



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE TARJETAS DE
INSPECCIÓN Y TOMA DE DATOS BASADAS EN NORMATIVAS ANSI (IEEE) PARA EL
PROCESO DE DIAGNÓSTICO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS DE SUBESTACIONES DE
DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN PARA UNA EMPRESA DE SERVICIOS ELÉCTRICOS
UBICADA EN AMATITLÁN, GUATEMALA**

César Estuardo Vicente Rivera

Asesorado por el M.A. Ing. José Carlos Boanerges Leppe de León

Guatemala, julio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE TARJETAS DE
INSPECCIÓN Y TOMA DE DATOS BASADAS EN NORMATIVAS ANSI (IEEE) PARA EL
PROCESO DE DIAGNÓSTICO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS DE SUBESTACIONES DE
DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN PARA UNA EMPRESA DE SERVICIOS ELÉCTRICOS
UBICADA EN AMATITLÁN, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CESAR ESTUARDO VICENTE RIVERA
ASESORADO POR EL M.A. ING. JOSÉ CARLOS BOANERGES LEPPE
DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2022

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. Kevin Vladimir Cruz Llorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Endor Steve Ortiz del Cid
EXAMINADOR	Ing. Helmunt Federico Chicol Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 PARA IMPLEMENTACIÓN DE TARJETAS DE INSPECCIÓN Y TOMA DE DATOS BASADAS EN NORMATIVAS ANSI (IEEE) PARA EL PROCESO DE DIAGNÓSTICO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN PARA UNA EMPRESA DE SERVICIOS ELÉCTRICOS UBICADA EN AMATITLÁN, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 6 de mayo de 2022.

César Estuardo Vicente Rivera



EEPM-PP-0674-2022

Guatemala, 6 de mayo de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓNIMPLEMENTACIÓN DE TARJETAS DE INSPECCIÓN Y TOMA DE DATOS BASADAS EN NORMATIVAS ANSI (IEEE) PARA EL PROCESO DE DIAGNÓSTICO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSION PARA UNA EMPRESA DE SERVICIOS ELÉCTRICOS UBICADA EN AMATITLÁN, GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Área de Operaciones - Normalización de procesos**, presentado por el estudiante **César Estuardo Vicente Rivera** carné número **201318649**, 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 en Gestion Industrial.

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"



José Carlos Boanerges Leppe De León
Ingeniero Químico
Colegiado 2,198

Mtro. José Carlos Boanerges Leppe De León
Asesor(a)



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
DE GUATEMALA

Mtro. Kenneth Lubeck Corado Esquivel
Coordinador(a) de Maestría



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





EEP-EIME-0674-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria 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: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓNIMPLEMENTACIÓN DE TARJETAS DE INSPECCIÓN Y TOMA DE DATOS BASADAS EN NORMATIVAS ANSI (IEEE) PARA EL PROCESO DE DIAGNÓSTICO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN PARA UNA EMPRESA DE SERVICIOS ELÉCTRICOS UBICADA EN AMATITLÁN, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **César Estuardo Vicente Rivera**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, mayo de 2022

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.505.2022

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 PARA IMPLEMENTACIÓN DE TARJETAS DE INSPECCIÓN Y TOMA DE DATOS BASADAS EN NORMATIVAS ANSI (IEEE) PARA EL PROCESO DE DIAGNÓSTICO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN PARA UNA EMPRESA DE SERVICIOS ELÉCTRICOS UBICADA EN AMATITLÁN, GUATEMALA**, presentado por: **César Estuardo Vicente Rivera**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, julio de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme llegar hasta aquí, siendo mi fortaleza en todo momento y mi guía para luchar en cada batalla.
- Mis padres** César Augusto Vicente y Dina Lilí Rivera por instruirme con gran esfuerzo y cariño siendo la inspiración para seguir adelante en cada etapa.
- Mis abuelos** Vicenta Ajpop, Francisco Vicente, Florentino Rivera y María Acuña, (q. e. p. d.) que ahora son ángeles que me guían desde el cielo y brindaron sabiduría e inspiración para lograr mis metas.
- Mis hermanos** Alan Vicente, Alexis Martínez, Felipe y Estrellita Paniagua que fueron incondicionales y estuvieron para apoyarme en todo momento.
- Mis primos** Por los momentos vividos y los gratos recuerdos que guardo, que a pesar de la distancia me apoyaron y motivaron siempre.
- Mis sobrinos** César Isaías y Alan Emanuel Vicente que han alegrado muchos momentos de mi vida y a quienes deseo que Dios guíe su vida y les brinde fortalezas e inspiración para lograr sus metas.

Mi pareja

Daniela Solórzano, por ser inspiración y motivación para poder alcanzar mis metas y apoyarme incondicionalmente cuando más lo necesité.

Mis amigos

Por formar parte de esta aventura y ser fuente de motivación para continuar adelante a pesar de las dificultades.

Mi familia en general

Por todo el apoyo incondicional recibido y la motivación y estímulo para el logro de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Mi eterno segundo hogar, lugar donde viví muchas experiencias y aprendizajes para la vida.
Facultad de ingeniería	Grandiosa facultad, parte esencial que me permitió obtener formación profesional y me abrió posibilidades a nivel académico y profesional.
Familia Solorzano Istupe	Maravillosas personas que me han brindado un espacio dentro de su hogar y me han permitido compartir momentos y tradiciones agradables. El apoyo incondicional de cada uno siempre lo tengo presente y será agradecido.
Familia Rodas Vicente	Por recibirme y brindarme un espacio dentro de su hogar, el cual permitiera el inicio de mi carrera universitaria para alcanzar este logro. Gracias por el apoyo incondicional y todo lo compartido.
Gerencia de Zetrak Guatemala	Otoniel Ramírez, por darme la oportunidad de demostrar y aplicar los conocimientos adquiridos en la facultad de ingeniería y formar parte de las personas que han inspirado mis proyectos y me han brindado apoyo.

**Amigos y compañeros
de trabajo**

Jesús Escobar y Rolando Salas por compartir todas sus experiencias, formar parte de mi experiencia laboral y aportar todos sus conocimientos, además de los gratos momentos vividos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	10
3.3. Formulación del problema	11
3.4. Pregunta central	11
3.5. Preguntas auxiliares	11
3.6. Delimitación del problema	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
6.1. Etapas de la investigación	17

6.2.	Esquema de solución	19
7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1.	Subestaciones eléctricas de distribución.....	21
7.2.	Tipos de subestaciones eléctricas	22
7.2.1.	Clasificación según la operación	23
7.2.2.	Clasificación según la tecnología	24
7.3.	Equipamiento eléctrico de subestaciones de distribución	25
7.3.1.	Transformadores de potencia.....	26
7.3.2.	Transformadores de instrumento	27
7.3.3.	Interruptores de potencia.....	28
7.3.4.	Apartarrayos.....	29
7.3.5.	Seccionadores.....	30
7.4.	Mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones de distribución	31
7.4.1.	Tipos de mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones	31
7.4.1.1.	Mantenimiento predictivo.....	32
7.4.1.2.	Mantenimiento preventivo	33
7.4.1.3.	Mantenimiento correctivo	34
7.4.2.	Frecuencia del mantenimiento	35
7.4.2.1.	Mantenimiento según periodicidad	35
7.4.2.2.	Mantenimiento según cantidad de operaciones.....	37
7.4.3.	Actividades típicas del mantenimiento	38
7.4.3.1.	Limpieza del aislamiento	38
7.4.3.2.	Inspecciones de equipamiento	38
7.4.3.3.	Pruebas eléctricas al equipamiento.....	39

7.5.	Gestión del mantenimiento de los equipos eléctricos de subestaciones.....	39
7.5.1.	Informes del mantenimiento.....	40
7.5.1.1.	Resumen de resultados en los informes de mantenimiento	41
7.5.1.2.	Registros históricos en los informes del mantenimiento	42
7.5.2.	Tipos de inspecciones en equipos eléctricos de subestación.....	44
7.5.2.1.	Inspecciones visuales	45
7.5.2.2.	Inspecciones termográficas	46
7.5.2.3.	Inspecciones boroscópicas.....	46
7.5.2.4.	Inspecciones por ultrasonido	47
7.6.	Consideraciones de seguridad y acceso a subestaciones eléctricas	48
7.6.1.	Sobre la seguridad y salud ocupacional	49
7.6.2.	Normas típicas de ingreso a subestaciones eléctricas	51
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	53
9.	METODOLOGÍA.....	57
9.1.	Enfoque	57
9.2.	Diseño	57
9.3.	Tipo de estudio	58
9.4.	Alcance.....	58
9.5.	Variables.....	58
9.6.	Operacionalización de las variables	60
9.7.	Fases.....	63

9.8.	Resultados esperados.....	67
9.9.	Población y muestra.....	67
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	69
10.1.	Herramientas de diagnóstico.....	69
10.2.	Análisis de la información.....	70
10.3.	Evaluación de beneficios.....	71
11.	CRONOGRAMA	73
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	75
13.	REFERENCIAS	77
14.	APÉNDICES	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución.....	19
2.	Ejemplo de esquema de subestaciones de un sistema eléctrico interconectado.....	22
3.	Diagrama unifilar de algunos tipos de subestaciones	23
4.	Subestación aislada en aire contra una aislada en SF6	24
5.	Equipos de subestación eléctrica en patio	25
6.	Transformador de potencia de alta tensión sumergido en aceite.....	26
7.	Transformadores de instrumento tipo subestación	27
8.	Interruptor de potencia, tanque muerto	28
9.	Apartarrayos de distribución.....	29
10.	Seccionador de intemperie.....	30
11.	Termografía aplicada a un transformador de subestación	32
12.	Limpieza de aislamiento para prevenir descargas por contaminación ...	33
13.	Falla en interruptor de potencia.....	34
14.	Contador de descargas electro atmosféricas de apartarrayos	37
15.	Ciclo de vida de equipos eléctricos de subestación	40
16.	Simbología utilizada en un resumen de análisis de aceite dieléctrico de un equipo eléctrico	42
17.	Variación de humedad en aceite de transformadores con la temperatura	43
18.	Inspección de subestaciones por dron	44
19.	Fuga de aceite dieléctrico detectada en transformador	45
20.	Punto caliente detectado en la conexión de una boquilla	46

21.	Boroscopio TXPLORE saliendo de transformador.....	47
22.	Inspeccion ultrasonica en subestación	48
23.	Rotulación sobre riesgos a la seguridad es subestaciones	49
24.	Equipo de protección personal exigido en subestaciones	50
25.	Cronograma del trabajo de investigación.....	73

TABLAS

I.	Niveles preferentes de tensiones para distribución en Guatemala	22
II.	Frecuencia del mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones	36
III.	Matriz de coeficientes de corrección de frecuencia del mantenimiento .	36
IV.	Nombre de la variable.....	59
V.	Operacionalización de las variables.....	60
VI.	Presupuesto.....	75

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H₂O	Agua.
°C	Grado celcius.
SF₆	Hexafluoruro de azufre.
kV	Kilovoltio.
PPM	Partes por millón.
Q.	Quetzal.

GLOSARIO

ANSI	El American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares), cuyo acrónimo es ANSI, tiene por objetivo crear directrices que sean ampliamente aceptadas.
Antecedentes penales	Son la constancia temporal en un registro oficial de las sanciones impuestas a una persona en virtud de sentencia firme, emitida por un juzgado o tribunal de ámbito penal.
Antecedentes policíacos	Es una constancia en la cual se indica si la persona ha sido capturada o tiene orden de captura por la Policía Nacional Civil.
Boquilla eléctrica	Un cuerpo de porcelana que envuelve a conductor aislándolo a su paso por la tapa.
Certificado	El certificado es un tipo de texto administrativo empleado para constatar un determinado hecho.
Circuito eléctrico	Conjunto de elementos eléctricos conectados entre sí que permiten generar, transportar y utilizar la energía eléctrica con la finalidad de transformarla en otro tipo de energía.

Confidencialidad	Obligación contenida en el contrato laboral mediante la cual el trabajador se compromete a no difundir secretos de la compañía.
Corriente eléctrica	Es un fenómeno físico causado por el desplazamiento de una carga (ion o electrón).
Corto circuito	Es una falla producida en un dispositivo o en una línea eléctrica cuando dos conductores que poseen polaridades distintas entran en contacto.
Descargas electroatmosféricas	Se presentan cuando se forman grandes concentraciones de carga eléctrica en las capas de la atmósfera inmediatamente inferiores a la estratosfera.
Descargas parciales	Es una descarga eléctrica localizada que sólo puentea parcialmente el aislamiento entre conductores y que puede o no ocurrir adyacente a un conductor.
Diagnóstico	Es un estudio previo a toda planificación o proyecto y que consiste en la recopilación de información, su ordenamiento, su interpretación y la obtención de conclusiones e hipótesis.
Distancia de fuga	Es el camino más corto entre dos partes conductoras (o entre una parte conductora y la superficie delimitadora del equipo).

Espectro infrarrojo	Es la medida de la interacción de la radiación infrarroja con la materia por absorción, emisión o reflexión.
Estándar	Es el nivel de referencia de algún factor de producción, por ejemplo, el coste de la materia prima.
Excel	Excel es un programa computacional incluido en el paquete Microsoft Office, y sirve para la creación, manejo y modificación de hojas de cálculo.
Falla eléctrica	Es un evento anormal que provoca el mal funcionamiento de un circuito eléctrico y algunas veces ocasiona el corte del suministro de energía en una vivienda o industria.
Homogéneo	Es aquello que es igual para los diversos elementos que forman un determinado grupo o conjunto.
IEEE	El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos es la mayor organización profesional técnica del mundo, que agrupa a más de 420.000 ingenieros, científicos, tecnólogos y profesionales, que se dedican al avance en la innovación tecnológica y a la excelencia en beneficio de la humanidad.
Inspección	Es una función de control documentado realizada en una compañía, para determinar el cumplimiento legal y para localizar y reportar incumplimientos potenciales y existentes.

