



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DE
LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN INDIRECTA EN MEDIA TENSIÓN, PARA LOS PUNTOS DE
COMPRA Y DISTRIBUCIÓN DE UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Felix Alfredo Ajanel García

Asesorado por el M.S.C Ing. Otto Fernando Andrino González

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DE
LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN INDIRECTA EN MEDIA TENSIÓN, PARA LOS PUNTOS DE
COMPRA Y DISTRIBUCIÓN DE UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FELIX ALFREDO AJANEL GARCÍA

ASESORADO POR EL M.S.C ING. OTTO FERNANDO ANDRINO GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 LA INVESTIGACIÓN: PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN INDIRECTA EN MEDIA TENSIÓN, PARA LOS PUNTOS DE COMPRA Y DISTRIBUCIÓN DE UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudio de Postgrado, con fecha 6 de junio de 2018.



Felix Alfredo Ajanel Garcia

Guatemala, 11 de septiembre de 2018.

Director
Otto Fernando Andrino González
Escuela de **Ingeniería Mecánica Eléctrica**
Presente.

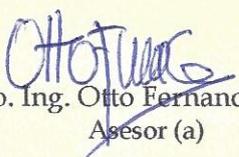
Estimado Director:

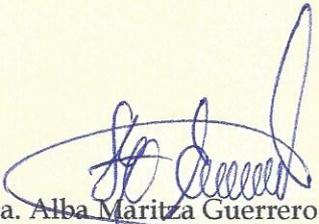
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Felix Alfredo Ajanel García** con carné número **201031607**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería en Mantenimiento**.

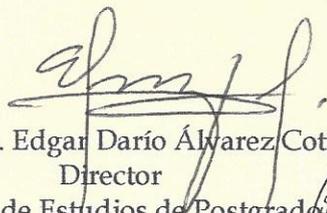
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente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

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a todos"


Maestro. Ing. Otto Fernando Andrino G.
Asesor (a)


Doctora. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
Coordinadora de Área
Gestión y Servicios


M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc archivo/LZLA.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



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 Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN INDIRECTA EN MEDIA TENSIÓN, PARA LOS PUNTOS DE COMPRA Y DISTRIBUCIÓN DE UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA, presentado por el estudiante universitario; FELIX ALFREDO AJANEL GARCÍA, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Otto Fernando Andriano González
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Universidad de San Carlos
de Guatemala

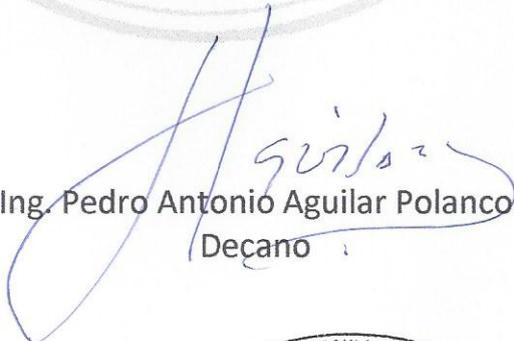


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 436.2018

El Decano 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 Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN INDIRECTA EN MEDIA TENSIÓN, PARA LOS PUNTOS DE COMPRA Y DISTRIBUCIÓN DE UNA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA,** presentado por el estudiante universitaria: **Félix Alfredo Ajanel García,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, noviembre de 2018

/gdech



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE ABREVIATURAS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1. Pregunta general	12
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES A CUBRIR.....	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Generalidades de los transformadores de medida	21
7.1.1. Transformador de corriente de tipo barra	22
7.1.2. Nivel básico de aislamiento del impulso del rayo (BIL).....	23
7.1.3. Burden de un transformador de instrumento	23

7.1.4.	Polaridad	23
7.2.	Equipos de medición eléctrica.....	24
7.2.1.	Transformadores de medida	24
7.2.2.	Transformador equivalente.....	26
7.2.3.	Transformador de potencial.....	26
7.2.4.	Transformador de corriente	27
7.3.	Mantenimiento preventivo.	28
7.3.1.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	29
7.4.	Normativa y consideraciones técnicas del administrador de mercado mayorista.....	31
7.5.	Normativa y consideraciones técnicas de una distribuidora	31
7.5.1.	Características de los equipos de medida.....	32
8.	ÍNDICE PROPUESTO	35
9.	METODOLOGÍA	37
9.1.	Diseño de investigación	37
9.2.	Tipo de estudio.....	37
9.3.	Alcance	38
9.4.	Variables e indicadores.....	38
9.5.	Fases de la metodología	40
9.6.	Resultados esperados.....	40
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	43
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	45
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

13. APÉNDICES..... 49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	20
2.	Transformador de corriente tipo barra.....	22
3.	Esquema de transformador.....	25
4.	Esquema de transformador equivalente.....	26
5.	Transformador de potencial	27
6.	Transformador de corriente.....	28

TABLAS

I.	Características del transformador de medida.....	33
II.	Variables	38
III.	Descripción de costos	45

LISTA DE ABREVIATURAS

CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
DEOCSA	Distribuidora de Electricidad de Occidente, Sociedad Anónima.
DEORSA	Distribuidora de Electricidad de Oriente, Sociedad Anónima.
PT	Transformador de potencial, por sus siglas en inglés.
CT	Transformador de corriente, por sus siglas en inglés.
SMT	Salida de media tensión.

GLOSARIO

Corriente	Es el resultado del movimiento de cargas, la unidad de medida es el amperio (A).
Transformador de potencial	Instrumento de medición, utilizado para transformar altos niveles de tensión a señales secundarias entre 0 y 115/120 Voltios proporcionales a la tensión primaria.
Transformador de corriente	Instrumento de medición, utilizado para transformar altos niveles de corriente a señales secundarias entre 0 y 5 Amperios proporcionales a la corriente primaria.
Voltaje	Es el trabajo realizado por una fuerza para desplazar una carga en contra de un campo eléctrico, su unidad de medida es el voltio (V).

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta una propuesta de innovación, con la implementación de un protocolo de mantenimiento preventivo a los equipos de medición, para puntos de entrega y distribución de energía eléctrica, entre proveedor y una distribuidora de energía eléctrica. Se considera una medida indirecta en media tensión, dados los niveles de voltaje utilizados en el sistema de distribución de energía eléctrica en Guatemala.

El establecer un procedimiento de mantenimiento a los equipos de medición, puede prevenir las posibles fallas que se presenten y que afecten la correcta medición de energía eléctrica. Mientras que la consecuencia de un mantenimiento inadecuado, es la incertidumbre en la liquidación económica de la energía eléctrica registrada en un punto de medida.

El mantenimiento preventivo a equipos de medición indirecta en media tensión, se pretende establecer con base al conjunto de actividades de mantenimiento existentes. Para establecer un mantenimiento preventivo adecuado se consideran: las actividades que realiza una distribuidora energía eléctrica, el mantenimiento preventivo propuesto por fabricantes de los equipos de medición eléctrica, la regulación propuesta por el Administrador del Mercado Mayorista y las actividades establecidas en normas relacionadas con el mantenimiento preventivo a los equipos de medición.

La medición de la energía eléctrica es de suma importancia, para los participantes de un mercado eléctrico; la misma importancia tiene el monitoreo del buen funcionamiento de los equipos de medición. Por otro lado, el

mantenimiento correctivo puede no ser viable, por los altos costos que implica el cambio o sustitución de los equipos, y por el impacto económico de la energía no registrada que se puede presentar por fallas de precisión, fallas en el aislamiento, fallas de conexiones, los mismos, representan costos de no calidad que representan pérdidas técnicas y no técnicas en el registro de la energía. Un ejemplo de ello, es la falla en la conexión de los equipos de medida, que obliga a que una reparación no programada ponga fuera de operación un circuito eléctrico o una subestación, con la implicación de pérdidas por venta de energía y afecciones en el sistema eléctrico interconectado, sobre los usuarios del servicio de energía eléctrica.

