



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA
TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN QUE SUMINISTRAN ENERGÍA A
UNA EDIFICACIÓN Y SUS INSTALACIONES**

Marvin Guillermo González Gutierrez

Asesorado por Mtro. Ing. Daniel Ángel Figueroa García

Guatemala, julio de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA
TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN QUE SUMINISTRAN ENERGÍA A
UNA EDIFICACIÓN Y SUS INSTALACIONES.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARVIN GUILLERMO GONZÁLEZ GUTIERREZ
ASESORADO POR LA MTRO. ING. DANIEL ÁNGEL FIGUEROA GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Jorge Fernando Álvarez Girón
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN QUE SUMINISTRAN ENERGÍA A UNA EDIFICACIÓN Y SUS INSTALACIONES.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 27 de marzo de 2021.

Marvin Guillermo González Gutierrez

Ref. *EEPFI-0450-2021*
Guatemala, 27 de marzo de 2021

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN QUE SUMINISTRAN ENERGÍA A UNA EDIFICACIÓN Y SUS INSTALACIONES**, presentado por el estudiante **Marvin Guillermo González Gutiérrez** carné número **9616353**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes Ingeniería de Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,



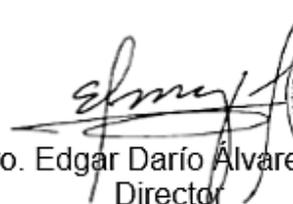
"Id y Enseñad a Todos"

Daniel Angel Figueroa Garcia
Ing. Mecánico Electricista
Colegiado 13087

Mtro. Daniel Angel Figueroa Garcia
Asesor



Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinador de Maestría
Ingeniería de Mantenimiento



Mtro. Edgar Darío Alvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



EEP-EIME-010-2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA TRASFORMADORES ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN QUE SUMINISTRAN ENERGÍA A UNA EDIFICACIÓN Y SUS INSTALACIONES**, presentado por el estudiante universitario **Marvin Guillermo González Gutierrez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director

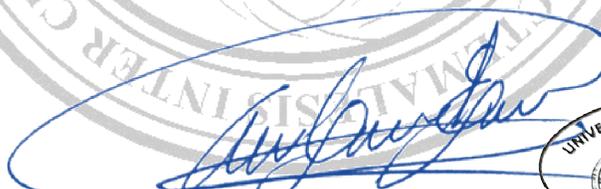
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Guatemala, marzo de 2021

DTG. 303-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN QUE SUMINISTRAN ENERGÍA A UNA EDIFICACIÓN Y SUS INSTALACIONES**, presentado por el estudiante universitario: **Marvin Guillermo González Gutierrez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, julio de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme vida, sabiduría y cuidarme en todo mi caminar en mis estudios.
- Mis padres** Arnulfo González, Juliana Gutierrez (q. d. e. p.), por el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.
- Mis hermanos** Laura, José, María, Luz Elena, Ofelia, Amparo y Arnulfo González Gutierrez, por su apoyo y compañía durante mi vida.
- Mis abuelos** Guillermo González, Encarnación Carrillo, Baldomero Gutierrez y Macedonia Carrillo (q. d. e. p.), por sus sabias enseñanzas y consejos durante toda mi vida.
- Familia y amigos**

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> y prestigiosa institución que me enseñó a luchar por lograr mis objetivos y metas.
Facultad de Ingeniería	Por desarrollar mi carrera profesional en tan digna Facultad.
Coperex	Por ser base fundamental para realizar este diseño de investigación.
Mis amigos	Ing. José Luis Mendóza, Henry Arreaga, Marvin Cano, Edgar Marroquín, por acompañarme en cada etapa de estudio.
Mi asesor	Mtro. Ing. Daniel Ángel Figueroa García, por todo el apoyo brindado.
Familia y amigos en general	

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
7. MARCO TEÓRICO	17
7.1. Mantenimiento	17
7.1.1. Mantenimiento preventivo.....	17
7.1.2. Mantenimiento correctivo	18
7.1.3. Mantenimiento predictivo	18
7.2. Transformadores eléctricos.....	19
7.2.1. Transformadores de distribución convencionales ...	19
7.2.2. Transformador tipo pedestal	21

7.3.	Fallas en los transformadores de distribución.....	22
7.3.1.	Sobrecarga en transformadores	23
7.3.2.	Descargas atmosféricas.....	23
7.3.3.	Falla por factor externo.....	24
7.4.	Pruebas a transformadores de distribución.....	25
7.4.1.	Inspección visual.....	25
7.4.2.	Resistencia óhmica en los devanados	26
7.4.3.	Resistencia de aislamiento.....	26
7.4.4.	Relación de transformación.....	27
7.4.5.	Polaridad y secuencia de fases	28
7.4.6.	Factor de potencia de los aislamientos	29
7.4.7.	Termografía infrarroja.....	29
7.4.8.	Pruebas al aceite del transformador.....	30
7.4.9.	Rigidez dieléctrica del líquido aislante.....	30
7.4.10.	Tensión interfacial.....	31
7.4.11.	Acidez.....	31
7.4.12.	Color	32
7.4.13.	Filtrado y recirculado de aceite al alto vacío	32
7.5.	Plan de Mantenimiento.....	33
7.5.1.	Administración del plan de mantenimiento.....	33
7.5.2.	Necesidades del plan de mantenimiento	34
7.5.3.	Programa específico de mantenimiento.....	34
7.5.4.	Recomendaciones para la inspección y mantenimiento de transformadores.....	35
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	37
9.	METODOLOGÍA.....	39
9.1.	Ruta de Investigación	39

9.2.	Alcance de investigación.....	39
9.3.	Tipo de Investigación.....	39
9.4.	Variables	40
9.5.	Fases de Investigación.....	40
9.6.	Población y muestra	41
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	43
11.	CRONOGRAMA.....	45
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	47
13.	REFERENCIAS.....	49
14.	APÉNDICES.....	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	14
2.	Transformador convencional	20
3.	Transformador tipo pedestal	22
4.	Cronograma de actividades	45

TABLAS

I.	Operativización de variables	40
II.	Presupuesto de la investigación.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cm	Centímetro.
Kwh	Kilovatio-hora. Unidad de medida de energía eléctrica
Kva	Kilovolt amperio. Unidad de medida de potencia aparente.
P	Potencia eléctrica.
R	Resistencia eléctrica Ohm Ω .
dyna	Unidad de fuerza del sistema cegesimal.
A	Unidad de medida de intensidad amperio.
V	Unidad de medida de la tensión voltaje.
W	Watt. Unidad de medida de potencia eléctrica.

GLOSARIO

Analizar	Examinar detalladamente una cosa, separando o considerando por separado sus partes, para conocer sus características o cualidades o su estado y extraer conclusiones.
Confiabilidad	Buena funcionalidad de la maquinaria y equipo dentro de la industria en definitiva, el grado de confianza que proporcione a un planta.
Crítico	Elemento que presenta un riesgo inaceptable.
Falla	Error o imperfección que provoca que una cosa, en especial un mecanismo o un aparato, funcione mal.
Mantenimiento	Conservación de un equipo en buen estado o en una situación determinada para evitar su degradación.
Óptimo	Que es extraordinariamente bueno o el mejor, especialmente en lo que se refiere a las condiciones o características de un equipo.

Restaurar	Se denomina la acción y efecto de reparar, recuperar, recobrar, volver a poner algo en el estado primitivo.
Sobretensión	Aumento de voltaje por encima de los valores establecidos como máximos entre dos puntos de un circuito o instalación eléctrica.
Suministro	Acto y consecuencia de suministrar (es decir, proveer a alguien de algo que requiere).
TTR	Transformer turn ratio. Equipo de medición de relación de transformación en transformadores.

RESUMEN

Las instalaciones de la edificación donde se realizan eventos se deben contar con un sistema de mantenimiento que tenga la capacidad de realizar distintos tipos de pruebas a los transformadores de distribución para reducir las fallas operativas de los equipos y áreas de trabajo. El propósito del presente estudio es desarrollar una propuesta de mantenimiento que a través de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo se puedan evitar grandes pérdidas económicas y humanas manteniendo un sistema de distribución de energía estable.