Líneas aéreas	Es una infraestructura usada en la transmisión y la distribución de energía eléctrica a grandes distancias.
Lista de cotejo	Consiste en un listado de aspectos a evaluar (contenidos, capacidades, habilidades, conductas, etc.), al lado de los cuales se puede calificar.
Mecanismo de falla	Se refiere a las consecuencias y características de eventos que ocurrieron para resultar en la falla o colapso.
Normativa	Es el conjunto de leyes que regula un tema o ámbito determinado.
Parámetro	Es un elemento de un sistema que permite clasificarlo y poder evaluar algunas de sus características como el rendimiento, la amplitud o la condición.
Paro	Se llama paro a la suspensión de actividades en una empresa en general.
<i>Project</i>	Project es una aplicación de software vendida por Microsoft que proporciona herramientas de administración de proyectos.
Protección eléctrica	Se utilizan para evitar la destrucción de equipos o instalaciones por causa de una falla que podría iniciarse de manera simple y después extenderse sin control en forma encadenada.

Prototipo

Es un modelo (representación, demostración o simulación) fácilmente ampliable y modificable de un sistema planificado, probablemente incluyendo su interfaz y su funcionalidad de entradas y salidas.

Tensión eléctrica

Es la presión de una fuente de energía de un circuito eléctrico que empuja los electrones cargados (corriente) a través de un lazo conductor, lo que les permite trabajar.

Word

Word es un programa de procesamiento de texto, diseñado para ayudarle a crear documentos de calidad profesional.

RESUMEN

El mantenimiento de los equipos eléctricos de subestaciones de distribución es un proceso esencial en cuanto al aseguramiento de la operación continua de la producción en empresas del sector industrial y se torna vital cuando estos sectores únicamente tienen programado uno o dos paros de operación por año para poder realizar las tareas respectivas, lo cual conlleva a la necesidad de establecer mecanismos que permitan garantizar un buen diagnóstico del equipamiento en el tiempo asignado y asegurar la disponibilidad de los resultados para su posterior tabulación en el informe final.

Las inspecciones del equipamiento eléctrico de subestaciones proporcionan información indispensable para la tabulación de los resultados y la emisión del diagnóstico final y estos deben resguardarse de la mejor manera posible, ya que una vez energizada la subestación no podrá obtenerse ningún dato más, hasta el próximo paro. El presente estudio busca implementar tarjetas de inspección y toma de datos que permitirán concentrar y resguardar la información respectiva del mantenimiento ejecutado.

La implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos permitirá mejorar la satisfacción del cliente mediante el ordenamiento y mejora del manejo de los resultados obtenidos del mantenimiento, permitiendo elevar el nivel de confianza de los diagnósticos del equipo eléctrico de subestaciones de media tensión. El proceso permitirá dar atención a los requerimientos de la industria y a las necesidades del personal de campo y planta que complementan los diagnósticos de las subestaciones de la industria.

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de investigación consiste en una sistematización del proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones, mediante la implementación de tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas ANSI (IEEE).

El problema actual de la empresa son los retrasos e inconvenientes durante la etapa del análisis de los datos recabados para el diagnóstico de equipos eléctricos de subestación y durante la emisión de los informes certificados por la empresa, etapa en la cual no se tiene un control ni procedimiento adecuado para la toma de datos en campo e inspecciones de equipos eléctricos de subestaciones, olvidando parámetros que son requisito para certificar un informe con reconocimiento por la comunidad científica internacional.

La solución de esta problemática es importante para el desarrollo y crecimiento de la empresa en el área de servicios de diagnóstico basados en normativas de reconocimiento internacional. Además, es importante dado que permitirá aumentar la satisfacción del cliente, la cual se centra en garantizar la operación continua de los equipos de sus subestaciones, permitiendo el monitoreo histórico del comportamiento de los parámetros evaluados y anticipándose a fallas mayores que puedan provocar salidas y paros de emergencia.

El beneficio esperado por la empresa es la optimización de los recursos al reducir los tiempos de emisión del diagnóstico certificado y mejorar la satisfacción del cliente con los mismos diagnósticos certificados emitidos.

A nivel industria presenta un aporte técnico al brindar un modelo de tarjeta de inspección y toma de datos que puede ser replicado a distintos sectores con el fin de garantizar la confiabilidad de la red de suministro que puede afectar a servicios básicos, como hospitales, escuelas y sistemas de distribución de agua potable.

El esquema de la solución propone visitas técnicas a las áreas de trabajo para realizar un levantamiento de reconocimiento de los equipos aplicables, herramientas y requerimientos específicos para la inspección en subestaciones.

El desarrollo de las tarjetas de inspección y toma de datos requiere la revisión documental de las normativas aplicables de ANSI (IEEE). La lectura e interpretación serán vitales para el diseño y optimización del modelo de las tarjetas de inspección y toma de datos, las cuales serán sometidas a cotejo con respecto a las legislaciones de seguridad y normas de ingreso vigentes en las subestaciones.

La implementación y evaluación de la solución se realizará en conjunto con la gerencia general como principal interesado del estudio y en cumplimiento con las políticas del departamento de recursos humanos de la empresa.

El estudio es también importante a nivel de gestión del personal, debido a que se refuerzan las buenas prácticas de seguridad industrial dentro de la empresa, ámbito que es importante para la gerencia, razón por la cual avala y pone a disposición los recursos necesarios para la ejecución, que además representan parte de la filosofía de mejora continua de la ingeniería de la empresa.

El informe final estará compuesto por cinco capítulos que constituirán el desarrollo de la solución a nuestro problema de investigación.

El primer capítulo es el marco referencial o antecedentes como parte esencial para situar el estado de la investigación y medir los avances presentados durante el desarrollo de los objetivos y el segundo capítulo, el marco teórico, que permitirá brindar al lector los conceptos, teorías y anotaciones importantes para el entendimiento a plenitud de los antecedentes, el problema y el desarrollo de la solución del problema de investigación.

El tercer capítulo lo comprende el desarrollo de la investigación que comprende la ejecución de las tareas y el levantamiento de datos que luego permitirá dar paso al cuarto capítulo, la presentación de los resultados. Finalmente, en el quinto capítulo se discutirán los resultados obtenidos y la solución del problema de investigación tomando en cuenta el marco referencial.

2. ANTECEDENTES

A continuación, se presentan algunos antecedentes encontrados acerca del problema de investigación y con los cuales se relaciona directamente y dan relevancia a los objetivos de investigación planteados.

Bolotinha (2019), en la edición especial de subestaciones expone las herramientas de diagnóstico más poderosas que permiten extender la vida útil del equipamiento eléctrico de subestaciones. Las técnicas presentadas son de tipo predictivo y preventivo y el autor recomienda que se utilicen en cumplimiento con las recomendaciones de normativas internacionales y los fabricantes.

El aporte de este estudio para la investigación es la introducción del uso de la matriz de coeficientes para el cálculo de la frecuencia del mantenimiento e inspección y nos brinda el concepto de inspección desde dos perspectivas utilizadas en el desarrollo de los programas de mantenimiento preventivo, denominadas inspección general y mantenimiento integrado. El artículo se centra en equipamiento de alta tensión, pero es aplicable también a subestaciones de distribución, dado que se basa en ANSI NETA MTS-2019.

Botero (2018), en su tesis de grado describe y analiza el proceso que permitió implementar tareas de tipo preventivo en el equipamiento eléctrico de la planta. Esta actividad también desarrolló áreas administrativas y sembró las bases que permitirán gestionar el mantenimiento a través de procesos documentados y estandarizados.

El aporte de estudio para la investigación es de tipo metodológico y brinda información valiosa al estudio para cumplir con el objetivo de implementar el proceso de inspección y toma de datos a la empresa. A nivel técnico tiene un aporte fundamental al permitir desarrollar un diagnóstico real.

Huaranca y Calatayud (2021) en su tesis de grado implementan un sistema que permitió simplificar el mantenimiento subestaciones eléctricas basado en la inspección por termografía y el porcentaje de carga de la red como herramientas para reducir la cantidad de interrupciones del servicio debido a sobrecargas del sistema. El método implementado comprendió un análisis termográfico en los momentos de mayor carga de las subestaciones con el fin de detectar defectos que pueden provocar interrupciones de no ser atacadas.

El aporte de este estudio para la investigación es valioso a nivel técnico dado que brinda una reseña sobre los equipos empleados, las características e incluso ejemplos de la aplicación que se dio durante la etapa de la recolección de datos, a nivel metodológico presenta recursos invaluableles al describir el proceso empleado para el análisis e interpretación y presentación de datos.

Díaz (2020), en su tesis de grado formula una propuesta para mejorar la productividad de las tareas de inspección a líneas de transmisión de alta tensión energizadas mediante la aplicación de drones con el objetivo de reducir los tiempos de ejecución de esta tarea.

El aporte de este estudio a la investigación es de tipo metodológico al describir una técnica poco empleada a nivel nacional para ejecutar inspecciones en equipos eléctricos energizados de alta tensión, además, el aporte técnico al desarrollar una propuesta del análisis y recolección de datos que permita reducir los tiempos es beneficioso para el cumplimiento del objetivo de documentación de los diagnósticos.

Rivera (2021), en su tesis de grado describe el proceso que conllevó la implementación de inspecciones periódicas en áreas de contacto mecánico eléctrico de las subestaciones de una industria minera. El proceso de implementación permitió identificar los equipos según el grado de criticidad y la elaboración de los formatos correspondientes, así como algunas matrices de periodicidad de las inspecciones.

El aporte de este estudio a la investigación es a nivel técnico y metodológico al introducir el análisis de causa y efecto y otras herramientas útiles en la programación y optimización de las tareas de mantenimiento de equipos eléctricos de la industria. El proceso de implementación documentando las fases de ejecución con equipos reales también es beneficioso en el objetivo de desarrollar las tarjetas de inspección y toma de datos.

Marrero (2018) en su tesis de grado analiza las actividades comunes de análisis de riesgos que se desarrollan en las subestaciones eléctricas previo al ingreso y ejecución de los mantenimientos que dan lugar al establecimiento de mecanismos de control. Al finalizar el análisis presenta la metodología recomendada, el análisis de fichas de seguridad, formatos para permisos y análisis de seguridad en subestaciones eléctricas.

El aporte de este estudio a la investigación es de tipo metodológico, ya que es importante considerar el protocolo de procedimientos a emplear al realizar inspecciones eléctricas en subestaciones, además, el aporte a nivel técnico es importante al analizar hojas de seguridad de productos reales y mostrar el procedimiento de análisis de riesgos en formatos reales.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Contexto general

La producción a nivel industrial opera de forma continua en el territorio nacional empleando energía eléctrica principalmente para la transformación de materias primas y la operación de los sectores administrativos y de servicios propios.

En Guatemala el sector industrial se encuentra abastecido de energía eléctrica a través del sistema nacional interconectado (SNI) principalmente, mercado en el cual, el sector industrial generalmente se encuentra catalogado como gran usuario al consumir potencias mayores a 100 kW de acuerdo con el Decreto No.93-96 [Congreso de la república de Guatemala] por medio del cual promulga la Ley General de Electricidad, el 22 de junio del 2005.

Ser gran usuario es preferente dado que no se encuentra sujeto a una tarifa específica, y tienen la capacidad de poder pactar libremente las condiciones del suministro con un agente comercializador. La tarifa de gran usuario por su parte requiere de la infraestructura de una subestación para poder recibir el suministro de las redes de distribución en media tensión.

Anualmente se ejecutan tareas de mantenimiento preventivo en todos los equipos eléctricos de dichas subestaciones, donde el objetivo es diagnosticar el estado y garantizar la operación segura y continua de la subestación.

La operación segura se extiende tanto al equipo como al personal involucrado en la operación, mantenimiento y reparación del equipo eléctrico dentro de la industria, sector donde en 2019 se ha reportado 166 accidentes eléctricos fatales en Estados Unidos con un índice de fatalidad del 0.1 por cada 100,000 trabajadores (U.S. Bureau Of Labor Statistics [BLS], 2019).

3.2 Descripción del problema

EMPRESA S.A. empresa que se dedica al suministro, instalación y mantenimiento de equipos para subestaciones eléctricas de distribución en media tensión, cuenta con 32 colaboradores en puestos especializados en un área de 2,500 m² y tiene como principales clientes la industria de alimentos, generadoras de energía eléctrica e industrias en general.

Últimamente ha experimentado inconvenientes al momento de la redacción y análisis de la información proveniente de los mantenimientos preventivos anuales ejecutados.

Los inconvenientes se presentan en la etapa de análisis de los datos de los equipos eléctricos, donde EMPRESA S.A. se apoya en los límites establecidos por las normativas ANSI (IEEE), considerados para operación segura de los equipos eléctricos de subestaciones para emitir el diagnóstico. La normativa ANSI (IEEE) exige una serie de parámetros que deben recabarse en campo para poder realizar el análisis de datos de forma confiable y cumplir con los requerimientos mínimos de la comunidad científica internacional.

Los parámetros exigidos por las normativas ANSI (IEEE) para el diagnóstico pueden variar en función del tipo, modelo, aplicación y tecnología del equipo eléctrico, dando como resultados variantes en la toma de datos en campo.

Actualmente varias empresas del sector industrial cuentan con restricciones para el ingreso de dispositivos digitales y de fotografías, basados en los acuerdos internos de las políticas de confidencialidad, dando como resultado anotaciones en hojas comunes sin una estructura establecida y consecuentemente la pérdida de estos o la omisión de datos esenciales según el equipo intervenido.

3.3 Formulación del problema

En esta etapa se estructura la idea y se presenta una breve descripción general de la situación del problema que se aborda en el presente trabajo de investigación.

3.4 Pregunta central

¿Cómo implementar de tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativa ANSI (IEEE) para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión, para una empresa de servicios eléctricos ubicada en Amatitlán, Guatemala?

