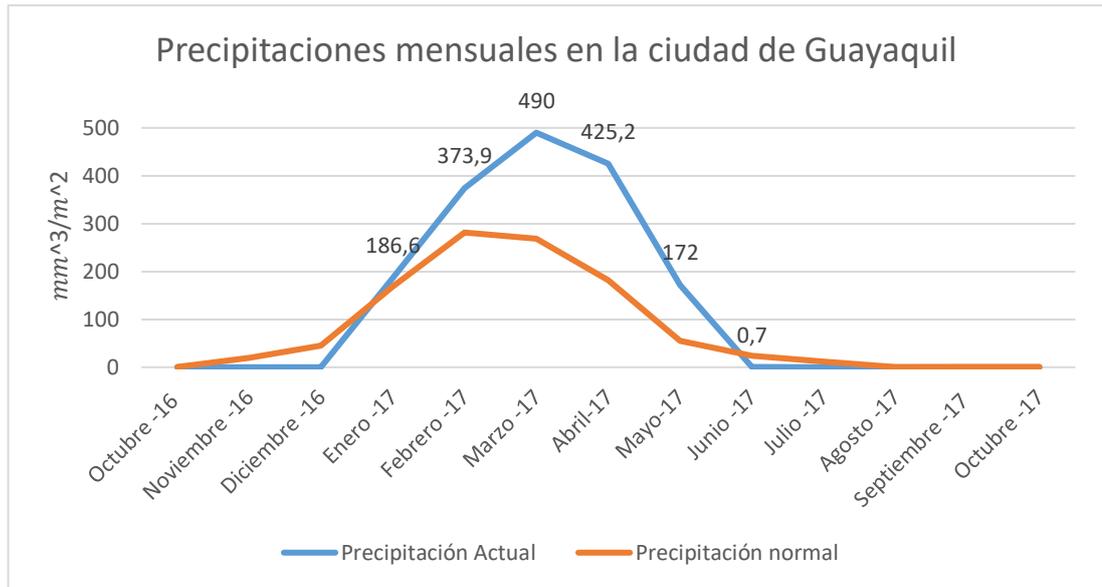


Figura 2.18 Precipitaciones mensuales en Guayaquil.

Fuente: Elaboración propia

H0: Las medias no son significativamente diferentes.

H1: Las medias son significativamente diferentes.

Con el software estadístico Minitab se calcula el valor $p=0.003$ el cual es menor a $\alpha=0.05$, como se observa en la Figura 2.19. Por lo tanto, hay suficiente evidencia estadística para rechazar H0, es decir, las medias son significativamente diferentes habiendo mayor entrada de transformadores en los meses de lluvia.

Analizando el gráfico de cajas que se presenta en la Figura 2.20 se corrobora el resultado, debido a que ninguno de los puntos coincide.

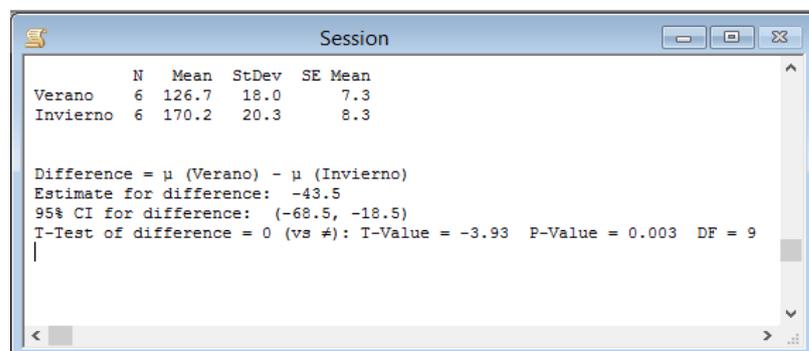


Figura 2.19 Diferencia medias de precipitaciones mensuales.

Fuente: Elaboración propia

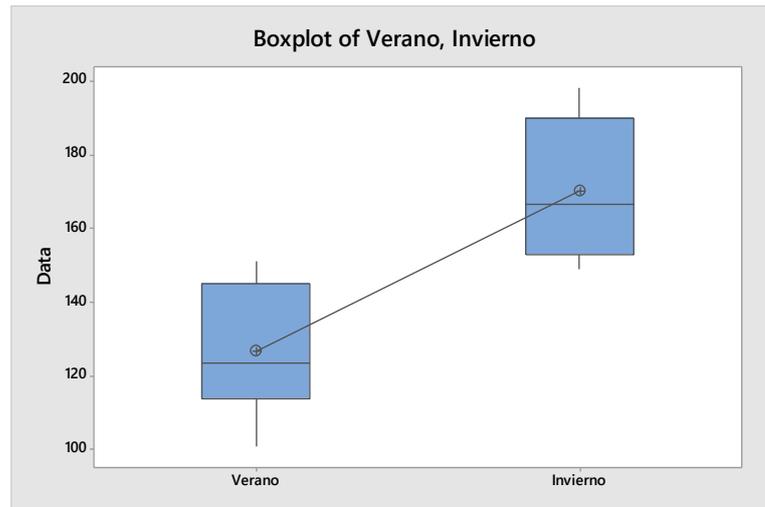


Figura 2.20 Diagrama de cajas de precipitaciones mensuales.

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar la diferencia de medias se continúa con los demás análisis de la base de datos del taller.

Datos de mantenimientos realizados:

Transformadores por Kva

El 59,9% de los transformadores que ingresaron en el año analizado fueron los de 50 Kva, por lo tanto, por el diagrama de Pareto se procede a trabajar solo con ellos.

De los transformadores de 50 Kva que ingresaron al taller el 65,2% fue para reparaciones, seguidos por el 17,9% de transformadores quemados, el 9,7% de transformadores de fin de vida útil, se puede observar con más detalle en la Figura 2.21.

A los transformadores quemados no se los analizará debido a que el tiempo de chequeo es insignificante comparado con los demás procesos que realiza el taller de mantenimiento.

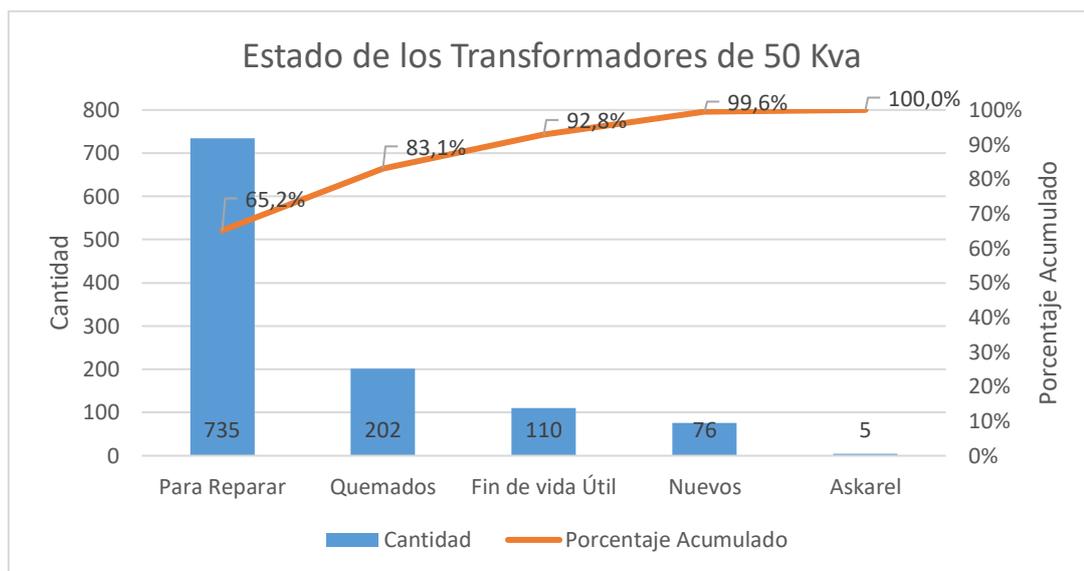


Figura 2.21 Pareto de estado de transformadores de 50 Kva.

Fuente: Elaboración propia

Materiales nuevos utilizados

Como se muestra en la figura 2.11 el 80% de los materiales consumidos al año para los mantenimientos de transformadores de 50 Kva son los siguientes:

- Empaque Bushing B/T 45 mm.
- Empaque B/T interno.
- Vithene.
- Lija.
- Empaque de Tapa.
- Diluyente.
- Empaque Capaceta.
- Empaque Conmutador.

Acciones correctivas

De los transformadores que ingresaron para repararse en el año analizado se determinan las frecuencias de las acciones correctivas, y se realiza un diagrama de Pareto que se presenta en la Figura 2.12.

La mayoría de las acciones correctivas realizadas por el taller son las siguientes:

- Reparaciones de bushings de baja tensión.
- Cambiar bushings dañados por unos reciclados.
- Reparaciones de breaker.

También se realiza un diagrama de Pareto de los costos de las acciones correctivas que realiza el taller como se observa en la Tabla 2.3. y la Figura 2.22. En donde se tiene que las reparaciones de bushings de baja tensión es la que representa mayor costo al taller durante el año, representando el 52,9% de los costos de las acciones correctivas que realiza el taller, seguido por cambio de aceite por aceite nuevo, y filtración de aceite, las cuales no se analizarán ya que su alto costo es consecuencia de los materiales o máquinas utilizadas.

Tabla 2.3 Costos de acciones correctivas

Frecuencia	Actividad	Mano de obra		Materiales		Depreciación		Costo total	
		Unitario	Anual	Unitario	Anual	Unitario	Anual	Unitario	Anual
1193	Reparación de Bushing usado de baja tensión	\$4,67	\$5.570,12	\$1,63	\$1.944,59	\$0,01	\$10,06	\$6,31	\$7.524,77
7	Aceite nuevo	\$1,02	\$7,11	\$321,92	\$2.253,44	\$0,00	\$0,38	\$322,94	\$2.260,92
53	Aceite filtrado	\$12,18	\$645,54	\$12,40	\$657,40	\$3,12	\$583,44	\$27,70	\$1.886,38
376	Cambio de Bushing usado de baja tensión	\$0,51	\$190,82	\$1,63	\$612,88	\$0,39	\$66,69	\$2,53	\$870,39
119	Breaker anulado	\$3,65	\$434,83	\$1,63	\$193,97	\$0,01	\$0,79	\$5,29	\$629,58
171	Reparación de Bushing usado de baja tensión	\$1,52	\$260,35	\$1,63	\$278,73	\$0,02	\$1,17	\$3,17	\$540,24
187	Breaker reparado	\$0,61	\$113,88	\$1,63	\$304,81	\$ -	\$ -	\$2,24	\$418,69
43	Cambio de aceite por usado en buen estado	\$1,52	\$65,47	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$1,52	\$65,47
11	Cambio de Bushing usado de media tensión	\$1,27	\$13,96	\$1,63	\$17,93	\$0,00	\$0,02	\$2,90	\$31,91

Fuente: Elaboración propia

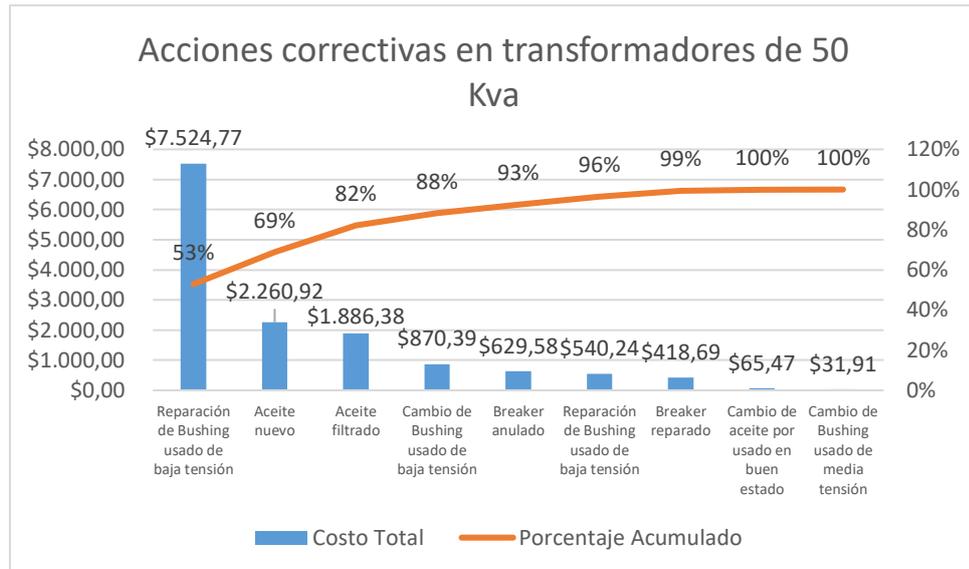


Figura 2.22 Pareto de costos de reparación de transformadores.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se determina que las reparaciones de bushings de baja tensión es la actividad que se realiza con mayor frecuencia en el taller, y también es la que representa el mayor costo de todas las acciones correctivas, por lo tanto, se procede a hacer un mapa de flujo de valor, para analizar más a detalle la actividad.

Lead Time

Los datos del *lead time* se utilizarán para el mapa de flujo de valor, por lo tanto, se analizarán a continuación:

Se realiza una prueba de hipótesis para analizar la distribución del lead time de los transformadores, donde se incluye los tiempos de esperas, el tiempo de mantenimiento o revisión, y los tiempos de espera a ser retirados.

H0: Los datos se comportan como una distribución normal.

H1: Los datos no se comportan como una distribución normal.

Los datos no siguen una distribución normal, debido a que $p < \alpha$, se rechaza la hipótesis nula.

Esto es provocado porque se priorizan por urgencias y necesidades los transformadores a revisar, y cuando existe disponibilidad de tiempo se revisan los demás.

Con la Figura 2.13 se obtiene como resultado que el promedio del tiempo de ciclo (incluyendo el tiempo de sus esperas para ser reparados) de los datos analizados es de 6 días aproximadamente.

2.5.2 Mapa del Flujo de Valor (VSM)

Se utiliza esta herramienta para brindar una visión general de los procesos por los que pasan los transformadores con sus respectivos *lead times*.

El mapa de flujo de valor se lo realiza con los datos del peor de los casos para la determinación de los tiempos requeridos (takt time).

Reparación de Bushing de baja tensión

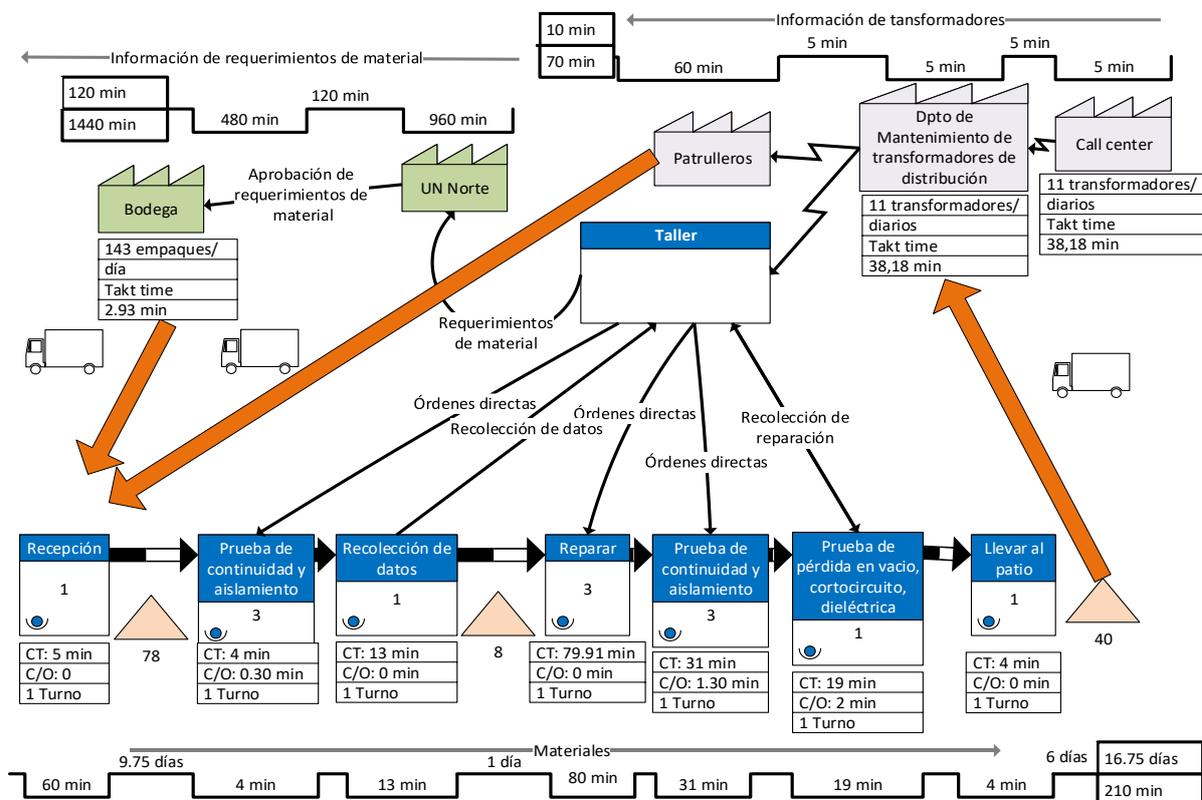


Figura 2.23 VSM Reparación de Bushing de baja tensión.