Las instalaciones están conformadas por salones que son utilizados para la realización de eventos feriales, exposiciones industriales, eventos de animación, conciertos, bodas, cumpleaños y todo tipo de evento nacional e internacional, es de suma importancia tomar en cuenta que estas instalaciones son utilizadas como centro de atención ante catástrofes como terremotos.

El objetivo de las pruebas a transformadores se utilizarán como herramientas para ayudar a identificar y resolver problemas de equipos críticos en instalaciones eléctricas.

El problema central en la edificación y sus instalaciones es no contar con un plan de mantenimiento en los transformadores que distribuyen energía a cada salón por lo cual la propuesta del diseño de investigación tendrá como objetivo solucionar este problema.

En otras palabras, la propuesta del plan de mantenimiento es para reducir las fallas en los transformadores de distribución de energía eléctrica, se pretende incrementar la eficiencia general de los equipos por medio de un sistema para el control y optimización de los parámetros.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los años y en algunos casos todavía se piensa que el mantenimiento a transformadores eléctricos de distribución no es una opción viable debido a que el riesgo de falla es tomado como bajo, sin embargo es necesario tomar en cuenta que cuando este equipo tiene una falla desecadea una serie de problemas muy perjudiciales que van desde el paro de producción en la industria, equipos electrónicos o maquinaria fuera de servicio, daños a las instalaciones y a las personas y un costo muy elevado de recuperación durante el tiempo que debe ser reparada la falla, de allí cobra relevancia el presente estudio de investigación definido como la propuesta de un plan de mantenimiento para transformadores eléctricos de distribución que suministran energía a una edificación y sus instalaciones.

Las instalaciones están conformadas por salones que son utilizados para la realización de eventos feriales, exposiciones industriales, eventos de animación, conciertos, bodas, cumpleaños y todo tipo de evento nacional e internacional, es de suma importancia tomar en cuenta que estas instalaciones son utilizadas como centro de atención ante catástrofes como terremotos y también como hospital temporal como la actual pandemia de Covid 19 es de vital importancia de que el suministro eléctrico sea disponible en todo momento y confiable para la seguridad del medio ambiente y lo más importante la seguridad de las personas y clientes.

La investigación está distribuida en cuatro capítulos de la siguiente manera:

Capítulo I. Marco teórico, en este apartado están los estudios previos y se definen las bases teóricas que fundamentan la presente investigación, contiene temas relacionados a los transformadores de distribución tomando en cuenta los tipos de fallas, las pruebas a los equipos, pruebas del aceite, y también y la propuesta de mantenimiento que se ajusta a los objetivos a cumplir.

Capitulo II. Desarrollo de la investigación, contiene la metodología que se utilizada en el desarrollo de la investigación mediciones eléctricas, pruebas y todo el análisis a los equipos.

En el capítulo III. Se presentarán los resultados de la investigación.

En el capítulo IV. Comprenderá la discusión de los resultados.

2. ANTECEDENTES

Albarado (2017) dice que el mantenimiento se define como la función empresarial en la cual se supervisa el control del estado de las instalaciones de todo tipo, tanto las productivas como las auxiliares y de servicios. En ese sentido se puede decir que el mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo. En conclusión, el mantenimiento es aplicable a todo tipo de equipo que se busca sea confiable en su utilización y conservarlo en su forma de operación a un coste mínimo. El aporte práctico se da cuando el mantenimiento no da la guía de las acciones necesarias a aplicar al equipo, instalaciones o servicios para mantenerlo a un funcionamiento óptimo.

Castillo (2017) parte de lo importante es contar con puestos de trabajo e instalaciones que deben estar en óptimas condiciones para evitar lo más posible que los colaboradores tengan inconformidades o malestares al desempeñar sus labores, o bien, los mismos visitantes al encontrarse con un ambiente tenso. Al contrario, es importante que disfruten de condiciones confortables y adecuadas para las tareas que se desarrollan, es por esto que los equipos deben trabajar siempre en condiciones óptimas y sobre un plan de gestión de mantenimiento, el cual debe ser de calidad y bajo estándares que permitan minimizar interrupciones y fallas que dificulten o incomoden la realización de las tareas. En conclusión para evitar inconformidades tanto en las áreas de trabajo como en los servicios a prestar a los clientes es imperativamente contar con equipos que funcionen correctamente. El aporte práctico es conocer la gestión de mantenimiento con estándares de calidad que nos permitan que los equipos funcionen correctamente.

Gandur (2017) indica nuevas técnicas que ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento, muchos de ellos desarrollados durante los últimos veinte años, los nuevos desarrollos incluyen herramientas de soporte para la toma de decisiones, tales como el estudio de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE) y sistemas expertos. De igual manera se pueden encontrar nuevos métodos de mantenimiento, como el monitoreo por condición.

El mantenimiento ha ido innovando día con día utilizando nuevas técnicas y métodos, el aporte práctico se demuestra que la innovación del mantenimiento continua con nuevas herramientas cada una con diferentes características de aplicación según el área de trabajo, maquinaria o equipo a en el cual se aplique.

Martínez (2008) dice que los ensayos físicos y químicos proporcionan la información relativa a la calidad el aceite, indicando sus condiciones químicas, mecánicas y eléctricas, así como dan una proyección de los efectos que ésta pueda aportar al sistema de aislamiento. Un estudio de aceite de transformadores nos da como resultado ensayos de pruebas que nos indican el estado del aislamiento. El aporte práctico es como obtener la información de la calidad del aceite con base en los ensayos físicos y químicos en un estudio aplicado y ordenado.

Dardon (2008) también indica que la vida útil de los transformadores depende fundamentalmente de la correcta instalación, adecuada selección, condiciones controladas de operación y mantenimiento. Toda herramienta que ayude a mantener condiciones ideales es válida, porque complementa otro tipo de servicios. La vida útil de los transformadores depende de la selección correcta y el estar en constante control de operación y mantenimiento. El aporte práctico

es que las técnicas combinadas de correcta instalación diseño y mantenimiento darán como resultado mantener la vida útil del equipo durante su operación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se describe la información respecto a la descripción y delimitación del problema definiendo las causas que ocasionan fallos en el suministro eléctrico y la necesidad de un plan de mantenimiento.

La investigación presenta la propuesta de un plan de mantenimiento a transformadores de distribución para minimizar las fallas, evitar peligros a las personas y equipos de las instalaciones.

- Descripción y delimitación del problema.

En una edificación que en sus instalaciones contiene salones de exposiciones ubicado en la ciudad capital de Guatemala los cuales se dedican al arrendamiento de las áreas para la realización de eventos y ferias nacionales e internacionales, han acontecido fallos en los transformadores eléctricos de distribución, los cuales han producido suspensiones del servicio eléctrico al momento de realizarse las distintas actividades y eventos, estos inconvenientes ha generado reclamo de los clientes, la carencia de un plan de mantenimiento ha provocado grandes problemas esto sucede desde el año 2015.

El problema de fallos en cualquier momento del suministro eléctrico se debe a que no existe un plan de mantenimiento para los transformadores eléctricos de distribución, el interior del salón al momento de una falla se mantiene sin iluminación más las desactivaciones repentinas acompañado de la alta posibilidad de que algunos dispositivos sufran daños por sobre voltajes o pérdida

de alguna fase, da como resultado afectar al cliente el cual se queja de un mal servicio de suministro de energía.

Se requiere conservar y repotenciar el área de un estándar requerido de operación y por lo tanto de servicio de los transformadores eléctricos de distribución, la creación de un plan de mantenimiento dará como resultado maximizar el servicio, búsqueda de confiabilidad y disponibilidad del sistema eléctrico y reducir las fallas repentinas.

- Pregunta central

¿Qué plan de mantenimiento permite que los transformadores eléctricos de distribución funcionen correctamente dentro de las instalaciones de la edificación?