Para la implementación del protocolo de mantenimiento preventivo, se plantea un procedimiento adecuado para los equipos de medición de energía eléctrica, en los puntos de entrega y distribución, supliendo las necesidades y requerimientos de los participantes del mercado eléctrico.

La investigación está contemplada en los siguientes capítulos:

El primer capítulo, explica los fundamentos básicos de medición indirecta de energía eléctrica y considera teóricamente los fenómenos eléctricos de todos los elementos que integran el equipo de medición. Se discuten, las normas establecidas para las pruebas de precisión de los equipos de medición, se considera los fundamentos de la gestión de mantenimiento preventivo para los instrumentos y equipos de medición.

El segundo capítulo, describe el mantenimiento que se realiza en una distribuidora de energía eléctrica, describe los procedimientos de mantenimiento preventivo sugeridos por fabricantes de equipos de medición eléctrica, describe las técnicas de mantenimiento establecidas por las normas

internacionales relacionadas a la medición de energía eléctrica. Además, analiza la información de datos históricos de procedimientos de mantenimiento a puntos de medición eléctrica en media tensión.

En el tercer capítulo, se hace un análisis de los resultados y se define el procedimiento idóneo de mantenimiento para los equipos de medida, tomando en cuenta la rentabilidad del proceso.

En el cuarto capítulo, se define y propone el procedimiento de mantenimiento preventivo, a los equipos de medición de energía eléctrica, que garantice el buen funcionamiento, el buen estado de los equipos y la del proceso de mantenimiento.

2. ANTECEDENTES

En un análisis que hacen los autores (Florian Predl, 2018), en el estudio de las mediciones para diagnosticar el estado de los transformadores de medida, divide los métodos de mediciones en circuito electromagnético y sistema de aislamiento.

Para el circuito magnético, los autores tomas en cuenta las mediciones en los devanados primario y secundario, núcleo de hierro magnético, para el caso de transformadores capacitivos, las mediciones son en el arreglo de condensadores y el reactor de compensación.

Entre los métodos de medición que los autores destacan para la medición de los parámetros del circuito magnético están:

La inyección primaria es utilizada para la medición del error de relación o transformación, y el desfase entre parámetros primarios y secundarios. Se realiza aplicando una tensión nominal, al tiempo que se aplica carga nominal al devanado secundario, obteniendo de esa manera la relación de transformación y el desplazamiento de fase. Por su parte, (Florian Predl, 2018), las complicaciones y el trabajo que conlleva el método Inyección Primaria, lo hace poco viable para las pruebas comparadas con el siguiente método utilizado.

El otro método utilizado, según (Florian Predl, 2018), es el modelado. Para ello, el transformador de medida utiliza señales de tensión y corriente bajas para verificar el diagrama del circuito eléctrico. Se determinan los parámetros del diagrama de circuito equivalente, con mediciones en el primario y

secundario. El equipo de prueba utiliza señales de tensión y corriente bajas, comparado a los valores nominales, y calcula la exactitud de los transformadores de corriente y de los transformadores de tensión.

El método de modelado, según los autores (Florian Predl, 2018), permite la calibración en campo de transformadores de tensión y transformadores de corriente, la exactitud que se maneja es alta, el tiempo y riesgo son menores, ahorrando de esta manera, horas en trabajo y reduciendo el tiempo de interrupción del circuito, en la investigación este método es aplicable para conocer del estado de los transformadores de medida.

Como resultado en las pruebas realizadas por (Florian Predl, 2018), de la medición de relación por medio del método de modelado, aplicado a un transformador de tensión, con la característica que producía una tensión demasiado baja, se realizó la medición y el análisis de la tensión primaria, el error de relación y el desplazamiento de fase fue muy negativa con respecto a la comparada. Lo que evidencia la utilidad del método y lo aplicable que puede ser en la investigación, para determinar el estado de los equipos de medida.

Por el lado de mantenimiento (Durán, 2003) en su artículo denominado, Nuevas técnicas en el mantenimiento en la industria eléctrica. Explica varias razones para realizar el mantenimiento, entre las principales están, prevenir o disminuir el riesgo de falla, recuperar el desempeño de los equipos y aumentar la vida útil, entre otros.

El autor, (Durán, 2003) hace una división entre los tipos de mantenimiento utilizados en la industria eléctrica, los cuales son los métodos proactivos, que se resumen en la utilización de técnicas que permitan la progresiva eliminación de fallas. Entre éstos métodos están, el mantenimiento centrado en la confiabilidad

y el mantenimiento productivo total; mientras que los métodos reactivos buscan solucionar problemas cotidianos, entre los métodos que el autor considera como reactivos están, el análisis de causa raíz. Éstas son herramientas para el control y la aplicación del mantenimiento, las cuales serán referentes a la investigación.

Entre los aportes del estudio realizado por (Durán, 2003), se puede establecer que no existe una metodología que garantice la confiabilidad que requiere un equipo, por otro lado se debe realizar una evaluación diagnóstica para la aplicación de la herramienta adecuada en la realización de mantenimiento, por tal motivo, a criterio del investigador, se exploran las distintas metodologías, para garantizar un método adecuado del mantenimiento.

Como resultado de las aplicaciones de los métodos de mantenimiento realizadas por (Durán, 2003) en la industria eléctrica, es evidente el incremento del ciclo de vida de la infraestructura eléctrica, con la aplicación de técnicas de inspección y mantenimiento. En otra aplicación, también aplicada por el autor, se reduce el consumo de gas para una planta eléctrica implementando técnicas de mantenimiento. Por lo tanto, el mantenimiento en la industria eléctrica, realizado con los diferentes métodos, incrementa la vida útil de las instalaciones.

De esta manera que la industria eléctrica tiene muchas oportunidades de mejora con la utilización adecuada del mantenimiento, adaptándose las técnicas de mantenimiento a las condiciones operacionales de los equipos.

En el estudio que hace (Concepción, 2016), en el que se evalúa la implementación de la técnica de mantenimiento centrado en la confiabilidad, en una transportadora de energía eléctrica plantea el método, y de acuerdo con

(Deepak Prabhakar P, 2014), cuando propone "el mantenimiento prioritario de los componentes considerados como críticos para el correcto funcionamiento de la instalación, dejando operar hasta su fallo a los componentes no críticos, instante en el que se aplica el correspondiente mantenimiento correctivo". Por lo que el autor pretende, medir y priorizar los elementos críticos, como referentes a los tiempos de mantenimiento, dejando en un plano secundario, pero no menos importante, a los elementos no críticos.

Entre los resultados que se obtiene (Concepción, 2016) de la evaluación permitió estimar si en las empresas de transmisión eléctrica es posible la implementación de una filosofía de organización del mantenimiento basado en la confiabilidad y la posibilidad de conocer si en el momento del estudio la empresa está preparada para esa implementación, todo eso debido a la previa experiencia del equipo que conforma la empresa.

Por el lado de la mejora continua, según el análisis de (Ayuni Campos, 2013), dice que la importancia del desarrollo e implementación de un proyecto mejora influye en colocar a la empresa en una mejor situación competitiva en el mercado en el cuál desarrolla sus actividades.

En el estudio de (Ayuni Campos, 2013), hace mención de técnicas de mejora continua entre las que están, el círculo de Deming, metodología de las 5S, el análisis de causa raíz, entre otros, con el fin de establecer un sistema de mejora continua en el lugar donde se realiza la investigación.