Fuente: Elaboración propia

Con el mapa de flujo de valor se determina los siguientes datos mostrados en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4 Resultado VSM Reparación de bushing

Takt time	191 min/transformadores
Lead Time (Actividades que agregan valor)	210 min/transformadores
Lead Time Total	17,35 días/transformadores

Fuente: Elaboración propia

Es decir que el tiempo de ciclo es significativamente mayor que el tiempo requerido.

El 79% de los tiempos de reparación de los bushings son actividades en común con otras reparaciones que realiza el taller. Por lo tanto, al atacar a esta reparación indirectamente también se estarán mejorando las demás.

Transformadores de Fin de vida útil

También se realiza un mapa de flujo de valor a los chequeos de los transformadores de fin de vida útil, ya que representan el 20% de los ingresos al taller en el año analizado.

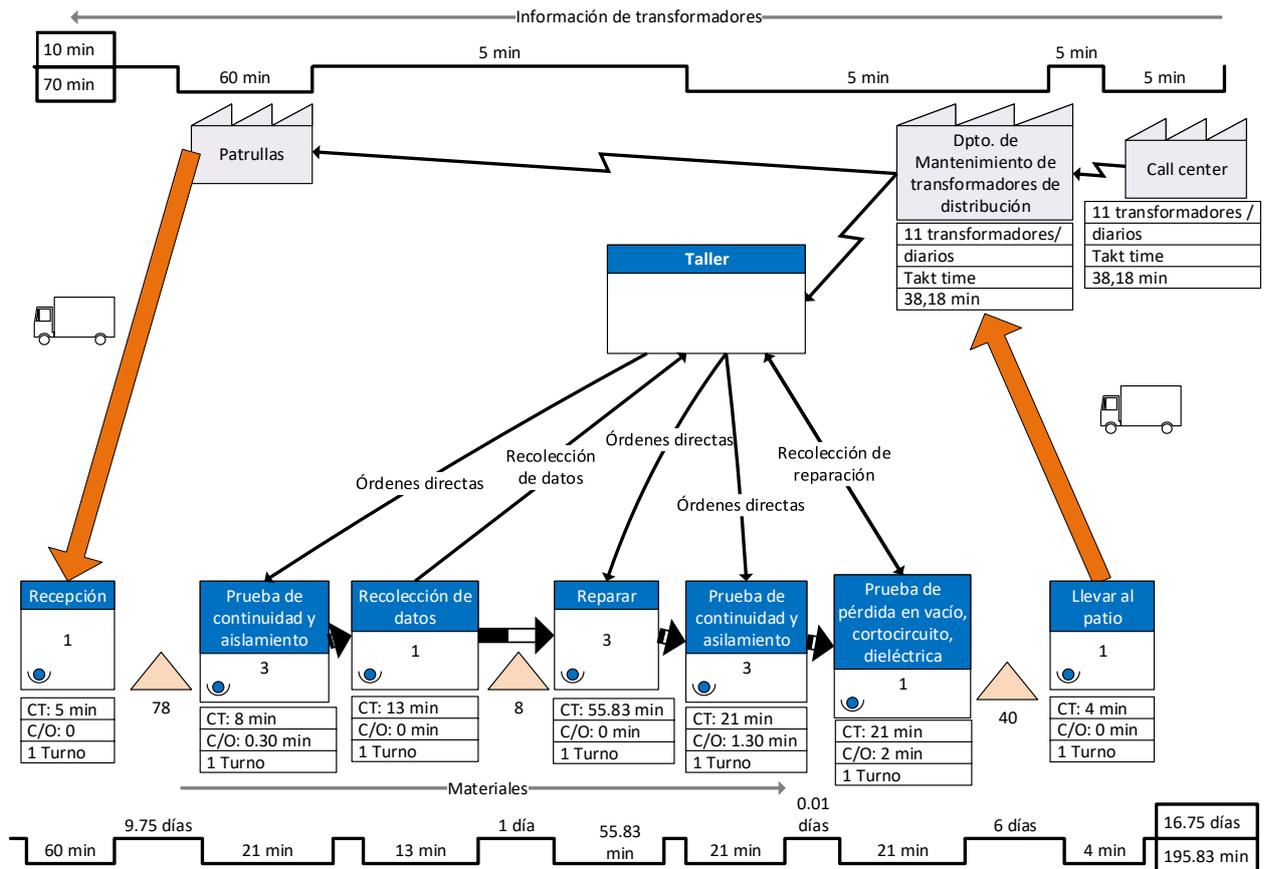


Figura 2.24 VSM Fin de vida útil.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar con el gráfico, los tiempos de chequeos de los transformadores de fin de vida útil son más altos que los tiempos requerido por transformador. El resultado se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Resultado VSM Fin de vida útil

Takt time	191 min/transformadores
Lead Time (Actividades que agregan valor)	195,83 min/transformadores
Lead Time Total	17,32 días/transformadores

Fuente: Elaboración propia

Transformadores Reprocesados

El 18% de los transformadores reparados son reprocesados debido a que los técnicos no cambian todos los empaques del transformador.

Se calculan los costos para los tres problemas ya mencionados para determinar cuánto le cuesta a la empresa cada uno de ellos, como se muestra en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Costos de transformadores de 50Kva

Transformadores de 50 Kva	Costo unitario			Costo total unitario	Costo de oportunidad	Cantidad de transformadores por año	Costo anual
	Mano de obra	Máquinas	Materiales				
Para reparar (bushings)	\$ 22.12	\$ 32.97	\$ 1.63	\$ 56.72		428	\$ 24,274.45
Fin de vida útil	\$ 13.69	\$ 18.46		\$ 32.15	\$ 32.15	110	\$ 7,071.95
Reproceso	\$ 3.42	\$ 9.21		\$ 12.63	\$ 12.63	134	\$ 3,383.90

Fuente: Elaboración propia

A pesar de no ser significativo el costo anual en comparación con los otros costos se lo considera importante, debido a que en los mantenimientos se deberían de cambiar todos los empaques de los transformadores, sin embargo, por restricciones de presupuesto no es posible realizarlo, como resultado, esto influye en que el 18% deberá de ser reprocesado.

2.5.3 Problemas Enfocados

Un vez analizado previamente el reproceso de transformadores, los transformadores de fin de vida útil y la reparación de bushings de baja tensión, se obtiene los siguientes problemas enfocados que se presentan a continuación en la Figura 2.25.

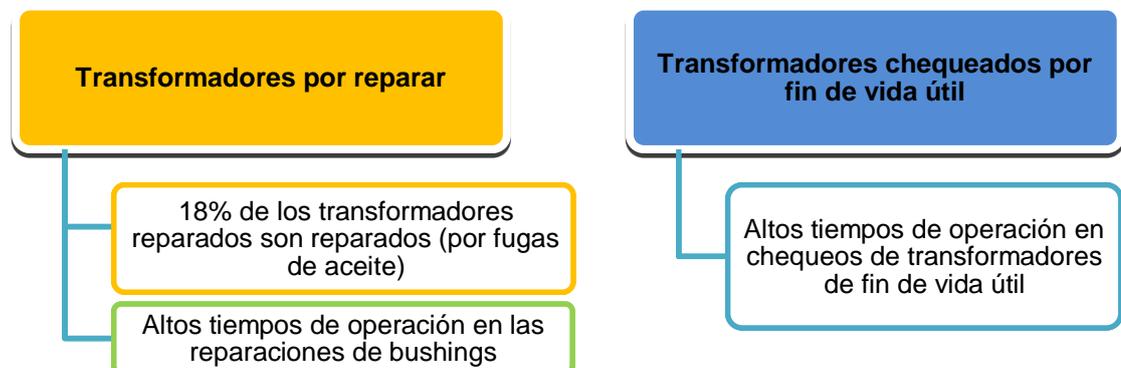


Figura 2.25 Problemas Enfocados.

2.5.4 Diagramas de Ishikawa

Luego junto el personal técnico del taller y la parte administrativa se analizan las posibles causas para cada uno de los problemas enfocados.

Se utiliza como herramienta para organizar las diferentes ideas y diagnosticar las causas que ocasionan los problemas enfocados determinados a los diagramas de Ishikawa, y un elevado costo de los mantenimientos de los transformadores de distribución.

En las figuras 2.26., 2.27., 2.28. y 2.29. se detallan los diagramas realizados para los problemas enfocados.

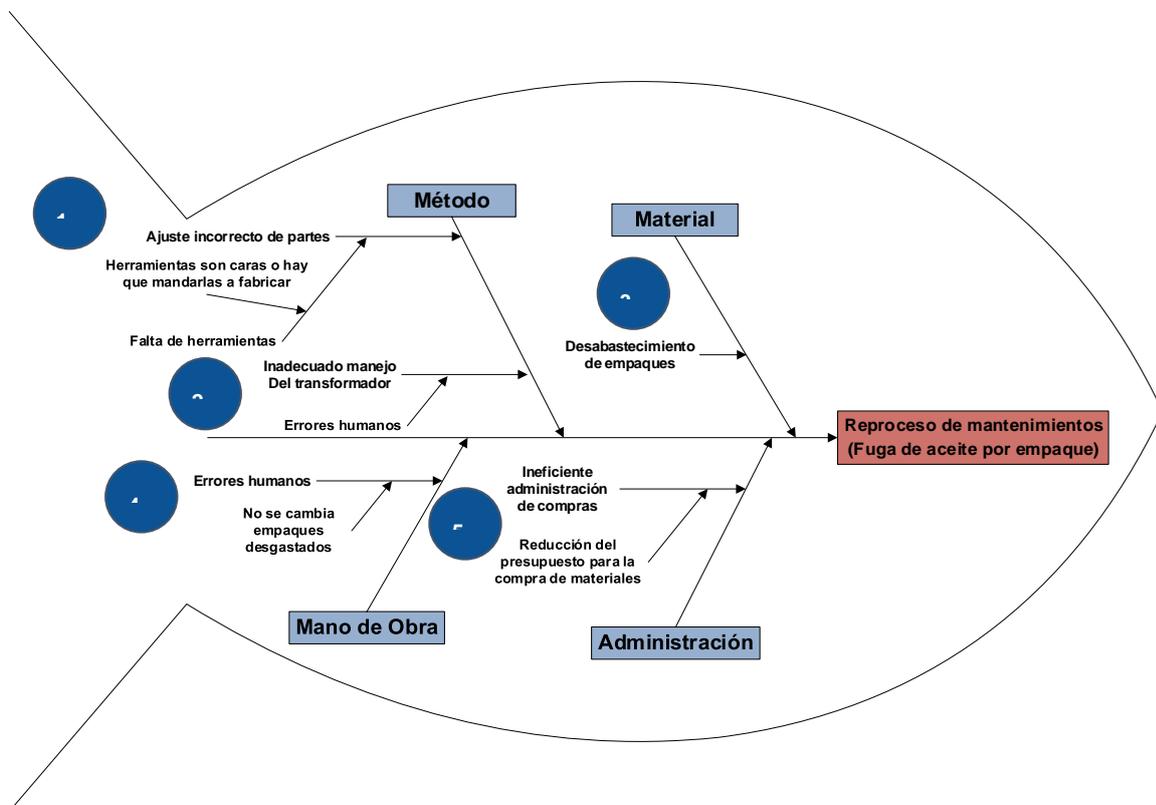


Figura 2.26 Ishikawa de reprocesos en los mantenimientos.

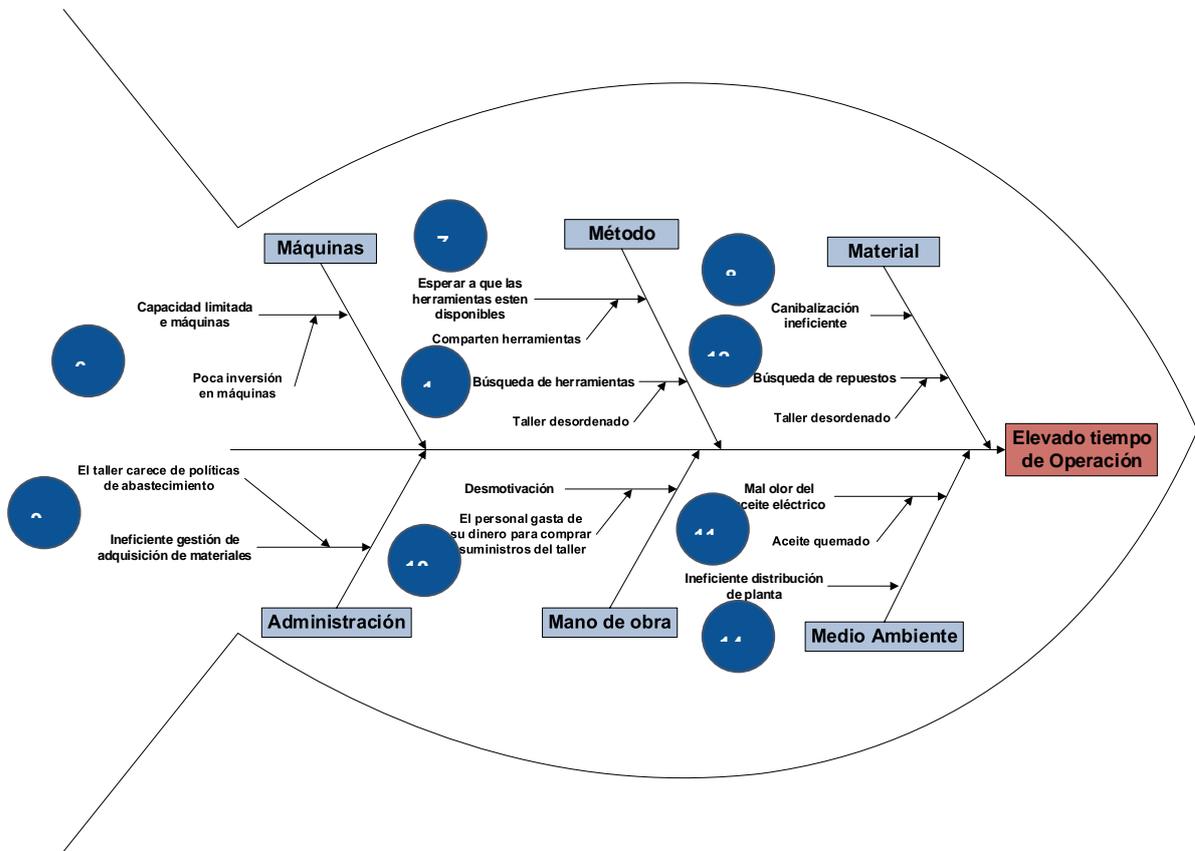


Figura 2.27 Ishikawa de elevado de tiempo de operación en mantenimientos.