- Preguntas auxiliares de investigación

- ¿En cuáles parámetros y condiciones de operación se encuentran a la fecha de investigación los transformadores eléctricos de distribución de la edificación y sus instalaciones?
- ¿Cuáles son las condiciones de operación en los que debe de trabajar los transformadores eléctricos de distribución?
- ¿Cuáles son los métodos adecuados para realizar un plan de mantenimiento para los transformadores eléctricos de distribución de la edificación y sus instalaciones.

4. JUSTIFICACIÓN

Los transformadores eléctricos de distribución son muy importantes debido a que el servicio de la electricidad es un servicio básico que no puede faltar en cualquier industria, edificación y áreas de trabajo de cualquier índole.

La presente investigación está enfocada en proponer un plan de mantenimiento de los transformadores de distribución que suministran energía eléctrica en una edificación y sus instalaciones, la cual se dedica al arrendamiento de salones para la realización de distintos eventos.

La realización de esta investigación es importante para la empresa debido a que el suministro de energía eléctrica en un área de arrendamiento es parte muy importante y es uno de los principales servicios que debe estar siempre disponible, para las distintas operaciones y es parte fundamental para los clientes que la energía suministrada debe ser estable, continuo y sin fallas.

Es muy importante resaltar que las instalaciones en momentos difíciles en la sociedad guatemalteca como terremotos o pandemias son de utilización para el servicio de la comunidad donde el resguardar la vida de la población es fundamental por tanto el servicio eléctrico debe ser confiable.

Este estudio es de vital importancia puesto que se pretende realizar un modelo de mantenimiento con el que se garantice la continuidad del suministro del servicio eléctrico, a través de determinar tareas específicas y diseñar estrategias de mantenimiento para transformadores eléctricos de distribución.

La necesidad de la elaboración de este trabajo es debido a que no existe un plan de mantenimiento definido en la empresa lo cual ha creado grandes pérdidas al momento de existir una falla en los transformadores, el interés personal de desarrollar el presente trabajo es de garantizar la calidad de la energía eléctrica suministrada a cada uno de los usuarios que arriendan los servicios de la empresa.

Del presente trabajo se podrá beneficiar el personal de mantenimiento que no tendrá inconvenientes serios de pérdida de electricidad por fallas de los transformadores de distribución, la empresa por prestar un servicio continuo confiable y de calidad, cualquier usuario de energía eléctrica; así como también, empresas que presten el servicio de electricidad que cuenten con un modelo de mantenimiento que necesite mejorar su sistema de mantenimiento.

El aporte que el presente trabajo representa para la industria guatemalteca es prolongar la vida útil de los transformadores eléctricos de distribución y asegurar el correcto funcionamiento a partir de procedimientos de mantenimiento que apliquen la normativa vigente y garantizar la seguridad de los usuarios y su patrimonio.

5. OBJETIVOS

Objetivo general

Establecer un plan de mantenimiento para los transformadores eléctricos de distribución para que funcionen correctamente dentro de las instalaciones de la edificación.

Objetivos específicos

- Identificar los parámetros y condiciones de operación de los transformadores eléctricos de distribución de la edificación y sus instalaciones.
- Enlistar parámetros de operación en los que deben de trabajar los transformadores eléctricos de distribución.
- Definir la metodología adecuada para realizar un plan de mantenimiento para los transformadores eléctricos de distribución de la edificación y sus instalaciones.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La necesidad de elaboración de esta investigación es la de mantener el servicio eléctrico continuo minimizando fallas en transformadores de distribución que suministran energía a la edificación y sus instalaciones, esto debido a que no existe un plan de mantenimiento dentro de la empresa y al momento de que ocurren fallas se da la pérdida en el suministro de energía eléctrica y este es difícil recuperarlo creando pérdidas económicas para los clientes.

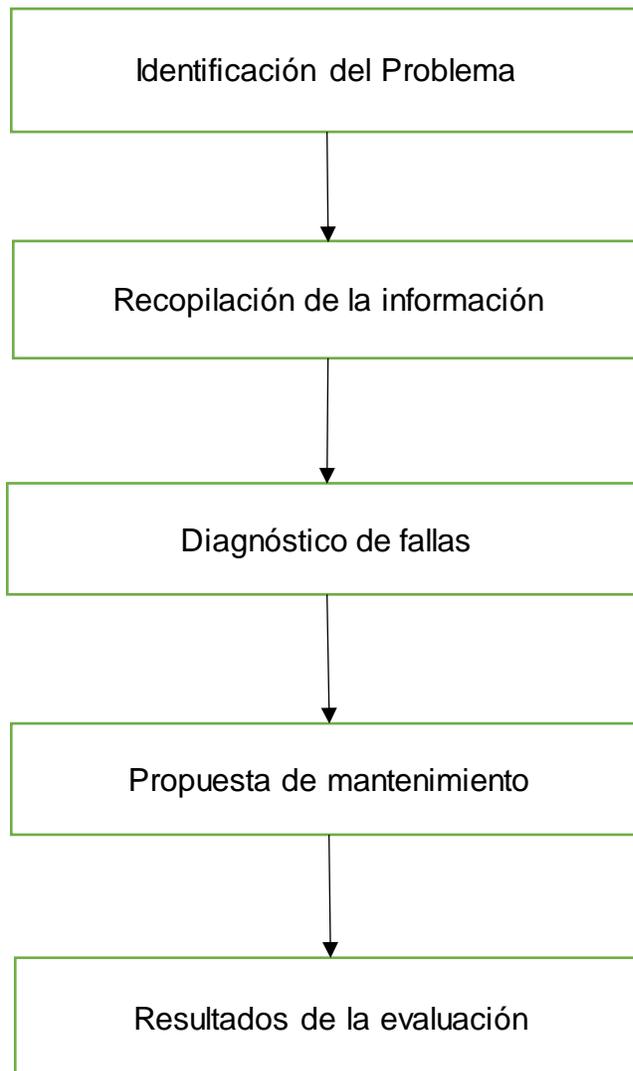
Las fallas en los transformadores de distribución al momento de realizar un evento de exposición generan varias consecuencias entre ellas:

- Pérdida del servicio eléctrico y paro total del evento lo cual genera pérdidas económicas para el cliente y para la empresa.
- Si en el evento existe ventas de producto refrigerado, este se descompondría fácilmente al no tener servicio eléctrico.
- Problemas en los equipos de sonido o aparatos instalados en momento de la realización del evento.
- Demandas por pérdidas graves e irreparables si el evento es en horario nocturno y existe falta de iluminación.

La investigación cobra relevancia al momento de proponer el mantenimiento teniendo los beneficios siguientes: alargar la vida útil, aumentar la disponibilidad, reducir los gastos de reparaciones inesperadas y compra de

nuevos transformadores y evitar demandas por contratos de servicios no cumplidos.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

Como parte inicial se identificará el problema en los transformadores eléctricos de distribución realizado a través de la recopilación de datos o fallas documentales ocurridas y que han creado los problemas e inconvenientes dentro de las edificaciones y sus instalaciones.

Luego se realizará el diagnóstico de fallas más recurrentes y cómo a través del plan de mantenimiento estas sean anuladas antes de causar un daño en los transformadores eléctricos de distribución, para lograr los resultados de obtener mayor disponibilidad en el servicio eléctrico.

7. MARCO TEÓRICO

En este apartado se mostrará la información recopilada referente a los conceptos de transformadores eléctricos de distribución, fallas comunes, tipos de transformadores y las distintas pruebas que se realizan al momento de realizar un mantenimiento.

7.1. Mantenimiento

El mantenimiento se define como la función empresarial en la cual se supervisa el control del estado de las instalaciones de todo tipo, tanto las productivas como las auxiliares y de servicios. “En ese sentido se puede decir que el mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo” (Albarado, 2017, p.24).

Garantizar el funcionamiento de todo tipo de instalación a través de supervisar los parámetros nominales de operación, el mantenimiento es la base de la correcta realización del conjunto de acciones detalladas para su buen funcionamiento.

7.1.1. Mantenimiento preventivo

Es la acción que se realiza con el propósito de anticiparse a los posibles deterioros que pueden producirse. Se entiende también como la conservación, principalmente de las instalaciones y equipo que de otro modo bajarían sensiblemente su rendimiento. (Santacruz, 2014, p.42)

El mantenimiento preventivo es muy importante para la conservación de los equipos cuando se realiza la acción de anticiparse antes de que ocurra una falla y esto dará como resultado tener un equipo confiable.

7.1.2. Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento no requiere de una planificación sistemática y se pone en práctica en el momento que los equipos presenta un fallo, es decir el mantenimiento se reduce a la reparación del equipo o maquinaria produciendo un paro en el proceso de fabricación y disminuyendo la producción, por lo que su aplicación corresponde a equipos de bajo nivel de criticidad y que no estén directamente relacionados con la producción (Cansino y Lucero, 2015).

El mantenimiento correctivo se realiza a cualquier equipos que tenga una variación en sus parámetros nominales de funcionamiento, debido a que siempre ocurre una falla sin ser programada y debe repararse sin afectar la producción.

7.1.3. Mantenimiento predictivo

El principio del mantenimiento predictivo se basa en establecer los procedimientos y acciones necesarias para que la intervención de la máquina se realice únicamente cuando las mediciones indican que es necesario. Definiremos el monitoreo de condición de a máquina como el control del funcionamiento y el análisis de las mediciones obtenidas tendientes a detectar fallas incipientes o deterioro. Ayuda a diagnosticar los fallos y a predecir cuánto tiempo podría funcionar una máquina en forma segura (Girón, 2019).

Un equipo antes de fallar presenta diferentes variaciones en sus características interna y externas que se logran verificar en su funcionamiento

con la ayuda de equipos de medición, por lo cual el mantenimiento predictivo indica los cambios en los parámetros para poder detectar las fallas.

7.2. Transformadores eléctricos

Es el principal elemento dentro de una subestación eléctrica porque es el encargado de alimentar la carga total de la industria o proyecto correspondiente, es decir nos permite manejar los voltajes a niveles de utilización adecuados según sean los requerimientos de la instalación, este dispositivo se encarga de transferir energía eléctrica de un circuito a otro sin alterar la frecuencia, trabaja mediante el principio de la inducción electromagnética, dependiendo su tipo, tiene circuitos eléctricos que están eslabonados magnéticamente y aislados eléctricamente, en su forma más simple, un transformador consiste en dos devanados conductores que se ejercen inducción mutua (Villanueva, 2017).

Para el suministro de servicio eléctrico se necesita reducir el voltaje de la línea de transmisión (13.8 KV) a un voltaje que pueda ser utilizado por los usuarios (240/120 V). y uno de los elementos principales para realizar esta operación es el transformador de distribución de energía eléctrica.

7.2.1. Transformadores de distribución convencionales

Estos transformadores son del tipo autoenfriados y casi siempre sumergido en aceite. Están continuamente operando, ya sea que se tome o no corriente de carga de los devanados secundarios; las pérdidas en el hierro corresponderán a ser menores en relación con las pérdidas en el cobre a plena carga de las que serían necesarias en transformadores de potencia. Es decir, estos transformadores son diseñados para que tengan una buena eficiencia que cubra todo el día y no solo a plena a carga (Correa,2014).

Una de las propiedades del transformador convencional es la continuidad de operación por lo tanto es necesario un buen mantenimiento para lograr la confiabilidad del servicio eléctrico y prolongar la vida útil del transformador.

En la siguiente figura se muestra un transformador convencional de una capacidad de 75 Kva y un voltaje de 240/120 V.

Figura 2. **Transformador convencional**



Fuente: [Fotografía de Anderson Correa]. (Universidad Tecnológica de Pereira. 2014).

7.2.2. Transformador tipo pedestal

La subestación pedestal o *Pad Mounted* (tipo jardín) puede ser utilizada a la intemperie o al interior de edificios, ofrecen seguridad para ser instalada en lugares en que existe paso de personas como en parques o avenidas.

Se deben instalar sobre pedestal los transformadores con capacidad superior a 250 Kva o 800 kg de peso, en casos en los cuales no es posible la construcción de subestaciones aéreas o cuando no existe disponibilidad de espacios para la instalación de una subestación de patio o capsulada (Albarado, 2017).

Este tipo de transformador puede ser ubicado en un lugar estratégico, donde no afecte el tránsito de personas donde existen ferias y todo tipo de eventos, centros comerciales, universidades, y lugares a la intemperie, siendo parte fundamental en el servicio eléctrico de esta instalación donde circulan y concurren muchas personas.

En la siguiente figura se muestra un transformador tipo pedestal utilizado normalmente en jardines.

Figura 3. Transformador tipo pedestal



Fuente: [Fotografía de Natalia Enriquez Salazar]. (Universidad de Costa Rica. 2009).

7.3. Fallas en los transformadores de distribución

Existen varias características de fallas en los transformadores de distribución, la forma y el área de instalación también cuenta.

Como indica Montoya y Giraldo (2014) una causa de fallo es el desnivel de las unidades y la insuficiente fuerza para soportar el peso del transformador. Otro factor de fallo es la inclinación de la unidad a más de 15 grados, lo que produce desviaciones en el nivel de aceite cerca de los *bushings* de baja, dispositivos de escape, u otros accesorios ubicados específicamente en o cerca del nivel del líquido de 25 °C.

Un transformador instalado con un desnivel genera en el transcurrir del tiempo fallos perjudiciales que repercuten en paros de producción y por consecuencia daños fatales para las industrias.

7.3.1. Sobrecarga en transformadores

La sobrecarga en los transformadores de distribución, sucede al momento de sobrepasarse el valor de la potencia nominal exhibido en la placa característica, ya sea por una carga adicional o un mal dimensionamiento por suplir la demanda requerida. Otra causa que conllevan al fenómeno de la sobrecarga, es debido a la temperatura ambiental no adecuada para el cual fue diseñado el transformador.

En el momento de que el transformador falla, debido a la sobrecarga, se ven comprometidos los componentes internos del mismo, llevando así, la misma disminución de su vida útil (Montoya y Giraldo, 2014).

La falta de un control en las conexiones eléctricas genera un incremento de carga lo cual sobrepasará el límite al cual el transformador fue diseñado, sumado a un desbalance en las fases, genera una sobrecarga en los transformadores que puede ser saturado en su capacidad y fallar en cualquier momento.

7.3.2. Descargas atmosféricas

En el instante de que una descarga atmosférica, impacta sobre el tendido eléctrico bien sea de transmisión, subtransmisión, distribución o cualquier componente del sistema de energía eléctrica, se crea un campo electromagnético, alterando los valores de tensión, corriente y por ende la potencia dentro del sistema a valores anormales. Este campo electromagnético se expande a lo ancho del tendido eléctrico, afectando todos los componentes instalados en este mismo.

Entre los componentes instalados dentro del tendido eléctrico se encuentra el transformador de distribución, que de no contar con las protecciones pertinentes (DPS, Puesta a Tierra), en el momento de una sobretensión puede sufrir daños severos en el mismo (Montoya y Giraldo, 2014).

Regularmente en Guatemala la temporada lluviosa dura de mayo a octubre de cada año. Durante esta temporada es cuando existe mayor cantidad de descargas atmosféricas y al impactar sobre una línea de transmisión genera sobretensiones sobre el transformador de distribución el cual también afecta la carga es necesario tener buenas protecciones sobre los equipos instalados y un buen aterrizaje.

7.3.3. Falla por factor externo

Dentro de estos fallos se encuentran los ocasionados por animales (cuando anidan, cuando generan arcos eléctricos al momento de emprender el vuelo una vez que están posados en los equipos). Daños ocasionados por personas maliciosas (Estroconi y Tamoy 2010).

Una de las fallas más comunes es cuando las aves se posan sobre el transformador creando un corto circuito generando un puente entre una de las fases y el transformador, quemando los fusibles. Existen también en lugares cerca de árboles otro tipo de animales como las ardillas que también crean inconvenientes.

7.4. Pruebas a transformadores de distribución

Un transformador es probado para verificarse hasta dónde es posible, de que ha sido adecuadamente diseñado y construido a fin de soportar la carga homologa, mientras que al mismo tiempo resista todas las situaciones peligrosas a que debe esperarse a que este expuesto en operación durante veinte años o más (Alarcon, 2003).

Todo equipo eléctrico para verificar su correcta funcionalidad debe ser sometido a una serie de pruebas y los transformadores de distribución no son la excepción, por tanto, estas deben realizarse en forma periódica para que el equipo sea confiable.

7.4.1. Inspección visual

Hay subestaciones donde la contaminación y humedad es excesiva lo que genera oxidación y un deterioro en la pintura. Con la inspección física también se busca detectar en los aisladores, rajaduras o bordes desportilladas, al igual que contactos sueltos conectores desgastados (Albarado, 2017).

Existen problemas exteriores y también interiores en los transformadores que con la técnica de la inspección visual se pueden detectar, como una fuga de aceite o un pararrayos de protección que genera chispas que dan un indicador de corregir las fallas antes de que estas generen imprevistos en los momentos menos indicados.

7.4.2. Resistencia óhmica en los devanados

Esta prueba es utilizada para conocer el valor de la resistencia óhmica de los devanados de un transformador. Es auxiliar para conocer el valor de pérdidas en el cobre (I^2R) y detectar falsos contactos en conexiones de boquillas, cambiadores de derivaciones, soldaduras deficientes y hasta alguna falla incipiente de los devanados. (Alcalá, García y Hernández, 2010).

Los falsos contactos en los dispositivos de conexión pueden provocar grandes daños en la operación del transformador debido al incremento de corriente y el calentamiento en los devanados.

“La corriente empleada en la medición no debe exceder el 15 % del valor nominal del devanado, ya que con valores mayores pueden obtenerse resultados inexactos causados por variación en la resistencia debido a calentamiento del devanado” (Alcalá *et. al.*, 2010, p.81).

Seguir el procedimiento adecuado dará resultados exactos pero una variación en la corriente empleada registrara datos inexactos que serán perjudiciales para los devanados del transformador.

7.4.3. Resistencia de aislamiento

La medición de la resistencia de aislamiento sirve para determinar el estado en que se encuentran los aislamientos, y con base en esto, decidir si están en condiciones de soportar los esfuerzos dieléctricos originados al aplicar tensiones en prueba o trabajo (Rincón y Tovar, 2007).

Los esfuerzos dieléctricos más comunes son los formados por sistemas electrónicos que realizan cambios en la forma de onda del sistema eléctrico debido a ello es necesario revisar la prueba de resistencia de aislamiento en los transformadores como parte del mantenimiento.

“El obtener valores bajos no indica en forma decisiva que el aislamiento sea deficiente (en su diseño o aplicación), sino que hay suciedad o humedad en los aislamientos y por ende limita la operación correcta del equipo” (Rincón y Tovar, 2007, p.13).

La humedad, como en cualquier equipo expuesto a la intemperie en las subestaciones aéreas, puede limitar la operación de los transformadores por lo cual es necesaria la revisión de empaques de la cuba.

7.4.4. Relación de transformación

La relación de transformación es el número de vueltas que lleva el devanado de alta tensión contra el número de vueltas del devanado de baja tensión. Para los transformadores que tienen cambiador de derivaciones (*tap's*) para cambiar su relación de voltaje la relación de transformación se basa en la comparación entre el voltaje nominal de referencia del devanado respectivo contra el voltaje de operación o porcentaje de voltaje nominal al cual está referido. La relación de transformación de estos transformadores se deberá determinar para todos los *taps* y para todo el devanado. Tomando un criterio de evaluación, la tolerancia para la relación de transformación medida cuando el transformador está sin carga debe ser de $\pm 0.5\%$ en todas sus derivaciones (Martínez, 2008).

La graduación de los *taps* es bastante importante para determinar el voltaje de operación requerido, por tanto la prueba de relación de transformación es

sumamente importante en el mantenimiento de los transformadores de distribución.

Para efectuar esta prueba se utiliza un probador de relación de transformación manual, pudiéndose utilizar también y con mejores resultados un equipo con transformador auxiliar. A la fecha ya existen equipos TTR digitales y ya no se requiere el auxiliar ya que se pueden medir relaciones de transformación muy altas (Covarrubias 2013).

La tecnología ha avanzado y un equipo TTR digital es uno de prueba totalmente automático especialmente diseñado para medir la relación de transformación con una mayor exactitud.

7.4.5. Polaridad y secuencia de fases

Esta prueba se aplica principalmente para la conexión de bancos de transformadores en paralelo, ya que con ella se verifica la correcta relación de fases entre los devanados. Permite identificar las terminales que tienen la misma polaridad y si el diagrama vectorial que indica la placa de características es el correcto (Enríquez, 2009).

En la prueba es determinante conocer el desplazamiento angular entre los vectores de tensión de línea a neutro tanto del devanado primario, así como del devanado secundario para poder determinar la correcta polaridad.

7.4.6. Factor de potencia de los aislamientos

El factor de potencia de un aislamiento es una cantidad adimensional normalmente expresada en porcentaje que se obtiene de la resultante formada por la corriente de carga de pérdidas que toma el aislamiento al aplicarle una corriente de un voltaje determinado, es en sí, una característica propia del aislamiento al ser sometido a campos eléctricos (Martínez, 2008).

La parte más importante de la prueba de factor de potencia es conocer el estado operativo de los aislamientos de los transformadores al aplicar un voltaje determinado.

El principio fundamental de las pruebas es la detección de algunos cambios de la característica del aislamiento producidos por envejecimiento y contaminación de este, como resultado del tiempo y condiciones de operación del equipo y los producidos por el efecto corona (Martínez, 2008).

Las ubicaciones donde se instalarán los transformadores y la falta de mantenimiento, son factores que hacen que el aislamiento sufra envejecimiento y contaminación lo cual lo lleva a reducir el límite de operación debido a los cambios en sus propiedades dieléctricas.

7.4.7. Termografía infrarroja

“El monitoreo del comportamiento es aplicación fundamental. Además, se utiliza un estudio de termografía para detectar anomalías que en conjunto determinarán el momento preciso para sacar el transformador de servicio” (Martínez, 2008, p.6)

“Actualmente, muchas empresas no realizan mantenimientos predictivos a los transformadores, se han considerado como equipos nobles que no requieren mantenimiento. El error más común es asumir el buen comportamiento del transformador como un hecho” (Dardon, 2018, p.24).

Los cambios de temperatura en las partes de los transformadores captados por una cámara termográfica determinan los falsos contactos internos por un mal apriete en los terminales o bien por la suciedad interna lo cual permite tomar acciones correctivas antes de que exista una falla de fatales consecuencias en el transformador de distribución.

7.4.8. Pruebas al aceite del transformador

La pregunta crítica que se debe hacer respecto al deterioro del aceite es ¿Cómo reconocer un inevitable deterioro del aceite antes de que se vuelva severo en un sistema cerrado y no sujeto a inspecciones visuales frecuentes, como lo es un transformador? (Forestieri, 2004).

El aceite dieléctrico es parte fundamental de la operación de un transformador, por lo tanto, es necesario que mantenga sus propiedades sin ningún tipo de deterioro y para lograrlo es necesario la realización de pruebas al aceite del transformador.

7.4.9. Rigidez dieléctrica del líquido aislante

La rigidez dieléctrica o tensión de ruptura, es la forma de medir la capacidad del aceite dieléctrico a soportar el efecto de un campo eléctrico de alta intensidad. Esta prueba ayuda a detectar la presencia de humedad y contaminación por agua o materiales sólidos en suspensión; sin embargo, un valor alto de rigidez

dieléctrica no es indicativa de la ausencia de elementos contaminantes, y otro tipo de pruebas son necesarias juntamente con esta para la evaluación del estado del aceite dieléctrico (Martínez, 2008).

El aceite en el transformador funciona como un líquido aislante debido a ello es necesario saber cómo se encuentra interiormente para soportar un esfuerzo eléctrico sin producir un arco y la prueba de rigidez dieléctrica es fundamental para determinar cómo y en qué condiciones se encuentra el aceite dieléctrico.