Entre los resultados, se puede destacar la identificación de problemas, tales como demoras en el tiempo de entrega, falta de planeación estratégica. Según el autor (Ayuni Campos, 2013), al analizar otros indicadores de gestión se encontró que la empresa tenía una inadecuada gestión por parte de los

directivos, ocasionado principalmente por la falta de planeación, establecimiento de objetivos y mala comunicación interna, lo que se reflejaba en un mal clima laboral. Los factores antes mencionados son de importancia en la investigación, puesto que proponen una mejora continua en el desarrollo del mantenimiento.

Por lo tanto, un programa de mejora continua puede ayudar de manera exitosa en la identificación de problemas en la medición eléctrica, para el mantenimiento adecuado de los mismos, y mantiene vigente el sistema de mantenimiento en el tiempo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El equipo de medición eléctrica que se analiza, es el utilizado en un punto de compra y distribución de energía eléctrica, entre dos miembros del mercado eléctrico, considerando para éste estudio al generador y distribuidor de energía eléctrica. En un punto de medición de éste tipo, las fallas influyen en la inadecuada integración de la medida, representando pérdidas técnicas y no técnicas de energía eléctrica.

En consecuencia, la acción reactiva al momento que ocurra una falla, la falta de procedimientos específicos para un mantenimiento correctivo, la logística de materiales y equipos, la falta de un protocolo de mantenimiento preventivo, impacta significativamente en el registro de la energía de una generadora y/o una distribuidora de energía eléctrica.

Otro aspecto que se considera, es que al realizar un mantenimiento correctivo de emergencia, impactaría en los usuarios de un determinado circuito. El campo considerado en el estudio, son los puntos de compra y distribución de energía eléctrica, comprendidos en el interior de la República de Guatemala, atendido por la Distribuidoras de Electricidad de Oriente.

Considerando los aspectos anteriormente planteados, se establece un procedimiento para el mantenimiento preventivo para los equipos de medición formulan las siguientes preguntas:

3.1. Pregunta general

¿Qué protocolo mantenimiento preventivo se debe seguir para los equipos de medición indirecta en media tensión, para los puntos de compra y distribución de energía y las salidas de media tensión de una distribuidora de energía eléctrica?

- Específica 1

¿Qué regulación ha planteado por el Administrador del Mercado Mayorista, para el mantenimiento a los puntos de medición de compra y distribución de energía eléctrica?

- Específica 2

¿Qué procedimientos plantean los fabricantes de equipos de medición eléctrica, para el mantenimiento preventivo a los transformadores de medida y medidores de energía eléctrica en las redes de media tensión?

- Específica 3

¿Cuál es el perfil del personal, los equipos y materiales de trabajo para la realización de mantenimiento preventivo para los equipos de medición eléctrica de media tensión?

- Específica 4

¿Cuál es el método adecuado que permite medir la eficiencia y mantener actualizado un protocolo de mantenimiento preventivo, para equipos de medición eléctrica?

4. JUSTIFICACIÓN

El conocimiento adecuado del estado de los equipos de medida, la planificación y normalización del mantenimiento, con base a los procesos establecidos por regulaciones del administrador de mercado mayorista, las normas internacionales de mantenimiento y actividades propuestas por los fabricantes de equipos de medida, evita recurrir únicamente a mantenimientos correctivos. El mantenimiento preventivo permite anticiparse a las posibles fallas, que se pueden presentar en los elementos que conforman un equipo de medida. Evitando de ésta manera, las pérdidas técnicas y no técnicas de energía eléctrica.

La importancia de la estructuración de mantenimiento preventivo a equipos de medida, se da a la necesidad de reducir las pérdidas técnicas de energía eléctrica. Conociendo el estado de los equipos de medida, tales como la precisión, el estado del aislamiento, la relación de transformación permite innovar constantemente en el mantenimiento preventivo a equipos de medición, estructurando métodos de mantenimiento lógicos, medibles.

El proceso de mantenimiento, plantea una estructura de mejora continua, lo que permite renovar mantenimiento preventivo, estableciendo de esta manera un precedente de innovación para el mantenimiento a los puntos de compra y venta de energía eléctrica.

El impacto económico que representa una falla de precisión de los equipos de medida se representa en pérdida técnica, una desviación del 0.1% en la precisión de un punto de medida, en una salida de media tensión, que

interanualmente registra 80 GWh, representa una incerteza anual de 80 MWh por un punto de medida con porcentaje de desviación en su precisión del 0.1%. Utilizando como base el precio del kilovatio-hora (kWh) autorizado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, para una tarifa en Media tensión que es de 0.8922 quetzales por kilovatio-hora (Q/kWh), traduce la cantidad de 80 megavattios-hora (MWh) a un importe económico de Q 71,376.00 de incerteza anual en la medición de la energía eléctrica, en un solo punto de medida.

Lo anteriormente descrito, afecta directamente el registro de la energía eléctrica, ocasionando diferencias significativas en el balance entre compra y venta de energía, que para el primer trimestre del año 2018, en una distribuidora de energía eléctrica, dicho desbalance representaba un 20.5% de pérdida. Por lo que un mantenimiento preventivo adecuado puede identificar y prevenir las pérdidas técnicas, fallas de precisión, fallas en el aislamiento, entre otras.

El protocolo de mantenimiento preventivo, facilita el control y monitoreo del estado del equipo de medición, a cada punto medido; genera beneficios económicos a la distribuidora de energía al disminuir costos por la desviación en la medición, genera certeza del volumen de energía medida, tanto para el generador como para la distribuidora. La población atendida por la distribuidora de energía eléctrica, recibirá mejor servicio debido al mantenimiento de coordinado, reduciendo los tiempos sin servicio de energía eléctrica. La investigación representa un avance en el conocimiento de la medición de energía eléctrica en el país y garantiza que la precisión de la medida se mantenga en los rangos establecidos por el regulador.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un protocolo de mantenimiento preventivo, de los equipos de medición indirecta en media tensión, para los puntos de compra y distribución de una distribuidora de energía eléctrica.

5.2. Específicos

- Identificar las regulaciones establecidas en las Normas de Coordinación Comercial del Administrador del Mercado Mayorista respectivas a la medición eléctrica, para la intervención y elaboración de mantenimientos o a los equipos de medida.
- Identificar el procedimiento preventivo recomendado por fabricantes de equipos de medición y normas, para el mantenimiento de equipos de medida indirecta en media tensión.
- Determinar el perfil del personal de trabajo, los materiales y equipos para la realización de mantenimiento a los equipos de medición eléctrica en media tensión.
- Determinar el método adecuado que permite medir la eficiencia y permita mantener actualizado de manera continua un protocolo de mantenimiento preventivo, para equipos de medición eléctrica.

6. NECESIDADES A CUBRIR

Entre las necesidades a cubrir en la investigación se requerirá de lo siguiente:

Para la primera fase, en la recopilación de los datos de mantenimiento actual en una empresa de distribución eléctrica. Se necesita conocer el histórico de mantenimientos a los equipos medición eléctrica, para la elaboración de un análisis modal de fallas y efectos. Identificar las potenciales fallas y proponer acciones para prevenirlas. En el análisis de costos asociados al mantenimiento, conocer los costos asociados a las pérdidas técnicas y no técnicas de energía eléctrica para realizar un análisis de las de los costos de calidad y no calidad.