Fuente: Elaboración propia

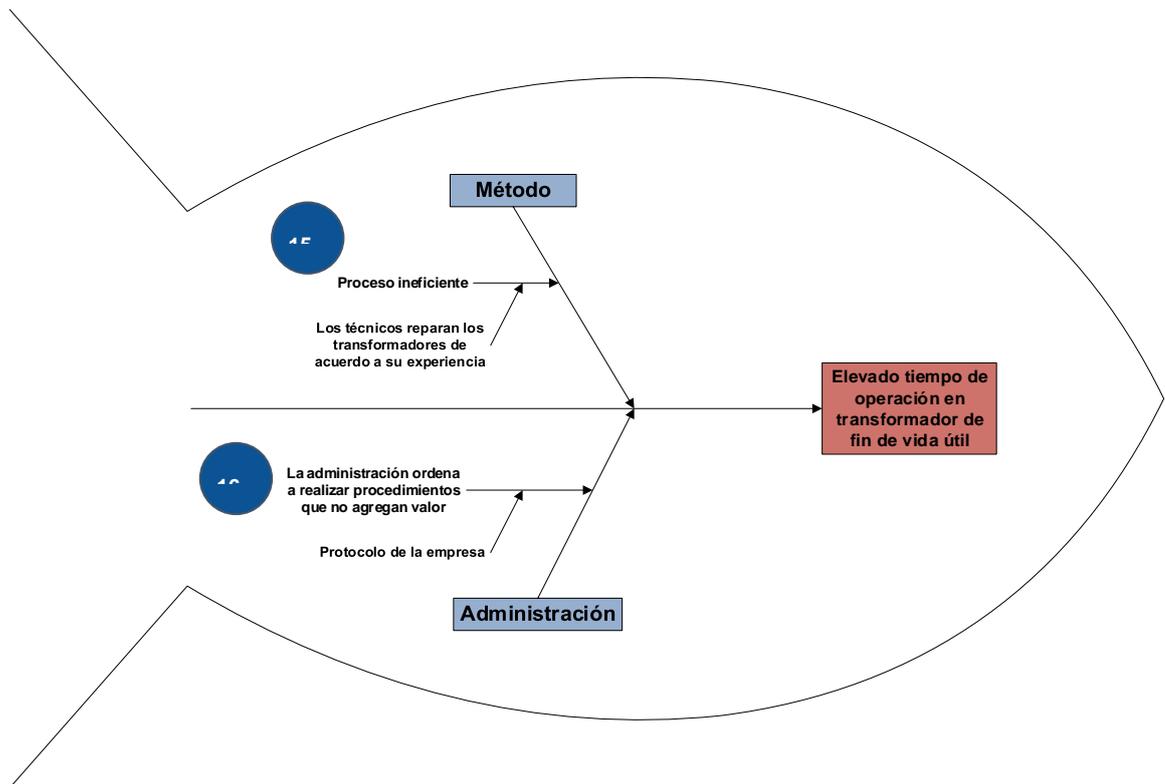


Figura 2.28 Ishikawa de elevado tiempo de operación en transformadores FVU.

Fuente: Elaboración propia

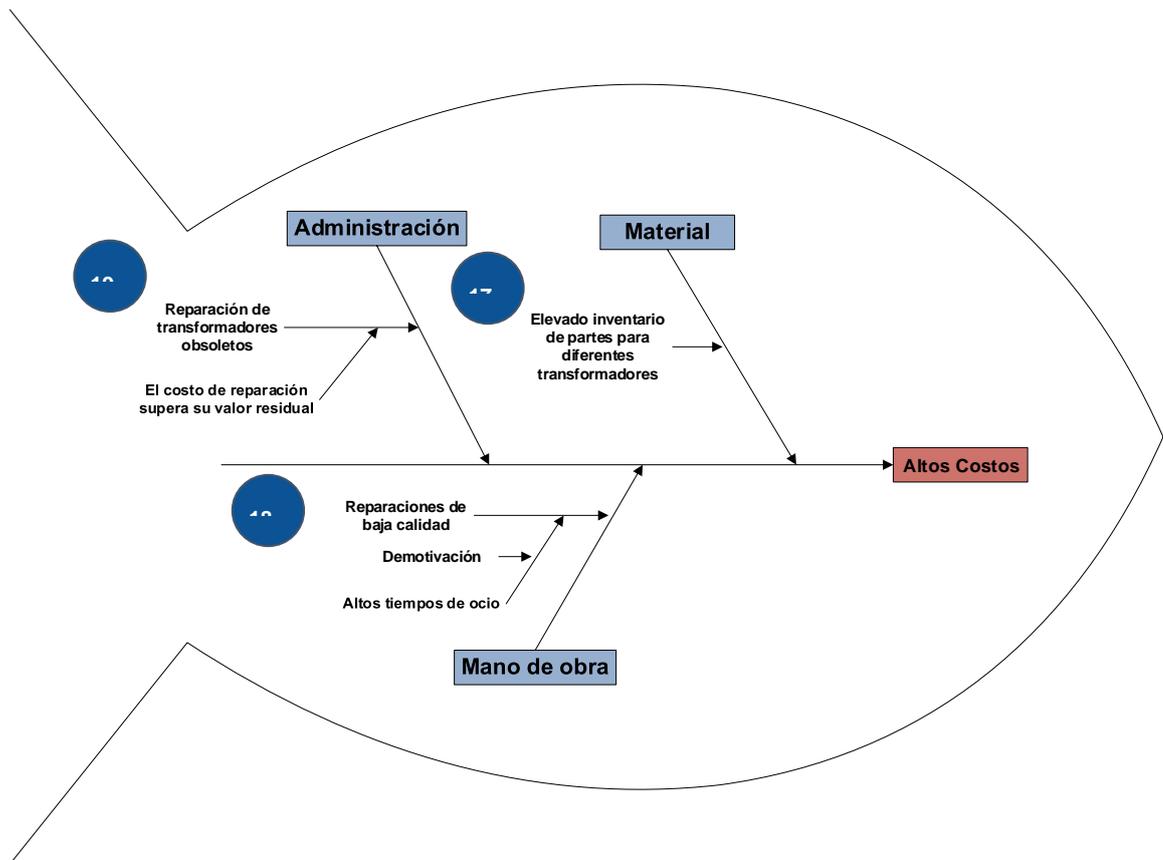


Figura 2.29 Ishikawa de altos costos de operación.

Fuente: Elaboración propia

2.5.5 Priorización de causas

Se utiliza la matriz impacto vs. esfuerzo para priorizar las causas que se prevé atacar con la realización del proyecto, con la ayuda del jefe de taller de mantenimiento de transformadores se ordenan las causas según su grado de afectación al problema y el esfuerzo que se debe invertir para controlar esta causa, a continuación, en la Figura 2.30. se presenta el resultado de este análisis.

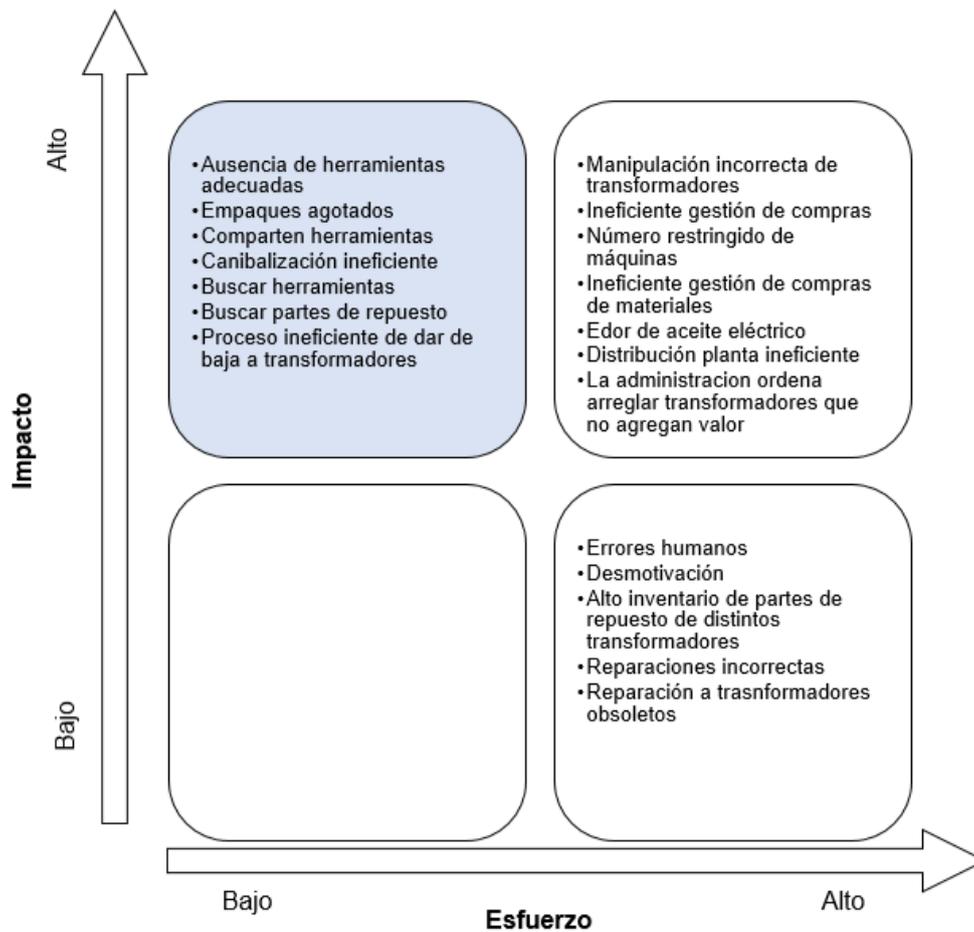


Figura 2.30 Matriz Impacto vs Esfuerzo de causas.

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la clasificación, se obtienen las siguientes causas:

- Ausencia de herramientas adecuadas.
- Empaques agotados.
- Comparten herramientas.
- Canibalización ineficiente.
- Buscar herramientas.
- Buscar partes de repuesto.
- Proceso ineficiente de dar de baja a transformadores.

2.5.6 Verificación de causas

Una vez priorizadas las causas, el siguiente paso consiste en verificar las causas priorizadas. Las causas se fueron verificadas por medio de entrevistas con el personal que trabaja en el taller de mantenimiento de transformadores, entrevistas con la administración de la empresa, y observación directa del proceso de mantenimiento de transformadores, en la Tabla 2.7. se presenta la verificación de las causas, junto con su ocurrencia, y su impacto.

Por medio de las entrevistas y la observación directa se logra cuantificar la incidencia de las causas, las cuales se detallan en la Tablas 2.8 a la 2.13.

Tabla 2.7 Verificación de Causas.

No.	Causa	Ocurrencia	Impacto	¿Como se verificó?	Fecha de verificación
1	Ausencia de herramientas adecuadas	Cuando se ajustan bushings o la tapa de los transformadores	Ajuste incorrecto de las partes las cuales pueden provocar fugas de aceite	Entrevista	Oct-Nov 2017
3	Empaques agotados	Cuando el taller no realiza la orden de repuestos de manera correcta	Posibilidad de fuga de aceite	Entrevista	Oct-Nov 2017
7	Comparten herramientas	Diariamente	Retraso en la reparación hasta que las herramientas este disponibles	Entrevista y observación directa	Oct-Nov 2017
8	Canibalización ineficiente	Diariamente	Incrementa el tiempo de reparación	Entrevista y observación directa	Oct-Nov 2017
12	Buscar herramientas	Diariamente	Incrementa el tiempo de reparación	Entrevista y observación directa	Oct-Nov 2017
13	Buscar partes de repuesto	Diariamente	Incrementa el tiempo de reparación	Entrevista y observación directa	Oct-Nov 2017

Continuación de la tabla 2.7.

15	Proceso ineficiente de dar de baja a transformadores	Cuando se realizan pruebas a los transformadores	Incrementa el número de transformadores pendientes para reparar	Entrevista y observación directa	Oct-Nov 2017
----	--	--	---	----------------------------------	--------------

Fuente: Elaboración propia

Verificación de causa 1. Ausencia de herramientas adecuadas

En el momento de la reparación del transformador los técnicos no cuentan con todas las herramientas adecuadas para su realización. Carecen de las siguientes herramientas:

➤ Torquímetro

Para ajustar las tapas con el torque necesario. Actualmente en el taller ajustan según la experiencia, y para verificar que estén bien ajustados los transformadores los golpean con martillos de goma, según el sonido que emiten, los técnicos evalúan si falta ajustar más o si ya está bien. Esto puede incidir en el porcentaje de transformadores reprocesados.

➤ Ajustador de bushings

Actualmente los técnicos ajustan los bushings golpeando arandelas, debido a que no tienen una herramienta especializada para el ajuste correcto del mismo. Esto puede provocar deformación del componente.

Verificación de causa 3. Empaques agotados

Se pudo constatar en el taller de mantenimiento de transformadores el desabastecimiento de empaques que se genera debido a la falta de políticas de inventario. A continuación, en la Tabla 2.8, se detalla la verificación.

Tabla 2.8 Verificación de Empaques agotados.

Empaques agotados		
¿Cuánto?	Ocurrencia al mes	Total
2 días	1	2 días

Fuente: Elaboración propia

Verificación de causa 7. Esperar a que las herramientas estén disponibles

Estando en el taller de mantenimiento, se pudo observar directamente como los técnicos esperan a que las herramientas se encuentren desocupadas para poder utilizarlas, debido a que no existen suficientes herramientas para todos los técnicos, en la Tabla 2.9 se muestra con más detalle los resultados de esta verificación.

Tabla 2.9 Verificación de espera de herramientas.

Esperar a que las herramientas estén disponibles		
¿Cuánto?	Ocurrencia por turno	Total
3 min	13	39 min

Fuente: Elaboración propia

Verificación de causa 8. Desmantelamiento ineficiente a transformadores dados de baja

Los técnicos no desmantelan las partes de los transformadores dados de baja al momento de chequear transformadores FVU. Por políticas de la empresa se les impiden desmantelar transformadores. Por lo tanto, los desmantelan al presentarse la necesidad, y cambian las partes en buen estado con las dañadas. Esto genera retrabajo y pérdida de tiempo, a continuación, en la Tabla 2.10 se presenta el resultado de esta verificación.

Tabla 2.10 Verificación de desmantelamiento de partes.

Desmantelamiento de transformadores dados de baja		
¿Cuánto?	Ocurrencia por turno	Total
15 min	2	30 min

Fuente: Elaboración propia

Verificación de causa 12. Buscar herramientas

La búsqueda de herramientas fue verificada mediante la observación directa en la cual se comprobó que el personal no puede ubicar rápidamente las herramientas que necesitan, debido al desorden que existe en el taller, a continuación, en la Tabla 2.11 se resume el resultado de este hallazgo.

Tabla 2.11 Verificación de buscar herramientas.

Buscar herramientas		
¿Cuánto?	Ocurrencia por turno	Total
2 min	20	40 min

Fuente: Elaboración propia

Verificación de causa 13. Buscar repuestos

Esta causa fue verificada mediante la observación directa en la cual se constató la pérdida de tiempo que existe al momento de buscar los repuestos para realizar los mantenimientos a los transformadores. En la Tabla 2.12 se presenta los resultados de esta verificación.

Tabla 2.12 Verificación de buscar repuestos.

Buscar repuestos		
¿Cuánto?	Ocurrencia por turno	Total
5 min	7	35 min

Fuente: Elaboración propia

Verificación de causa 15. Proceso ineficiente de dar de baja a transformadores

Estando en el taller de mantenimiento se pudo verificar el proceso ineficiente de dar de baja a los transformadores que tienen fin de vida útil, al realizar este proceso la compañía no obtiene ningún beneficio económico, en la Tabla 2.13 se presenta a detalle los resultados de esta verificación.

Tabla 2.13 Verificación del chequeo de transformadores dados de baja.

Chequeo de transformadores de baja		
¿Cuánto?	Ocurrencia por turno	Total
45 min	1	45 min

Fuente: Elaboración propia

2.5.7 Determinación de causas raíces

Una vez verificadas las causas priorizadas se prosigue con la determinación de las causas raíces. Para la que se utiliza la herramienta de cinco ¿Por qué?, las causas raíces se encuentran en color celeste como se muestra en la Tabla 2.14.

Con el personal de la empresa se utiliza la herramienta, cuestionado las veces que sean posible hasta poder obtener las causas raíces a partir de las causas potenciales encontradas en los diagramas de Ishikawa.

Tabla 2.14 Cinco ¿Por qué?

No.	Causas potenciales	1. ¿Por qué?	2. ¿Por qué?	3. ¿Por qué?	4. ¿Por qué?	5. ¿Por qué?
1	Ausencia de herramientas adecuadas	La administración no compra torquímetros	Falta de interés por parte de la administración	La administración no conoce el costo/beneficio de tener un taller propio		
		El taller tiene que enviar a fabricar llave para bushings	No venden en las ferreterías	Este tipo de herramientas es poco común		
3	Empaques agotados	El taller no ordena la cantidad correcta ni en el momento correcto a bodega	No existe una correcta política de abastecimiento	Descuido y falta de conocimiento		
7	Esperar a que las herramientas estén disponibles	Ellos comparten herramientas, ya que no les han comprado más herramientas	No han analizado si es conveniente comprar más herramientas	El presupuesto es limitado	La administración no conoce el costo/beneficio de tener un taller propio	
8	Canibalización ineficiente de transformadores dados de baja	Los técnicos no extraen partes en buen estado de transformadores dados de baja	Los transformadores con fin de vida útil deben ser enviados completos al almacenamiento	Protocolo de la empresa	La administración no conoce el costo/beneficio de canibalizar los transformadores	
		Transformadores son reparados con partes usadas	No es necesario poner partes nuevas	Reducir costos	El presupuesto es limitado	La administración no conoce el costo/beneficio de tener un taller propio
12-13	Buscar herramientas y repuestos	Desorden en el taller de mantenimiento	Falta de paneles para herramientas	El presupuesto es limitado	La administración no conoce el costo/beneficio de tener un taller propio	
15	Proceso ineficiente de dar de baja a transformadores	Los técnicos realizan el mantenimiento acorde a su experiencia	Porque los procesos no están estandarizados			
		La administración ordena realizar mantenimientos que no traen beneficio económico	Protocolo de la empresa	Porque los transformadores son bienes publico		

Fuente: Elaboración propia

2.6 Etapa de Mejora

2.6.1 Propuestas de mejora

Se propone posibles soluciones para cada una de las causas raíces establecidas anteriormente, a continuación, se presentan estas posibles soluciones en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15 Posibles soluciones a las causas raíces.