3.5 Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las normativas ANSI (IEEE) aplicables al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión en el sector industrial de Guatemala?

- ¿Qué parámetros exigen las normativas ANSI (IEEE) aplicables, para el análisis de datos, que deban ser recabados durante la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo anual en equipos eléctricos de subestaciones?
- ¿Cuál es el modelo óptimo de tarjeta de inspección y toma de datos para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones?
- ¿Cómo introducir el uso obligatorio de la tarjeta de inspección y toma de datos en el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones?
- ¿Cómo cuantificar los beneficios del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos durante el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones?

3.6 Delimitación del problema

EMPRESA S.A. se encuentra ubicada en Amatitlán, municipio de Guatemala y se caracteriza por tener una ingeniería eléctrica versátil en constante mejora. Cuenta con equipos eléctricos de subestaciones en inventario, además de una base de datos de los equipos diagnosticados en campo.

El desarrollo del diseño de investigación ha sido autorizado por EMPRESA S.A. y los recursos, información y demás requerimientos han sido declarados disponibles para la ejecución prioritaria del proyecto de investigación, que arrancaría de forma inmediata a la aprobación del título propuesto.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de graduación se presenta en la línea de investigación del Área de Operaciones de la Maestría en Gestión Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), el enfoque central es implementar tarjetas de inspección y toma de datos con el objetivo de normalizar el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones eléctricas de media tensión.

La implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos forma parte del proceso recomendado por las normativas ANSI (IEEE) para el análisis y presentación de los resultados del diagnóstico a equipos eléctricos de subestaciones, estudio mediante el cual los informes certificados por el emisor podrán ser reconocidos por la comunidad científica internacional.

El estudio aporta a la estandarización de los procesos en el diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución en media tensión, aumentando la confiabilidad de los diagnósticos emitidos, mejorando la seguridad en la operación de los equipos y del personal durante las tareas de mantenimiento preventivo y ayudando a garantizar la operación continua de los equipos eléctricos.

La importancia del estudio a nivel social radica en garantizar la seguridad industrial y salud ocupacional del personal encargado de la operación y mantenimiento de los equipos eléctricos, mediante la identificación de riesgos potenciales, apoyados con las tarjetas de inspección y toma de datos, previo a la ejecución de tareas en los equipos eléctricos.

Los beneficiarios directamente serán; la empresa, debido a la optimización de recursos y mejora de la satisfacción de los clientes que reciben el servicio de diagnóstico de equipos eléctricos, así también, el personal de servicios y los operarios del cliente final.

La proyección social del estudio permitirá mejorar la confiabilidad de los sistemas de servicios básicos de las comunidades, tales como hospitales, escuelas y servicios de agua potable al garantizar la operación continua de los equipos eléctricos que conforman las subestaciones eléctricas, reduciendo la indisponibilidad, cortes o apagones frecuentes.

El desarrollo del trabajo de graduación se relaciona con los cursos de principios y fundamentos de la calidad, ingeniería de la productividad y la implementación de sistemas de calidad, los cuales son imprescindibles en el camino hacia la mejora de la calidad de los procesos de diagnóstico y el incremento de la satisfacción de los clientes actuales y potenciales de la empresa.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Implementar tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativa ANSI (IEEE) para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión, para una empresa de servicios eléctricos ubicada en Amatitlán, Guatemala

5.2 Específicos

- Seleccionar las normativas ANSI (IEEE) aplicables al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión en el sector industrial.
- Identificar los parámetros que exigen las normativas ANSI (IEEE) aplicables, para el análisis de datos, que deban ser recabados durante la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo anual en equipos eléctricos.
- Desarrollar un modelo óptimo de tarjeta de inspección y toma de datos para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones en campo.
- Desarrollar la metodología para introducir el uso obligatorio de la tarjeta de inspección y toma de datos en el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones.

- Evaluar los beneficios del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos durante el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La necesidad a cubrir en el ámbito laboral con el estudio de investigación es la mejora del proceso de documentación de los diagnósticos realizados a equipos eléctricos de subestaciones eléctricas de media tensión, la cual se cubrirá mediante la implementación de tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas ANSI (IEEE) permitiendo la estandarización del proceso de diagnóstico de equipos eléctricos.

La implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos permitirá reducir el tiempo de emisión de informes certificados por el departamento de ingeniería, mejorar la confiabilidad de los diagnósticos realizados a equipos eléctricos y garantizar la trazabilidad del estado del equipo a través del tiempo mediante el archivado de la documentación correspondiente.

6.1 Etapas de la investigación

Esta sección provee información relativa a las etapas que el estudio atravesará con el objetivo de encontrar la solución a nuestro problema de investigación, estimando el tiempo que durará cada una en el presente trabajo.

Primera etapa, revisión documental: Revisar los antecedentes del problema y del estado actual de la documentación, así como contextualización del ámbito laboral y reconocimiento de áreas y personal involucrado mediante revisión de la documentación actual y visitas técnicas. 1 semanas

Segunda etapa, diagnóstico inicial: Realizar el proceso de búsqueda y consulta de las versiones previas de las normativas ANSI (IEEE) que se apliquen al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión, adquiriendo los ejemplares seleccionados en formato digital para consulta posterior. Esta etapa se realizará mediante la consulta del catálogo de normas y uso de búsqueda por palabras claves y filtros. 2 semanas

Tercera etapa, análisis de las normativas: Identificar y extraer información acerca de los parámetros exigidos por las normativas ANSI (IEEE) seleccionadas para el proceso de diagnóstico de los equipos eléctricos mediante la lectura, interpretación y revisión de las normativas aplicables y desarrollo del prototipo y versión final de las tarjetas de inspección y toma de datos. 4 semanas

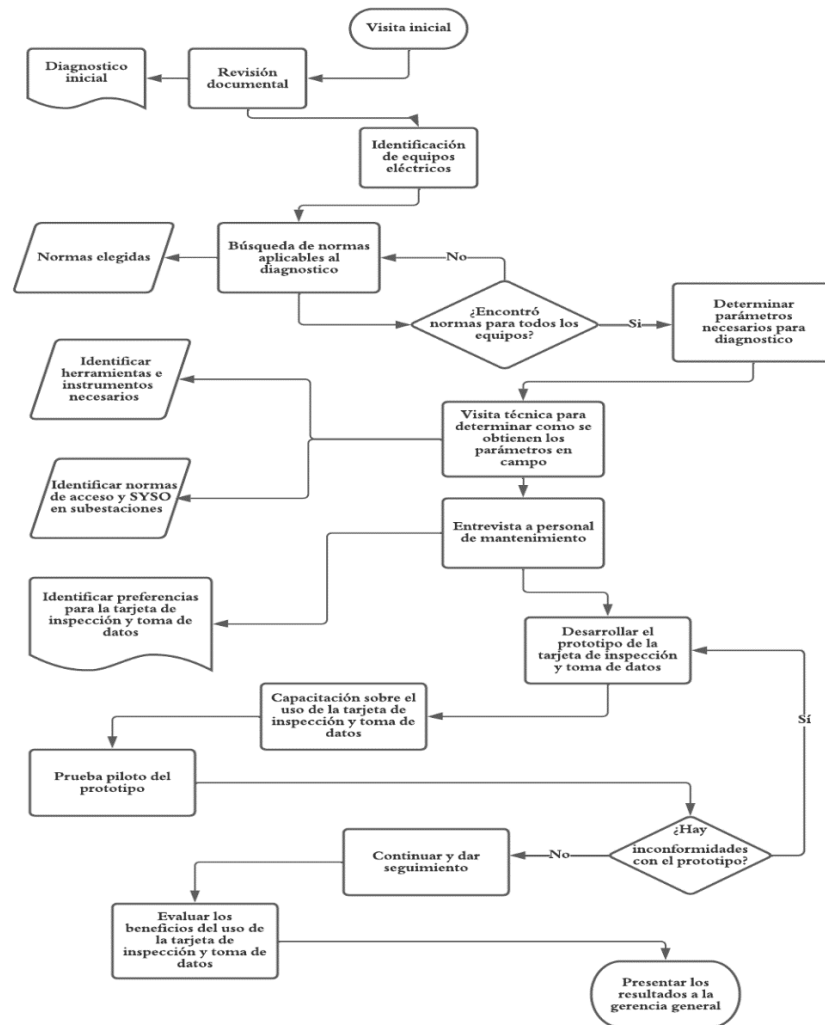
Cuarta etapa, planeación de la implementación: Analizar y establecer en conjunto con la gerencia de la empresa, las condiciones para garantizar el uso obligatorio de las tarjetas de inspección y toma de datos para el diagnóstico de los equipos eléctricos mediante reuniones presenciales y entrevistas con la gerencia general y el departamento de recursos humanos. 1 semana

Quinta etapa, medición de los beneficios: Medir los beneficios de la implementación de tarjetas de inspección y toma de datos durante el diagnóstico de equipos eléctricos, y tabularlos para presentar los resultados a la gerencia y otros interesados. Esta etapa se realizará mediante la revisión documental de la documentación archivada de los diagnósticos y la estadística de los indicadores de la empresa. 4 semanas

6.2 Esquema de solución

Esta sección provee una orientación grafica sobre la serie de medidas que permitirán y contribuirán a solucionar el problema planteado en este trabajo de investigación.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia, empleando Excel

7. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se brindarán los fundamentos teóricos esenciales para poder desarrollar una solución al problema de investigación, basado en los resultados.

7.1. Subestaciones eléctricas de distribución

Para (Villegas, 2003) una subestación eléctrica de distribución es una disposición física de equipos eléctricos que permiten controlar el flujo de potencia hacia distintas redes con niveles reducidos de tensión.

Así mismo (Villegas, 2003) indica que a partir del punto común o barraje de la subestación, el interruptor y transformador de potencia como principal componente se complementan con transformadores de instrumento, seccionadores, pararrayos y sistemas secundarios de control, protección y comunicación.

Las subestaciones de distribución se encargan de reducir y controlar los niveles de tensión hasta valores seguros y manejables para distribuir a través de redes aéreas y subterráneas dentro de las ciudades. En Guatemala los niveles de tensión preferentes se muestran en la siguiente tabla.

Tabla I. **Niveles preferentes de tensiones para distribución en Guatemala**

Tensión nominal (kV)	Tensión máxima asignada (kV)
13.2	13.9
13.8	14.5
34.5	36.5

Fuente: elaboración propia, empleando Word

7.2. Tipos de subestaciones eléctricas

Las subestaciones eléctricas son diseñadas para cumplir distintas funciones en el sistema eléctrico y para operar en distintos entornos, permitiendo garantizar la operatividad, seguridad y disponibilidad ante las maniobras requeridas.

Figura 2. **Ejemplo de esquema de subestaciones de un sistema eléctrico interconectado**



Fuente: Mi blog de energía (2017). *Subestaciones eléctricas*. Consultado el 9 de marzo de 2022. Recuperado de <http://miblogdeenergia.blogspot.com/2017/02/subestaciones-electricas.html>

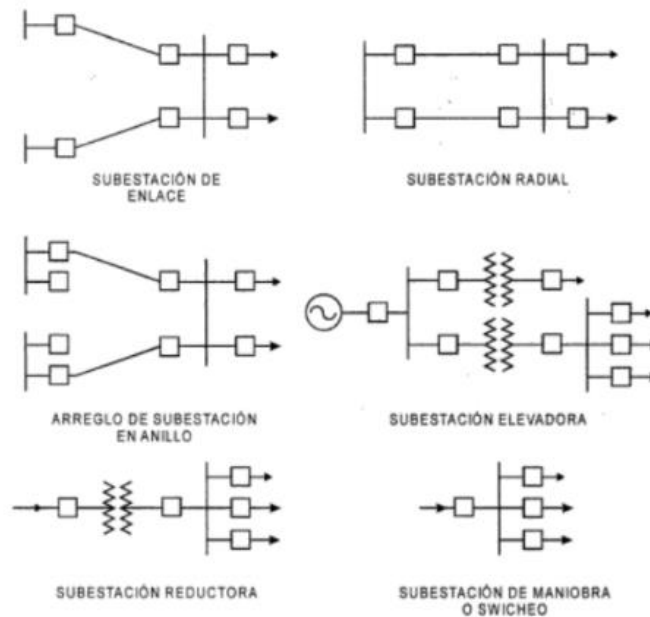
7.2.1. Clasificación según la operación

Las subestaciones tienen denominaciones según la función que desempeñan dentro del sistema eléctrico.

Para (Enríquez Harper, 2005) las subestaciones pueden nombrarse como sigue, en función de las características eléctricas y las tareas que permite desarrollar durante la operación del sistema eléctrico.

- Subestaciones de transformación
- Subestaciones de enlace
- Subestaciones de anillo
- Subestaciones radiales
- Subestaciones de maniobra

Figura 3. Diagrama unifilar de algunos tipos de subestaciones



Fuente: Harper (2005). *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*.

7.2.2. Clasificación según la tecnología

De acuerdo con (Enríquez Harper, 2005) la tecnología con la cual están diseñadas y construidas las subestaciones eléctricas tiene que ver con la aplicación, el nivel de tensión, disponibilidad de espacio e impacto ambiental y básicamente encontraremos subestaciones aisladas en aire y en gases como SF6.

El medio de aislamiento tiene una fuerte influencia en el tamaño resultante de la subestación eléctrica al emplear condiciones de barrera para crear altas tensiones de ruptura dieléctrica en espacios reducidos.

Según (Enríquez Harper, 2005) una de las ventajas de aislar subestaciones en gas SF6 respecto de las aisladas en aire, es el área total necesaria para montarlas y operarlas, llegando a reducir el espacio hasta en un 75 %.

Figura 4. **Subestación aislada en aire contra una aislada en SF6**



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Crushtymks (2019). *Subestación aislada en gas (GIS) versus subestación aislada en aire (AIS)*. Consultado el 9 de marzo de 2022.