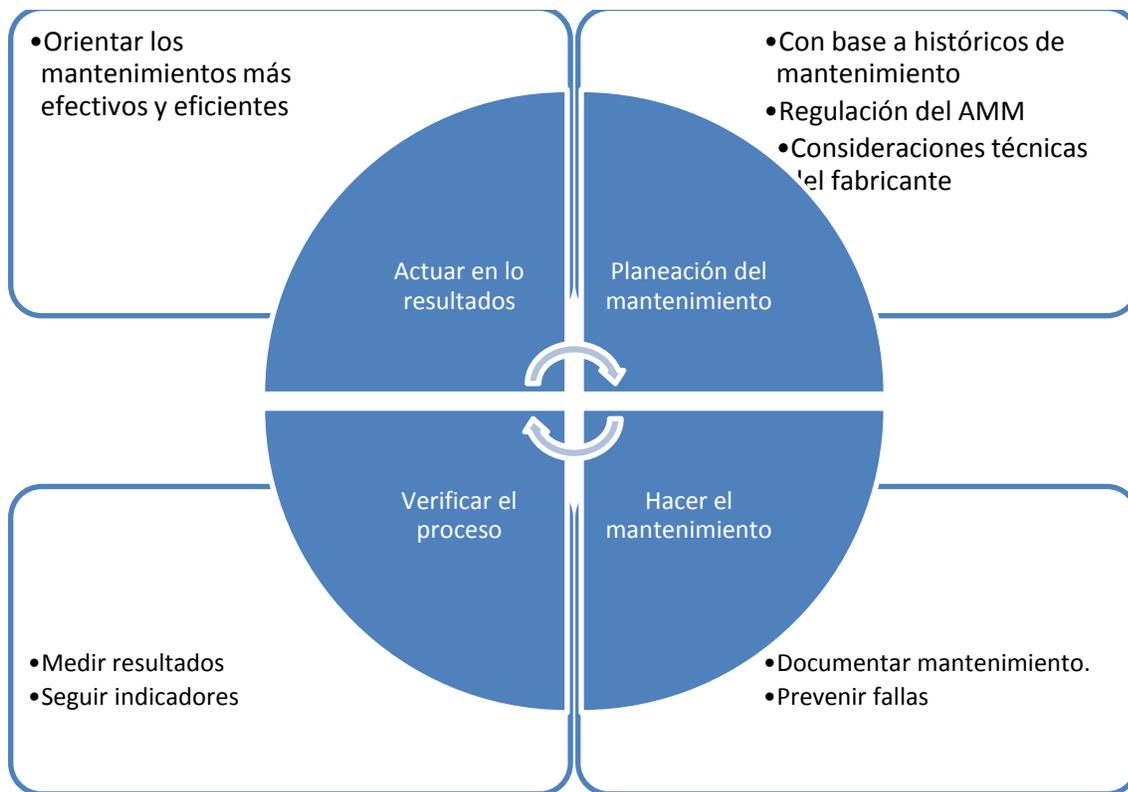
Para la segunda fase, en la recopilación de información de mantenimiento propuesto por las normativas. Se requiere conocer los métodos y las normativas de mantenimiento a los equipos de medición de energía eléctrica dentro del mercado eléctrico. Conocer los procesos propuestos por normas internacionales, para el mantenimiento preventivo de medidores de energía eléctrica, mantenimiento preventivo a transformadores de medida.

Para la tercera fase, en la recopilación de información de mantenimiento propuesto por fabricantes de los equipos de medición. Se tomará como referencia las fichas técnicas, para el mantenimiento preventivo a medidores y transformadores de medida de energía eléctrica.

Para la fase cuatro, que consiste en la propuesta de protocolo de mantenimiento preventivo a equipo de medición eléctrica de puntos compra y

venta de energía eléctrica. Se necesita conocer los costos de mantenimiento preventivo, conocer la logística para el mantenimiento preventivo a equipos de medida, conocer los materiales y equipos para el mantenimiento preventivo a equipos de medida, e identificar el perfil del personal que aplica el mantenimiento preventivo a equipos de medida.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Generalidades de los transformadores de medida

Según la especificación técnica de (Deocsa-Deorsa, 2011), se establece que la medición del consumo de energía y la potencia demandada en salidas de media tensión, se utilizará un sistema de medida indirecta, utilizando transformadores de corriente y voltaje, éstos instrumentos permiten reducir los niveles de voltaje y corriente, a señales proporcionales, fáciles de medir.

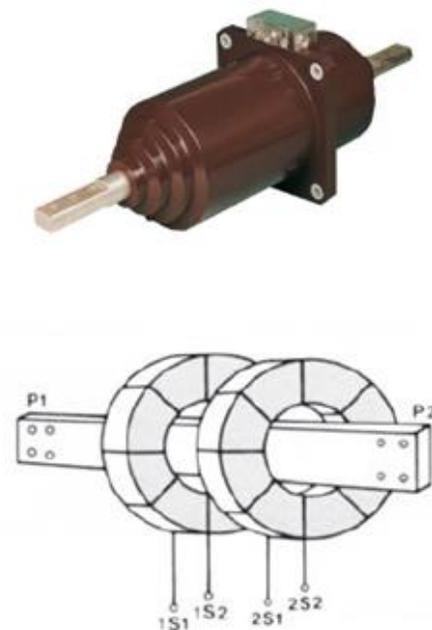
Para registrar los niveles elevados de tensión y corriente, según (Oliva, 1994), se requiere de equipos de medida especiales, que transformen altos niveles de tensión y/o corriente a señales proporcionales, de manera que se puedan medir valores manejables. A los instrumentos de transformación el autor los denomina como, transformadores de corriente y transformadores de tensión, dedicados a transformar magnitudes de corriente y voltaje respectivamente, por lo que, de acuerdo con el autor se consideran los términos, para el desarrollo de la investigación.

Por otro lado, establece que elegir adecuadamente un transformador de medida, se deben tomar en cuenta las características de relación de transformación, aislamiento y precisión; los cuales, deben cumplir con normas específicas, y mantener esas condiciones durante su vida útil dentro de estos parámetros, garantizando la precisión de la medida, por lo tanto, en la investigación se toma en cuenta lo descrito en la norma de coordinación comercial catorce, en donde se regula las características de los instrumentos de medición.

7.1.1. Transformador de corriente de tipo barra

De acuerdo a la norma (IEEE Std C57.13, 2003) "es el transformador que tiene una vuelta de arrollamiento primario simple recto fijo que pasa, a través del circuito magnético. El devanado primario y el devanado secundario están aislados entre sí, del núcleo y se ensamblan como una estructura íntegra", lo que dice el autor es, la estructura básica para la transformación de la corriente en señales manejables y medibles. En la figura 1, se muestra el modelo básico de un transformador de corriente.

Figura 2. Transformador de corriente tipo barra



Fuente: ARTECHE, 2015, pág. 5.

7.1.2. Nivel básico de aislamiento del impulso del rayo (BIL)

Parámetro del nivel básico de aislamiento expresado en kilovoltios para el valor pico de un impulso de rayo estándar. Este valor es considerado en el diseño y la elección de los equipos de medición.

7.1.3. Burden de un transformador de instrumento

Propiedad de carga del circuito conectado al devanado secundario del transformador de instrumento, que determina la potencia activa y reactiva en los terminales secundarios. De acuerdo a la norma (IEEE Std C57.13, 2003), "La carga se expresa como la impedancia total de ohmios con los componentes de resistencia y reactancia efectivos, o como los voltajes totales y el factor de potencia en el valor especificado de corriente o voltaje y frecuencia". En conclusión, el burden determina la carga que se le puede conectar a un circuito secundario, de un transformador de medida.

7.1.4. Polaridad

Son las direcciones instantáneas relativas de las corrientes que entran en las terminales primarias y que dejan las terminales secundarias durante la mayor parte de cada medio ciclo.