No.	Casusa verificada	Causa raíz	Soluciones
1	Ausencia de herramientas adecuadas	La administración no conoce el costo/beneficio de tener un taller propio	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis financiero/ Benchmarking para la reparación de transformadores
		Las llaves para ajustar bushings son poco comunes	
3	Empaques agotados	Descuido y falta de conocimiento de políticas de inventario	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar una política de inventario • Diseñar un plan de operaciones y ventas
7	Esperar a que las herramientas estén disponibles	La administración no conoce el costo/beneficio de tener un taller propio	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis financiero/ Benchmarking para la reparación de transformadores • Célula de manufactura • Adquirir herramientas comunes
8	Canibalización ineficiente de transformadores dados de baja	La administración no conoce el costo/beneficio de tener un taller propio	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis financiero/ Benchmarking para la reparación de transformadores

Continuación de la Tabla 2.15.

12/13	Buscar herramientas y repuestos	La administración no conoce el costo/beneficio de tener un taller propio	<ul style="list-style-type: none"> • Célula de manufactura • 5'S
15	Proceso ineficiente de dar de baja a transformadores	Porque los transformadores son bienes publico	<ul style="list-style-type: none"> • Rediseñar el proceso de mantenimiento a transformadores • Contratar más técnicos • Adquirir más maquinas

Fuente: Elaboración propia

2.6.2 Priorización de soluciones

Se procede a priorizar las soluciones mediante la utilización de la matriz de Impacto vs. Esfuerzo, para con ello determinar las soluciones con las que se va a trabajar.

Las posibles soluciones son evaluadas con ayuda del personal de la empresa. Se obtuvo el resultado presenta en la Figura 2.31. Las soluciones seleccionadas para implementar se encuentran en el cuadrante alto impacto y bajo esfuerzo que se encuentra de color celeste.

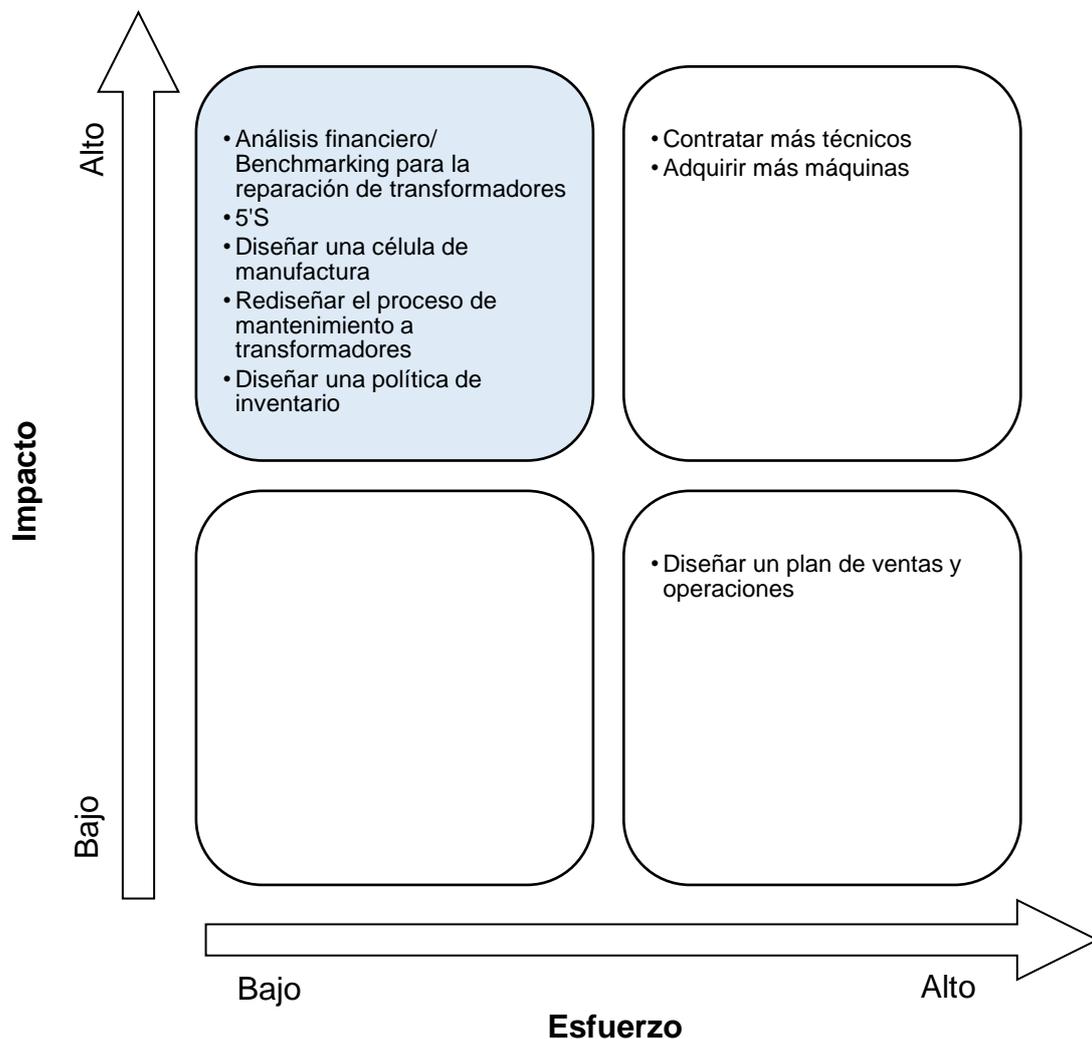


Figura 2.31 Matriz de Impacto vs Esfuerzo de soluciones.

Fuente: Elaboración propia

Las propuestas de contratar más técnicos y adquirir más máquinas no son consideradas ya que requieren de una gran cantidad de inversión además de que el actual taller está limitado de espacio físico.

La propuesta de diseñar un plan de ventas y operaciones no se la considera debido a que la empresa sigue ciertos protocolos gubernamentales con los cuales se dificultaría mucho la implementación.

2.6.3 Plan de implementación de mejoras

Cada una de las mejoras seleccionadas es detallada mediante un plan de implementación, el cual nos muestra las personas que se encuentran

involucradas, el lugar donde se realizará la mejora, las actividades a desarrollarse para cumplir con la mejora y los costos que involucra su implementación. Los planes de implementación se presentan a continuación.

5' S

La implementación del 5's tiene como objetivo reducir los tiempos que tardan las personas buscando herramientas, lo cual se traduce en tiempos de ciclo más bajos para los mantenimientos de transformadores; además de tener un ambiente de trabajo limpio y de mejor agrado para poder realizar mantenimientos de mejor calidad. A continuación, en la Figura 2.32. se detalla el plan de esta mejora.

Plan de implementación de soluciones								
Solución:	5'S				Fecha:	Martes 26 de diciembre del 2017		
Objetivo:	Reducir el tiempo de buscar herramientas y partes							
Responsable:	Daniela Dreher, Santiago Cueva			Colaborador:	Técnicos del taller de mantenimiento			
Actividades	Recursos	Mes:	Enero				Febrero	
		Semana:	1	2	3	4	1	2
Charla de 5's con los técnicos y supervisores del taller	Personas, Laptops							
Clasificación, Organización, limpieza	Personal, gavetas, tablas							
Estandarizar	Laptops, impresoras							
Plan de sostenibilidad para el futuro	Laptops							
Área de implementación	Taller de mantenimiento de transformadores	Costo de implementación		\$120		Estatus	Finalizado	

Figura 2.32 Plan de Implementación de 5'S.

Fuente: Elaboración propia

Rediseño de procesos

El rediseño de los procesos se busca eliminar las actividades que no agregan valor, con el fin de reducir los tiempos de operaciones y aumentar la eficiencia del taller. A continuación, en la Figura 2.33 se puede observar a detalle el plan de implementación de esta propuesta.

Plan de implementación de soluciones								
Solución:	Rediseño de procesos del mantenimiento de transformadores			Fecha:	Martes 26 de diciembre del 2017			
Objetivo:	Reducir actividades que no agregan valor, disminuir tiempos de operación, reducir costos							
Responsable:	Daniela Dreher, Santiago Cueva			Colaborador:	Ingeniero de mantenimiento y supervisor			
Actividades:	Recursos	Mes:	Enero				Febrero	
		Semana:	1	2	3	4	1	2
Analizar las actividades que no agregan valor	Laptops							
Realizar un test piloto con los procesos rediseñados	Personal, Laptops							
Analizar resultados, estandarizar y capacitar	Laptops							
Área de implementación	Taller de mantenimiento de transformadores	Costo de implementación	\$24		Estatus	Finalizado		

Figura 2.33 Plan de Implementación de Rediseño de Procesos.

Fuente: Elaboración propia

Política de Abastecimiento

La política de abastecimiento tiene el propósito de evitar el agotamiento de repuestos y suministros en el taller, ya que existen ocasiones en las que los técnicos no realizan los mantenimientos de manera correcta y utilizan partes usadas en malas condiciones para cuando enfrentan estas carencias. El resultado de los agotamientos descritos es que hay ocasiones en que los transformadores ya reparados presentan filtraciones de aceite. Para corregir el problema se debe

de reprocesar al transformador. El plan de implementación de esta propuesta se presenta a continuación en la Figura 2.34.

Plan de implementación de soluciones								
Solución:	Diseñar una política de abastecimiento para repuestos				Fecha:	Martes 26 de diciembre del 2017		
Objetivo:	Reducir desabastecimientos de los repuestos, reducir y eliminar los tiempos de reproceso, y mejorar la calidad de la reparación							
Responsable:	Daniela Dreher, Santiago Cueva			Colaborador	Técnico encargado del abastecimiento de repuestos			
Actividades:	Recursos	Mes:	Enero				Febrero	
		Semana:	1	2	3	4	1	2
Determinar la demanda semanal de los repuestos	Laptops							
Diseñar e implementar un sistema de dos gavetas	Laptops, personal							
Simulación y análisis de resultados	Laptops							
Área de implementación	Taller de mantenimiento de transformadores	Costo de implementación	\$18		Estatus:	Finalizado		

Figura 2.34 Plan de Implementación de Política de Abastecimiento.

Fuente: Elaboración propia

Célula de Manufactura

La implementación de una célula de manufactura dentro del taller de mantenimiento tiene el propósito de reducir los tiempos de mantenimiento, debido a que las máquinas y herramientas se localizan y se ordenan según su frecuencia de uso, además de que se ubican más cerca de los técnicos reduciendo movimientos innecesarios. El plan de implementación de esta mejora puede observarse a detalle en la Figura 2.35.

Plan de implementación de soluciones								
Solución:	Célula de manufactura				Fecha:	Martes 26 de diciembre del 2017		
Objetivo:	Reducir el tiempo de proceso de mantenimiento de transformadores							
Responsable:	Daniela Dreher, Santiago Cueva			Colaborador:	Técnicos			
Actividades:	Recursos:	Mes:	Enero				Febrero	
		Semana:	1	2	3	4	1	2
Analizar la configuración actual de las máquinas	Laptops							
Determinar la mejor configuración	Laptops							
Prueba piloto y análisis de resultados	Personal, laptops							
Área de implementación	Taller de mantenimiento de transformadores	Costo de implementación		\$48	Estatus	Finalizado		

Figura 2.35 Plan de Implementación de Célula de Manufactura.

Fuente: Elaboración propia

Análisis Financiero

Mediante el análisis financiero se busca dar a conocer a la administración los beneficios económicos que se obtienen al tener un taller de mantenimiento de transformadores propio, se realiza un Benchmarking con otras empresas dedicadas a la actividad de mantenimiento de transformadores para comparar los costos de estos mantenimientos de transformadores. A continuación, se presenta el plan de implementación para esta propuesta de mejora en la Figura 2.36.

Plan de Implementación de Soluciones								
Solución:	Análisis financiero para la reparación de transformadores				Fecha:	Martes 26 de diciembre del 2017		
Objetivo:	Dar a conocer a la administración la importancia de tener un taller de mantenimiento propio.							
Responsables:	Daniela Dreher, Santiago Cueva			Colaboradores:	Ingeniero profesional de mantenimiento			
Actividades	Recursos	Mes:	Enero				Febrero	
		Semana:	1	2	3	4	1	2
Determinar la situación financiera actual	Laptops							
Realizar benchmarking con otras empresas de mantenimiento de transformadores	Laptops, teléfono, Personal							
Determinar las condiciones económicas para implementar un taller de transformadores en otras ciudades	Laptops							
Área de implementación	Gerencia de mantenimiento	Costo de Implementación	\$0		Estatus:	Finalizado		

Figura 2.36 Plan de Implementación de Análisis Financiero.

Fuente: Elaboración propia

2.6.4 Desarrollo de las mejores seleccionadas

En este apartado se describe la implementación o prototipado de cada una de las propuestas seleccionadas, siguiendo el plan de implementación descrito en el apartado 2.6.4.

En este apartado se detallará el desarrollo o prototipado de las siguientes propuestas:

- 5 S´
- Política de Abastecimiento
- Célula de Manufactura
 - Algoritmo de Orden Binario
 - Rediseño de Layout
- Análisis Financiero

5 S´

Empezando por la implementación de la metodología 5 S´.

Para su implementación se siguen los siguientes pasos:

- En primera instancia se realiza una presentación con el supervisor y todos sus técnicos, como se muestra en la Figura 2.37, para explicar la metodología, la importancia y la necesidad de implementarla. Haciendo hincapié en los altos tiempos de búsqueda de material, repuestos y herramientas durante el mantenimiento de transformadores, para concientizar la necesidad de la metodología.



Figura 2.37 Presentación 5 S´.

Fuente: Elaboración propia

- Se prosigue con la clasificación y descarte, la organización y la limpieza dentro del taller. Una vez realizados estos pasos, se levantan estándares visuales de cómo debería verse el taller, y se establecen controles para mantener la disciplina de la herramienta.

Política de Abastecimiento: Sistema de dos gavetas

El sistema de dos gavetas es uno de los modelos de la política de revisión continua, se lo reabastece una cantidad Q , que es equivalente a ROP , cada vez que es igual o menor a un valor ROP . Este sistema sigue un modelo (r, Q) .

Se selecciona este modelo debido a la facilidad de la aplicación para los usuarios, al contar con estándares visuales.

¿Cómo funciona el modelo?

Se contiene el material en dos gavetas, el material requerido para el mantenimiento es retirado de una de ellas; cuando se vacía la gaveta se deberá de enviar una autorización para liberar gaveta de bodega. Mientras se espera la liberación de bodega el material necesitado será abastecido por la otra gaveta. La cantidad retenida por cada una de las gavetas es especificada por la cantidad ROP (punto de reorden). La cuál será suficiente abastecer la demanda hasta que se libere el material de bodega.

Calculo del ROP

Para la realización de las políticas de inventario del sistema de dos gavetas se seleccionaron los materiales de mayor consumo, los productos tipo A, mostrados en la Figura 2.11.

Primero se verifican las distribuciones con las que se comportan los materiales como se muestra en la Tabla 2.16, para revisar las gráficas estadísticas analizadas ir al Apéndice A.

Tabla 2.16 Verificación de distribuciones con las que se comportan los materiales.

	Empaque Bushing B/T 45 mm	Empaque B/T interno	Lija	Empaque de Tapa	Empaque Capaceta	Empaque Conmutador
P-Value =	0,657	0,917	0,889	0,102	0,297	0,35
$\alpha =$	0,05					

Fuente: Elaboración propia

H0: El consume de materiales sigue una distribución normal.

H1: El consume de materiales no sigue una distribución normal.

Como se muestra en la Tabla 2.16, para todos los valores de p se cumple que $p > \alpha$. Por lo tanto, no hay suficiente evidencia estadística para rechazar H0, por lo tanto, los datos se comportan con una distribución normal.