Recuperado de <https://crushtymks.com/es/energy-and-power/505-gas-insulated-substation-gis-versus-air-insulated-substation-ais.html>

7.3. Equipamiento eléctrico de subestaciones de distribución

Según (Trashorras, 2015) una subestación eléctrica es una estructura básica aplicaciones que abarcan desde la generación hasta la distribución de la energía eléctrica. La configuración y equipos que puede adoptar depende del tamaño de, la potencia a manejar, la flexibilidad y diversidad de maniobras, entre otros.

La diversidad y cantidad de equipamiento en el patio de la subestación dependerá de la complejidad de las maniobras e incluso de la planificación del mantenimiento.

Figura 5. Equipos de subestación eléctrica en patio



Fuente: FARADAYOS (2015). *Tipos de arreglos de las subestaciones eléctricas*. Consultado el 9 de marzo de 2022. Recuperado de <https://www.faradayos.info/2018/01/tipos-configuracion-subestaciones-electricas-arreglos.html>

7.3.1. Transformadores de potencia

Para (Trashorras, 2015) los transformadores de potencia son los que se encargan de transformar los niveles de tensión requeridos a niveles aptos para transmisión o consumo con el objetivo de reducir al mínimo las pérdidas en la red eléctrica.

(Trashorras, 2015) indica que los transformadores y autotransformadores más utilizados en las subestaciones de distribución son los sumergidos en aceite dieléctrico, aunque también se utilizan tipo seco en resina para algunas aplicaciones de interior.

Son preferidos los transformadores sumergidos en aceite ya que logran alcanzar niveles más altos de aislamiento en tensión de extra alta tensión con dimensiones reducidas al combinar el uso de aislamiento a base de papel de celulosa y el aceite mineral dieléctrico.

Figura 6. **Transformador de potencia de alta tensión sumergido en aceite**



Fuente: IMEFY (2022). *Transformadores de potencia*. Consultado el 10 de marzo de 2022.

Recuperado de <https://imefy.com>

7.3.2. Transformadores de instrumento

Según (Enríquez Harper G. , 2003) estos transformadores son denominados también de medición y se emplean para alimentar circuitos de medidores y dispositivos de protección eléctrica, el uso de estos se hace necesario en redes de alta tensión donde se requiere reducir los valores de tensión o corriente a valores seguros para el personal e instrumentos.

- Transformadores de potencial (TP), se encargan de reducir los niveles de tensión directamente de las redes de alta tensión con el objetivo de monitorear los niveles y proteger en caso de ser necesario.
- Transformadores de corriente (TC), se encargan de reducir los niveles de corriente directamente de las redes de alta tensión con el objetivo de monitorear los niveles, facturar el consumo o proteger la subestación.

Figura 7. Transformadores de instrumento tipo subestación



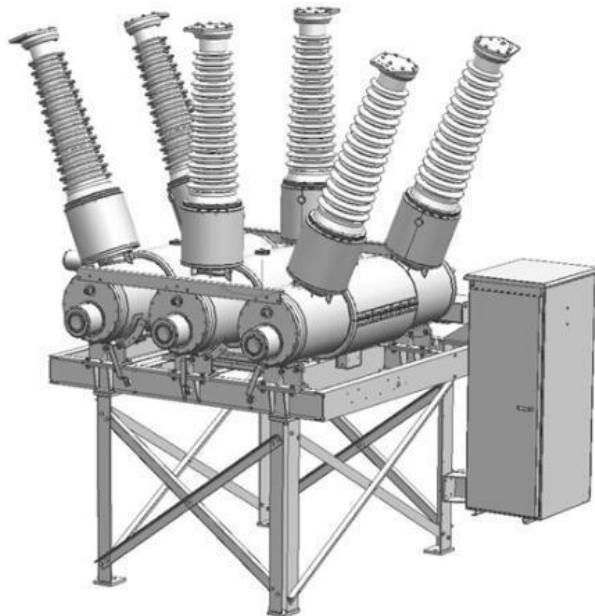
Fuente: Mungia (2007). *Transformadores de medida de media tensión exterior aislamiento seco.*

7.3.3. Interruptores de potencia

Para (Trashorras, 2015) el interruptor de potencia es un equipo mecánico capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes elevadas en condiciones de servicio normales y de falla por corto circuito.

Los interruptores de subestaciones de distribución se conjugan con los elementos y dispositivos de medición y protección con los cuales se comunica y recibe las ordenes de apertura o cierre del circuito eléctrico. Internamente cuenta con aislante que permite la extinción del arco provocado por la apertura o cierre.

Figura 8. **Interruptor de potencia, tanque muerto**



Fuente: Made in China (2022). *Outdoor Hv Dead Tank Hydraulic 3150A 220kv Circuit Breaker Lw24*. Consultado el 10 de marzo de 2022. Recuperado de <https://cnville.en.made-in-china.com/product/OokxAiHzhwRY/China-Outdoor-Hv-Dead-Tank-Hydraulic-3150A-220kv-Circuit-Breaker-Lw24.html>.

7.3.4. Apartarrayos

De acuerdo con (Enríquez Harper G. , 2003) son dispositivos primarios de protección utilizados en la coordinación de aislamiento de las subestaciones funcionando como un limitador de las tensiones aplicadas al equipo sin sufrir daños permanentes.

Generalmente se emplean apartarrayos fabricados en óxido metálico y su función es conducir a tierra cuando las tensiones de servicio superan el umbral de operación o tensión de cebado como se conoce comúnmente.

Figura 9. **Apartarrayos de distribución**



Fuente: Equipmentimes (2021). *Lightning Arrester*. Consultado el 10 de marzo del 2022.
Recuperado de https://www.equipmentimes.com/product/details/Lightning-Arrester_14845.html.

7.3.5. Seccionadores

Según (Morón, 2009) son dispositivos de apertura manual del circuito eléctrico que operan en coordinación con el interruptor de potencia dado que el seccionador no puede abrirse con carga ni en condición de falla.

Su función principal es mantener el circuito aislado de la red una vez que ha actuado el interruptor de potencia durante la inspección de fallas o el mantenimiento.

Figura 10. **Seccionador de intemperie**



Fuente: WEG (2022). *Seccionador doble apertura lateral (WSDAL)*. Consultado el 11 de marzo de 2022. Recuperado de

https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Generaci%C3%B3n%2CTransmisi%C3%B3n-y-Distribuci%C3%B3n/Seccionador/Seccionador-Doble-Apertura-Lateral/Seccionador-Doble-Apertura-Lateral-%28WSDAL%29/p/MKT_WTD_DOUBLE_SIDE_BREAK_DISCONNECTOR

7.4. Mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones de distribución

Según (García E. R., 1996) cuando los equipos eléctricos son instalados y puestos a funcionar en las subestaciones eléctricas, es normal que se tenga un proceso de envejecimiento de estos y si el ritmo de envejecimiento no es revisado de forma sistemática puede llegar a producir fallos y malos funcionamientos.

El mantenimiento en equipos eléctricos de subestaciones se centra en detectar y corregir oportunamente las condiciones anómalas para prolongar la vida útil del equipamiento y evitar a toda costa riesgos de seguridad al personal operativo, así también permite detener el avance de condiciones que propicien el envejecimiento prematuro.

7.4.1. Tipos de mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones

Es importante considerar la naturaleza de trabajo del equipamiento eléctrico de subestaciones, sobre todo en distribución donde están llamados a garantizar la continuidad del servicio a los clientes finales, para comprender de mejor manera la importancia de cada tipo de mantenimiento existente.

(García E. R., 1996) indica que hay consideraciones administrativas, técnicas y económicas que deben ser entendidas antes de planificar las tareas de mantenimiento a los equipos eléctricos con el objetivo de maximizar los beneficios de las intervenciones.

7.4.1.1. Mantenimiento predictivo

Según (Cabanas, 1998) antiguamente las plantas industriales tenían bajos índices de falla de los equipamientos eléctricos de subestaciones, esto debido al sobredimensionamiento de los sistemas de aislamiento. En la actualidad la globalización ha permitido niveles de competencia cada vez mayores entre fabricantes desarrollando diseños ajustados que provocan que los materiales se empleen al límite de sus características.

(Cabanas, 1998) también considera que es importante el avance tecnológico que permite desarrollar monitores de estado de las maquinas eléctricas en línea.

La implementación de la termografía, el análisis de vibraciones, el monitoreo de descargas parciales y el análisis de gases en aceite dieléctrico forman parte de este avance tecnológico.

Figura 11. Termografía aplicada a un transformador de subestación



Fuente: Electrical Engineering Portal (2014). *Maintenance management of electrical equipment (condition monitoring based)* – 2. Consultado el 13 de marzo de 2022. Recuperado de <https://electrical-engineering-portal.com/maintenance-management-of-electrical-equipment-condition-monitoring-based-part-2>.

7.4.1.2. Mantenimiento preventivo

Según (Garrido, 2010) el mantenimiento preventivo se basa principalmente en la determinación del modo y comportamiento de falla detectado en equipos eléctricos dentro de la subestación que son los resultados obtenidos de las actividades predictivas. Las medidas preventivas buscan evitar el fallo total o al menos minimizar los efectos provocados del mecanismo de falla antes del reemplazo del equipo.

Según (Garrido, 2010) una vez que una anomalía ha sido detectada esta debe atacarse de forma preventiva, para lo cual puede implementarse las siguientes acciones correctivas

- Tareas de mantenimiento preventivo
- Mejoras a las instalaciones existentes
- Rediseño de las instalaciones existentes
- Ajustes de la operación de los equipos

Figura 12. **Limpieza de aislamiento para prevenir descargas por contaminación**



Fuente: KBC (2022). *DCI to probe destruction of KETRACO towers*. Consultado el 13 de marzo de 2022. Recuperado de <https://www.kbc.co.ke/dci-to-probe-destruction-of-ketraco-towers/>.

7.4.1.3. Mantenimiento correctivo

Para (Fernández, 2014) el mantenimiento correctivo o denominado no programado es el que consiste en reparar las averías o consecuencias que ha dejado una condición anómala en un equipo eléctrico de la subestación.

El mantenimiento correctivo es indeseado en la operación y control de subestaciones dado que da lugar al desaprovechamiento de los recursos y a paros de tiempo prolongado si no hay repuestos inmediatos, en otros casos tendrá mayores consecuencias económicas si se debe realizar una compra o renta de emergencia.

Es importante hacer notar que el mantenimiento correctivo de equipos eléctricos de las subestaciones de distribución no solo tiene consecuencias económicas, sino, tienen un impacto fuerte en la seguridad e integridad del personal de operación y ambiente razón por la cual no es aconsejable permitir llegar a este punto.

Figura 13. **Falla en interruptor de potencia**



Fuente: Electrical Engineering Portal (2019). *Why substation equipment fails and why it's wise to think of that much before failure*. Consultado el 13 de marzo de 2022. Recuperado de <https://electrical-engineering-portal.com/why-electrical-equipment-fails>.

Las fallas más comunes en equipos eléctricos de las subestaciones de distribución tienen una evolución histórica que puede ser prevenida con la implementación y cumplimiento del mantenimiento predictivo y preventivo.

Otro tipo de fallas tienen un origen más aleatorio, sin embargo, existen registros que pueden ayudar a implementar acciones para prevenirlas, como el caso de la actividad animal, las descargas electro atmosféricas y el vandalismo.

7.4.2. Frecuencia del mantenimiento

Según (Bolotinha, 2019) la frecuencia del mantenimiento se calcula según las necesidades y condiciones particulares de cada empresa y debe tener en cuenta al menos las siguientes particularidades.

- Confiabilidad requerida del equipo
- Tipo de servicio de la subestación
- Requerimiento de continuidad de la operación
- Condiciones ambientales
- Manuales de mantenimiento del fabricante
- Y normativas aplicables según la región.

7.4.2.1. Mantenimiento según periodicidad

De acuerdo con (ANSI & NETA, 2019) la frecuencia del mantenimiento puede basarse en un periodo recomendado por esta normativa y forma parte de las múltiples investigaciones y la experiencia de ingenieros eléctricos y electrónicos participantes en la organización con sede en Estados Unidos de Norteamérica.

Tabla II. **Frecuencia del mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones**

Descripción del equipo	Meses		
	Inspección visual	Inspección visual y mantenimiento mecánico	Inspección visual, mantenimiento mecánico y pruebas
Transformadores	1	12	24
Interruptores	1	12	24
Transformadores de corriente	12	12	36
Transformadores de potencial	12	12	36
Apartarrayos	2	12	24
Seccionadores	1	12	24

Fuente: elaboración propia, empleando Word

La frecuencia ideal recomendada del mantenimiento del equipo eléctrico se encuentra afecta a las condiciones de operación como se ha indicado, por tanto (ANSI & NETA, 2019) también implementa coeficientes de corrección basado en el requerimiento de confiabilidad y el estado del equipamiento como sigue.

Tabla III. **Matriz de coeficientes de corrección de frecuencia del mantenimiento**

Confiabilidad del equipo requerida	Condición del equipo eléctrico		
	Mala	Regular	Buena
Baja	1.00	2.00	2.50
Media	0.50	1.00	1.50
Alta	0.25	0.50	0.75

Fuente: elaboración propia, empleando Word

7.4.2.2. Mantenimiento según cantidad de operaciones

Los equipos eléctricos de la subestación se encuentran energizados de forma continua, pero no todos los equipos se encuentran ejecutando una acción continuamente, esto por la naturaleza de la operación o la función que cumpla dentro de la subestación. Equipos como interruptores, seccionadores, apartarrayos y cambiadores de tomas bajo carga constituyen algunos ejemplos.

Generalmente los equipos ejemplificados se encuentran equipados con un contador de operaciones, dado que algunos como el interruptor de potencia puede pasar años sin operarse o por el contrario puede emplearse múltiples veces en un día o mes según la aplicación y condiciones de la red.

Los fabricantes indicarán en el manual de operaciones, el número máximo de operaciones que puede realizar el equipo antes de que se requiera realizar mantenimiento, normalmente esto es por características de desgaste mecánico y del tipo de materiales empleados.