La norma (IEEE Std C57.13, 2003) dice que los terminales primarios y secundarios tienen la misma polaridad cuando, en un instante dado durante la mayor parte de cada medio ciclo, la corriente ingresa al terminal primario y deja el terminal secundario en la misma dirección como si hubiera un circuito continuo entre los dos.

El conocimiento y conexionado del transformador de medida, permite el registro adecuado de las señales de energía eléctrica.

7.2. Equipos de medición eléctrica

Se presenta una descripción básica de los instrumentos de medida, al igual que los instrumentos y equipos utilizados en la medición eléctrica.

7.2.1. Transformadores de medida

Para elevados niveles de voltaje y corriente se hace difícil medir dichos parámetros directamente, para la medición de éstos parámetros se hace uso de los transformadores de media.

Según (Oliva, 1994), los transformadores de medida convierten las magnitudes primarias elevadas de corriente y/o voltaje en magnitudes proporcionales en el bobinado secundario, cumpliendo los siguientes objetivos:

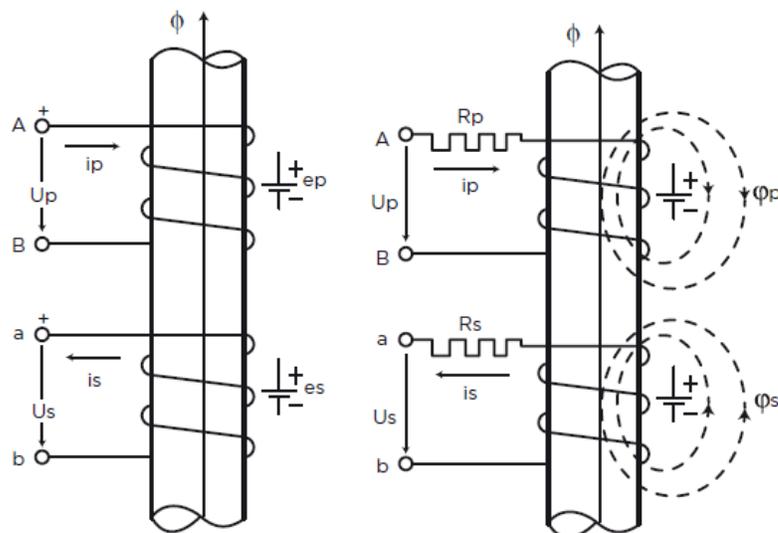
- Aislar circuitos, aparatos de medida (medidores) de magnitudes elevadas de voltaje o corriente.
- Evitar perturbaciones electromagnéticas de elevadas corrientes.
- Reducir corrientes de corto circuito a valores cercanos a los admitidos por aparatos de medida o control.
- Obtener voltajes o corrientes proporcionales de los niveles que se desea medir o controlar.

Por las funciones que cumplen, los transformadores de medida, y por los niveles de voltaje y corriente que se manejan en la red de distribución de energía eléctrica, son buena herramienta para la medición de energía eléctrica en puntos de compra y distribución eléctrica.

Los transformadores de medida por su función se dividen en transformadores de potencial y transformadores de corriente.

Entre las generalidades que propone (ARTECHE, 2015) están las siguientes. El transformador está compuesto por dos arrollamientos bobinados sobre un núcleo magnético. El primario es alimentado por la tensión U_p absorbiendo la corriente eléctrica i_p . El secundario suministra a la carga exterior la corriente i_s con un voltaje U_s . Como se puede ver en la figura 3, donde se describe el esquema y funcionamiento de un transformador.

Figura 3. **Esquema de transformador**



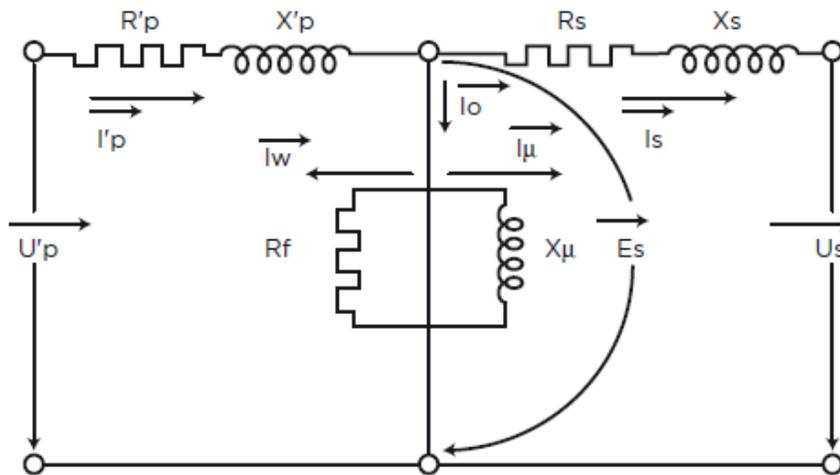
Fuente: (ARTECHE, 2015)

La estructura de un transformador de medida, al igual que cualquier otro tipo de transformador cuenta con un diagrama equivalente.

7.2.2. Transformador equivalente

Para estudiar los transformadores de medida, resulta interesante referir al bobinado secundario, cuyos parámetros nominales varían en general muy poco, en la figura 4, se hace referencia al diagrama equivalente de un transformador.

Figura 4. Esquema de transformador equivalente

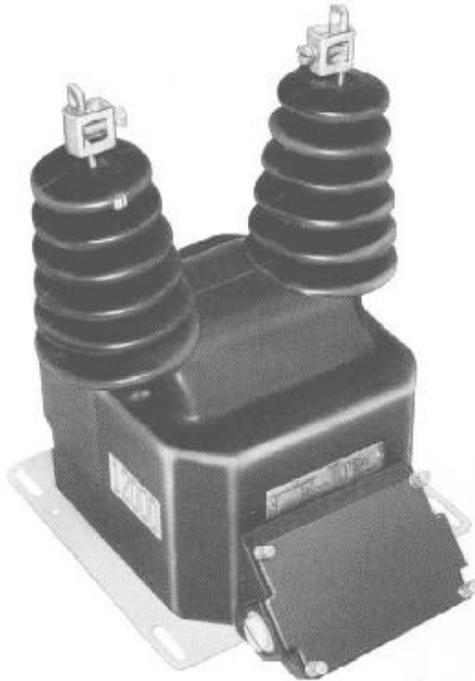


Fuente: (ARTECHE, 2015)

7.2.3. Transformador de potencial.

Es un transformador de instrumento diseñado para tener su devanado primario conectado en derivación con el voltaje que se va a medir o controlar.

Figura 5. **Transformador de potencial**

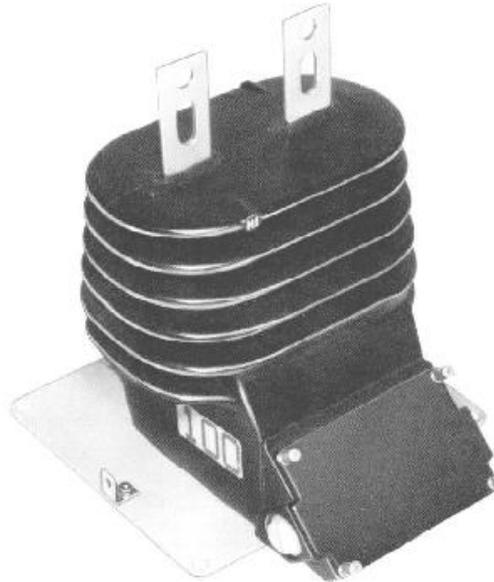


Fuente: (Deocsa-Deorsa, 2011)

7.2.4. Transformador de corriente

Un transformador de instrumento diseñado para tener su devanado primario conectado en serie con el conductor que transporta la corriente a medir o controlar. En la figura 6, se muestra el transformador de corriente utilizado en una distribuidora de energía eléctrica, en un punto de compra y distribución, en las características, se denota la relación de transformación, que es de 200 a 5 amperios.