Una vez verificado que los datos se comportan como una distribución normal se procede con el cálculo del punto de reorden para cada uno de los materiales con las siguientes formulas:

$$ROP = D_L + ss$$

$$ROP = D_L + k\sigma_L$$

Se utiliza un nivel de servicio del 95%, debido a que el taller considera tolerable un 5% de desabastecimiento para los mantenimientos.

$$Z_{\alpha/2} = 1,64$$

En la Tabla 2.17 se presentan los cálculos por consumos diario de cada uno de los materiales de mayor demanda interna, asumiendo un lead time de 5 días, que es el tiempo aproximado en que el material es aprobado y liberado de bodega.

Los cálculos se realizan con la demanda del peor escenario para evitar agotamientos de material.

Tabla 2.17 Calculo del ROP por materiales y repuestos.

Materiales	Demanda diaria peor caso	Lead time	Stock de seguridad	ROP
Empaque Bushing B/T 45 mm	3 u	5 días	1 u	16 u
Empaque B/T interno	3 u	5 días	1 u	16 u
Lija	3 u	5 días	1 u	16 u
Empaque de Tapa	3 u	5 días	1 u	16 u
Empaque Capaceta	2 u	5 días	1 u	11 u
Empaque Conmutador	2 u	5 días	1 u	11 u

Repuestos	Demanda diaria peor caso	Lead time	Stock de seguridad	ROP
Bushing	2 u	5 días	6 u	14 u

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados se determinan cada uno de los puntos de reorden por material.

Algoritmo de orden binario

Se realiza el algoritmo de orden binario para determinar la cantidad de células de manufactura necesarias para el taller de mantenimiento de transformadores.

Determinación del Algoritmo de orden binario

Se determinan las combinatorias de mantenimientos que el taller realiza el 81% de las veces en el año analizado, obteniendo el siguiente resultado mostrado en la Tabla 2.18:

Tabla 2.18 Combinatorias de Mantenimientos realizados por el taller

No:	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Mantenimientos								
				AF	ACU	ACN	bar	Bar	bcu	Bc	Dan	Dre
1	102	0,17	0,17				X					
2	52	0,09	0,26				X					X
3	44	0,07	0,34				X		X			
4	38	0,06	0,40				X	X				
5	37	0,06	0,46									X
6	35	0,06	0,52				X		X			X
7	34	0,06	0,58				X				X	
8	22	0,04	0,62						X			
9	22	0,04	0,65				X	X				X
10	16	0,03	0,68				X	X			X	
11	14	0,02	0,70						X			X
12	12	0,02	0,72								X	
13	11	0,02	0,74				X		X		X	
14	9	0,02	0,76					X	X			
15	8	0,01	0,77	X			X	X				
16	8	0,01	0,79				X	X	X			
17	7	0,01	0,80	X			X	X			X	
18	6	0,01	0,81					X				

Fuente: Elaboración propia

Donde, los parámetros se muestran en la tabla 2.19:

Tabla 2.19 Parámetros.

AF	Aceite filtrado
ACU	Cambiar aceite por aceite reciclado
ACN	Cambiar aceite por aceite nuevo
bar	Reparar bushing de baja tensión
Bar	Reparar bushing de media tensión
bcu	Cambiar bushing de baja tensión por bushing reciclado
Bc	Cambiar bushing de media tensión por bushing reciclado
Dan	Breaker cancelado
Dre	Breaker reparado

Fuente: Elaboración propia

Pasos

Con esta información se procede a realizar el algoritmo de orden binario para determinar el número de células necesarias.

Para realizar el algoritmo de orden binario se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Asignar un valor k a cada una de las columnas, En la tabla, $N=18$, $k=1,2,\dots,18$

Aplicar la fórmula:

$$2^{N-k}$$

El resultado de la formula se encuentra en la última fila de la Tabla 2.21. Cada una de las filas donde aparece un 1 se sumará el valor calculado, para luego ser ordenadas las filas de mayor a menor, de arriba hacia abajo.

2. Luego de eso se le asigna un valor k a cada una de las columnas, en la tabla, $M=9$, $k=1,2,\dots,9$. Aplicar la fórmula:

$$2^{M-k}$$

El resultado de la formula se encuentra en la columna derecha de la Tabla 2.22. Cada una de las columnas donde aparece un 1 se sumará el valor calculado, para luego ser ordenadas las columnas de mayor a menor, de izquierda a derecha.

Tabla 2.20 Resolución de algoritmo Binario 1.

Estación	Mantenimiento																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
DAN							1			1		1	1					1
AF															1			1
ACU																		
ACN																		
Bar	1	1	1	1		1	1		1	1			1		1	1	1	1
BAR				1					1	1				1	1	1	1	1
Bcu			1			1		1			1		1	1		1		
BC																		
DRE		1			1	1			1		1							

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.21 Resolución de Algoritmo Binario 2.

Estación	Mantenimiento																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Bar	1	1	1	1		1	1		1	1		1		1	1	1	1	1	252,718
DRE		1				1	1			1		1							78,464
Bcu			1				1			1			1	1		1			38,068
BAR				1						1	1			1	1	1	1	1	17,183
DAN									1			1		1	1			1	2,402
AF																1		1	10
ACU																			0
ACN																			0
BC																			0
2 ^{N-k}	131,072	65,536	32,768	16,384	8,192	4,096	2,048	1,024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.22 Resolución Algoritmo Binario 3.

Estación	Mantenimiento																		2 ^{M-k}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Bar	1	1	1	1		1	1		1	1			1		1	1	1	1	256
DRE		1				1	1			1		1							128
Bcu			1				1		1			1		1	1		1		64
BAR				1						1	1			1	1	1	1	1	32
DAN								1			1		1	1				1	16
AF																1		1	8
ACU																			4
ACN																			2
BC																			1
	256	384	320	288	128	448	272	64	416	304	192	16	336	96	296	352	312	32	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.23 Resolución Algoritmo Binario 4.

Estación	Mantenimiento																		
	6	9	2	16	13	3	17	10	15	4	7	1	11	5	14	18	8	12	
Bar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							256
DRE	1	1	1										1	1					128
Bcu	1			1	1	1							1		1		1		64
BAR		1		1			1	1	1	1					1	1			32
DAN					1		1	1			1							1	16
AF							1		1										8
ACU																			4
ACN																			2
BC																			1
	448	416	384	352	336	320	312	304	296	288	272	256	192	128	96	32	64	16	

Fuente: Elaboración propia

Con el resultado del algoritmo binario, mostrado en la Tabla 2.23, se obtiene que no hay necesidad de realizar más de una célula de manufactura, debido a que las operaciones de los mantenimientos no se segmentan por máquinas. El siguiente paso para el correcto diseño de la célula de manufactura es rediseñar el *layout*.

Rediseño de *Layout*

Existen restricciones para el rediseño del *layout*, el taller de mantenimiento tiene espacio limitado. Por lo tanto, en el análisis se tomarán en cuenta las máquinas que ocupan más espacio:

- El horno.
- Las máquinas filtradoras de aceite, junto con su repositorio.

Para el rediseño del *layout* se utiliza la metodología *Median Problem* para minimizar la distancia promedio total de recorrido por técnico.

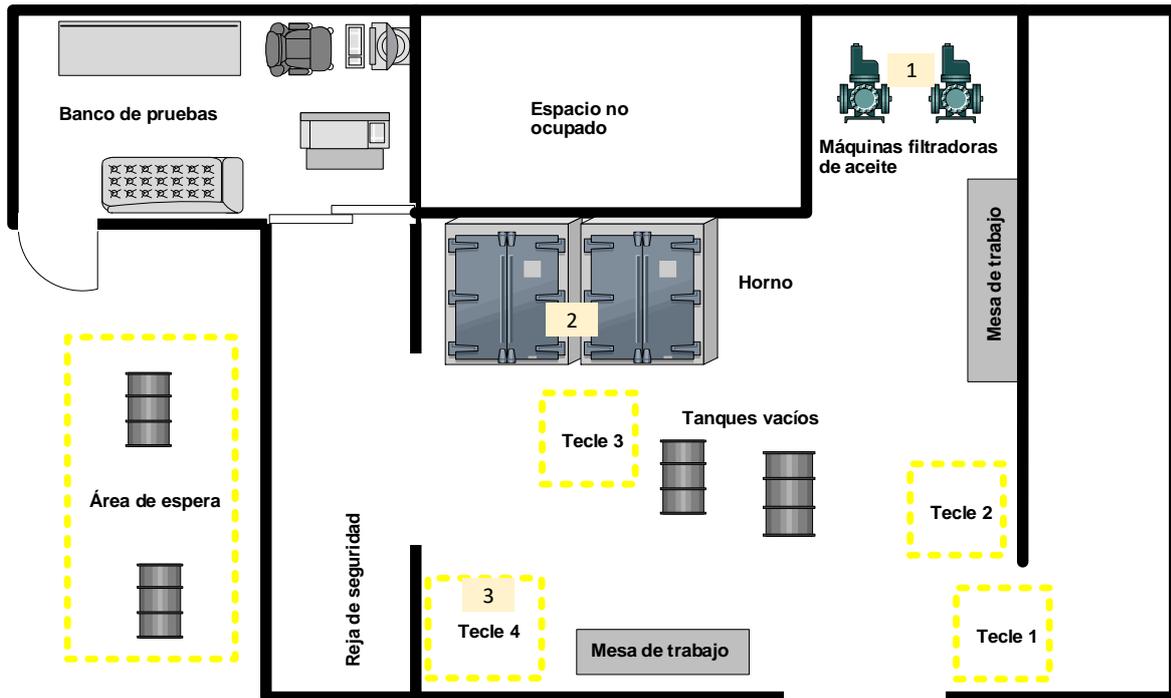


Figura 2.38 Posiciones a Analizar.

Fuente: Elaboración propia

Median Problem

La demanda anual de las máquinas se especifica en la Tabla 2.24.

Tabla 2.24 Utilización anual por máquinas a analizar.

	Máquinas	Demanda anual
A	Máquinas de filtración de aceite y repositorio	126
B	Horno	21

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2.25, se presentan las distancias entre los tecles con cada una de las posiciones seleccionadas anteriormente, junto con la demanda de cada uno de los tecles.

Tabla 2.25 Median Problem.

Taller de mantenimiento	Distancias			Demanda	
	1	2	3	A	B
Tecla 1	10	10,85	10	12,6	2,1
Tecla 2	8,95	13,35	10	37,8	6,3
Tecla 3	6,5	3	5	50,4	8,4
Tecla 4	4	6	5,5	25,2	4,2

Fuente: Elaboración propia

Se calculan los valores para la Tabla 2.6-12 mediante la fórmula (4):

$$\sum_{i=A}^E w_i d_{ij} \quad (4)$$

Donde,

w: Demanda

d: Distancia

Tabla 2.26 Resolución Median Problem.

A			
Taller de mantenimiento	1	2	3
Tecla 1	126	136,71	126
Tecla 2	338,31	504,63	378
Tecla 3	327,6	151,2	252
Tecla 4	100,8	151,2	138,6
	892,71	943,74	894,6

B			
Taller de mantenimiento	1	2	3
Tecla 1	21	22,785	21
Tecla 2	56,385	84,105	63
Tecla 3	54,6	25,2	42
Tecla 4	16,8	25,2	23,1
	148,785	157,29	149,1

Fuente: Elaboración propia

Se elige el mínimo de las sumas de distancias ponderadas, para la máquina A como la B se determina que la posición mínima es la 1. La frecuencia de utilización de la máquina A es significativamente mayor a la B, por lo tanto, para la máquina A se elige la posición 1, y para la máquina B se elige la posición 3. Como se muestra en la Figura 2.39.

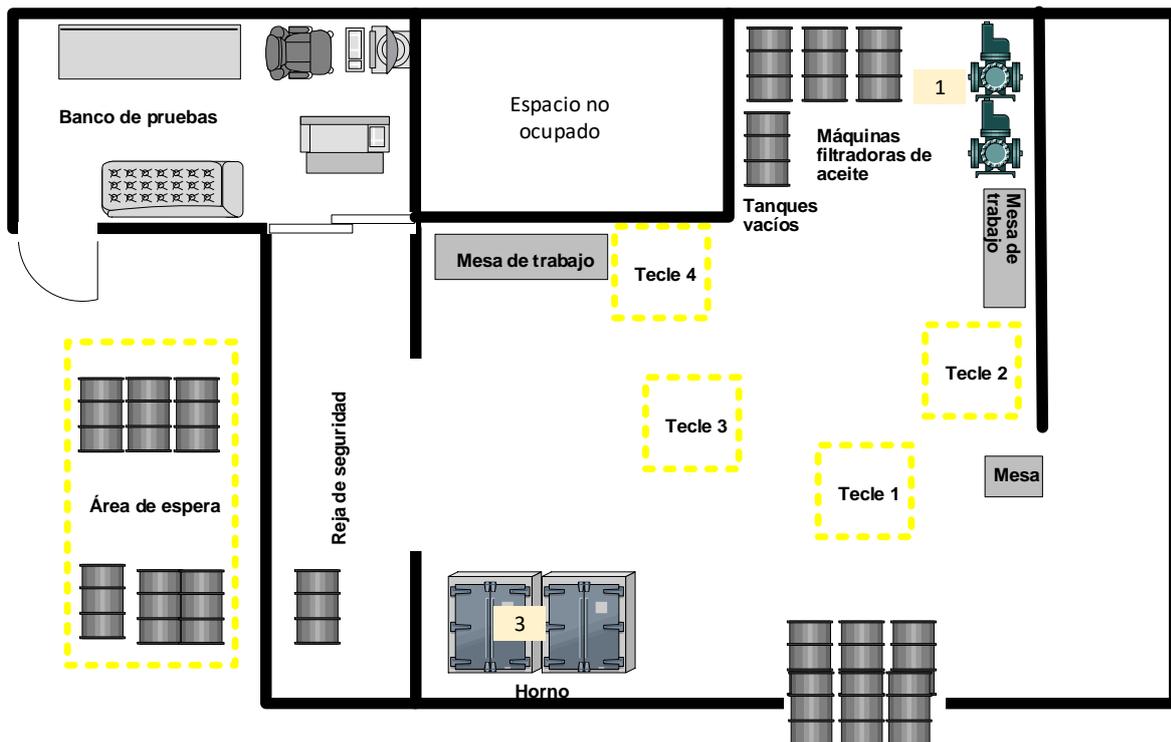


Figura 2.39 Resultado de Median Problem.

Fuente: Elaboración propia

Célula de Manufactura

Una vez determinada la cantidad de células de manufactura necesarias para el mantenimiento de transformadores monofásicos, y evaluado el rediseño de *layout*, se continúa con el diseño de procesos y balanceo de tiempos de ciclo de la célula de manufactura.

Se diseña la célula de manufactura conformada con las actividades mostradas en la Tabla 2.27:

Tabla 2.27 Actividades célula de manufactura.

A	Toma de datos
B	Revisión en software
1	Pruebas: Aislamiento, continuidad y relación de transformación
2	Abrir transformadores
3	Retirar aceite
4	Desarmar transformadores
5	Elevar bobina
6	Pruebas: Aislamiento, continuidad y relación de transformación
7	Arreglar
8	Ensamblar transformador devolver aceite
C	Banco de pruebas
D	Lavar transformadores

Fuente: Elaboración propia

El prototipo de la célula de manufactura se presenta en la Figura 2.40:

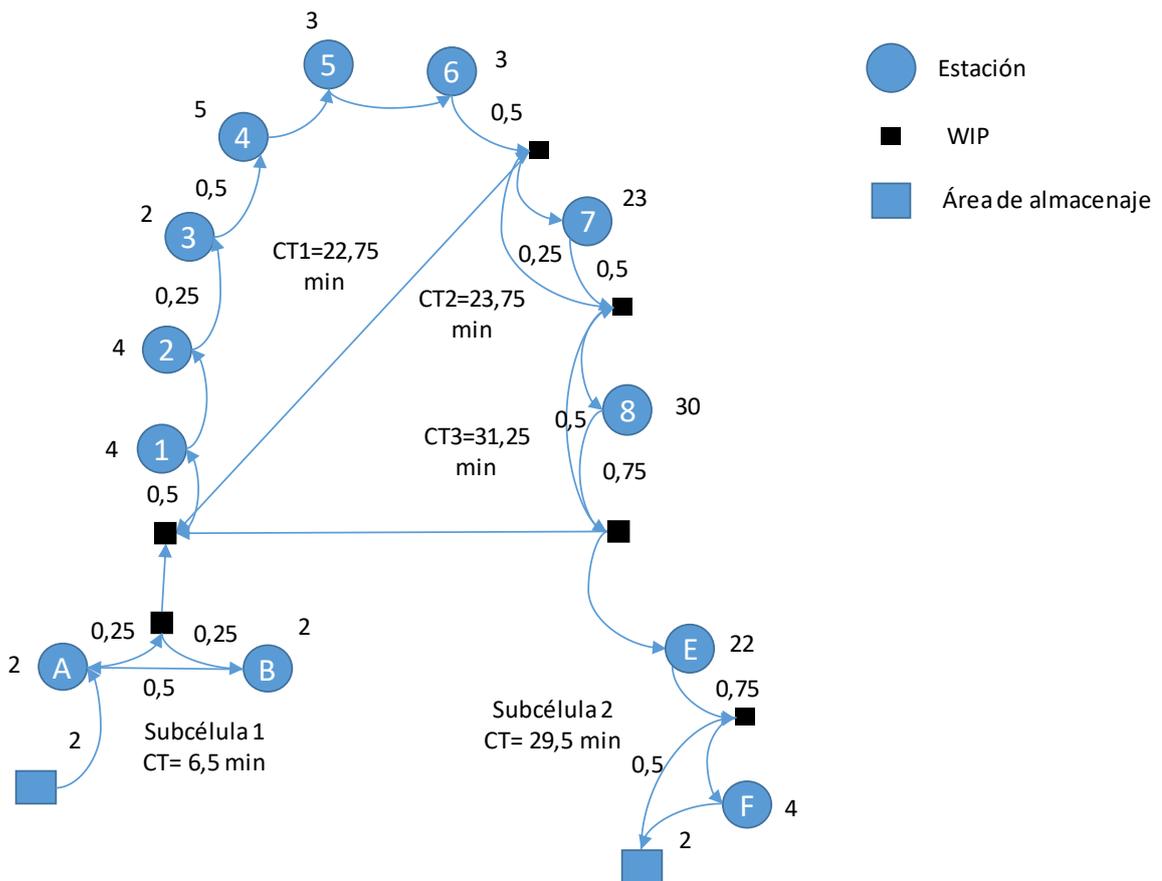


Figura 2.40 Prototipo célula de manufactura.