7.4.10. Tensión interfacial

La prueba de Tensión interfacial es excelente para detectar contaminantes polares solubles en el aceite y productos de la oxidación. Se sabe que la precipitación de lodo en el transformador comienza cuando la tensión interfacial alcanza valores por debajo de las 22 dinas/cm” (Forestieri, 2004).

Esta es una de las pruebas más importantes del aceite porque determinará la relación superficial en agua y aceite de aislamiento que indicará la cantidad de lodo en el transformador y así tomar medidas de mantenimiento correctivo.

7.4.11. Acidez

La acidez de una muestra de aceite está relacionada con el deterioro del aceite. El aceite dieléctrico mineral es un hidrocarburo saturado de características no polares; sin embargo, cuando el aceite sufre degradación por oxidación, se forman ácidos oxílicos, los cuales son de naturaleza ácida (Martínez, 2008).

Los ácidos y otros contaminantes de oxidación junto con el agua son responsables de la corrosión y la degradación del aceite dieléctrico, esta corrosión afecta también las partes metálicas del transformador.

7.4.12. Color

El significado primario del color es la de observar una tasa de cambio a lo largo del tiempo en un transformador. Oscurecimientos del aceite en un período de tiempo, indica tanto la contaminación como el deterioro del aceite. Un color oscuro, sin haber cambios significativos en el número de neutralización o de la viscosidad, usualmente indican contaminación con materiales extraños. El color de un aceite aislante es determinado mediante una luz transmitida y se expresa mediante un valor numérico comparado contra valores estándares en una tabla circular contenida dentro del equipo (Argueta, Contreras, y Guardado, 2017).

El deterioro del aceite está bien marcado en el color el oscurecimiento en un periodo de tiempo indica la contaminación que tiene el aceite al pasar de los años sin una revisión periódica.

7.4.13. Filtrado y recirculado de aceite al alto vacío

Se realiza a través de un medio hidrófilo (papel seco o arcilla activada), esto disminuye la cantidad de humedad contenida en el aceite (disuelta o suspendida) y además elimina las partículas sólidas de lodo suspendidas en un interior, lo cual disminuye considerablemente el grado de acidez del aceite. No obstante, el grado de secado obtenido de estos procesos es bastante deficiente en gran medida de la humedad relativa originalmente contenida en el aceite usado (Long, 2012).

El filtrado de aceite es el tipo de mantenimiento ideal para reducir el deterioro del aceite por la acción de la humedad, la eliminación de sedimentos, evitando la generación de ácidos, y dando al aceite aislante el mejoramiento en sus condiciones adecuadas de servicio del transformador.

7.5. Plan de Mantenimiento

“El plan de mantenimiento es un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que deben realizarse en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido” (García, 2003, p.37).

Teniendo parámetros definidos bajo los cuales los equipos son confiables siendo la referencia principal, para que sean la guía en la realización del plan de mantenimiento.

7.5.1. Administración del plan de mantenimiento.

El primer paso en el desarrollo de un programa de mantenimiento consiste en reunir una fuerza de trabajo que inicie y ejecute el plan. Se designará a una sola persona como jefe de la fuerza de trabajo, además que es esencial el compromiso de la dirección para el cumplimiento exitoso del plan (Estroconi y Tamoy 2010).

El compromiso del equipo de trabajo es muy importante para el desarrollo del plan de mantenimiento. Se debe tomar responsabilidad para lograr las metas propuestas para llegar a que los equipos sean confiables.

7.5.2. Necesidades del plan de mantenimiento

Ordoñez y Nieto, (2010) indican los aspectos importantes y las funciones principales de la realización de un plan de mantenimiento de la manera siguiente:

El plan de mantenimiento es para:

Una pronta reparación.

- Preservar el activo físico.
- El mantenimiento rutinario al prevenir fallas.
- El objetivo primario en la función mantenimiento es optimizar la disponibilidad de la planta al mínimo costo.

Una óptima producción.

- Preservar la “función” de los activos.
- El mantenimiento afecta los aspectos del negocio, riesgo, seguridad, integridad ambiental, eficiencia energética, calidad del producto y servicio al cliente. No solo la disponibilidad y los costos.

7.5.3. Programa específico de mantenimiento

Debe elaborarse un programa específico de mantenimiento para cada equipo dentro del programa general. El programa es una lista completa de las

tareas de mantenimiento que se van a realizar en el equipo. El programa incluye el nombre y número de identificación del equipo, su ubicación, número de referencia del programa, lista detallada de las tareas que se llevarán a cabo, frecuencias de cada tarea, tipo de técnicos requeridos para realizar la tarea, tiempo para cada tarea, tipo de técnicos requeridos para realizar la tarea, herramientas especiales que se necesitan y materiales necesarios (Stroconi y Tamoy, 2010).

El plan de mantenimiento con un programa será la guía indicando los pasos y procedimientos a realizar respecto a cada equipo, el conjunto de actividades dará como resultado la confiabilidad de los equipos.

7.5.4. Recomendaciones para la inspección y mantenimiento de transformadores.

En vista de que los transformadores son los eslabones vitales para la operación de las grandes empresas industriales y comerciales, es necesario que para su funcionamiento continuo y se logra solamente a través de un programa regular de inspecciones, pruebas y mantenimiento de rutina (Saavedra, 2016).

Estos datos son muy valiosos debido a que las inspecciones y rutinas deben realizarse periódicamente tomado como parte fundamental lo vital que es el transformador de distribución para mantener la seguridad, la disponibilidad y la confiabilidad del servicio eléctrico en la industria.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Mantenimiento

1.1.1. Mantenimiento preventivo

1.1.2. Mantenimiento correctivo

1.1.3. Mantenimiento predictivo

1.2. Transformadores eléctricos

1.2.1. Transformadores de distribución convencionales

1.2.2. Transformador tipo pedestal

1.3. Fallas en los transformadores de distribución

1.3.1. Sobrecarga en transformadores

1.3.2. Descarga atmosférica

1.3.3. Falla por factor externo

1.4. Pruebas a transformadores de distribución

1.4.1. Inspección visual

1.4.2. Resistencia óhmica de los devanados

- 1.4.3. Resistencia de aislamiento
- 1.4.4. Relación de transformación
- 1.4.5. Polaridad y secuencia de fases
- 1.4.6. Factor de potencia de los aislamientos
- 1.4.7. Termografía infrarroja
- 1.4.8. Prueba al aceite del transformador
- 1.4.9. Rigidez dieléctrica del líquido aislante
- 1.4.10. Tensión interfacial
- 1.4.11. Acidez
- 1.4.12. Color
- 1.4.13. Filtrado y recirculado de aceite al alto vacío
- 1.5. Plan de mantenimiento
 - 1.5.1. Administración del plan de mantenimiento
 - 1.5.2. Necesidades del plan de mantenimiento
 - 1.5.3. Programa específico de mantenimiento
 - 1.5.4. Recomendaciones para la inspección y mantenimiento de transformadores

2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

9. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el estudio del análisis de los métodos de investigación y las técnicas a utilizar tales como la ruta de investigación, alcances de investigación, tipos de investigación y variables, fases de investigación, población y muestra.

La metodología presentará los métodos a seguir para desarrollar la investigación.

9.1. Ruta de investigación

La ruta que se plantea es mixta. Se recabará información cuantitativa a partir de la medición de parámetros eléctricos. Se recabará información cualitativa con la inspección de estado visual de los equipos.

9.2. Alcance de investigación

El alcance de la investigación es descriptivo. Tras la revisión documental, se realizará un procedimiento de mantenimiento preventivo.

9.3. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es no experimental. Se realizarán mediciones en los equipos los cuales se utilizarán para definir parámetros comparativos a los datos nominales.

9.4. Variables

Se realizará el desglose de variables y su tabulación.

Tabla I. Operativización de variables

No.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	PLAN DE TABULACIÓN
1	Identificar los parámetros y condiciones de operación de los transformadores eléctricos de distribución de la edificación y sus instalaciones.	*Voltaje *Corriente *tensión interfacial	*Tabla de Reconocimiento - Anexo 2 *Tabla de medición – Anexo 3
2	Enlistar los parámetros de operación en los que deben de trabajar los transformadores eléctricos de distribución.	*Parámetros del aceite *Deterioro *Niveles de aislamiento	*Cuadro comparativo – Anexo 4
3	Definir la metodología adecuada para realizar un plan de mantenimiento para los transformadores eléctricos de distribución de la edificación y sus instalaciones.	*Medición de voltajes *Medición de corrientes *Identificación de fallas (origen y tipo)	*Tabla de cotejo *Procedimiento

Fuente: elaboración propia.

9.5. Fases de investigación

Fase 1: revisión documental. Se realizarán las referencias o bibliografía base para la elaboración del trabajo. Consulta de libros técnicos y referencias respecto a los transformadores de distribución, historial de cargas y fecha de instalación de equipos.

Fase 2: reconocimiento del área de trabajo de los transformadores eléctricos de distribución en el cual se hará la recolección de datos e información de ubicación e inspección del área, inspección de peligros a los cuales se encuentran expuestos los equipos.

Fase 3: medición de parámetros eléctricos, medición de aislamiento y tensiones interfaciales, se determinará una zona de trabajo para la obtención de datos, realización de termografía infrarroja, pruebas técnicas a los transformadores y análisis de aceite.

Fase 4. se establecerá, conforme a los datos del fabricante y la normativa que rigen a los transformadores eléctricos de distribución para relizar una comparación de resultados. Se continuará el estudio para lograr que el equipo alcance sus condiciones de trabajo nominal, en esta etapa se realizará un diagnóstico de pruebas y predicción de fallos, discusión y documentación de resultados.

Fase 5. propuesta de plan de mantenimiento con rutinas y programas de tareas a realizar.

9.6. Población y muestra

La población de estudio son los transformadores eléctricos de distribución instalados en la edificación.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se iniciará el análisis de la información con la recopilación de datos tomando en cuenta la bibliografía documental relacionada con antecedentes y marco teórico respecto al tema del mantenimiento de transformadores de distribución, se buscará la información de la parte técnica como del área de ubicación, la existencia de planos, diagramas unifilares, historial de cargas, fecha de instalación de los equipos.

Se continuará con el proceso de toma de datos técnicos en el área de ubicación de los equipos como parte de la visita de campo para tener la información de placas de características y condiciones de operación y la cantidad de problemas mínimos o fallas de mayor magnitud y recurrentes relacionados al tema de investigación tomando en cuenta fechas y datos de tipos de fallas o problemas.

Se recopilará información en la búsqueda de un histórico de fallos tanto a los componente como pararrayos que se han dado debido a descargas electro atmosféricas y falsos contactos en sus conexiones de terminales, fallas en los fusibles por corto circuitos provocados por factores externos y también fallas en los transformadores de distribución por años de utilización con la falta de realización de mantenimiento.

Se realizarán mediciones de los parámetros sobre los que trabajan actualmente los equipos para luego realizar una comparación con la normativa establecida de pruebas del funcionamiento correcto de los equipos, realizando el

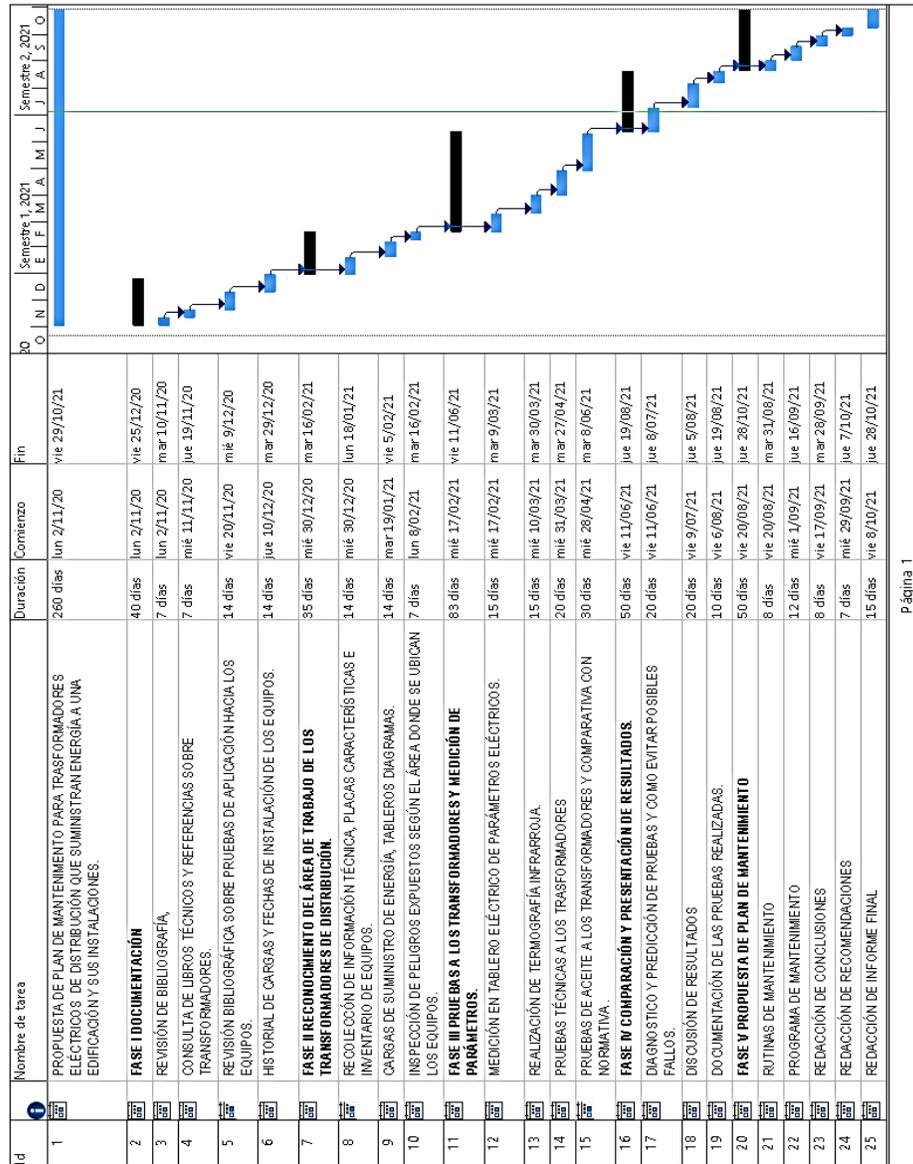
análisis de la información a través de matrices explicativas y tablas de parámetros técnicos.

Se continuará con un diagnóstico de fallas tomando en cuenta por qué ocurrieron y cómo prevenirlas. Se realizará la propuesta de un plan de mantenimiento utilizando un programa de trabajo con rutinas de mantenimiento y técnicas de mantenimiento preventivo entre ellas la inspección visual, el análisis de aceite, la medición de aislamiento, la medición de TTR, acompañado de la termografía infrarroja.

Finalmente, con los resultados obtenidos se determinarán las técnicas y pruebas más funcionales para los transformadores de distribución.

11. CRONOGRAMA

Figura 4. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la presente investigación se cuenta con la recolección de información por parte del personal de mantenimiento quien es el encargado de actuar en cualquier imprevisto o inconveniente eléctrico para lo cual se tienen los recursos necesarios para la propuesta del plan de mantenimiento de los transformadores de distribución.

Se tiene una computadora portátil e impresora para detallar el análisis de los transformadores en estudio y pruebas que se puedan realizar, también para la realización de pruebas más específicas se contará con una entidad experta en esa área que cuenta con el equipo de diagnóstico y de protección del personal técnico profesional experto en esto.

Se tiene acceso y los permisos necesarios para la información de fichas técnicas e informe relacionados con los equipos.

También se tiene acceso a la subestación eléctrica y casetas o, cuartos eléctricos, de las distintas áreas donde están ubicados los transformadores de distribución.

Se considera que es factible la realización de la propuesta de mantenimiento debido a que es muy necesario contar con un plan que guíe la ruta a seguir para tener la confiabilidad del suministro eléctrico en todas las áreas y eventos que se realicen, para evitar daños y costos al cliente que arrienda o visita las instalaciones.

A continuación, se realiza un pequeño detalle del presupuesto para la realización de la investigación.

Tabla II. **Presupuesto de la investigación**

Descripción	Costo	Financiamiento
Depreciación de computadora	Q 1,000.00	Propio
Papelería e insumos utilizados	Q 500.00	Propio
Servicio de internet	Q 1,500.00	Propio
Asesor de trabajo	Q 2,500.00	Propio
Tiempo utilizado por los técnicos	Q 1,500.00	Propio
Pruebas y análisis especiales	Q 8,000.00	Propio
Depreciación de herramientas	Q 700.00	Propio
Total	Q 15,700.00	Propio

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Albarado, D. F. (2017). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de las principales subestaciones de la empresa boyacapá s.a. e.s.p aplicado por la empresa asistencia técnica industrial Itda.* (Tesis de grado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia. Recuperado de https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2722/1/TGT_1317.pdf
2. Alcalá, R., García J. y Hernández M. (2010). *Manual de mantenimiento preventivo y pruebas aplicables a subestaciones compactas convencionales.* (Tesis colectiva y examen oral individual). Instituto Politécnico Nacional. México. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9618/73.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. Argueta C., Contreras F. y Guardado O. (2017). *Análisis causas y efectos producidos por el deterioro del aceite dieléctrico para transformadores pad mounted y su relación con el índice de fallas.*(Trabajo de licenciatura). Universidad de El Salvador. El Salvador. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14442/>
5. Cansino, E. y Lucero D. (2015). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo y seguridad industrial para la fábrica Minerosa.* (Tesis licenciatura). Escuela Politécnica Nacional. Ecuador. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10469/1/CD-6192.pdf>

6. Castillo, J. A. (2017). *Diseño de investigación del desarrollo de un plan de mantenimiento basado en el model de gestión de calidad TPM, con enfoque sistematico para equipos críticos dentro de una edificación y sus instalaciones.* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3599_IN.pdf

7. Correa, A. y Giraldo J. (2014). *Diagnóstico de fallas en transformadores de distribución monofásico para la empresa Emcartago.* (Proyecto de grado). Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5193/621319C824D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

8. Covarrubias, D. y de la Vega E. (2013). *Diagnóstico de fallas de transformadores de distribución.* (Monografía) Reaño L.M. (2019). "Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad en una empresa reprocesadora de subproductos de arroz para minimizar el número de averías. Universidad Tecnológica del Perú. Recuperado de https://www.academia.edu/26088939/UNIVERSIDAD_VERACRUZANA_FACULTAD_DE_INGENIER%3%8DA_MEC%3%81NICA_EL%3%89CTRICA_DIAGN%3%93STICO_DE_FALLAS_DE_TRANSFORMADORES_DE_DISTRIBUCI%3%93N_MONOGRAFIA_Que_para_obtener_el_t%3%ADtulo_de_INGENIERO_MEC%3%81NICO_EL%3%89CTRICISTA_PRESENTA.

9. Dardón, H. (2018). *Análisis de riesgo de falla en transformadores eléctricos de potencia utilizando tecnología de mantenimiento predictivo y no*

intrusivo. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10918/1/Haroldo%20Ren%C3%A9%20Dard%C3%B3n%20Y%C3%B3n.pdf>

10. Enriquez, N. (2009). *Pruebas de transformadores trifásicos usando un equipo de prueba para transformadores monofásicos*. (Proyecto eléctrico). Universidad de Costa Rica. Recuperado de https://www.academia.edu/23246387/PRUEBAS_DE_TRANSFORMADORES_TRIF%C3%81SICOS_USANDO_UN_EQUIPO_DE_PRUEBA_PARA_TRANSFORMADORES_MONOF%C3%81SICOS_Por
11. Forestieri, J. (2004). *Guía para el mantenimiento de transformadores de potencia*. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. Recuperado de <https://docplayer.es/4060807-Tesis-de-gradoprevia-a-la-obtencion-del-titulo-de-ingeniero-en-electricidad.html>
12. Gandur, F. H. (2017). *Adaptación de la metodología de mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en un sistema crítico de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB)*. (Tesis de maestría). Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia. Recuperado de [https://www.academia.edu/search?q=Adaptaci%C3%B3nde%20la%20metodolog%C3%ADa%20de%20mantenimiento%20Centrado%20en%20Confiabilidad%20\(RCM\)%20en%20un%20sistema%20crítico%20de%20aire%20acondicionado%20de%20la%20Cl%C3%ADnica%20Universitaria%20Bolivariana%20\(CUB\).%20\(Tesis%20de%20Ma](https://www.academia.edu/search?q=Adaptaci%C3%B3nde%20la%20metodolog%C3%ADa%20de%20mantenimiento%20Centrado%20en%20Confiabilidad%20(RCM)%20en%20un%20sistema%20crítico%20de%20aire%20acondicionado%20de%20la%20Cl%C3%ADnica%20Universitaria%20Bolivariana%20(CUB).%20(Tesis%20de%20Ma)

estr%C3%ADa%20en%20Ingenier%C3%ADa,%20%C3%81rea%20Ingenier%C3%ADa%20Biom%C3%A9dica).

13. García, S. (2003). *Organización y Gestión del Mantenimiento*. España: Díaz de Santos S.A. Recuperado de https://www.academia.edu/41042547/Organizacion_y_gestion_integr_al_de_mante
14. Girón, R. (2019). *Desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento predictivo utilizando herramientas de gestión ISO 50001 para reducir las fallas por mala calidad de energía eléctrica*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/12577>
15. Lon, A. (2012). *Pruebas eléctricas de diagnóstico a los transformadores de potencia*. (Informe de Pasantía). Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Recuperado de https://www.academia.edu/15686531/UNIVERSIDAD_SIM%C3%93N_BOL%C3%8DVAR_DECANATO_DE_ESTUDIOS_PROFESIONALES_COORDINACI%C3%93N_DE_TECNOLOG%C3%8DA_E_INGENIER%C3%8DA_EL%C3%89CTRICA_PRUEBAS_EL%C3%89CTRICAS_DE_DIAGN%C3%93STICO_A_LOS_TRANSFORMADORES_DE_POTENCIA_Por
16. Martínez, M. (2008). *Mantenimiento predictivo a transformadores de potencia por medio de análisis de aceite dieléctrico y técnicas complementarias*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/5168>

17. Ordoñez, J. y Nieto, L. (2010). *Mantenimiento de sistemas eléctricos de Distribución*. Universidad Politecnica Saleciana de Guayaquil. (Tesis de grado). Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2119/15/UPS-GT000156.pdf>
18. Rincón, E. y Tovar, F. J. (2007). *Diagnóstico de fallas en Transformadores de Distribución*. Comisión Federal de Electricidad. México. Recuperado de https://www.academia.edu/8453921/41771027_CURSO_TRANSFORMADORES?auto=download
19. Saavedra, L. (2016). *Transformadores*. (Trabajo de investigación). Tecnológico Nacional de México. México. Recuperado de https://www.academia.edu/31339454/Pruebas_y_Mantenimiento_De_Transformadores
20. Santacruz, J. (2014). *Mantenimiento de centros deportivos a nivel federados de Guatemala*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_4036.pdf
21. Stronconi, D. y Tamoy J. (2010). *Plan de mantenimiento correctivo - preventivo de los transformadores de distribución en la empresa Elebol S.A, Ciudad Bolívar - Estado Bolívar*. (Tesis de grado). Universidad de Oriente núcleo de Bolívar. Venezuela. Recuperado de https://www.academia.edu/19635190/079_Tesis_plan_de_mantenimiento_correctivo_preventivo_de_los_transformadores_de_distribucion

22. Villanueva M. (2017). *Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad de las redes del subsistema de distribución eléctrico 22.9/13.2 de San Gabán - Ochallea*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional del Altiplano. Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6688>

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Banco de transformadores



Fuente: [Fotografía de Marvin González]. (Parque de la Industria Guatemala. 2021)

Apéndice 2. **Transformadores tipo *pad mounted***



Fuente: [Fotografía de Marvin González]. (Parque de la Industria. 20021)