Figura 14. **Contador de descargas electro atmosféricas de apartarrayos**



Fuente: SCHIRTEC (2022). *Accesorios*. Consultado el 13 de marzo de 2022. Recuperado de <https://schirtec.at/es/>.

7.4.3. Actividades típicas del mantenimiento

Según (Bolotinha, 2019) las actividades del mantenimiento son diversas según el tipo de mantenimiento a ejecutar y la disponibilidad de la red para ejecutarlo, todas las actividades son indispensables y deben ejecutarse correctamente en tiempo según se requiera predictivo, preventivo o correctivo.

7.4.3.1. Limpieza del aislamiento

Actividad que se enfoca en retirar la contaminación acumulada de los sistemas de aislamiento externos de los equipos eléctricos con el objetivo de evitar a toda costa la reducción de las distancias de fuga y arqueo que resultarían en una salida de emergencia de la subestación.

Según (Bolotinha, 2019) para ejecutar esta tarea se emplea regularmente agua desmineralizada y paños suaves de algodón, sin embargo, en sitios con calificación de contaminación extrema como minas y cementeras, la tarea conlleva el uso de detergentes y el uso de agua a presión, entre otros.

7.4.3.2. Inspecciones de equipamiento

Esta actividad puede requerir el uso de equipamiento adicional sin comprender una tarea invasiva, pero depende de la condición de la subestación, en subestaciones energizadas es común emplear binoculares y otros auxiliares para visión lejana, mientras que en subestaciones des energizadas, el personal puede aproximarse hasta tocar los dispositivos.

Según (Bolotinha, 2019) las inspecciones visuales son las más comunes y permiten implementar tareas preventivas basadas en las condiciones anómalas detectadas con las listas de cotejo previamente diseñadas.

7.4.3.3. Pruebas eléctricas al equipamiento

Los equipos eléctricos de las subestaciones de distribución son sometidos a una serie de pruebas recomendados por el fabricante con el objetivo de detectar anomalías en el funcionamiento y establecer tareas preventivas o correctivas.

Según (ANSI & NETA, 2019) cada equipo dentro de la subestación eléctrica es sometido a distintas pruebas según la naturaleza de operación con equipos especiales para la ejecución. Las pruebas se ejecutan basadas en estándares internacionales como (IEEE o IEC) y deben ser recientes para que los resultados puedan ser reconocidos por la comunidad científica internacional.

Los resultados de estos ensayos son cotejados con los límites recomendados por las normativas mencionadas y con (ANSI & NETA, 2019).

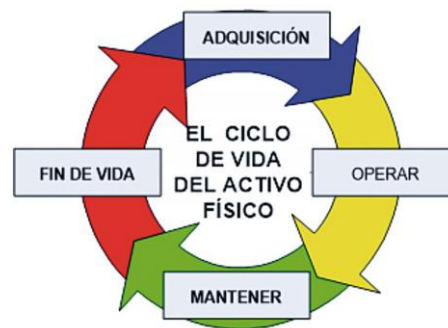
7.5. Gestión del mantenimiento de los equipos eléctricos de subestaciones

Según (Levitt, 2009) la administración de los recursos asignados para el mantenimiento es importante, por tanto, todas las intervenciones deben ser priorizadas en escalas que permitan mantener el equipamiento eléctrico en buen estado y cumplir con los planes de distribución de energía.

La gestión del mantenimiento reconoce que la optimización de los recursos es importante, pero que extremar esto puede provocar serios problemas de operación, incumplimiento de contratos y hasta consecuencias fatales para los operadores como menciona (Levitt, 2009).

Para (Levitt, 2009) gestionar adecuadamente el mantenimiento también involucra monitorear el efecto que las tareas ejecutadas están teniendo sobre el comportamiento y la vida útil residual de los equipos. Así la gestión nace desde la decisión de adquirir un equipamiento hasta garantizar que cumpla su vida útil operando correctamente antes del reemplazo.

Figura 15. **Ciclo de vida de equipos eléctricos de subestación**



Fuente: Facility management services (2020). *La gestión de los activos físicos, una competencia del Facility Manager*. Consultado el 13 de marzo de 2022. Recuperado de https://www.facilitymanagementservices.es/servicios-de-fm-y-fs/energia-y-sostenibilidad/la-gestion-de-los-activos-fisicos-una-competencia-del-facility-manager_20200408.html

En la actualidad muchas empresas buscan apoyo para la gestión de sus activos y una forma de respaldo ante cualquier eventualidad, por lo que las empresas de aseguradora han mostrado una sólida presencia y participación en la gestión del mantenimiento de las unidades aseguradas.

7.5.1. Informes del mantenimiento

Para (Sánchez, 2014) en toda actividad que se desarrolle durante las tareas de mantenimiento debe dejarse constancia por escrito con el objetivo de dejar una prueba escrita de que lo hemos desarrollado.

Constituye uno de los documentos más importantes que se emiten al finalizar las tareas de mantenimiento, dado que en este se documentan las condiciones iniciales y finales de los equipos intervenidos, también así se detallan los hallazgos y los resultados obtenidos de las pruebas eléctricas y otras desarrolladas.

Las empresas deben contar con un criterio para almacenamiento e indexado de estos documentos, ya que resultan vitales para el monitoreo histórico de la condición del equipamiento y constituyen un documento de respaldo para los equipos asegurados en caso de siniestro.

7.5.1.1. Resumen de resultados en los informes de mantenimiento

El tamaño del informe del mantenimiento dependerá de la cantidad de actividades desarrolladas, así como de las características del equipo intervenido. Como cada actividad se rige en un estándar, es importante recopilar una serie de datos, registro fotográfico y otros, dando lugar a un documento extenso en el cual cada prueba se evalúa por separado.

Al finalizar, las conclusiones y recomendaciones se deben sintetizar de forma puntual, concisa, breve y sin lugar a duda. El resumen de los resultados será de gran utilidad en la gestión del mantenimiento de grandes plantas industriales, tal que la cantidad de equipos instalados es tan grande que dificulta leer e interpretar cada informe por separado.

Se aconseja que el resumen de resultados incluya como mínimo identificadores de equipos, las tareas desarrolladas, el calificativo y la criticidad, así como el estándar bajo el cual fue evaluado con el objetivo de concentrar los resultados del mantenimiento y brindar una visión global del estado del equipo.

Figura 16. **Simbología utilizada en un resumen de análisis de aceite dieléctrico de un equipo eléctrico**



Fuente: SD Myers (2022). *Transformer dashboard premium*. Consultado el 13 de marzo de 2022. Recuperado de <https://www.sdmyers.com/transformer-services/testing-monitoring/transformer-dashboard/transformer-dashboard-premium/>.

7.5.1.2. Registros históricos en los informes del mantenimiento

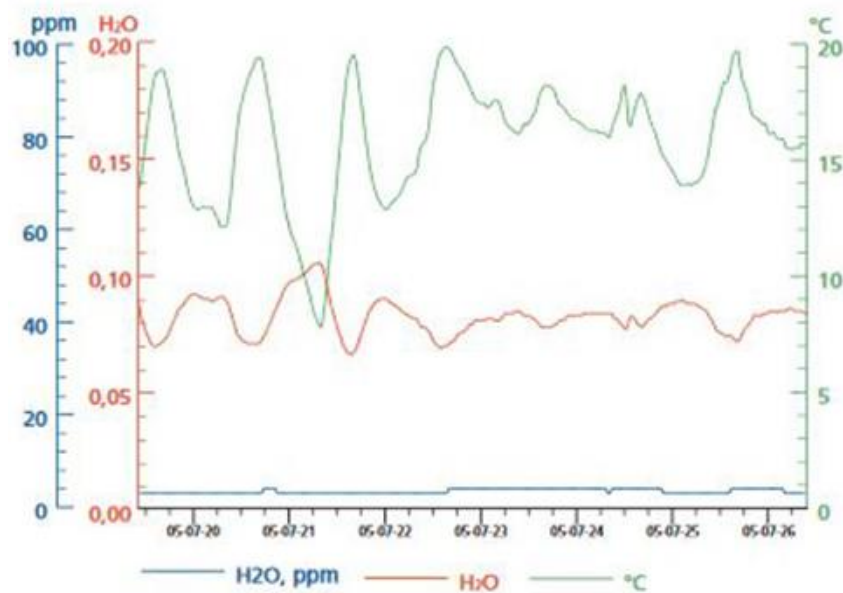
Para (Yuan, 2018) es importante que los equipos eléctricos críticos sean monitoreados mediante el aditamento de dispositivos que permitan diagnosticar fallas incipientes.

Es importante llevar un registro histórico escrito, ya que, aunque el avance tecnológico ha permitido desarrollar monitores en línea, estos son poco atractivos para subestaciones de distribución debido a su elevado costo.

Detectar cambios en el comportamiento de algunas variables puede conducir a la detección temprana de un mecanismo de falla y una correcta inspección puede ayudar a evitar falsas alarmas, ya que algunas magnitudes como la presión, humedad, temperatura y otros parámetros del equipamiento varían según el nivel de carga y la estación del año.

El registro histórico es recomendado por los fabricantes del equipamiento eléctrico y por estándares internacionales, ya que establecer un diagnóstico basado en un resultado puntual puede conducir a diagnósticos erróneos.

Figura 17. **Variación de humedad en aceite de transformadores con la temperatura**



Fuente: VAISALA (2017). *Case Detect moisture in oil*. Consultado el 13 de marzo de 2022.

Recuperado de <https://www.vaisala.com/en/case/detect-moisture-oil>.

7.5.2. Tipos de inspecciones en equipos eléctricos de subestación

Para (Trashorras, 2015) el objetivo de desarrollar inspecciones de rutina en los equipos eléctricos de subestaciones es asegurar que se encuentran operando según las recomendaciones del fabricante y sobre todo que no haya defectos que impliquen riesgos de falla o riesgo a la seguridad del personal operativo.

Las inspecciones se valen de herramientas tecnológicas también para desarrollar las actividades típicas, incrementando la eficiencia del proceso y reduciendo el riesgo de daños al personal que lo realiza.

Figura 18. **Inspección de subestaciones por dron**



Fuente: Soaring Eagle Technologies (2020). *Electrical Substation Inspections*. Consultado el 13 de marzo de 2022. Recuperado de <https://soaringeagle.com/solutions/electrical-substation-inspections/>.

Dentro de las inspecciones típicas de las subestaciones eléctricas de distribución podemos mencionar las siguientes.

- Inspecciones visuales
- Inspecciones termográficas
- Inspecciones boroscópicas
- Inspecciones por ultrasonido

7.5.2.1. Inspecciones visuales

Para (Guyer, 2017) las inspecciones visuales deben abarcar toda la extensión del campo de la subestación, el cuarto de control, las estructuras y todo el equipo instalado. Las inspecciones deben realizarse de preferencia desde el nivel del suelo para garantizar las distancias de seguridad y deben emplearse binoculares para mejorar la eficiencia de la inspección.

Generalmente las inspecciones visuales permitirán detectar mecanismos de falla evidentes en el equipo eléctrico de las subestaciones.

Figura 19. Fuga de aceite dieléctrico detectada en transformador



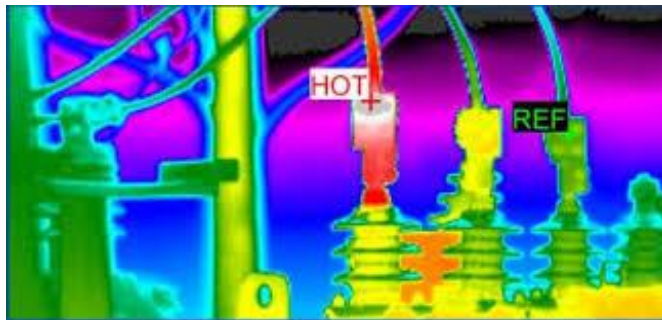
Fuente: Transmission & Distribution services (2022). *Transformer repairs*. Consultado el 13 de marzo de 2022. Recuperado de <https://www.tdsleakseal.com/transformer-repairs/>.

7.5.2.2. Inspecciones termográficas

Según (García S. , 2011) la técnica de termografía se ha extendido a una cantidad importante de aplicaciones incluyendo el monitoreo de equipos eléctricos de subestaciones.

Las inspecciones termográficas permiten construir una imagen térmica del objeto bajo estudio mediante la medición de la radiación del cuerpo dentro del espectro infrarrojo, el criterio de evaluación supone el análisis de las variaciones de temperatura entre fases y equipos eléctricos similares.

Figura 20. **Punto caliente detectado en la conexión de una boquilla**



Fuente: Electro-Test and Maintenance, Inc. (2007). *Infrared thermography scanning*. Consultado el 13 de marzo de 2022. Recuperado de <http://www.etmi.com/infrared.htm>.

7.5.2.3. Inspecciones boroscópicas

Según (García S. , 2011) las inspecciones boroscópicas son inspecciones visuales que se desarrollan en equipos eléctricos de subestaciones en lugares inaccesibles para el ser humano o en lugares confinados que carecen de las condiciones mínimas para la supervivencia humana.

La inspección boroscópica es ampliamente utilizada para inspeccionar fallas prematuras en transformadores de potencia y otros equipos sumergidos en aceite dieléctrico, las imágenes son captadas por una cámara y proyectadas en un monitor o computadora desde donde es analizada.

Fabricante de transformadores y equipos de subestaciones han desarrollado equipos para realizar estas inspecciones aun cuando se encuentran llenos de aceite mineral dieléctrico, reduciendo las tareas necesarias para el diagnóstico.

Figura 21. **Boroscopio TXPLORE saliendo de transformador**



Fuente: IOT solutions World Congress (2018). *ABB ability inspection for transformers – Txplore*. Consultado el 14 de marzo de 2022. Recuperado de <https://www.iotsworldcongress.com/abb-ability-inspection-for-transformers-txplore/>

7.5.2.4. Inspecciones por ultrasonido

Según (García S. , 2011) el análisis por ultrasonido estudia las ondas de sonido en el espectro de altas frecuencias que no son detectables por el oído humano y permiten detectar condiciones que no son capturadas por los métodos anteriores.