Fuente: Elaboración propia

En el capítulo 3 se mostrarán los resultados de la simulación en Pro Model de la célula de manufactura presentada.

Análisis Financiero

Por último, se realiza un análisis financiero para verificar si mantener el taller de mantenimientos de Guayaquil es económicamente viable. El objetivo de esto es que la unidad de negocio tenga constancia del beneficio económico y como consecuencia otorguen el presupuesto necesario para realizar sus actividades.

Para el análisis financiero se consideran los siguientes escenarios:

➤ **Escenario 1:**

Mantener un taller de mantenimiento, donde se desmantelan bushings de baja tensión de los transformadores FVU.

➤ **Escenario 2:**

Mantener un taller de mantenimiento, donde no se desmantelan transformadores FVU.

➤ **Escenario 3:**

Subcontratar el mantenimiento de los transformadores.

Estos escenarios se los eligió para demostrar a la unidad de negocio los beneficios de desmantelar piezas en buen estado de los transformadores FVU, y con esta constancia permitirles el desmantelamiento de transformadores al momento de chequearlos.

Para la realización del análisis se levanta información sobre los rubros a considerar en el taller, y se realizan cotizaciones en Guayaquil de los costos por subcontratar dos tipos de mantenimientos más el costo de desmontaje y traslado del transformador.

El mantenimiento menor que es conformado para las actividades mostradas en la Tabla 2.28, y mantenimiento mayor, conformado por las actividades mostradas en la Tabla 2.29.

Tabla 2.28 Actividades mantenimiento menor.

	Actividades Mantenimiento
1	Pruebas (TTR, resistencia de aislamiento, rigidez dieléctrica)
2	Desarmado del transformador
3	Desmontaje de suncho y tapa
4	Desmontaje de bushings de alta
5	Vaciado de aceite
6	Desmontaje de bushings de baja
7	Desconexión del chicote de alta
8	Desconexión de los chicotes de baja
9	Desconexión del breaker del transformador
10	Desencubado del núcleo
11	Reparación de bushings de baja tensión
13	Cambio de empaque
14	Prueba de resistencia de aislamiento
15	Prueba de rigidez dieléctrica
16	Conexión de breaker
17	Conexión de chicotes de baja
18	Conexión de chicotes de Alta
19	Montaje de bushings de baja
20	Montaje de bushings de alta
21	Sellado de la tapa
22	Pruebas de Hermeticidad
23	Pruebas de relación de Transformación
24	Pruebas de resistencia de aislamiento
25	Pruebas de voltaje
26	Colocación de stickers

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.29 Actividades mantenimiento mayor.

	Actividades Mantenimiento
1	Pruebas (TTR, resistencia de aislamiento, rigidez dieléctrica)
2	Desarmado del transformador
3	Desmontaje de suncho y tapa
4	Desmontaje de bushings de alta
5	Vaciado de aceite
6	Desmontaje de bushings de baja
7	Desconexión del chicote de alta
8	Desconexión de los chicotes de baja
9	Desconexión del breaker del transformador
10	Desencubado del núcleo
11	Secado del núcleo y bobinas
12	Preparación mecánica de los tanques
13	Pulido con grata y lija de los tanques
14	Reparación de las partes afectadas por corrosión en los tanques
15	Reparación de las tapas de los tanques
16	Reparación de los zunchos de los tanques
17	Colocación de la pintura de base primer
18	Cambiar empaques
19	Pruebas al breaker del transformador
20	Pruebas al fusible del transformador
21	Prueba de resistencia de aislamiento de las bobinas después del secado
22	Prueba de rigidez dieléctrica del aceite nuevo
23	Conexión de breaker
24	Conexión de chicotes de baja
25	Conexión de chicotes de Alta
26	Montaje de bushings de baja
27	Llenado de aceite dieléctrico nuevo no inhibido libre de PCB's
28	Montaje de bushings de alta
29	Sellado de la tapa
30	Pruebas de Hermeticidad
31	Pruebas de relación de Transformación
32	Pruebas de resistencia de aislamiento
33	Pruebas de voltaje
34	Colocación de stickers

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis financiero serán evaluados en el capítulo 3, en la Figuras 3.5 a la 3.9.

Los costos cotizados para los mantenimientos determinados están en la Tabla 2.30, los cuales serán utilizados para el análisis:

Tabla 2.30 Costo de Mantenimientos Cotizados.

Costos	
Mantenimiento menor	\$250
Mantenimiento mayor	\$750
Desmontaje y traslado	\$100

Fuente: Elaboración propia

4.5. Etapa de Control

Para el control de las soluciones planteadas anteriormente, se propone un plan de control para cada solución, en los cuales se especifica el área en la que los debe desarrollar, el encargado de llevarlo a cabo, las actividades a realizar y con qué frecuencia, así como el costo de llevar a cabo cada control, en las Figuras 2.40 a la 2.43 se puede observar los planes de control levantados.

Tabla 2.31 Plan de Control 5'S

Control Visual de 5'S/ Checklist de comprobación						
Área:	Taller de mantenimiento de transformadores	Responsable:	Técnicos del taller de mantenimiento			
Actividad	Frecuencia	Condición del 5's			Comentarios	Firma
		Fecha	Correcto	Incorrecto		
Limpiar las herramientas al final de cada turno	Diaria					
Verificar que todas las herramientas estén puestas en el tablero	Diaria					
Revisar que no haya fugas de aceite en las máquinas	Semanal					
Dejar limpio el piso	Diaria					
Revisar que las partes de repuesto estén en su puesto	Diaria					
Dejar limpias las mesas de trabajo	Diaria					
Sacar los desperdicios generados en el turno	Diaria					
					Costo Mensual de Control	\$ 35.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.32 Plan de Control de Política de Abastecimiento

Control de la política de abastecimiento						
Área:	Taller de mantenimiento de transformadores		Responsable:		Líder del taller de mantenimiento	
Actividad	Frecuencia	Condición de las partes			Comentarios	Firma
		Fecha	Correcto	Incorrecto		
Revisar la cantidad de partes de repuesto	Diario					
Si la cantidad de partes se encuentra por debajo del punto de reorden, se debe realizar un pedido	Diario					
Anotar la demanda diaria	Diario					
Si un ítem se desabastece continuamente, la política de abastecimiento debe ser actualizada	Mensual					
Costo mensual del control:					\$10.00	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.33 Plan de Control de Análisis Financiero

Control del Análisis Financiero						
Área:	Taller de mantenimiento de transformadores		Responsable:		Gerente de Mantenimiento	
Actividad	Frecuencia	Análisis Financiero			Comentarios	Firma
		Fecha:	Ok	Incorrecto		
Realizar actualizaciones en el programa de Excel del Análisis financiero, cada vez que se necesite comprar máquinas	Cuando sea necesario					
Actualizar el programa con los datos correspondientes de acuerdo a la unidad de negocio	Cuando sea necesario					
Costo del Control:					\$100.00	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.34 Plan de Control de Célula de Manufactura

Control de la Célula de Manufactura y Rediseño de Proceso						
Área:	Taller de mantenimiento de transformadores		Responsable:	Líder del taller de mantenimiento		
Actividad	Frecuencia	Célula de manufactura y el rediseño del proceso			Comentarios	Firma
		Fecha:	Ok	Incorrecto		
Revisar que los técnicos realicen los mantenimientos con el nuevo proceso	Diario					
Revisar que los técnicos trabajen en las sub-células asignadas	Diario					
Revisar que la cantidad estimada de transformadores reparados este en el rango correcto	Diario					
Verificar que los trabajadores libres ayuden a los que se encuentran ocupados	Diario					
Verificar que los manteamientos sean realizados correctamente	Diario					
					Costo mensual de control:	\$30.00

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

En este apartado se analizarán los resultados obtenidos en cada una de las implementaciones o prototipado de las soluciones priorizadas, las cuales fueron presentadas en el capítulo anterior.

5 S´

Una vez aplicada la metodología 5 S´ se reducen los tiempos de búsqueda de materiales o repuestos de los presentados en las Tablas 2.11 y 2.12, a continuación, en Tabla 3.1 se puede observar la comparación de los tiempos del antes y después del 5 S´.

Tabla 3.1 Resultados de 5´ S

Antes			Después		
Buscar herramientas			Buscar herramientas		
¿Cuánto?	Ocurrencia por turno	Total	¿Cuánto?	Ocurrencia por turno	Total
2 min	20	40 min	0.5 min	16	8 min
Buscar repuestos			Buscar repuestos		
¿Cuánto?	Ocurrencia por turno	Total	¿Cuánto?	Ocurrencia por turno	Total
5 min	7	35 min	0.5 min	15	7 min

Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 3.1 y 3.2 se muestra la diferencia del antes y después en la organización del taller con la aplicación de la metodología 5´ S.

Antes:

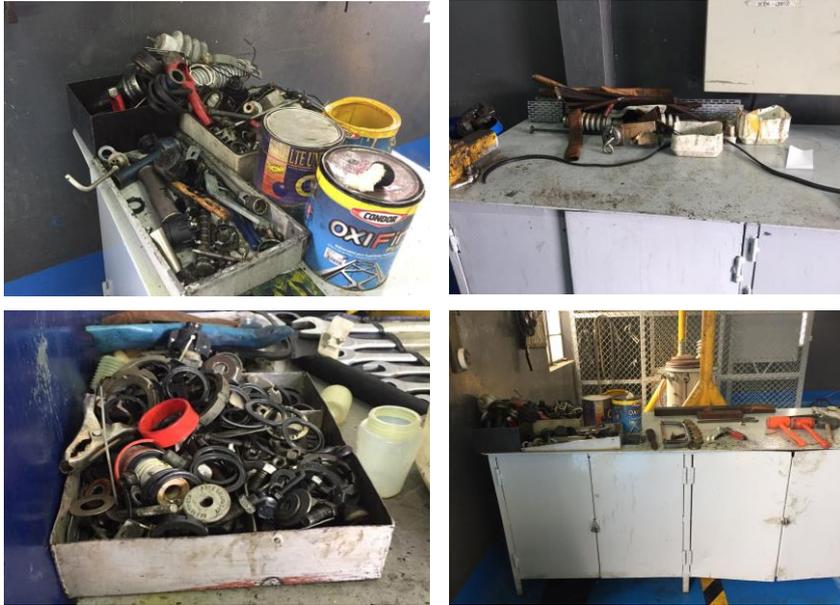


Figura 3.1 Fotos Antes.

Fuente: Elaboración propia

Después:

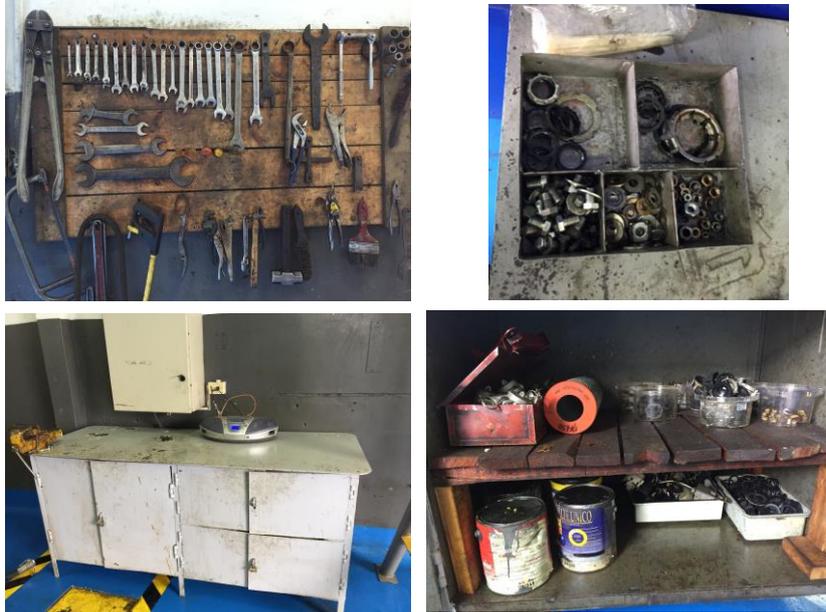


Figura 3.2 Fotos Después.

Fuente: Elaboración propia

Política de Abastecimiento: Sistema de dos gavetas

Para comprobar la efectividad de la política de inventario se procede a realizar una simulación manual de los consumos para cada uno de los materiales, donde se determinará la cantidad de stock outs o de pedidos necesarios a realizar en un periodo de 1.5 meses. En la Tabla 3.2 se presenta la simulación manual de empaques internos:

Tabla 3.2 Simulación Manual Consumo de Materiales.

Día (i)	Ri	Inventario Inicial	Demanda Diaria	Demanda Diaria	Inventario Final	Pedidos realizados	Agotamientos
1	0,81	38	3,23561185	4	34	0	0
2	0,54	34	1,72611917	2	32	0	0
3	0,54	32	1,69182884	2	30	0	0
4	0,46	30	1,20882859	2	28	0	0
5	0,95	28	4,03398773	5	23	0	0
6	0,29	23	0,27059549	1	22	0	0
7	0,9	22	3,75635974	4	18	0	0
8	0,87	18	3,60383638	4	14	1	0
9	0,41	14	0,9519922	1	13	0	0
10	0,62	13	2,16039745	3	10	0	0
11	0,26	10	0,06969992	1	9	0	0
12	0,76	9	2,93826501	3	6	0	0
13	0,38	22	0,7719527	1	21	0	0
14	0,99	21	4,29863261	5	16	0	0
15	0,97	16	4,1762625	5	11	1	0
16	0,43	11	1,05852844	2	9	0	0
17	0,82	9	3,32419608	4	5	0	0
18	0,67	5	2,44039869	3	2	0	0
19	0,25	2	0,02140075	1	1	0	0
20	0,96	17	4,0919408	5	12	0	0
21	0,89	12	3,71801889	4	8	1	0
22	0,97	8	4,19840276	5	3	0	0
23	0,58	3	1,9012947	2	1	0	0
24	0,27	1	0,12498174	1	0	0	0
25	0,21	0	-0,2131904	0	0	0	0
26	0,97	16	4,15170228	5	11	0	0
27	0,68	11	2,47672581	3	8	1	0
28	0,34	8	0,57167192	1	7	0	0
29	0,13	7	-0,6429591	0	7	0	0
30	0,68	7	2,51732213	3	4	0	0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la simulación manual. Se puede observar que no se presentan agotados en el periodo de tiempo analizado con la aplicación de la política de inventarios definida.

Tabla 3.3 Resultados Simulación Manual.

Tabla Resumen		
Materiales	Ordenes realizadas	Agotados
45 mm Empaque	2	0
Empaque Interno	4	0
Lija	2	0
Empaque Tapa	2	0
Empaque Capaceta	2	0
Empaque Conmutador	3	0
Bushings	3	0

Fuente: Elaboración propia

Para el sistema se usan de gavetas los vidrios de los medidores de energía eléctrica reciclados por la unidad de negocio, como se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Gavetas.