Figura 6. **Transformador de corriente**



Fuente: (Deocsa-Deorsa, 2011)

7.3. Mantenimiento preventivo.

Para (Durán, 2003). Es el conjunto de actividades que involucra cambios o reconstrucciones de partes ó del equipo bajo una base regular, sin importar el estado de las mismas. Considerando la definición del autor, este conjunto de actividades, permite controlar la vida de los equipos.

Entre los fines del mantenimiento del mantenimiento preventivo (Durán, 2003). considera los siguientes aspectos.

- Prevenir o disminuir el riesgo de fallas: Se busca reducir la frecuencia de fallas y/o disminuir sus consecuencias. Este es uno de los objetivos más básicos del mantenimiento, mientras que en muchas ocasiones es el único motor que mueve las estrategias de mantenimiento de algunas empresas.
- Recuperar el desempeño: Con el uso de los equipos el desempeño se puede ver afectado por dos factores principales: Pérdida de capacidad de producción y/o aumento de costos de operación. Ya que a veces este factor es de dimensiones mayores a las fallas a evitar.
- Aumentar la vida útil inversiones: La vida útil de los equipos es afectada por la frecuencia y calidad del mantenimiento. Encontrar el punto exacto de máximo beneficio económico es de suma importancia en la aplicación de un programa de mantenimiento.

7.3.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

Esta técnica según (Durán, 2003) dice que: "surge a finales de los años sesenta en respuesta al incremento de costos y actividades del mantenimiento preventivo de las aeronaves". Lo que busca la industria de esas épocas, es la reducción de los costos, lo que beneficia no solo bajando los costos y actividades de mantenimiento, sino que además mejora la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los equipos. Los beneficios presentados en esta industria, sirvió para que otras industrias, como la militar, petrolera y generación de electricidad la adaptaran.

Esta técnica se basa en seleccionar mantenimiento solo donde las consecuencias de las fallas así lo requieren, para esto se requiere hacer un

estudio exhaustivo de todas las funciones, fallas, modos y consecuencias de las fallas, para luego decidir dónde y qué tipo de mantenimiento hacer.

Establece un orden de prioridades: la seguridad y ambiente, producción, costos de reparación. Esto ha hecho que sea una herramienta valiosa en las industrias que requieren elevados niveles de seguridad, generando a cambio de los esfuerzos, gratos resultados. Al ser “muy centrado en el confiabilidad” le da poco peso a otras razones para hacer mantenimiento nombradas al principio.

El trabajo se realiza con equipos de trabajo multidisciplinarios (mantenimiento y operaciones) liderados por un facilitador que responden de manera sistemática las siguientes siete preguntas:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares deseados de desempeño del activo en su contexto operativo actual?
- ¿De qué maneras el activo puede dejar de cumplir sus funciones?
- ¿Qué causa cada falla funcional?
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?
- ¿En qué formas afecta cada falla funcional?
- ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla funcional?
- ¿Qué debería hacerse si no se pueden hallar tareas preventivas aplicables?

- Estas preguntas, y su adecuada respuesta con respecto al ambiente, permite conocer a profundidad el proceso, identificar las fallas y sus causas, como también a centrarse y priorizar las potenciales debilidades.

7.4. Normativa y consideraciones técnicas del administrador de mercado mayorista

El anexo 1 de la norma de coordinación comercial número 14 (NCC14, 2007), en su apartado catorce punto nueve (14.9), establece los requisitos ideales para una instalación de medición de energía eléctrica. Como también, la norma referida, establece el procedimiento de la estimación de energía eléctrica en caso de que ocurra una falla, que impida la integración de la energía eléctrica. Considerando que la estimación de energía eléctrica, en el momento de una falla de los equipos de medición, puede ser a la alza o a la baja, representando de ésta manera incertidumbre en la liquidación de la energía eléctrica.

7.5. Normativa y consideraciones técnicas de una distribuidora

De igual manera (IEEE, 1987) en su norma ANSI-IEEE-C57-13-1-1981 establece el procedimiento de las pruebas de relación, en el método de utilizado para la relación de corriente y del voltaje, dicho procedimiento está establecido para fabricantes; sin embargo, éste tipo de procedimiento puede adaptarse para la certificación de los equipos de medida instalados en campo, para garantizar la precisión.

En los procedimientos que plantea (Salamanca, 2016) se establece que la estructura de un procedimiento de inspección como mantenimiento preventivo en equipos de medición, orienta a la detección de pérdidas de energía eléctrica.

De este modo, se podrá conocer, el estado de los equipos, anticipándose a las fallas de los equipos de medición.

7.5.1. Características de los equipos de medida

Para los transformadores de corriente, deben ser homologados por la empresa distribuidora, según las normas internacionales que contemplan las siguientes características:

- Tipo de servicio: Exterior
- Ambiente: Clima tropical.
- Intensidad primaria: La relación de transformación se dimensionará en función de la carga instalada, (ver tabla No. 2, apartado 13).
- Intensidad secundaria nominal: 5 A
- Potencia de precisión: 12.5 VA para circuitos a 13.8 kV y 22.5 VA para circuitos a 34.5 kV.
- Clase de precisión: 0.3
- Gama extendida: 120%
- Factor de seguridad (Fs.): ≥ 5
- Tensiones más elevada para el material (V_m), tensión soportada a frecuencia industrial (V_f), tensión soportada al impulso tipo rayo (V_I).

Tabla I. **Características del transformador de medida**

Tensión primaria nominal (kV)		
Tensión	Redes hasta 13.8kV	Redes hasta 34.5 kV
Vm (kV)	15	38
Vf (kV)	34	70
VI (kV)	110	200

Fuente: elaboración propia.

- Frecuencia nominal: 60 Hz
- Intensidad térmica de cortocircuito (I_{ter}):
 - 200 IN (Para IN ≤ 25A)
 - 80 IN (para IN > 25A), con un mínimo de 5kA.
- Intensidad dinámica de cortocircuito: 2.5 I_{ter}.
- Deberá ser de una sola relación.
- La bornera del secundario debe ser estanca y precintable, ver planos sugeridos.

8. ÍNDICE PROPUESTO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ABREVIATURAS

GLOSARIO

ANTECEDENTES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Definiciones.
- 1.2. Equipos de medición eléctrica
 - 1.2.1. Transformadores de potencial
 - 1.2.2. Transformadores de corriente
 - 1.2.3. Medidores de energía eléctrica.
- 1.3. Requisitos generales a considerar en los equipos la medición de energía eléctrica.
- 1.4. Mantenimiento preventivo a equipos de medición eléctrica.
 - 1.4.1. Nivel de aislamiento.
 - 1.4.2. Nivel de temperatura
 - 1.4.3. Metodologías de mantenimiento
 - 1.4.4. Círculo de Deming

- 1.5. Normativa y consideraciones técnicas del administrador de mercado mayorista para la intervención de
- 1.6. Normativa y consideraciones técnicas de una distribuidora para la medición eléctrica de energía en media tensión.

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4. PROPUESTA DE MÉTODO DE SOLUCIÓN

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

El protocolo de mantenimiento preventivo toma en cuenta, principalmente los puntos de medida indirecta en media tensión considerando los siguientes factores:

9.1. Diseño de investigación

Diseñar un protocolo de mantenimiento preventivo, para equipos de medición indirecta en media tensión, a puntos de compra y distribución de energía eléctrica. Tomando en cuenta las regulaciones establecidas Administrador del Mercado Mayorista, las normas de medición como la IEEE Std. C57.13., los procesos de mantenimiento de una distribuidora de energía eléctrica y procedimientos propuestos por fabricantes de equipos de medición eléctrica. En conjunto, las herramientas antes descritas, servirán para describir cómo deben de ser los procedimientos y técnicas que se deben establecer en el estudio no experimental, para la propuesta de protocolo de mantenimiento preventivo.

9.2. Tipo de estudio

La investigación es descriptiva, ya que se describe el estado de los equipos de medida indirecta en media tensión para los puntos de compra y distribución. Analizando los datos históricos de inspecciones y readecuaciones que se han realizado a puntos de compra y distribución, apoyado de los ensayos y pruebas propuestas en las normas internacionales para certificación

de puntos de medida. Lo anterior se utilizará para la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo.

9.3. Alcance

Con el adecuado mantenimiento preventivo de los equipos de medición indirecta, se pretende reducir las pérdidas técnicas de energía eléctrica por variaciones en la precisión de los equipos de medida. Adicionalmente, se pretende establecer un histórico de mantenimiento a los equipos para cada punto de medición tratado, un tratamiento adecuado a los equipos de medida, una programación adecuada a lo establecido en la regulación nacional para el mantenimiento de los equipos de medición eléctrica de los puntos de compra y distribución.

9.4. Variables e indicadores

De acuerdo a los valores críticos que se desarrolla en el punto de compra y distribución:

Tabla II. **Variables**

Variables	Definición
Red de distribución	Nivel de voltaje de distribución, determina valores de aislamiento.
Demanda de energía del punto de distribución	Característica de la región donde está el circuito eléctrico, que determina la dimensión de los equipos de medición.
Porcentaje de Perdidas del punto de compra y distribución.	Determina la importancia y prioriza el análisis del estado del punto de medida.
Frecuencia de mantenimiento.	Realizado a la subestación o punto de enlace.

Fuente: elaboración propia.

- Indicadores

Los indicadores tomados a consideración por una falla ocurrida en el circuito o salida de media tensión son:

- Indicadores de disponibilidad

- Disponibilidad total

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ de\ mantenimiento}{Horas\ totales}$$

- Disponibilidad por falla

$$Disponibilidad\ por\ falla = \frac{Horas\ Totales - Horas\ de\ salida\ por\ falla}{Horas\ totales}$$

- Indicadores de gestión de órdenes de trabajo

- Órdenes generadas
- Órdenes pendientes
- Órdenes resueltas

- Índices de proporción de tipo de mantenimiento

- Índice de mantenimiento programado
- Índice de mantenimiento correctivo
- Índices de emergencias

9.5. Fases de la metodología

- **Fase I:** La recopilación de los datos de mantenimiento (como investigación descriptiva) en una empresa de distribución eléctrica propone, el análisis del histórico de mantenimientos, a los equipos medición eléctrica indirecta en media tensión, realizando con ello un análisis modal de fallas y efectos.
- **Fase II:** Recopilación de información de mantenimiento propuesto por las normativas. Realizando un análisis de las normas de intervención a los equipos de medición de energía eléctrica dentro del mercado eléctrico. Analizando de la misma manera, las normativas propuestas por normativa internacionales, para el mantenimiento preventivo de medidores y a transformadores de medida.
- **Fase III:** Recopilación de información de mantenimiento propuesto por fabricantes de los equipos de medición. Analizando las normativas propuestas por normativas internacionales, para el mantenimiento preventivo a medidores de energía eléctrica
- **Fase IV:** Propuesta de protocolo de mantenimiento preventivo a equipo de medición eléctrica para puntos transacción de energía eléctrica, que sea medible y se actualice con el transcurso del tiempo.

9.6. Resultados esperados

Se espera que en la recopilación de los datos de mantenimiento en una empresa de distribución eléctrica, se logre analizar el histórico de mantenimientos a los equipos medición eléctrica indirecta en media tensión

para puntos de compra y distribución de energía eléctrica, estableciendo las fallas más críticas y frecuentes.

Se espera identificar y analizar los costos de calidad y no calidad incurridos en una falla en la medición eléctrica.

Se espera la recopilación de información de mantenimiento propuesto por las normativas. Analizar las normas de intervención a los equipos de medición de energía eléctrica dentro del mercado eléctrico. Analizar las normativas internacionales, para el mantenimiento preventivo de medidores, mantenimiento preventivo a transformadores de medida, con el fin de establecer los lineamientos requeridos para el adecuado mantenimiento a los equipos de medida.

La propuesta de protocolo de mantenimiento preventivo a equipo de medición eléctrica para puntos compra y distribución de energía eléctrica es la fase final que se pretende obtener, con la característica que sea continuamente mejorado.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la tendencia pérdidas técnicas y no técnicas a causa de la falta de estructuración lógica en el mantenimiento, se hará uso del análisis estadístico, descriptivo, con el fin de analizar datos cuantitativos, para la toma de frecuencia de aplicación de mantenimiento.

Para establecer la criticidad de las fallas en un equipo de medición y proponer mejoras, evitando las pérdidas de energía eléctrica, se utilizará el análisis modal de fallas y efectos, herramienta que cuantifica la criticidad de las fallas de un proceso.

Para determinar la criticidad económica del mantenimiento a los equipos de medida, se analizará por medio de análisis de costos, cuantificando los costos de no calidad, en la ausencia de un procedimiento de mantenimiento.

Para establecer la continuidad y la actualización del proceso, se hará uso de la metodología de mejora continua, apoyándose del círculo de Deming. Como herramienta de control de mantenimiento.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El estudio se llevará a cabo en una distribuidora de energía eléctrica; debido a que los datos pueden ser proporcionados con base a sus históricos de mantenimiento, se realizarán investigaciones para conocer el tratamiento que realizan otras entidades similares.

Los gastos que conllevan la realización de la investigación son asumidos por el investigador, apoyado por una distribuidora de energía eléctrica.

Cada etapa conlleva una cantidad específica de inversión, planteada de la siguiente manera.

Tabla III. **Descripción de costos**

Fase	Descripción	Monto
Fase I: La recopilación de los datos de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none">• Análisis del histórico de mantenimientos a los equipos medición eléctrica indirecta en media tensión para de compra y distribución de energía eléctrica• Análisis de las de los costos de calidad.	Q 1 200,00
Fase II: Recopilación de información de mantenimiento propuesto por las normativas.	<ul style="list-style-type: none">• Análisis de las normas de intervención a los equipos de medición de energía eléctrica dentro del mercado eléctrico.• Análisis de las normativas propuestas por normativa internacionales, para el mantenimiento preventivo de medidores, mantenimiento preventivo a transformadores de medida.	Q5 000,00

Continuación de la tabla III.

Fase III: Recopilación de información de mantenimiento propuesto por fabricantes de los equipos de medición.	<ul style="list-style-type: none"> Análisis de las normativas propuestas por normativas internacionales, para el mantenimiento preventivo a medidores de energía eléctrica 	Q1 200,00
Fase IV: Propuesta de protocolo de mantenimiento preventivo a equipo de medición eléctrica para puntos transacción de energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> Propuesta de protocolo de mantenimiento preventivo a equipo de medición eléctrica para puntos transacción de energía eléctrica 	Q 1 000,00
Total		Q 8 400,00

Fuente: elaboración propia.

Puesto que se cuenta con el apoyo de una distribuidora de energía eléctrica, los montos pueden ser cubiertos, y la inversión que hace el investigador disminuye, con respecto a los valores previstos.

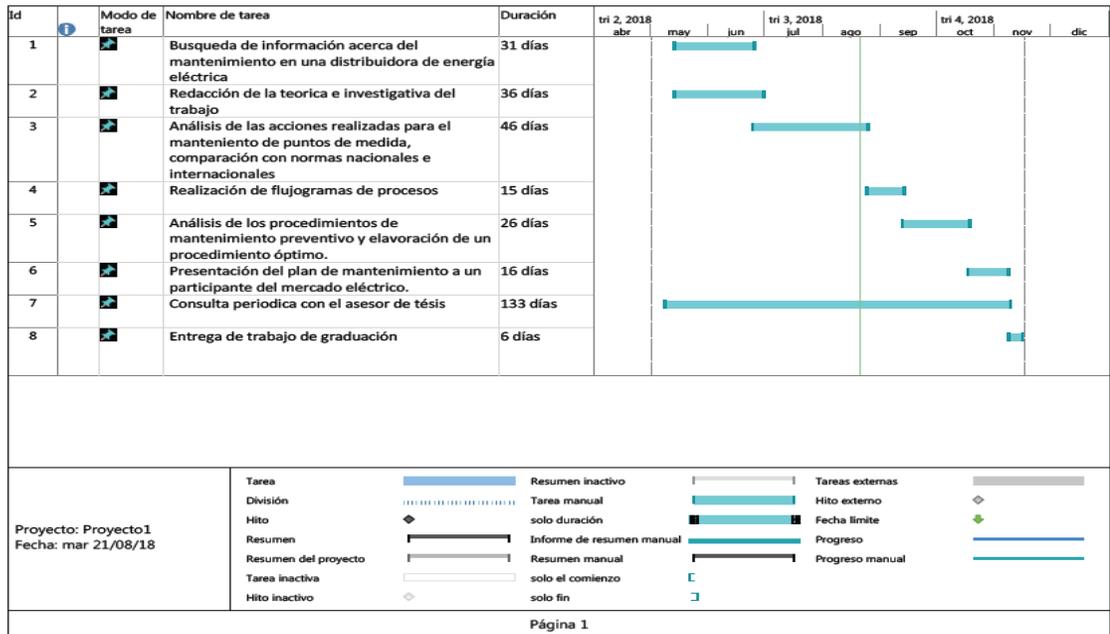
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Administrador de Mercado Mayorista. (2014). *Norma de Coordinación Comercial (NCC-14)*. Guatemala: NCC-14.
2. ARTECHE. (2015). teoría y tecnología de los transformadores de Medida. Munguía, España: AO ©ARTECHE.
3. Ayuni Campos, D. (2013). Implementación de un sistema de mejora continua bajo la metodología PHVA en la empresa Arnao S.S.C. Perú: Artículo científico.
4. Castillo, J. A. (2009). Verificaciones de las Instalaciones Oficiales de medición comercial de los participantes del mercado mayorista de Guatemala. Guatemala: Tesis.
5. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2002). *Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones* . Guatemala: Normas CNEE.
6. Comisión Regional de Interconexión Eléctrica. (2005). *Reglamento del Mercado Eléctrico Regional*. Guatemala, Centro América.
7. Concepción, A. D. (2016). Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. Cuba: Sistema de Información Científica Redalyc.

8. Deepak Prabhakar P, J. R. (2014). A Qualitative Comparison of Maintenance Management. *IJMBS* , 5-8.
9. Deocsa-Deorsa. (2011). *Especificación técnica de medida*. Guatemala: ES.2166.GT-TM.
10. Durán, J. B. (2003). *Nuevas tendencias en el mantenimiento de la industria eléctrica*. Venezuela: IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS.
11. Florian Predl, D. M. (2018). *Mediciones de diagnóstico en transformadores de medida*. Houston: OMICRON electronics GmbH.
12. IEEE. (1987). IEEE Guide for field testing of relaying current transformers. Unated States: IEEE C57.13.1.81.
13. IEEE Std C57.13. (2003). *Standard Requirements for Instrument Transformers*. New York: IEEE Satandards Board.
14. NCC14, A. d. (2007). *Norma de Coordinación Comercial*. Guatemala: Resolucion 307-02.
15. Oliva, D. I. (1994). *Transformadores de potencia, de medida y de protección*. Barcelona España: Marcombo BOIXAREU Editores.
16. Salamanca, W. A. (2016). Evaluación de los procesos en el diagnóstico de pérdidas de energía eléctrica implementados por EDEC SA. Tanja, : Tesis.

13. APÉNDICES

Apéndice 1. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Problema	Pregunta	Objetivos	Justificación
General	General	General	
No se tiene un protocolo de mantenimiento preventivo para un punto de compra y distribución de energía eléctrica	¿qué protocolo mantenimiento preventivo se debe seguir para los equipos de medición indirecta en media tensión, para los puntos de compra y distribución de energía y las salidas de media tensión de una distribuidora de energía eléctrica?	Diseñar un protocolo de mantenimiento preventivo, de los equipos de medición indirecta en media tensión, para los puntos de compra y distribución de una distribuidora de energía eléctrica.	Un protocolo de mantenimiento preventivo, permite conocer el estado físico y de precisión de los equipos de medición, permite identificar fallas, reduce costos de mantenimiento y se tiene certeza de la energía medida.
Específico 1	Específica 1	Específico 1	
El conocimiento de las regulaciones del amm no es el adecuado para la correcta intervención de mantenimiento a un equipo de medición en un punto medida.	¿qué regulación ha planteado por el administrador del mercado mayorista, para el mantenimiento a los puntos de medición de compra y distribución de energía eléctrica?	Identificar las regulaciones establecidas en las normas de coordinación comercial del amm respectivas a la medición eléctrica, para la intervención y elaboración de mantenimientos o a los equipos de medida.	Conociendo la regulación, se puede tener una indicador de los parámetros requeridos de precisión, indicador de tiempos para el mantenimiento y las penalizaciones por el incumplimiento de las mismas.
Específico 2	Específica 2	Específico 2	
El mantenimiento planteado por el fabricante de equipos de medida. No es tomado en cuenta para el mantenimiento de los mismos.	¿qué procedimientos plantean los fabricantes de equipos de medición eléctrica, para el mantenimiento preventivo a los transformadores de medida y medidores de energía eléctrica en las redes de media tensión?	Identificar el procedimiento preventivo recomendado por fabricantes de equipos de medición y normas, para el mantenimiento de equipos de medida indirecta en media tensión.	Apegarse a las indicaciones de mantenimiento, propuestas del fabricante brinda los parámetro de operación de los equipos, permite conocer los niveles de precisión diseñados.
Específico 3	Específica 3	Específico 3	
No se tiene un perfil establecido para el personal que realiza el mantenimiento, y se desconoce el inventario de los equipos y materiales.	¿cuál es el perfil del personal, los equipos y materiales de trabajo para la realización de mantenimiento preventivo para los equipos de medición eléctrica de media tensión?	Determinar el perfil del personal de trabajo, los materiales y equipos para la realización de mantenimiento a los equipos de medición eléctrica en media tensión.	El personal técnico con el perfil adecuado, el conocimiento de los materiales y equipos, el control de inventario, permite la gestionar un mantenimiento de calidad a los equipos de medida.
Específico 4	Específica 4	Específico 4	
No se tiene un proceso, que se renueve continuamente, actualmente solo se hacen los procesos reactivos.	¿cuál es el método adecuado que permite medir la eficiencia y mantener actualizado un protocolo de mantenimiento preventivo, para equipos de medición eléctrica?	Determinar el método adecuado que permite medir la eficiencia y permita mantener actualizado de manera continua un protocolo de mantenimiento preventivo, para equipos de medición eléctrica.	Midiendo la eficiencia del mantenimiento, identificando los puntos de mejora, permite mantener el sistema de mantenimiento, e impulsa la mejora continua.

Fuente: elaboración propia.