El análisis por ultrasonido permite detectar condiciones como descargas parciales por efecto corona y fugas de aceite a presión en equipos eléctricos de las subestaciones.

Algunas aplicaciones de detección y medición de descargas parciales en transformadores de potencia sumergidos en aceite mineral dielectrico tambien emplean esta tecnica para localizacion del punto de descarga.

Figura 22. **Inspección ultrasónica en subestación**



Fuente: SEDISA (2018). *Inspecciones eléctricas con ultrasonido acústico*. Consultado el 14 de marzo de 2022. Recuperado de <https://www.sedisa.com.pe/test/blog/inspecciones-electricas-con-ultrasonido-acustico/>.

7.6. Consideraciones de seguridad y acceso a subestaciones eléctricas

Según (Henaó, 2014) se deben establecer requerimientos mínimos en los proyectos de instalaciones y equipos, las cuales se deben cumplir durante el montaje, maniobra o mantenimiento.

Las subestaciones electricas de distribucion establecen criterios minimos de seguridad que se deben cumplir previo al ingreso a las subestaciones con el objetivo de salvaguardar la integridad del personal.

7.6.1. Sobre la seguridad y salud ocupacional

(Henaó, 2014) recomienda tener en cuenta que frente al riesgo eléctrico la técnica más efectiva para evitar accidentes es guardar distancias prudentes de las partes energizadas de la subestación, aprovechando que el aire es un excelente material aislante.

En subestaciones de distribución existe una serie de pasos que se deben cumplir, pero sobre todo las instalaciones se encuentran adecuadamente señalizadas con el fin de incrementar la seguridad del personal, además, estas han sido diseñadas para cumplir con distancias mínimas de seguridad frente al personal, vehículos y respecto a las estructuras.

Figura 23. Rotulación sobre riesgos a la seguridad en subestaciones



Fuente: Elite Training (2022). *Diplomado internacional en seguridad eléctrica*. Consultado el 14 de marzo de 2022. Recuperado de <https://hidrocarburos.com.co/index.php/producto/diplomado-internacional-en-seguridad-electrica/#description>.

La salud ocupacional es primordial durante las tareas de mantenimiento en subestaciones electricas de distribucion. Cada propietaria de las subestaciones está obligada a generar documentacion que permita identificar riesgos de seguridad y a la salud ocupacional, entre estos están.

- Permiso de trabajo eléctrico
- Permiso de trabajos en altura
- Permisos de trabajo en area confinada
- Y otros

Los cuales permiten evaluar los riesgos a los cuales el personal puede exponerse, se valora el nivel de riesgo y se establecen mecanismos de prevencion y se define el equipo de proteccion personal requerido.

Figura 24. **Equipo de protección personal exigido en subestaciones**



Fuente: Calaméo (2022). *Revista de equipos de proteccion personal (Virginia)*. Consultado el 14 de marzo de 2022. Recuperado de <https://es.calameo.com/books/0054403845b4400af9ce4>

En guatemala la seguridad del personal y la higiene industrial se encuentran reguladas por el acuerdo gubernativo 229-2014.

7.6.2. Normas típicas de ingreso a subestaciones eléctricas

De acuerdo con (Congreso de la Republica de Guatemala, 2014) es obligatorio que las empresas implementen programas de prevencion y control de accidentes laborales con el objetivo de salvaguardar la integridad del personal.

Es obligación de las empresas también, brindar todo el equipo de proteccion personal y establecer mecanismos que permitan evaluar riesgos y establecer mecanismos de control. El personal operativo también se encuentra obligado a acatar las recomendaciones durante la ejecucion de los trabajos asignados

Generalmente estas normas de acceso se refieren a las prohibiciones sobre acciones o condiciones bajo las cuales se desempeñan los trabajadores. A contiunucion se listan algunas de las mas comunes.

- Ingresar en estado de ebriedad o bajo el efecto de drogas
- Ingresar con vestimenta rota o deteriorada
- Ingresar con equipo de protección personal incompleto o en mal estado
- Ingresar dispositivos de grabacion y fotografía
- Ingresar joyería y accesorios personales
- Ingresar herramienta modificada o en mal estado
- Ingresar sin el debido permiso autorizado

La violación de una o varias de las prohibiciones serán causales para negar el acceso a los trabajadores, esto porque constituyen una fuente de peligro para ellos y los compañeros involucrados en las tareas de mantenimiento.

Es común ver acciones preventivas durante el ingreso de grandes grupos de personal a subestaciones como la prueba de alcoholemia aleatoria o la inspección del equipo de protección personal, además, de la revisión de antecedentes penales y policíacos.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLOGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2. Subestaciones eléctricas de distribución

2.1. Tipos de subestaciones eléctricas

2.1.1. Clasificación según la operación

2.1.2. Clasificación según la tecnología

2.2. Equipamiento eléctrico de subestaciones de distribución

2.2.1. Transformadores de potencia

2.2.2. Transformadores de instrumento

2.2.3. Interruptores de potencia

2.2.4. Apartarrayos

2.2.5. Seccionadores

- 2.3. Mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones de distribución
 - 2.3.1. Tipos de mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones
 - 2.3.1.1. Mantenimiento predictivo
 - 2.3.1.2. Mantenimiento preventivo
 - 2.3.1.3. Mantenimiento correctivo
 - 2.3.2. Frecuencia del mantenimiento
 - 2.3.2.1. Mantenimiento según periodicidad
 - 2.3.2.2. Mantenimiento según cantidad de operaciones
 - 2.3.3. Actividades típicas del mantenimiento
 - 2.3.3.1. Limpieza del aislamiento
 - 2.3.3.2. Inspecciones de equipamiento
 - 2.3.3.3. Pruebas eléctricas al equipamiento
- 2.4. Gestión del mantenimiento de los equipos eléctricos de subestaciones
 - 2.4.1. Informes del mantenimiento
 - 2.4.1.1. Resumen de resultados en los

- informes de mantenimiento
 - 2.4.1.2. Registros históricos en los informes del mantenimiento
 - 2.4.2. Tipos de inspecciones en equipos eléctricos de subestación
 - 2.4.2.1. Inspecciones visuales
 - 2.4.2.2. Inspecciones termográficas
 - 2.4.2.3. Inspecciones boroscópicas
 - 2.4.2.4. Inspecciones por ultrasonido
 - 2.5. Consideraciones de seguridad y acceso a subestaciones electricas
 - 2.5.1. Sobre la seguridad y salud ocupacional
 - 2.5.2. Normas típicas de ingreso a subestaciones electricas

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS
ANEXOS

9. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se presenta la metodología que se ha diseñado para el desarrollo del trabajo de investigación, en este se detalla el tipo, enfoque y alcance de la investigación. Se describe la población y muestra bajo estudio, así como las fases del desarrollo y los resultados esperados.

9.1. Enfoque

El trabajo de investigación tiene un enfoque mixto, dado que se tiene contemplado obtener, procesar y analizar variables cuantitativas y cualitativas durante el desarrollo del estudio. El proceso comprende la revisión e identificación de algunas características de equipos de subestación produciendo interrogantes cerradas y el uso de cálculos y estadística para la evaluación de la satisfacción del cliente, generando datos numéricos.

9.2. Diseño

El desarrollo del trabajo de investigación tendrá un diseño no experimental, ya que las tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas IEEE serán implementadas en el proceso ya existente del diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión, sin realizar variaciones intencionales en las variables independientes del estudio.

9.3. Tipo de estudio

El trabajo de investigación empleará datos disponibles actualmente que han sido generados durante el funcionamiento del sistema de trabajo existente y se generarán otros a partir de la implementación de la solución del problema principal desarrollando así un tipo de estudio retro prospectivo. Además, dada la secuencia del estudio se considera transversal al adquirir datos para el análisis en momentos puntuales.

9.4. Alcance

El trabajo de investigación tendrá un alcance descriptivo dado que busca indagar cual es el impacto que genera en la satisfacción del cliente, la implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas IEEE dentro del proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión.

9.5. Variables

En la tabla que se muestra a continuación se han identificado las variables declaradas según el alcance del trabajo de investigación.

Tabla IV. **Nombre de la variable**

NOMBRE DE LA VARIABLE

Dependientes

Parámetros exigidos por las normativas ANSI (IEEE)

Beneficios del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos durante el diagnóstico

Selección de las normativas ANSI (IEEE) para el diagnóstico de equipos eléctricos

Independientes

Desarrollo de la metodología para el uso de la tarjeta de inspección y toma de datos en el diagnóstico de equipo eléctrico

Desarrollo del modelo de tarjeta de inspección

Fuente: elaboración propia, empleando Word

9.6. Operacionalización de las variables

En la siguiente tabla se define de forma clara la forma en que se observará y medirá cada variable, así como también la técnica a emplear.

Tabla V. Operacionalización de las variables

Objetivo	Nombre de la variable	Tipo	Indicador	Técnica	Plan de Tabulación
Seleccionar las normativas ANSI (IEEE) aplicables al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión en el sector industrial.	Selección de las normativas ANSI (IEEE) para el diagnóstico de equipos eléctricos	Cualitativa nominal Dependiente	<p>Numero:</p> <p>Normas que aplican a Interruptores de potencia</p> <p>Normas que aplican a transformadores de potencia</p> <p>Normas que aplican a transformadores de instrumento</p> <p>Normas que aplican a apartarrayos</p> <p>Porcentaje:</p> <p>Normas aplicables a equipos aislados en gas</p> <p>Normas aplicables a equipos aislados al aire</p> <p>Normas aplicables a equipos aislados en aceite</p>	<p>Consulta en el catálogo en línea de ANSI (IEEE)</p> <p>Lectura del formato electrónico de vista previa de las normas</p> <p>Revisión de manuales de operación y mantenimiento de los equipos eléctricos</p> <p>Consulta en foros en línea de ingeniería eléctrica</p> <p>Consulta de catálogos de fabricantes de equipos eléctricos.</p>	Se calcularán como porcentaje del total de normas seleccionadas

Continuación de la tabla V.

Objetivo	Nombre de la variable	Tipo	Indicador	Técnica	Plan de Tabulación
Identificar los parámetros que exigen las normativas ANSI (IEEE) aplicables, para el análisis de datos, que deban ser recabados durante la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo anual en equipos eléctricos.	Parámetros exigidos por las normativas ANSI (IEEE)	Cuantitativa discreta Dependiente	Porcentaje de parámetros encontrados respecto de los recomendados por el manual del fabricante Porcentaje de datos encontrados respecto de los recomendados a tomar por la guía de pruebas del fabricante	Revisión documental de normativas ANSI (IEEE) aplicables y manuales de operación y mantenimiento del fabricante	Se calcularán como porcentaje de los parámetros exigidos por el fabricante
Desarrollar un modelo óptimo de tarjeta de inspección y toma de datos para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones en campo.	Desarrollo del modelo de tarjeta de inspección.	Cualitativa nominal independiente	Modelo preferido por los ingenieros/técnicos o supervisores de mantenimiento Porcentaje de aceptación del modelo según las legislaciones de seguridad vigentes en subestaciones Porcentaje de aceptación del modelo según las normas de acceso vigentes en subestaciones.	Encuestas al personal de mantenimiento Entrevistas al personal de mantenimiento Revisión de documentación vigente en subestaciones	Se representarán por medio de gráficos de barra Se calcularán como porcentaje del total de normas vigentes y legislaciones

Continuación de la tabla V.

Objetivo	Nombre de la variable	Tipo	Indicador	Técnica	Plan de Tabulación
Desarrollar la metodología para introducir el uso obligatorio de la tarjeta de inspección y toma de datos en el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones.	Desarrollo de la metodología para el uso de la tarjeta de inspección y toma de datos en el diagnóstico de equipo eléctrico	Cualitativa nominal Independiente	Numero de indicadores que requieran el uso de la tarjeta de inspección y toma de datos Número de actividades desarrolladas para fomentar el cumplimiento del proceso implementado Numero de sesiones de capacitación en el uso correcto de las tarjetas de inspección y toma de datos	Actividades grupales Capacitaciones grupales Demostraciones en sitio Lista de cotejo	Se representarán como gráficos de barra
Evaluar los beneficios del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos durante el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión.	Beneficios del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos durante el diagnóstico	Cualitativa nominal Dependiente	Tiempo de implementación Actividades a implementar Índice de documentación completa al momento de analizar los datos y certificar los informes del diagnóstico de equipo eléctrico Índice de satisfacción de los clientes con el diagnóstico de equipo eléctrico certificado	Revisión de documentación Encuestas Cronograma de actividades	Se tabularán en forma de matriz

Fuente: elaboración propia, empleando Word

9.7. Fases

Esta sección brinda información detallada sobre el desarrollo de cada una de las fases del trabajo de investigación, se amplía el contexto y además se indican instrumentos de recolección de datos y actividades reseñables.

Primera fase, revisión documental: Revisar los antecedentes del problema y del estado actual de la documentación, así como contextualización del ámbito laboral y reconocimiento de áreas y personal involucrado mediante revisión de la documentación actual y visitas técnicas. 1 semanas.

En la empresa actualmente existe un archivo que contiene la documentación del proceso del diagnóstico de los equipos eléctricos el cual contiene la orden del servicio, los resultados de los ensayos, los resultados de las inspecciones, anotaciones y la constancia del servicio realizado, información con la cual se construirá una matriz de verificación de existencia y cumplimiento de los parámetros necesarios para ejecutar el análisis en cada servicio ejecutado denominada “previa”.

El reconocimiento de áreas mediante la visita técnica también permitirá identificar al personal que participa en el servicio de diagnóstico e identificar algunas características de los equipos que son procesados por la empresa. Finalmente, en esta primera fase una encuesta sobre la satisfacción del cliente será canalizada a clientes frecuentes y servirá de línea base para el análisis posterior. El modelo de esta encuesta se encuentra en el anexo 3.