Fuente: Elaboración propia

Con la aplicación de la política de inventario se espera ahorrar \$5.850,00 anual, como se muestra en la Figura 3.4, el valor se calcula tomando en consideración los retrabajos que deberán de realizar los técnicos para un correcto mantenimiento.

	Proceso Actual	Proceso Propuesto	Diferencia
Costo de agotamiento	\$ 5.850,00	\$ -	\$ 5.850,00

Figura 3.4 Ahorros estimados, por aplicación de política de inventario.

Fuente: Elaboración propia

Célula de manufactura

Como se mencionó en el capítulo 2, se simuló la célula de manufactura con el rediseño del proceso y el proceso actual en el software Pro Model.

Por la escasez de datos, en la simulación se utiliza distribuciones triangulares para los arribos de transformadores, la tasa de arribos mensual de los transformadores en verano sigue una distribución triangular de T (101,134,145), mientras que invierno se incrementa a T (159,166,205).

Los parámetros que se consideraron para la simulación son las condiciones bajo las que opera el taller actualmente, siendo estas: tiempo de corrida de 7 horas por día, 1 montacargas, 4 técnicos, las estaciones de trabajo y algunos de los parámetros pueden ser observados en la Figura 3.5.

La simulación se la replicó 20 veces, las cuales representan los días laborables durante un mes.

En la simulación se presentan 2 tipos de mantenimientos, mantenimientos menores y mayores los cuales fueron descritos en el capítulo anterior en la Tabla 2.28 y 2.29, estos siguen una distribución de probabilidad de 80% - 20% respectivamente.

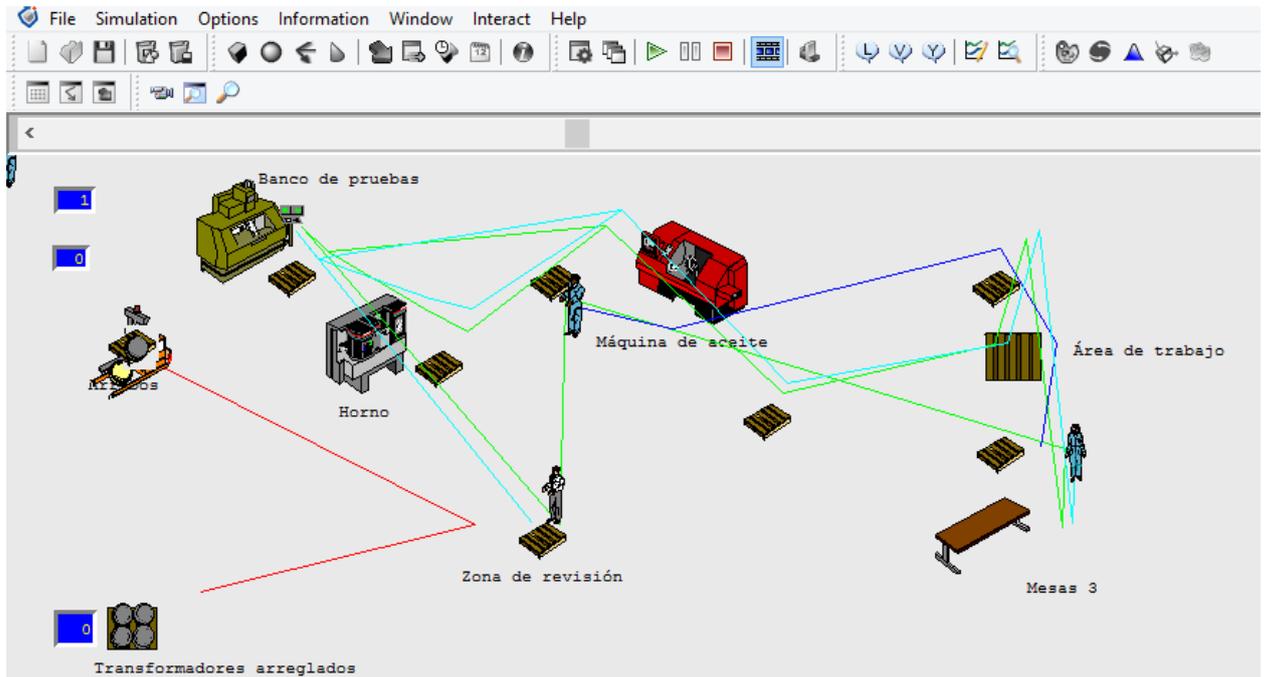


Figura 3.5 Simulación Pro Model.

Fuente: Elaboración propia

Una vez corridas las simulaciones con el proceso actual y con la célula de manufactura tanto en invierno como en verano, se pudo concluir que la célula de manufactura es robusta en invierno y verano debido a que no quedan transformadores por darles mantenimiento al final del día, es decir que puede satisfacer con la demanda diaria durante todo el año, además las horas extras no son necesarias, con lo cual la empresa ahorra \$ 8.755,00 al año como se puede evidenciar en la Tabla 3.5. El tiempo de ciclo disminuye significativamente con la célula de manufactura, en la Tabla 3.4 se puede observar con más detalle lo explicado anteriormente y otros resultados de la simulación en los distintos escenarios.

Tabla 3.4 Resumen Resultados Simulación.

Diario	Parámetros	Proceso Actual	Célula de Manufactura y Rediseño del Proceso
Verano	Arribo de transformadores:	6	6
	Transformadores reparados:	5	6
	Transformadores pendientes:	1	0
	Tiempo de ciclo:	233.38 min	183.64 min
	Tiempo extra requerido:	40 min	0 min
Invierno	Arribo de transformadores:	8	8
	Transformadores reparados:	6	8
	Transformadores pendientes:	2	0
	Tiempo de ciclo:	312.42 min	223.40 min
	Tiempo extra requerido:	214.2 min	0 min

Fuente: Elaboración propia

	Proceso Actual	Proceso Propuesto	Diferencia
Salarios Técnicos (con horas extras)	\$ 53.775,00	\$ 45.000,00	\$ 8.775,00

Tabla 3.5 Ahorros estimados

Fuente: Elaboración propia

Análisis Financiero

Se realiza un flujo de caja considerando los costos y gastos que incurre el taller, mas no sus ingresos, por lo tanto, todos los valores serán negativos. Se analiza un periodo de 5 años, con una tasa de corte del 9%, como se muestran en las Tabla 3.6- 3.8.

Escenario 1

Tabla 3.6 Flujo de caja: Escenario 1

Hipótesis para Cuenta de Resultados	0	1	2	3	4	5
Costos		1	2	3	4	5
Salarios operativos		\$ -92.800,00	\$ -95.584,00	\$ -95.584,00	\$ -95.584,00	\$ -95.584,00
Salarios administrativos		\$ -67.500,00	\$ -69.525,00	\$ -69.525,00	\$ -69.525,00	\$ -69.525,00
Servicios básicos		\$ -4.200,00	\$ -4.326,00	\$ -4.455,78	\$ -4.589,45	\$ -4.727,14
Repuestos		\$ -19.426,56	\$ -20.009,36	\$ -20.009,36	\$ -20.009,36	\$ -20.009,36
Insumos		\$ -5.000,00	\$ -5.150,00	\$ -5.150,00	\$ -5.150,00	\$ -5.150,00
Depreciación		\$ -11.337,76	\$ -11.337,76	\$ -11.337,76	\$ -11.337,76	\$ -11.337,76
Costos totales		\$ -200.264,32	\$ -205.932,12	\$ -206.061,90	\$ -206.195,57	\$ -206.333,26
Balance resumido	0	1	2	3	4	5
Inventario		\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
Activo Fijo (neto)	\$ 325.975,14	\$ 314.637,37	\$ 303.299,61	\$ 291.961,85	\$ 280.624,09	\$ 269.286,33
Activo	\$ 325.975,14	\$ 324.637,37	\$ 313.299,61	\$ 301.961,85	\$ 290.624,09	\$ 279.286,33
FCF	0	1	2	3	4	5
Costo		\$ -200.264,32	\$ -205.932,12	\$ -206.061,90	\$ -206.195,57	\$ -206.333,26
ΔAN	\$ -325.975,14	\$ 1.337,76	\$ 11.337,76	\$ 11.337,76	\$ 11.337,76	\$ 11.337,76
FCF despues de impuestos	\$ -325.975,14	\$ -198.926,56	\$ -194.594,36	\$ -194.724,14	\$ -194.857,81	\$ -194.995,50

Tasa Corte=	9,0%
VAN=	\$ -997.615,96

Fuente: Elaboración propia

Escenario 2

Tabla 3.7 Flujo de caja: Escenario 2

Hipótesis para Cuenta de Resultados	0	1	2	3	4	5
Costos		1	2	3	4	5
Salarios operativos		\$ -92.800,00	\$ -95.584,00	\$ -95.584,00	\$ -95.584,00	\$ -95.584,00
Salarios administrativos		\$ -67.500,00	\$ -69.525,00	\$ -69.525,00	\$ -69.525,00	\$ -69.525,00
Servicios básicos		\$ -4.200,00	\$ -4.326,00	\$ -4.455,78	\$ -4.589,45	\$ -4.727,14
Repuestos		\$ -19.426,56	\$ -20.009,36	\$ -20.009,36	\$ -20.009,36	\$ -20.009,36
Insumos		\$ -5.000,00	\$ -5.150,00	\$ -5.150,00	\$ -5.150,00	\$ -5.150,00
Depreciación		\$ -11.337,76	\$ -11.337,76	\$ -11.337,76	\$ -11.337,76	\$ -11.337,76
Costos totales		\$ -200.264,32	\$ -205.932,12	\$ -206.061,90	\$ -206.195,57	\$ -206.333,26
Balance resumido	0	1	2	3	4	5
Inventario		\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
Activo Fijo (neto)	\$ 325.975,14	\$ 314.637,37	\$ 303.299,61	\$ 291.961,85	\$ 280.624,09	\$ 269.286,33
Activo	\$ 325.975,14	\$ 324.637,37	\$ 313.299,61	\$ 301.961,85	\$ 290.624,09	\$ 279.286,33
FCF	0	1	2	3	4	5
Costo		\$ -200.264,32	\$ -205.932,12	\$ -206.061,90	\$ -206.195,57	\$ -206.333,26
ΔAN	\$ -325.975,14	\$ 1.337,76	\$ 11.337,76	\$ 11.337,76	\$ 11.337,76	\$ 11.337,76
FCF despues de impuestos	\$ -325.975,14	\$ -198.926,56	\$ -194.594,36	\$ -194.724,14	\$ -194.857,81	\$ -194.995,50

Tasa Corte=	9,0%
VAN=	\$ -997.615,96

Fuente: Elaboración propia

Escenario 3

Tabla 3.8 Flujo de caja: Escenario 3

Hipótesis para Cuenta de Resultados	0	1	2	3	4	5	
Pronostico de trafos por reparar		1571	1579	1575	1577	1576	
# transformadores a reparar mayor		314	316	315	315	315	
# transformadores a reparar menor		1.256	1.263	1.260	1.261	1.261	
Costos		1	2	3	4	5	
Costo proveedor reparación mayor	350	\$ -109.935,00	\$ -110.512,50	\$ -110.223,75	\$ -110.368,13	\$ -110.295,94	
Costo proveedor reparación menor	850	\$ -1.067.940,00	\$ -1.073.550,00	\$ -1.070.745,00	\$ -1.072.147,50	\$ -1.071.446,25	
Transporte		\$ 157.050,00	\$ 157.875,00	\$ 157.462,50	\$ 157.668,75	\$ 157.565,63	
Costos totales		\$ -1.020.825,00	\$ -1.026.187,50	\$ -1.023.506,25	\$ -1.024.846,88	\$ -1.024.176,56	
Balance resumido	0	1	2	3	4	5	
Inventario		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Activo Fijo (neto)		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Activo		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
FCF	0	1	2	3	4	5	
Costo		\$ -1.020.825,00	\$ -1.026.187,50	\$ -1.023.506,25	\$ -1.024.846,88	\$ -1.024.176,56	
ΔAN		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
FCF despues de impuestos		\$ -	\$ -1.020.825,00	\$ -1.026.187,50	\$ -1.023.506,25	\$ -1.024.846,88	\$ -1.024.176,56

Tasa Corte=	9,0%
VAN=	\$ -3.653.453,82

Fuente: Elaboración propia

Con el flujo de caja neto para cada uno de los escenarios se calcula el VAN (Valor Actual Neto), que toma en cuenta el valor de oportunidad del dinero, poniendo en el año cero todos los flujos futuros descontando los costos de oportunidad.

Comparación de Resultados del Flujo de Cajas

Tabla 3.9 Comparación de Resultados

Flujo de Cajas	
Escenario 1	Taller desmantelando FVU \$ -997.615,96
Escenario 2	Taller sin desmantelar FVU \$ -1.286.579,84
Escenario 3	Subcontratar \$ -3.653.453,82

Fuente: Elaboración propia

Se selecciona como mejor opción el valor mínimo entre todos los escenarios.

Para los costos cotizados de mantenimientos en la ciudad de Guayaquil, es más conveniente trabajar con un taller propio, en donde se desmantelen los transformadores dados de baja, como se muestra en la Tabla 3.9.

Punto de equilibrio

Bajo los rubros considerados se determina que la demanda anual desde la cual es conveniente trabajar con un taller de mantenimiento es de 437 transformadores, como se presenta en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Punto de Equilibrio

Punto de equilibrio	
Demanda anual	437
VAN	
Taller	\$ -997.615,96
Subcontratar	\$ -997.615,96

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Con la realización del proyecto, mediante implementación o prototipado se logra obtener las siguientes conclusiones:

- Es económicamente factible tener un taller propio de mantenimiento de transformadores en Guayaquil frente a los costos actuales de subcontratación.
- El tiempo de ciclo es menor que el takt time con la aplicación de las soluciones propuestas.
- El desabastecimiento de materiales se reduce con la aplicación de la política de inventario.
- Con la correcta implementación del proyecto los ahorros pueden ser de \$14.625,00 anuales, como se muestra en la Tabla 4.1. Esto representa un 7% de ahorros en el costo unitario de mantenimiento.

Tabla 4.1 Ahorros Totales por Mejoras

	Proceso Actual	Proceso Propuesto	Diferencia
Salarios Técnicos (con horas extras)	\$ 53.775,00	\$ 45.000,00	\$ 8.775,00
Costo de agotamiento	\$ 5.850,00	\$ -	\$ 5.850,00
Total	\$ 59.625,00	\$ 45.000,00	\$ 14.625,00

Fuente: Elaboración propia

- A partir de una demanda de 437 mantenimientos anuales es económicamente factible tener un taller mantenimiento propio.
- La célula de manufactura es robusta debido a que puede manejar demanda variable.

4.2 Recomendaciones

Para la correcta implementación del proyecto se deberán considerar las siguientes recomendaciones:

- Antes de cualquier cambio, el personal deberá de estar correctamente entrenado sobre la implementación de las mejoras.
- Es imperativo un cambio de cultura.
- Los altos mando deberán de apoyar la implementación del proyecto, y estar involucrados en el desarrollo del mismo.

Para proyectos futuros:

- Realizar trabajos para alentar al personal a mejorar la motivación y compromiso en el área de trabajo.
- Realizar análisis de los vapores de aceite con los que trabajan los técnicos para evaluar cómo mejorar las condiciones en las que trabajan y las oportunidades de mejora con respecto a la seguridad. Considerando aspectos como la ventilación del taller y los equipos de protección personal necesarios a utilizar según el grado de toxicidad con los que se trabaja.

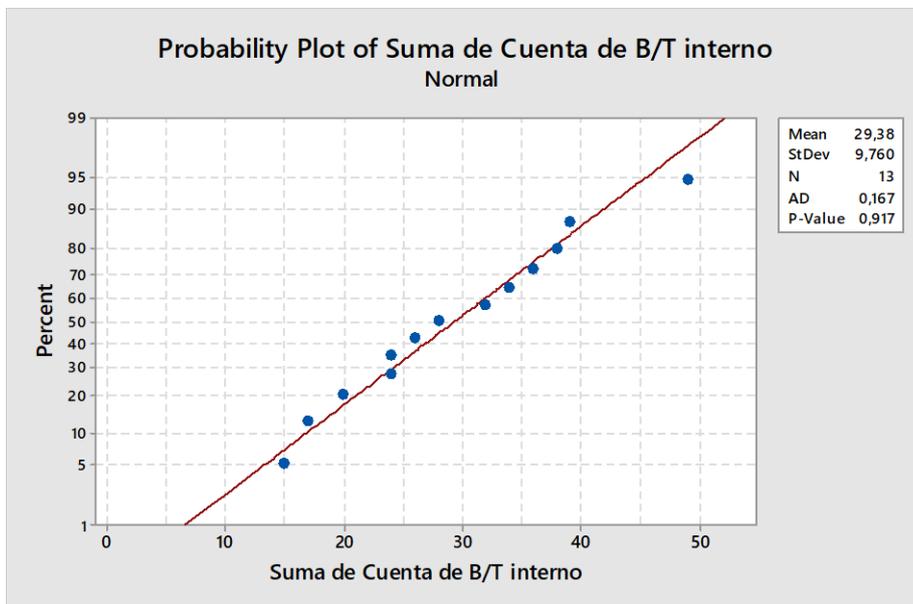
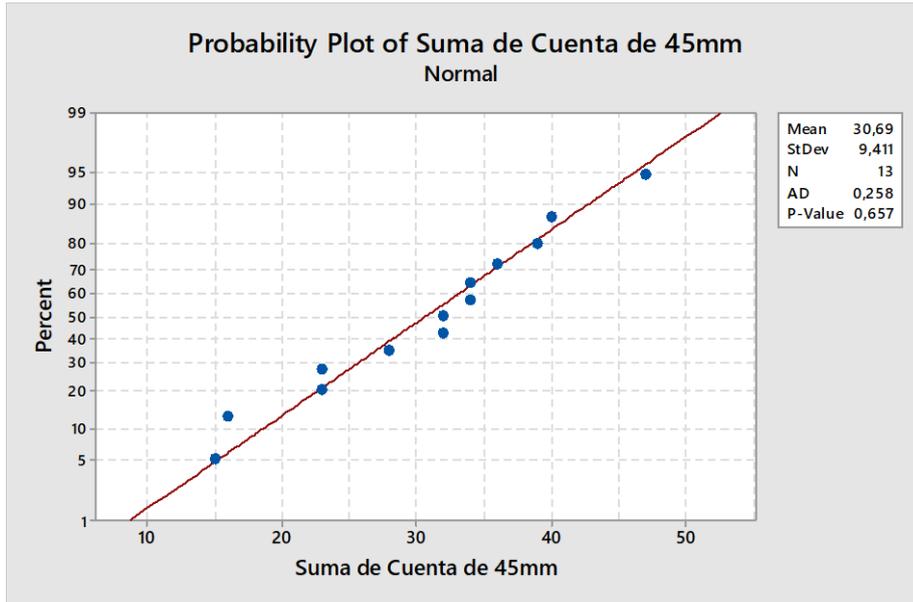
BIBLIOGRAFÍA

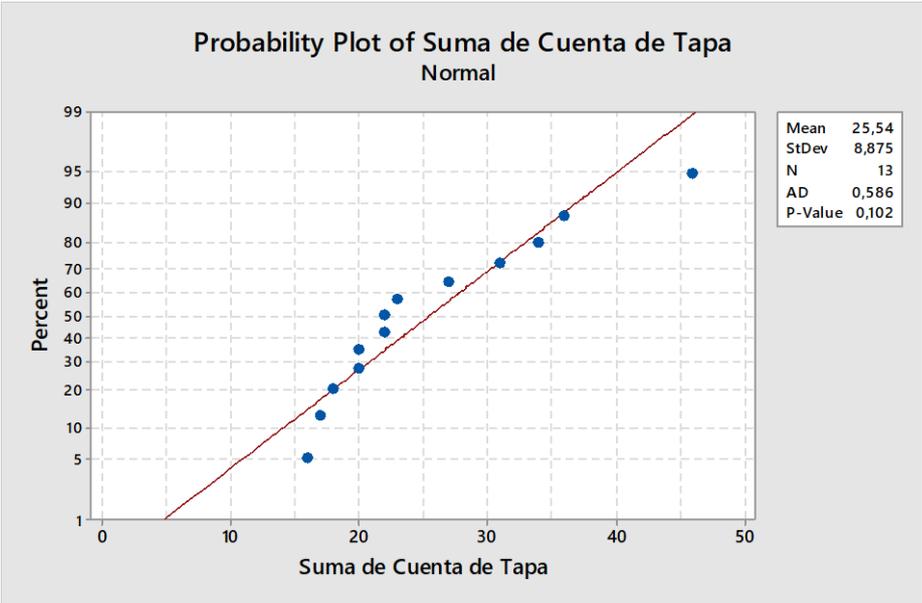
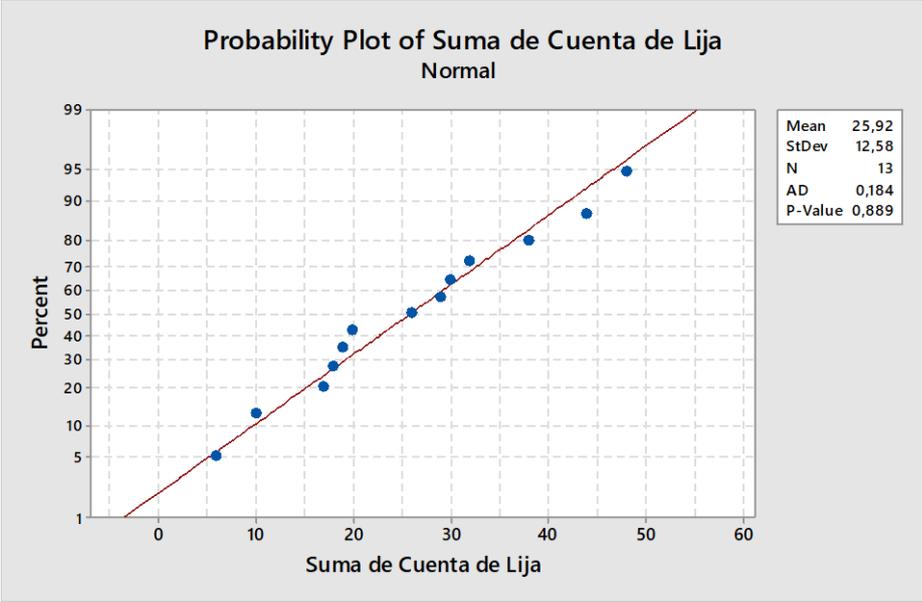
- Calva, R. C. (2013). *Análisis de la Cadena de Valor*.
- Carlos Zambrano, L. F. (2006). *Estudio para el mejoramiento del proceso de mantenimiento menor aplicado a transformadores tipo poste de la empresa ENLEVEN*. Maracaibo: Universidad Rafael Urdaneta.
- Daniela Arango, B. Á. (2012). *Plan de implementación de Six Sigma en el proceso de admisiones de una institución de educación superior*.
- George, M. L. (2003). *Lean Six Sigma for Service*. New York: McGraw-Hill.
- Giyi, D. W. (2005). *Six Sigma for Dummies*. New Jersey: Wiley Publishing, Inc.
- Jared Ocampo, A. P. (2012). *Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim*. Ciudad de Panamá: 10th LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.
- Nicholaas, J. (2011). *LEAN PRODUCTION FOR COMPETITIVE ADVANTAGE*. New York: CRC Press.
- Niebel, B. W. (2009). *Ingeniería Industrial, Métodos, estándares y diseño del trabajo*. C.D. México: Mc Graw-Hill.
- Pulido, H. G. (2005). *Calidad Total y Productividad*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Scarborough, M. (2015). *Using SIPOC to Define ITIL Processes*. Raleigh: Global Knowledge Training LLC.
- Shrivastava, T. N. (2008). *Six Sigma- A new Direction to Quality and Productivity Management*. San Francisco: Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008 .
- T. M. Kubiak, D. W. (2005). *The Certified Six Sigma Black Belt HandBook*. New York: Pearson.

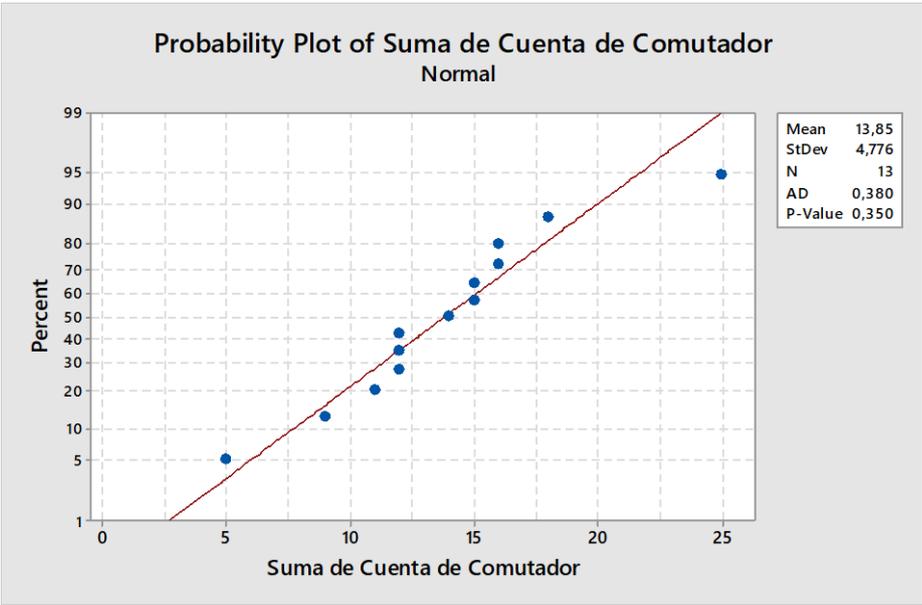
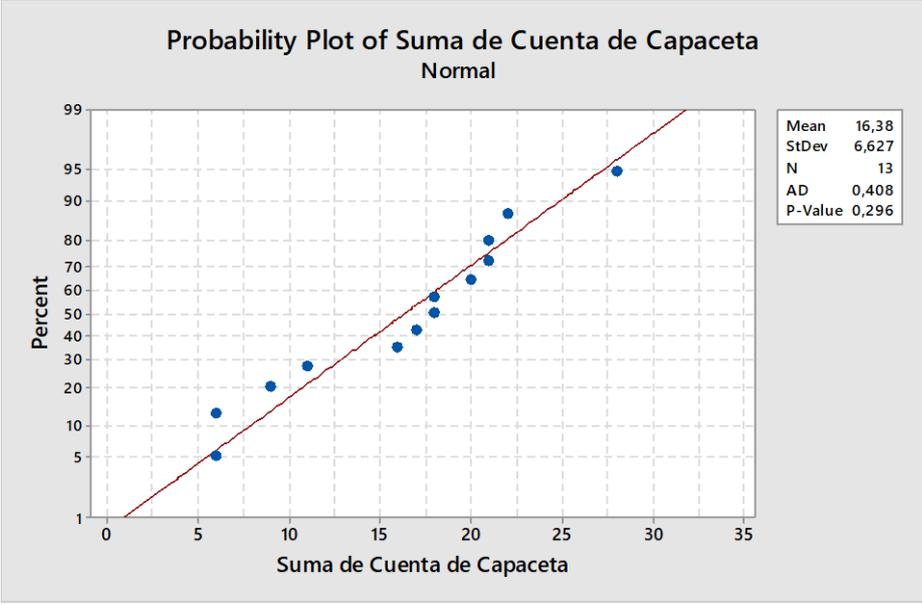
APÉNDICE

APÉNDICE A

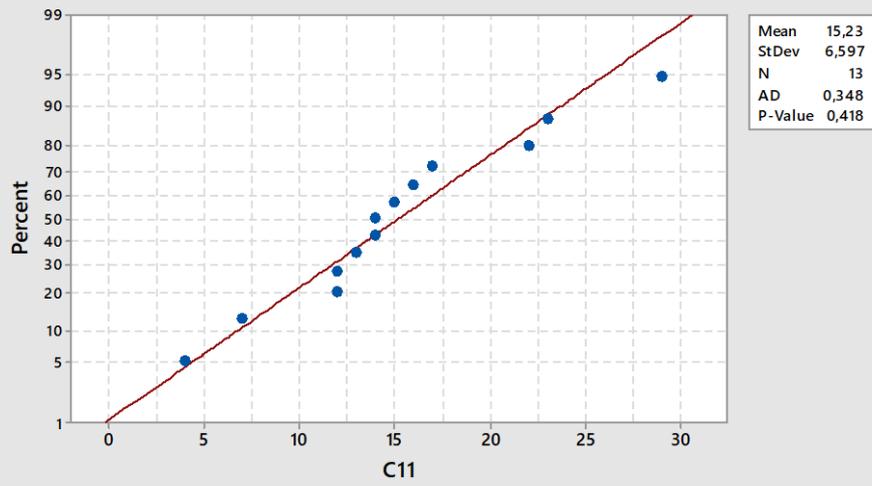
Verificación de distribución normal para el consumo de materiales:







Probability Plot of BUSHINGS
Normal



APÉNDICE B

Combinatoria de mantenimientos realizados en el taller:

Mantenimientos realizados desde Oct 2016- Oct 2017 (50 Kva)												
No:	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado	Mantenimientos								
				AF	ACU	ACN	bar	Bar	bcu	Bc	Dan	Dre
1	102	0.173	0.173				X					
2	52	0.088	0.261				X					X
3	44	0.074	0.335				X		X			
4	38	0.064	0.399				X	X				
5	37	0.063	0.462									X
6	35	0.059	0.521				X		X			X
7	34	0.058	0.579				X				X	
8	22	0.037	0.616						X			
9	22	0.037	0.653				X	X				X
10	16	0.027	0.680				X	X			X	
11	14	0.024	0.704						X			X
12	12	0.020	0.724								X	
13	11	0.019	0.743				X		X		X	
14	9	0.015	0.758					X	X			
15	8	0.014	0.772	X			X	X				
16	8	0.014	0.785				X	X	X			
17	7	0.012	0.797	X			X	X			X	
18	6	0.010	0.807					X				
19	6	0.010	0.817		X				X			
20	6	0.010	0.827	X							X	
21	6	0.010	0.838	X			X				X	
22	6	0.010	0.848						X		X	
23	6	0.010	0.858					X				X
24	6	0.010	0.868				X	X	X			X
25	5	0.008	0.876		X							
26	5	0.008	0.885		X		X	X				
27	5	0.008	0.893		X				X		X	
28	4	0.007	0.900	X			X					
29	3	0.005	0.905		X		X		X			
30	3	0.005	0.910					X			X	
31	3	0.005	0.915	X								X
32	3	0.005	0.920		X		X	X				X
33	2	0.003	0.924		X		X					

Continuación Tabla 35:

34	2	0.003	0.927	X					X			
35	2	0.003	0.931	X			X		X			
36	2	0.003	0.934		X			X	X			
37	2	0.003	0.937						X	X		
38	2	0.003	0.941		X		X		X		X	
39	2	0.003	0.944				X	X	X		X	
40	2	0.003	0.948	X			X	X	X		X	
41	2	0.003	0.951					X	X			X
42	1	0.002	0.953	X								
43	1	0.002	0.954	X	X							
44	1	0.002	0.956			X						
45	1	0.002	0.958	X				X				
46	1	0.002	0.959		X			X				
47	1	0.002	0.961	X	X		X	X				
48	1	0.002	0.963			X	X	X				
49	1	0.002	0.964	X	X				X			
50	1	0.002	0.966			X			X			
51	1	0.002	0.968	X	X		X		X			
52	1	0.002	0.970	X			X	X	X			
53	1	0.002	0.971		X		X	X	X			
54	1	0.002	0.973							X		
55	1	0.002	0.975				X			X		
56	1	0.002	0.976				X		X	X		
57	1	0.002	0.978				X	X	X	X		
58	1	0.002	0.980	X	X						X	
59	1	0.002	0.981						X		X	
60	1	0.002	0.983	X				X			X	
61	1	0.002	0.985	X					X		X	
62	1	0.002	0.986	X			X		X		X	
63	1	0.002	0.988		X		X	X	X		X	
64	1	0.002	0.990				X			X	X	
65	1	0.002	0.992		X							X
66	1	0.002	0.993			X						X
67	1	0.002	0.995	X			X	X				X
68	1	0.002	0.997		X				X			X
69	1	0.002	0.998	X			X		X			X
70	1	0.002	1.000				X	X	X	X		X
	591		1									

Nomenclatura de los mantenimientos realizados a los transformadores.

AF	Aceite filtrado
ACU	Aceite cambiado (usado)
ACN	Aceite cambiado (nuevo)
bar	Bushing de baja tension arreglado
Bar	Bushing de media tensión arreglado
bcu	Bushing de baja tensión cambiado usado
Bc	Bushing de media tensión cambiado usado
Dan	Breaker anulado
Dre	Breaker Reparado