Segunda fase, diagnóstico inicial: Realizar el proceso de búsqueda y consulta de las versiones previas de las normativas ANSI (IEEE) que se apliquen al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión, comprando en el sitio web los ejemplares seleccionados en formato digital para consulta posterior. Esta etapa se realizará mediante la consulta del catálogo de normas y uso de búsqueda por palabras claves y filtros. 2 semanas.

La búsqueda y consulta de las normativas ANSI (IEEE) requiere la alimentación con los datos obtenidos en la revisión documental, en esta fase ya hemos identificado las características de los equipos que diagnostica la empresa y se puede iniciar la búsqueda mediante filtros y mediante series del catálogo de normas digitales e impresos.

Las normativas que cumplan con los criterios de búsqueda serán detalladas en una tabla de identificación de normativas, el modelo de la tabla se encuentra en el anexo 4.

Una vez que se tienen los detalles de las normas se procederá a adquirir el acceso a los ejemplares en versión completa para disponibilidad y facilidad de consulta.

Tercera fase, análisis de las normativas: Identificar y extraer información acerca de los parámetros exigidos por las normativas ANSI (IEEE) seleccionadas para el proceso de diagnóstico de los equipos eléctricos mediante la lectura, interpretación y revisión de las normativas aplicables. 4 semanas.

Los ejemplares de las normativas se tendrán disponibles en forma impresa y digital con el afán de facilitar la lectura e identificación de los parámetros y datos que cada una exige para llevar a cabo el diagnóstico de los equipos eléctricos.

La revisión iniciará buscando todos los parámetros y datos que se apliquen a un tipo de equipo a la vez, y serán tabulados en forma detallada en una tabla de identificación de parámetros y datos exigidos por normativas IEEE donde se anotaran también algunas consideraciones técnicas al respecto si existieran, el modelo de la tabla se encuentra en el anexo 5.

Finalizada la identificación de parámetros y datos serán tabulados en un formato que comprenderá el logo de la empresa, la identificación del tipo de tarjeta, la información del cliente y el responsable de la tarea, también se añadirá un breve resumen de la importancia de su uso para el diagnóstico.

El formato disponible será digital e impreso, lo cual permitirá cumplir con todas las normas de seguridad industrial y acceso a subestaciones de distribución de media tensión, una encuesta acerca de algunos detalles sobre el diseño de la tarjeta será realizada, así como también una entrevista con el fin de conocer la percepción de los involucrados sobre la implementación. El modelo de la encuesta y la entrevista se encuentran en el anexo 6 y 7 respectivamente.

Cuarta fase, planeación de la implementación: Analizar y establecer en conjunto con la gerencia de la empresa, las condiciones para garantizar el uso obligatorio de las tarjetas de inspección y toma de datos para el diagnóstico de los equipos eléctricos mediante reuniones presenciales y entrevistas con la gerencia general y el departamento de recursos humanos. 1 semana.

Los modelos digital e impreso serán presentados ante la gerencia general de la empresa y el departamento de recursos humanos donde se describirá la forma e importancia del uso de las tarjetas de inspección y toma de datos como forma de solución ante el problema principal.

Las condiciones e incentivos laborales en función del cumplimiento y uso correcto de las tarjetas implementadas como medida para aumentar la motivación del personal involucrado serán puestos en juicio también en esta reunión y las resoluciones será recopiladas en la tabla de condiciones e incentivos laborales aplicables, el modelo de esta tabla se encuentra en el anexo 8.

Finalmente se rehabilitará el espacio físico que servirá para acoger la documentación generada de los servicios de diagnóstico y cada proyecto culminado será indexado para consulta fácil.

Quinta etapa, medición de los beneficios: Medir los beneficios de la implementación de tarjetas de inspección y toma de datos durante el diagnóstico de equipos eléctricos, y tabularlos para presentar los resultados a la gerencia y otros interesados. Esta etapa se realizará mediante la revisión documental de la documentación archivada de los diagnósticos y la estadística de los indicadores de la empresa. 4 semanas.

Cuando la implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas IEEE ha finalizado, una encuesta sobre la satisfacción del cliente por el servicio de diagnóstico prestado es trasladada al cliente, el modelo se encuentra en el anexo 3.

Al concluir las 4 semanas se realiza una revisión documental el cual será registrado en una matriz de verificación de existencia y cumplimiento denominada “posterior” la cual en conjunto con la matriz de verificación de existencia y cumplimiento “previa” servirá de base para la evaluación y justificación del resultado del comportamiento de los resultados obtenidos en la encuesta realizada sobre la satisfacción del cliente con el servicio de diagnóstico prestado,

la cual se desarrollará antes y después de la implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas IEEE.

9.8. Resultados esperados

Con el desarrollo del trabajo de investigación se espera reducir los diagnósticos erróneos durante las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo en equipos eléctricos de subestaciones de media tensión, como parte del desarrollo de la mejora continua de los procesos.

También se establece la base para la estandarización del proceso de diagnóstico al implementar las tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas IEEE en el área de servicios desarrollando así también una cultura de documentación y archivado que servirá para el análisis tendencial e histórico como un valor agregado para el cliente en la gestión de sus activos.

Sobre la implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas IEEE se espera obtener información sobre la satisfacción del cliente y otros indicadores que nos permitan analizar el impacto que la solución implementada tiene sobre la percepción del cliente hacia la empresa.

9.9. Población y muestra

La unidad de análisis empleará la totalidad de la documentación existente en el archivo de la empresa actualmente, debido a que muchos de los archivos se encuentran no identificados, deteriorados o no legibles.

La condición actual se establece como criterio de exclusión que permita depurar datos irrelevantes o inexistentes del total de la unidad de análisis bajo estudio y así obtener una muestra homogénea.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En el presente capítulo se detallan las técnicas que se emplearán para el análisis de la información obtenida del estudio de acuerdo con las fases planteadas para el desarrollo y consecución de los objetivos planteados.

10.1. Herramientas de diagnóstico

A continuación, se describirán las herramientas a utilizar para conocer el estado actual de la documentación de los procesos de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones eléctricas de media tensión.

La observación: se empleará durante todo el desarrollo del estudio, como parte fundamental para entender el proceso e identificar particularidades de las actividades ejecutadas y del almacenamiento de la información mientras las actividades siguen su curso.

Entrevistas no estructuradas: conocer la perspectiva que tienen algunos miembros del equipo de trabajo será crucial para poder reestructurar y estandarizar el proceso. Personal interno será entrevistado en una forma abierta acerca del proceso de diagnóstico que se lleva a cabo habitualmente.

Entrevistas estructuradas: bajo un guion será llevadas a cabo entrevistas al personal de mantenimiento y clientes de la empresa, con el fin de obtener información discreta sobre el desarrollo de los diagnósticos y el nivel de satisfacción sobre los trabajos realizados.

Diagramas de flujo: esta herramienta se utilizará para poder construir la representación gráfica del proceso de que conlleva actualmente el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos una vez que se ha completada la fase.

10.2. Análisis de la información

En esta sección se describirán las herramientas a emplear para realizar el análisis de la información obtenida del estado del proceso de diagnósticos de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión.

Excel: la información recopilada del análisis de las normativas aplicables a equipos eléctricos según IEEE será almacenada en un documento de Excel donde se evaluarán los indicadores de acuerdo con la matriz de coherencias. Además, información de las encuestas será descargada aquí.

Word: será empleado para el desarrollo de listas de cotejo, matrices y otras formas para toma de datos y recolección en campo, además en este serán elaborados los informes parciales durante el desarrollo del estudio.

Visualización de datos: los resultados obtenidos serán sintetizados en infografías o gráficos de tendencia que permitan tener un panorama más amplio del resultado de cada etapa del estudio.

Formulas y estadísticas: se emplearán formulas estadísticas para el cálculo de porcentajes, razones y la creación de índices. Los promedios también serán ampliamente usados para criterios de elección.

Análisis de imágenes y video: La información gráfica será vital y será obtenida de las visitas a campo, entrevistas y otros acercamientos a los sitios habituales del desarrollo de diagnósticos de equipos eléctricos de subestaciones, una vez obtenidas se pueden extraer detalles secundarios y analizar entorno para optimización de las tarjetas a implementar.

10.3. Evaluación de beneficios

Gráficas: mediante graficas serán representados los datos analizados de la revisión de las normativas, las encuestas y los datos recolectados en campo, para esto se emplearían:

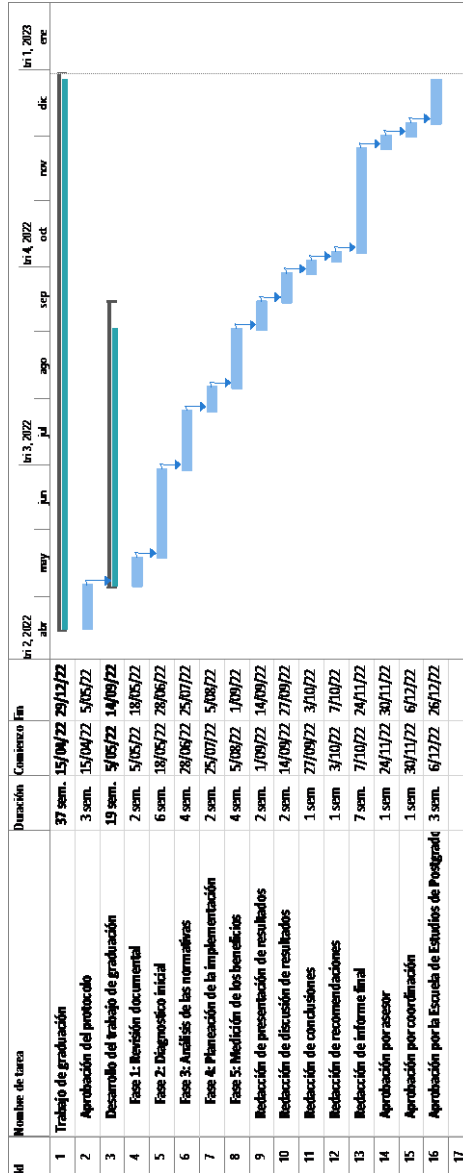
Gráficos de barra: para visualizar cantidades de normas aplicables a cada equipo eléctrico de subestaciones de distribución de media tensión.

Gráfico de pastel: nos permitirá representar índices de satisfacción del cliente con el servicio prestado y otros de carácter discreto.

Gráficos de barra agrupada: se emplearán con el objetivo de visualizar la tendencia de la satisfacción del servicio al cliente durante la implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos.

11. CRONOGRAMA

Figura 25. Cronograma del trabajo de investigación



Fuente: elaboración propia, empleando Project

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Es factible el desarrollo del estudio de investigación dado que se cuenta con los recursos necesarios para completar cada una de las fases necesarias para la consecución de los objetivos planteados.

La empresa de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión ha autorizado el uso de las instalaciones, equipo, herramienta y acceso al archivo de la documentación requerida. La investigación será financiada mayormente por la empresa de acuerdo con el detalle del presupuesto de gastos de la tabla III.

Tabla VI. **Presupuesto**

	Ítem	Cantidad	Costos (Q)	Fuente de financiamiento
	Asesor	1	Q0.00	Donación
Recurso Humano	Investigador	1	Q.15,000.00	Propio
	Personal de mantenimiento entrevistados	-	Q.0.00	Por la industria
	Clientes entrevistados	-	Q.0.00	Por la industria
	Viáticos	1	Q4,500.00	Por la industria
Recursos Materiales	Resmas de papel bond tamaño carta	1	Q35.00	Por la industria
	Normas IEEE (10 máx.)	1	Q12,000.00	Por la industria
Recursos Físicos	Vehículo 4 x 4 (alquiler)	1	Q9,600.00	Por la industria
	Equipo de protección personal	1	Q755.00	Propio
	Computadora portátil	1	Q6,500.00	Por la industria
Recursos Tecnológicos	Internet	1	Q1,350.00	Propio
	Programa MS Project	1	Q480.00	Propio
	Paquete Microsoft office	1	Q470.00	Por la industria
	Total		Q50,690.00	
	Cubierto por el investigador			34.7 %

Fuente: elaboración propia, empleando Word

13. REFERENCIAS

1. Aldana, D. (2017). *Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
2. ANSI, & NETA. (2019). Maintenance Testing Especifications (MTS). *MTS-2019*, 244-247.
3. Bolotinha, M. (2019). Substations equipment inspection and periodic maintenance. *Transformer Magazine*, 74-83.
4. Bolotinha, M. (2019). Substations equipment inspection and periodic maintenance. *Transformer Magazine*, 10.
5. Botero, A. (2008). *Implementación de mantenimiento preventivo para equipos en una empresa de montajes metalmecánicos, civiles y eléctricos*. Tesis de grado, Universidad EAFIT, Medellín.
6. Cabanas, M. F. (1998). *Técnicas para el mantenimiento diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas*. Barcelona: Marcombo.
7. Congreso de la Republica de Guatemala. (23 de Julio de 2014). Reglamento de salud y seguridad ocupacional. *Decreto No. 229-2014*. Guatemala, Guatemala, Guatemala.

8. Congreso de la República de Guatemala. (23 de Julio de 2014). Reglamento de salud y seguridad ocupacional. *Decreto No. 229-2014*. Guatemala, Guatemala, Guatemala.
9. Diaz, S. (2020). *Propuesta de implementación de equipo RPA para mejorar la productividad de inspección de una línea de transmisión eléctrica en alta tensión*. Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma, Lima.
10. Enríquez Harper, G. (2003). *Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales*. México, D.F.: Limusa.
11. Enríquez Harper, G. (2005). *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. México, D.F.: Limusa.
12. Fernández, J. R. (2014). *Equipos eléctricos y electrónicos*. Madrid: Ediciones Paraninfo S.A.
13. García , S. (2011). *La contratación del mantenimiento industrial: Procesos de externalización, contratos y empresas de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
14. García, E. R. (1996). *Fundamentos de operación, mantenimiento y pruebas de equipos eléctricos en la industria [Tesis de maestría, Universidad Autonoma de Nuevo Leon]*. México: <http://eprints.uanl.mx/7698/1/1020118277.PDF>.
15. Garrido, S. G. (2010). *Organización y gestión integral del mantenimiento*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.

16. Guyer, P. (2017). *An Introduction to Electrical Substations Maintenance*. California : Guyer Partners.
17. Henao, F. (2014). *Riesgos eléctricos y mecánicos*. Colombia: Ecoe Ediciones.
18. Levitt, J. (2009). *The Handbook of Maintenance Management*. New York: Industrial Press Inc.
19. Marco Huaranca, J. C. (2021). *El factor de carga y la termografía para simplificar el mantenimiento predictivo de las subestaciones eléctricas de distribución de la ciudad de Juliaca*. Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
20. Marrero, A. (2018). *Actividades en subestaciones eléctricas: Evaluación de riesgos y desarrollo de procedimientos de trabajo*. Tesis de maestría, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Gran Canaria.
21. Morón, J. A. (2009). *Sistemas eléctricos de distribución*. Barcelona: Reverté ediciones.
22. Rivera, H. (2021). *Implementación de planes de inspecciones predictivas, mecánicas, eléctricas e instrumentación de las actividades del área de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de la planta Ore Sorting de la empresa Minera San Rafael Minsur 2020*. Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel.

23. Sánchez, D. (2014). *Operaciones auxiliares en el mantenimiento de equipos eléctricos*. Madrid: Editorial Elearning, S.L.
24. Trashorras, J. (2015). *Subestaciones eléctricas*. Madrid: Grafo.
25. United States Department Of Labor. (27 de Noviembre de 2021). *U.S. Bureau Of Labor Statistics*. Obtenido de U.S. Bureau Of Labor Statistics: <https://www.bls.gov/opub/>
26. Villegas, M. (2003). *Subestaciones de alta y extra alta tensión*. Colombia: Impresiones Gráficas Ltda.
27. Yuan, S. (2018). Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Equipment. *AIP Conference Proceedings*, 1-4. doi:10.1063/1.5075680

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol del problema



Fuente: elaboración propia, empleando Excel

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Preguntas de investigación	Objetivos	Nombre de las variables	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Metodología
¿Cuáles son las normativas ANSI (IEEE) aplicables al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión en el sector industrial de Guatemala?	Seleccionar las normativas ANSI (IEEE) aplicables al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión en el sector industrial.	Selección de las normativas ANSI (IEEE) para el diagnóstico de equipos eléctricos	Equipos eléctricos de subestación contenidos:		Búsqueda por palabras claves, tales como:
			Numero de normas que aplican a Interruptores de potencia	Consulta en el catálogo en línea de ANSI (IEEE)	-Interruptor de potencia
			Numero de normas que aplican a transformadores de potencia	Lectura del formato electrónico de vista previa de las normas	-Transformador de potencia -Interruptor de baja tensión
			Numero de normas que aplican a transformadores de instrumento	Revisión de manuales de operación y mantenimiento de los equipos eléctricos	-Interruptor de potencia
			Numero de normas que aplican a apartarrays	Consulta en foros en línea de ingeniería eléctrica	- Transformadores de instrumento - Apartarrays
			Tecnología de fabricación y operación de los equipos eléctricos:		Búsqueda con filtro de las normas más recientes aplicables al diagnóstico de los equipos indicados en las palabras claves.
			Porcentaje de normas aplicables a equipos aislados en gas	Consulta de catálogos de fabricantes de equipos eléctricos.	
			Porcentaje de normas aplicables a equipos aislados al aire		Análisis del resumen de las normas obtenidas en las búsquedas.
			Porcentaje de normas aplicables a equipos aislados en aceite		

Continuación del apéndice 2.


Preguntas de investigación	Objetivos	Nombre de las variables	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Metodología
¿Qué parámetros exigen las normativas ANSI (IEEE) aplicables, para el análisis de datos, que deban ser recabados durante la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo anual en equipos eléctricos de subestaciones?	Identificar los parámetros que exigen las normativas ANSI (IEEE) aplicables, para el análisis de datos, que deban ser recabados durante la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo anual en equipos eléctricos.	Parámetros exigidos por las normativas ANSI (IEEE)	<p>Porcentaje de parámetros encontrados respecto de los recomendados por el manual del fabricante</p> <p>Porcentaje de datos encontrados respecto de los recomendados a tomar por la guía de pruebas del fabricante</p>	Revisión documental de normativas ANSI (IEEE) aplicables y manuales de operación y mantenimiento del fabricante	<p>Listar los parámetros y datos requeridos por la normativa aplicable encontrados</p> <p>Listar los parámetros y datos recomendados por el fabricante</p>
¿Cuál es el modelo óptimo de tarjeta de inspección y toma de datos para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones?	Desarrollar un modelo óptimo de tarjeta de inspección y toma de datos para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones en campo.	Desarrollo del modelo de tarjeta de inspección.	<p>Modelo preferido por los ingenieros/técnicos o supervisores de mantenimiento</p> <p>Porcentaje de aceptación del modelo según las legislaciones de seguridad vigentes en subestaciones</p> <p>Porcentaje de aceptación del modelo según las normas de acceso vigentes en subestaciones.</p>	<p>Encuestas al personal de mantenimiento</p> <p>Entrevistas al personal de mantenimiento</p> <p>Revisión de documentación vigente en subestaciones</p>	<p>Encuestar a ingenieros, técnicos y supervisores de mantenimiento.</p> <p>Entrevistar a personal de análisis y certificación de datos</p> <p>Revisar la documentación vigente en subestaciones sobre.</p> <p>Seguridad industrial</p> <p>Normas de ingreso.</p>

Continuación del apéndice 2.

Preguntas de investigación	Objetivos	Nombre de las variables	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Metodología
¿Como introducir el uso obligatorio de la tarjeta de inspección y toma de datos en el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones?	Desarrollar la metodología para introducir el uso obligatorio de la tarjeta de inspección y toma de datos en el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones.	Desarrollo de la metodología para el uso de la tarjeta de inspección y toma de datos en el diagnóstico de equipo eléctrico	Numero de indicadores que requieran el uso de la tarjeta de inspección y toma de datos Número de actividades desarrolladas para fomentar el cumplimiento del proceso implementado Numero de sesiones de capacitación en el uso correcto de las tarjetas de inspección y toma de datos	Actividades grupales Capacitaciones grupales Demostraciones en sitio Lista de cotejo	Implementar indicadores del cumplimiento del proceso de documentación del diagnóstico Actividades de concientización sobre la importancia de las inspecciones y toma de datos previo a ejecutar trabajos eléctricos Desarrollo de capacitaciones al personal involucrado
¿Cómo cuantificar los beneficios del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos durante el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones?	Evaluar los beneficios del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos durante el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión.	Beneficios del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos durante el diagnóstico	Tiempo de implementación Actividades a implementar Índice de documentación completa al momento de analizar los datos y certificar los informes del diagnóstico de equipo eléctrico Índice de satisfacción de los clientes con el diagnóstico de equipo eléctrico certificado	Revisión de documentación Encuestas Cronograma de actividades	Revisión de tarjetas de inspección y toma de datos durante el proceso del análisis de datos y certificación de informes Encuestas rápidas a los clientes sobre satisfacción con el diagnóstico eléctrico ejecutado


Fuente: elaboración propia, empleando Word

Apéndice 3. Encuesta de satisfacción del cliente

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO	No. <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 80%; margin: 0 auto;"></div>											
ENCUESTA DE SATISFACCION DEL CLIENTE													
<p>Información general: La encuesta presentada a continuación tiene como objetivo evaluar el nivel de satisfacción de los clientes con los servicios de diagnóstico y mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones ejecutado por EMPRE S.A. como parte de los planes de mejora continua. La encuesta es confidencial y los datos obtenidos servirán para mejorar su experiencia con nuestros servicios.</p> <p style="text-align: center;">Serie de preguntas</p> <p style="text-align: center;">Por favor marque con una "x" la puntuación que considere que representa el servicio brindado</p>													
Descripción	Bueno	Regular	Malo										
Puntualidad del personal													
Cumplimiento de normas de seguridad y salud ocupacional													
Desempeño del personal													
Cumplimiento del cronograma de trabajo pactado													
Reporte de hallazgos y anomalías en sitio													
Tiempo de entrega de informes de mantenimiento													
Claridad de los resultados, conclusiones y recomendaciones													
<p>En general, indique en la escala que tan satisfecho se encuentra con el servicio brindado</p> <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Muy satisfecho</td> <td style="width: 50px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Satisfecho</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Neutral</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Insatisfecho</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Muy insatisfecho</td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">¡Sus comentarios son bienvenidos!</p>				Muy satisfecho		Satisfecho		Neutral		Insatisfecho		Muy insatisfecho	
Muy satisfecho													
Satisfecho													
Neutral													
Insatisfecho													
Muy insatisfecho													


Fuente: elaboración propia, empleando Excel

Apéndice 6. **Encuesta sobre el diseño de las tarjetas de inspección y toma de datos**

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO	Encuesta No. <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 80%; margin: 5px auto;"></div>										
ENCUESTA SOBRE EL DISEÑO DE LAS TARJETAS DE INSPECCION Y TOMA DE DATOS												
<p>Información general: La encuesta presentada a continuación tiene como objetivo conocer las opiniones del personal de mantenimiento acerca de las características de diseño preferibles para el uso en campo de tarjetas de inspección y toma de datos durante el mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones</p>												
<p>Serie de preguntas</p> <p>Por favor marque con una "x" la opción que considere de su preferencia</p>												
<p>1. ¿Le serviría tener duplicados para emitir copias de la inspección y toma de datos?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>No</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td>Si, 1 duplicado</td><td></td></tr> <tr><td>Si, 2 duplicados</td><td></td></tr> <tr><td>Si, mas de 2 duplicados</td><td></td></tr> </table>			No		Si, 1 duplicado		Si, 2 duplicados		Si, mas de 2 duplicados			
No												
Si, 1 duplicado												
Si, 2 duplicados												
Si, mas de 2 duplicados												
<p>2. ¿Que presentación de tarjetas de inspección y toma de datos considera adecuada?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Blanco y negro</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td>Color</td><td></td></tr> </table>			Blanco y negro		Color							
Blanco y negro												
Color												
<p>3. ¿Qué tamaño de papel considera adecuado para las tarjetas de inspección y toma de datos?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Carta</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td>Oficio</td><td></td></tr> <tr><td>Otro, especifique</td><td></td></tr> </table>			Carta		Oficio		Otro, especifique					
Carta												
Oficio												
Otro, especifique												
<p>3. ¿Qué color considera adecuado para las tarjetas de inspección y toma de datos?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Blanco</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td>Amarillo</td><td></td></tr> <tr><td>Verde</td><td></td></tr> <tr><td>Celeste</td><td></td></tr> <tr><td>Rosa</td><td></td></tr> </table>			Blanco		Amarillo		Verde		Celeste		Rosa	
Blanco												
Amarillo												
Verde												
Celeste												
Rosa												
<p>3. ¿Necesitaría algún elemento adicional para utilizar en campo las tarjetas de inspección y toma de datos?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Ninguno</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td>Sellos</td><td></td></tr> <tr><td>Estuche impermeable</td><td></td></tr> <tr><td>Tablilla</td><td></td></tr> <tr><td>Otros, especifique</td><td></td></tr> </table>			Ninguno		Sellos		Estuche impermeable		Tablilla		Otros, especifique	
Ninguno												
Sellos												
Estuche impermeable												
Tablilla												
Otros, especifique												


Fuente: elaboración propia, empleando Excel

Apéndice 7. Entrevista de percepción de implementación de tarjetas de inspección y toma de datos

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO	Entrevista No. <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 80%; margin: 0 auto;"></div>
ENTREVISTA DE PERCEPCION DE IMPLEMENTACION DE TARJETAS DE INSPECCION Y TOMA DE DATOS		
<p>Información general: La siguiente forma muestra la guía que será utilizada para las entrevistas orales que nos permitan entender que percepción tiene el personal sobre la implementación de tarjetas de inspección y toma de datos en el proceso de diagnóstico y mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones de distribución</p> <p style="text-align: center;">Serie de preguntas</p>		
Numero	Descripción	
1	¿Cuál es su puesto dentro de la organización laboral?	
2	¿Cómo hace para recordarse de todos los parámetros y hallazgos que necesitas recopilar durante los mantenimientos de equipos eléctricos de subestaciones actualmente?	
3	¿Qué opinaría sobre un documento único que ayude a concentrar toda la información que se necesita de los equipos eléctricos durante el mantenimiento de subestaciones?	
4	¿Cree que utilizar un documento como este, tenga ventajas o desventajas para la ejecución de las tareas del mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones?	
5	¿Cree que utilizar este tipo de documentos incrementa la carga laboral de los colaboradores?	
6	¿Cree que utilizar este tipo de documento sea de beneficio para los clientes que contratan los servicios de diagnóstico y mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones? ¿Por qué?	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel

Apéndice 8. **Condiciones e incentivos para el uso de las tarjetas de inspección y toma de datos**

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO	<i>Hoja No.</i>
		/
CONDICIONES E INCENTIVOS PARA EL USO DE LAS TARJETAS DE INSPECCION Y TOMA DE DATOS		
<p>Información general: El siguiente cuadro recopila todas las condiciones e incentivos que han sido pactados con la gerencia general y el departamento de recursos humanos con objetivo del uso e implementación de las tarjetas de inspeccion y toma de datos en los servicios de diagnostico y mantenimiento de equipos electricos de subestaciones de distribucion</p>		
Descripción detallada	Aprobaciones	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel