



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Gestión Industrial

**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**

Ing. César Estuardo Vicente Rivera

Asesorado por el Mtro. Ing. José Carlos Boanerges Leppe de León

Guatemala, agosto de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTE EN GESTIÓN INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
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
DIRECTOR	Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval
EXAMINADOR	Mtra. Inga. Ericka Nathalie López Torres
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:

**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 Estudios de Postgrado, con fecha 3 de diciembre de 2022.



Ing. César Estuardo Vicente Rivera

LNG.DECANATO.OI.587.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **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: **Ing. César Estuardo Vicente Rivera**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión industrial después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, agosto de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, agosto de 2023

LNG.EEP.OI.587.2023

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“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 **Ing. César Estuardo Vicente Rivera** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión industrial** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Directora

Escuela de Estudios de Postgrado

Facultad de Ingeniería





Guatemala, 10 de diciembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 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** del estudiante **César Estuardo Vicente Rivera** quien se identifica con número de carné **201318649** del programa de Maestria En Gestion Industrial.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el ***Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014.*** Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Mtro. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval
Coordinador
Maestria En Gestion Industrial
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 10 de diciembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"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"** del estudiante **César Estuardo Vicente Rivera** del programa de **Maestría En Gestión Industrial** identificado(a) con número de carné 201318649.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Mtro. Ing. José Carlos Boanerges Leppe De León
Colegiado No. 2196
Asesor de Tesis

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.

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.

**Gerencia de Zetrak
Guatemala**

Ottoniel 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 su amistad.

**Amigos y compañeros
de trabajo**

Jesús Escobar y Rolando Salas por compartir todos sus conocimientos, 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	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XIX
OBJETIVOS	XXIII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXV
INTRODUCCIÓN	XXXV
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Subestaciones eléctricas de distribución.....	5
2.2. Tipos de subestaciones eléctricas	6
2.2.1. Clasificación según la operación	7
2.2.2. Clasificación según la tecnología	8
2.3. Equipamiento eléctrico de subestaciones de distribución	9
2.3.1. Transformadores de potencia.....	10
2.3.2. Transformadores de instrumento.....	11
2.3.3. Interruptores de potencia	12
2.3.4. Apartarrays	13
2.3.5. Seccionadores	14
2.4. Mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones de distribución.....	15

2.4.1.	Tipos de mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones		15
2.4.1.1.	Mantenimiento predictivo	16	
2.4.1.2.	Mantenimiento preventivo	17	
2.4.1.3.	Mantenimiento correctivo	18	
2.4.2.	Frecuencia del mantenimiento		19
2.4.2.1.	Mantenimiento según periodicidad	19	
2.4.2.2.	Mantenimiento según cantidad de operaciones.....	21	
2.4.3.	Actividades típicas del mantenimiento		22
2.4.3.1.	Limpieza del aislamiento	22	
2.4.3.2.	Inspecciones de equipamiento.....	22	
2.4.3.3.	Pruebas eléctricas al equipamiento.....	23	
2.5.	Gestión del mantenimiento de los equipos eléctricos de subestaciones.....		23
2.5.1.	Normativas para el mantenimiento (ANSI/IEEE)		24
2.5.2.	Informes del mantenimiento		27
2.5.2.1.	Resumen de resultados en los informes de mantenimiento.....	27	
2.5.2.2.	Registros históricos en los informes del mantenimiento.....	28	
2.5.3.	Tipos de inspecciones en equipos eléctricos de subestación		29
2.5.3.1.	Inspecciones visuales.....	31	
2.5.3.2.	Inspecciones termográficas.....	31	
2.5.3.3.	Inspecciones boroscópicas	32	
2.5.3.4.	Inspecciones por ultrasonido	33	
2.6.	Consideraciones de seguridad y acceso a subestaciones eléctricas.....		34

2.6.1.	Sobre la seguridad y salud ocupacional	35
2.6.2.	Normas típicas de ingreso a subestaciones eléctricas	37
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	39
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	45
4.1.	Selección de las normativas ANSI (IEEE) aplicables al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones	45
4.2.	Identificación de los parámetros que exigen las normativas ANSI (IEEE) para el análisis de datos obtenidos del mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones	49
4.3.	Desarrollo del modelo óptimo de tarjeta de inspección y toma de datos para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones	50
4.4.	Desarrollo de la metodología para la introducción del uso obligatorio de la tarjeta de inspección y toma de datos en el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones.....	55
4.5.	Evaluación de los beneficios obtenidos del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos obtenidos durante el proceso del diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones	58
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	63
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	79
	REFERENCIAS	81
	APÉNDICES.....	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ejemplo de esquema de subestaciones de un sistema.....	6
2.	Diagrama unifilar de algunos tipos de subestaciones	7
3.	Subestación aislada en aire contra una aislada en SF6	8
4.	Equipos de subestación eléctrica en patio.....	9
5.	Transformador de potencia de alta tensión sumergido en aceite.....	10
6.	Transformadores de instrumento tipo subestación	11
7.	Interruptor de potencia, tanque muerto	12
8.	Apartarrayos de distribución	13
9.	Seccionador de intemperie	14
10.	Termografía aplicada a un transformador de subestación.....	16
11.	Limpieza de aislamiento para prevenir descargas por contaminación....	17
12.	Falla en interruptor de potencia	18
13.	Contador de descargas electro atmosféricas de apartarrayos	21
14.	Ciclo de vida de equipos eléctricos de subestación	24
15.	Simbología utilizada en un resumen de análisis de aceite dieléctrico de un equipo eléctrico	28
16.	Variación de humedad en aceite de transformadores con la temperatura.....	29
17.	Inspección de subestaciones por dron.....	30
18.	Fuga de aceite dieléctrico detectada en transformador	31
19.	Punto caliente detectado en la conexión de una boquilla	32
20.	Boroscopio TXPLORE saliendo de transformador	33

21.	Inspección ultrasónica en subestación.....	34
22.	Rotulación sobre riesgos a la seguridad es subestación	35
23.	Equipo de protección personal exigido en subestaciones	36
24.	Número de normas seleccionadas que aplican a cada equipo eléctrico de subestaciones.....	47
25.	Porcentaje de normas que aplican a cada tipo de tecnología de aislamiento del equipamiento eléctrico.....	48
26.	Comparación entre los parámetros de inspección exigidos por el fabricante y las normativas ANSI (IEEE).....	49
27.	Preferencias de formato para la tarjeta por ingenieros y técnicos de mantenimiento.....	50
28.	Preferencias de tamaño para la tarjeta por ingenieros y técnicos de mantenimiento.....	51
29.	Preferencias de color para la tarjeta por ingenieros y técnicos de mantenimiento.....	51
30.	Flujograma de la secuencia de introducción del uso obligatorio de la tarjeta de inspección y toma de datos	56
31.	Satisfacción global del cliente con los servicios de diagnóstico prestados, antes y después de la implementación de la tarjeta de inspección y toma de datos.....	59
32.	Calificación del cliente sobre los aspectos considerados para calificar la satisfacción con los servicios prestados.....	60

TABLAS

I.	Nombre de la variable	XXVII
II.	Operacionalización de las variables.....	XXVIII
III.	Niveles preferentes de tensiones para distribución en Guatemala.	6

IV.	Frecuencia del mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones (intervalo en meses)	20
V.	Matriz de coeficiente de corrección de frecuencia del mantenimiento	20
VI.	Normativas de mantenimiento según la región	25
VII.	Estructura típica de contenido de una normativa ANSI/IEEE	26
VIII.	Normas seleccionadas del catálogo general ANSI (IEEE)	45
IX.	Tarjeta de inspección y toma datos a equipos eléctricos de subestaciones de distribución y potencia basada en normas ANSI (IEEE)	53
X.	Condiciones e incentivos aprobados por gerencia general para la introducción obligatoria del uso de tarjetas de inspección y toma de datos	57
XI.	Tiempos de duración de las fases de implementación de tarjetas de inspección y toma de datos	58
XII.	Parámetros de la tarjeta de inspección y toma de datos	67

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H ₂ O	Agua
°C	Grado celcius
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
kV	Kilovoltio
Q	Quetzal
%	Porcentaje

GLOSARIO

ANSI	El American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares), 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, entre otros), 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.
PPM	Partes por millón
<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

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 conllevó a la necesidad de establecer mecanismos que permitieran garantizar un buen diagnóstico del equipamiento en el tiempo asignado y asegurar la disponibilidad de los resultados para su posterior tabulación en el informe certificado.

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 implementó tarjetas de inspección y toma de datos que permitieron concentrar y resguardar la información respectiva del mantenimiento ejecutado.

Se seleccionaron las normativas que aplican al diagnóstico de los equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión, en las cuales se identificaron los parámetros que son requeridos para inspeccionar en conjunto con el fabricante durante las tareas de mantenimiento, y se implementaron de forma obligatoria obteniendo una mejora en la satisfacción del cliente en aspectos del desarrollo como los tiempos de entrega de informes, cumplimiento de cronogramas, desempeño del personal y cumplimiento de normas de seguridad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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 del 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. (BLS, 2019)

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 experimentó inconvenientes al momento de la redacción y análisis de la información proveniente de los mantenimientos preventivos anuales ejecutados, etapa que representa el 75 % del tiempo asignado para un servicio (32 horas) y que constituye un requisito clave para facturación y gestión del pago ante el cliente final. Después de transcurrido este periodo, según políticas del cliente se puede incluso rechazar el servicio por incumplimiento de las condiciones indicadas en la cotización inicial.

Los inconvenientes se presentaban 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.

En el momento del análisis varias empresas del sector industrial contaban 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.

Formulación del problema

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

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?

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?

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. Contaba 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 fue sido autorizado por EMPRESA S.A. y los recursos, información y demás requerimientos fueron sido declarados disponibles para la ejecución prioritaria del proyecto de investigación, que arrancarían de forma inmediata a la aprobación del título propuesto.

OBJETIVOS

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

Específicos

1. Seleccionar las normativas ANSI (IEEE) aplicables al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión en el sector industrial.
2. 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.
3. Desarrollar un modelo óptimo de tarjeta de inspección y toma de datos para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones en campo.
4. 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.

5. 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.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

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

Enfoque

El trabajo de investigación tuvo un enfoque mixto, dado que se tenía contemplado obtener, procesar y analizar variables cuantitativas y cualitativas durante el desarrollo del estudio. El proceso comprendió 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.

Diseño

El desarrollo del trabajo de investigación tuvo un diseño no experimental, ya que las tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas IEEE fueron 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.

Tipo de estudio

El trabajo de investigación empleo datos disponibles en el momento y que han sido generados durante el funcionamiento del sistema de trabajo anterior 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 consideró transversal al adquirir datos para el análisis en momentos puntuales.

Alcance

El trabajo de investigación tuvo 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.

Variables

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

Tabla I. **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
Normativas ANSI (IEEE) dedicadas al diagnóstico de equipos eléctricos
Independientes
Metodología para el uso de la tarjeta de inspección y toma de datos en el diagnóstico de equipo eléctrico
Modelo de tarjeta de inspección

Fuente: elaboración propia.

Operacionalización de las variables

En la siguiente tabla se define de forma clara la forma en que se observó y midió cada variable, así como también la técnica empleada.

Tabla II. 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	Numero:		
			Normas que aplican a Interruptores de potencia	Consulta en el catálogo en línea de ANSI (IEEE)	
			Normas que aplican a transformadores de potencia	Lectura del formato electrónico de vista previa de las normas	
			Normas que aplican a transformadores de instrumento	Revisión de manuales de operación y mantenimiento de los equipos eléctricos	Se calcularán como porcentaje del total de normas seleccionadas
			Normas que aplican a apartarrayos		
			Porcentaje:		
			Normas aplicables a equipos aislados en gas	Consulta en foros en línea de ingeniería eléctrica	
			Normas aplicables a equipos aislados al aire	Consulta de catálogos de fabricantes de equipos eléctricos.	
			Normas aplicables a equipos aislados en aceite		

Continuación de la tabla II.

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 II.

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.

Técnicas de análisis de la información

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

Herramientas de diagnóstico

A continuación, se describen las herramientas utilizadas 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 empleó 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 fue crucial para poder reestructurar y estandarizar el proceso. Personal interno fue entrevistado en una forma abierta acerca del proceso de diagnóstico que se llevaba a cabo habitualmente.

Entrevistas estructuradas: bajo un guion fueron 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 utilizó para poder construir la representación gráfica del proceso que conlleva actualmente el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos una vez que fue completada la fase.

Análisis de la información

En esta sección se describen las herramientas empleadas 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 fue almacenada en un documento de Excel donde se evaluaron los indicadores de acuerdo con la matriz de coherencias. Además, información de las encuestas fue descargada aquí.

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

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

Fórmulas y estadísticas: se emplearon fórmulas estadísticas para el cálculo de porcentajes, razones y la creación de índices. Los promedios también fueron ampliamente usados para criterios de elección.

Análisis de imágenes y video: la información gráfica fue vital y se obtuvo 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 pudieron extraer detalles secundarios y analizar el entorno para la optimización de las tarjetas a implementar.

Evaluación de beneficios

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

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

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

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

Resultados esperados

Con el desarrollo del trabajo de investigación se esperaba 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 establecería 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 esperaba obtener información sobre la satisfacción del cliente y otros indicadores que nos permitieran analizar el impacto que la solución implementada tiene sobre la percepción del cliente hacia la empresa.

Población y muestra

La unidad de análisis empleó la totalidad de la documentación existente en el archivo de la empresa actualmente (283 registros legibles), debido a que muchos de los archivos se encuentran no identificados, deteriorados o no legibles.

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

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de investigación consistió 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 de la empresa eran 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 que no se tenía 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 fue importante para el desarrollo y crecimiento de la empresa en el área de servicios de diagnóstico basados en normativas de reconocimiento internacional. Además, fue importante dado que permitió 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 era 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 industrial presentó 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 proponía visitas técnicas a las áreas de trabajo para realizar un levantamiento de reconocimiento de los equipos aplicables y requerimientos específicos para la inspección en subestaciones.

El desarrollo de las tarjetas de inspección y toma de datos requirió la revisión documental de las normativas aplicables de ANSI (IEEE). La lectura e interpretación fueron vitales para el diseño y optimización del modelo de las tarjetas de inspección y toma de datos.

La implementación y evaluación de la solución se realizó en conjunto con la gerencia general e ingeniería como principales interesados del estudio y en cumplimiento con las políticas del departamento de recursos humanos de la empresa.

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

El informe final está compuesto por cinco capítulos que constituyeron el desarrollo de la solución al 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 permite brindar al lector los conceptos, teorías y anotaciones importantes para el entendimiento a plenitud del informe. El desarrollo de la investigación que comprendió la ejecución de las tareas y el levantamiento de datos está cubierto en el tercer capítulo.

El cuarto capítulo presenta la selección de las normativas que sirvieron de base para el desarrollo del modelo óptimo de la tarjeta de inspección, las encuestas sobre las características preferidas y las entrevistas sobre la percepción que el personal tenía de la implementación de las tarjetas. En el mismo capítulo se muestra el desarrollo de la metodología empleada que permitió la implementación obligatoria de estas, en los procesos de los servicios de mantenimiento y diagnóstico, así como la evaluación de los beneficios que representó esta implementación a la organización.

El quinto capítulo lo constituye la discusión de resultados donde se ha analizado la situación del acceso y abundancia de las normativas de cada equipo identificado dentro del presente trabajo de investigación, las razones que llevan al personal operativo a preferir determinadas características de diseño, la pertinencia del método utilizado para introducir un uso obligatorio y el aporte de cada factor a los beneficios que se obtuvieron de la implementación.

1. MARCO REFERENCIAL

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

Bolotinha (2019), en la edición especial de subestaciones expuso las herramientas de diagnóstico más poderosas que permiten extender la vida útil del equipamiento eléctrico de subestaciones. Las técnicas presentadas fueron 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 fue 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 centró en equipamiento de alta tensión, pero es aplicable también a subestaciones de distribución, dado que se basa en ANSI NETA MTS-2019.

Botero (2008), en su tesis de grado describió y analizó 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 fue de tipo metodológico y brindó 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 tuvo un aporte fundamental al permitir desarrollar un diagnóstico real.

Huaranca y Calatayud (2021) en su tesis de grado implementaron 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 fue 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 formuló 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 fue 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 permitiera reducir los tiempos es beneficioso para el cumplimiento del objetivo de documentación de los diagnósticos.

Rivera (2021), en su tesis de grado describió 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 fue 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 analizó 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 presentó 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 fue 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 fue importante al analizar hojas de seguridad de productos reales y mostrar el procedimiento de análisis de riesgos en formatos reales.

2. MARCO TEÓRICO

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

2.1. 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 III. Niveles preferentes de tensiones para distribución en Guatemala

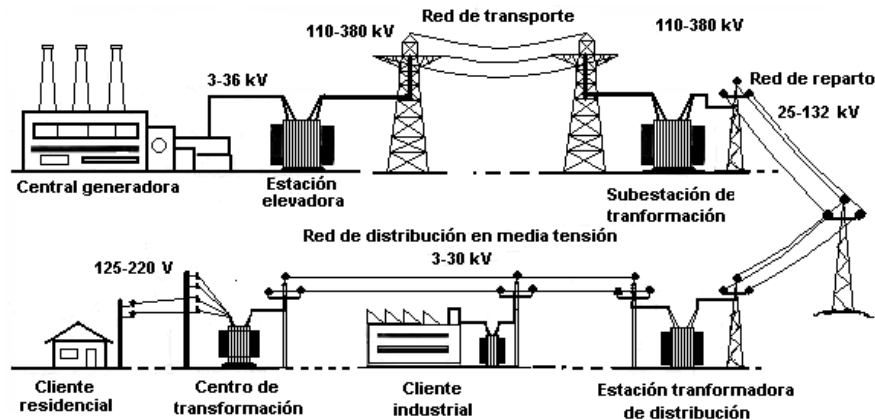
Tensión nominal (kV)	Tensión máxima asignada (kV)
13.2	13.9
13.8	14.5
34.5	36.5

Fuente: elaboración propia.

2.2. 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 1. Ejemplo de esquema de subestaciones de un sistema



Fuente: CECEVI (2022). *Tipos de instalaciones eléctricas*. Consultado el 40 de mayo de 2022.

Recuperado de <https://cecevi.com/?p=2060>

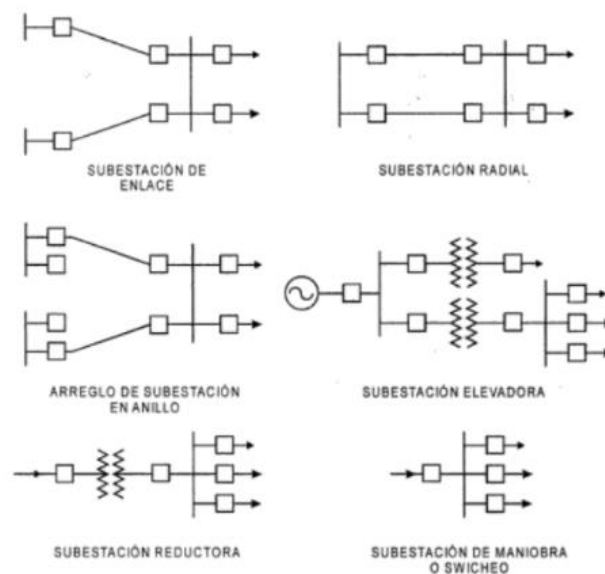
2.2.1. Clasificación según la operación

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

Para Enríquez, (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 2. **Diagrama unifilar de algunos tipos de subestaciones**



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

2.2.2. Clasificación según la tecnología

De acuerdo con Enríquez, (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 este autor 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 3. **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>

2.3. 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 por 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 4. **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-eléctricas-arreglos.html>

2.3.1. 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 perdidas en la red eléctrica.

Este autor 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 5. 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>

2.3.2. Transformadores de instrumento

Según Enríquez (2003) expresa que 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 6. **Transformadores de instrumento tipo subestación**



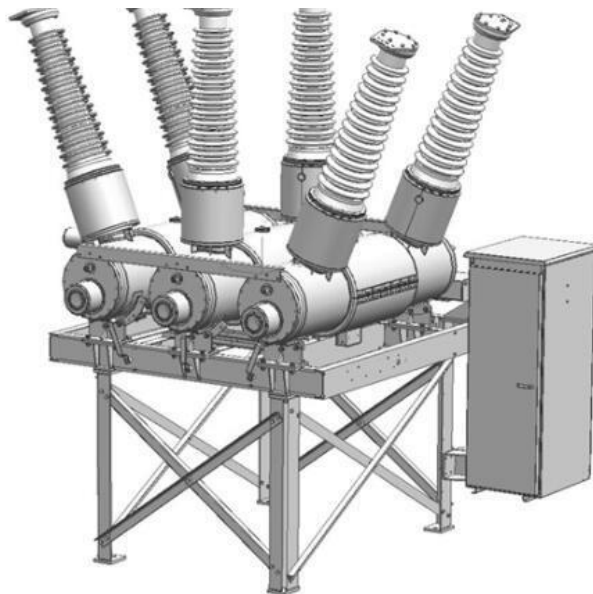
Fuente: Mungia (2007). *Transformadores de medida de media tensión exterior aislamiento seco.*

2.3.3. Interruptores de potencia

Para Trashorras, (2015) dice que 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 7. **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>.

2.3.4. Apartarrayos

De acuerdo con Enríquez, (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 8. **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.

2.3.5. 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 9. **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

2.4. Mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones de distribución

Según García, (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.

2.4.1. 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, (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.

2.4.1.1. 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.

Este autor 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 10. 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>.

2.4.1.2. 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.

Indica que, cuando 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 11. 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/>.

2.4.1.3. 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.

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 este mantenimiento de equipos eléctricos de las subestaciones de distribución no solo tiene consecuencias económicas, sino que 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 12. 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.

2.4.2. 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

2.4.2.1. Mantenimiento según periodicidad

De acuerdo con ANSI y 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 IV. Frecuencia del mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones (intervalo en 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.

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

Tabla V. Matriz de coeficiente 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.

2.4.2.2. 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 13. Contador de descargas electro atmosféricas de apartarrayos



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

2.4.3. 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.

2.4.3.1. 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.

2.4.3.2. 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 desenergizadas, 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.

2.4.3.3. 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 y 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.

2.5. 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.

Levit, (2009) plantea que 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.

Indica que para 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 14. **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 aseguranza han mostrado una sólida presencia y participación en la gestión del mantenimiento de las unidades aseguradas.

2.5.1. Normativas para el mantenimiento (ANSI/IEEE)

Cada equipo que forma parte de las subestaciones de distribución y potencia de media tensión se encuentra sujeto a mantenimiento periódico que permita garantizar el buen funcionamiento. De acuerdo con Nuevo, (2020) es

imprescindible emplear procedimientos normalizados que permitan evitar errores, y olvidar tareas y actividades durante la ejecución.

Las normativas se desarrollan alrededor del mundo y existen asociaciones y entidades encargadas de la redacción de estos ejemplares en función de la región, país o continente entre los cuales se encuentran los siguientes.

Tabla VI. Normativas de mantenimiento según la región

Aplicable a nivel:	Normativa aplicable
Mundial	IEC (Comisión Electrotécnica Internacional)
Mundial	ISO (Organización Internacional de Normalización)
Europa	CEN (Comité Europeo de Normalización)
Europa	CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica)
España	AENOR (Asociación Española de Normalización y Especificación)
Norteamérica	IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
Norteamérica	ISA (Sociedad Internacional de Automatización)
Reino Unido	IET (Instituto de Ingeniería y Tecnología)

Fuente: elaboración propia.

Estas normativas desarrollan una serie de recomendaciones acerca del protocolo a seguir durante las actividades de mantenimiento que incluye desde los lineamientos mínimos de seguridad industrial del personal hasta la recopilación y el análisis de datos de los resultados de pruebas realizadas

brindando para ello especificaciones de los límites recomendados para una operación segura de los equipos instalados.

Tabla VII. Estructura típica de contenido de una normativa ANSI/IEEE

Contents	
1. Scope	1
2. Normative references.....	2
3. Definitions	2
4. Purpose of tests.....	3
5. Maintenance tests and information.....	5
5.1 Recommended, as-needed, and optional maintenance tests.....	5
5.2 EPRI Power Transformer Maintenance and Application Guide	6
6. Safety.....	7
6.1 General	7
6.2 Types of hazards.....	7
6.3 Creating an electrically safe work condition	8
6.4 General practices for internal inspection	10
6.5 Suggested general control measures	10
6.6 Apparatus.....	12
7. Tests and test techniques	12
7.1 Periodic general inspections	12
7.2 Main tank (active part).....	14
7.3 Bushings	59
7.4 Tap changers.....	61
7.5 Ancillary equipment	67
8. Diagnostic chart.....	73
Annex A (informative) Power factor measurements	76
Annex B (informative) Bushings.....	82
Annex C (informative) Infrared temperature measurements	85
Annex D (informative) Dew point test	88
Annex E (informative) Furan testing.....	91
Annex F (informative) Frequency response testing.....	93
Annex G (informative) Dielectric frequency response.....	97
Annex H (informative) Other methods to verify polarity from previous field test guide revisions.....	101
Annex I (informative) Particle count.....	103
Annex J (informative) Bibliography.....	106

Fuente: ANSI / IEEE (2013), *IEEE Guía para pruebas de campo de diagnóstico de transformadores de potencia, reguladores y reactores llenos de líquido. (C57.152-2013).*

Las normativas ANSI / IEEE han sido ampliamente utilizadas en la región de centro y sur América dada la cercanía con la región norte y a algunas similitudes de topología y climas en contraste con Europa y otros continentes.

Los ejemplares de IEEE pueden ser consultados y adquiridos en IEEE xplora (web) en formato físico o digital.

2.5.2. 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 se ha 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.

2.5.2.1. 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 15. **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/>.

2.5.2.2. Registros históricos en los informes del mantenimiento

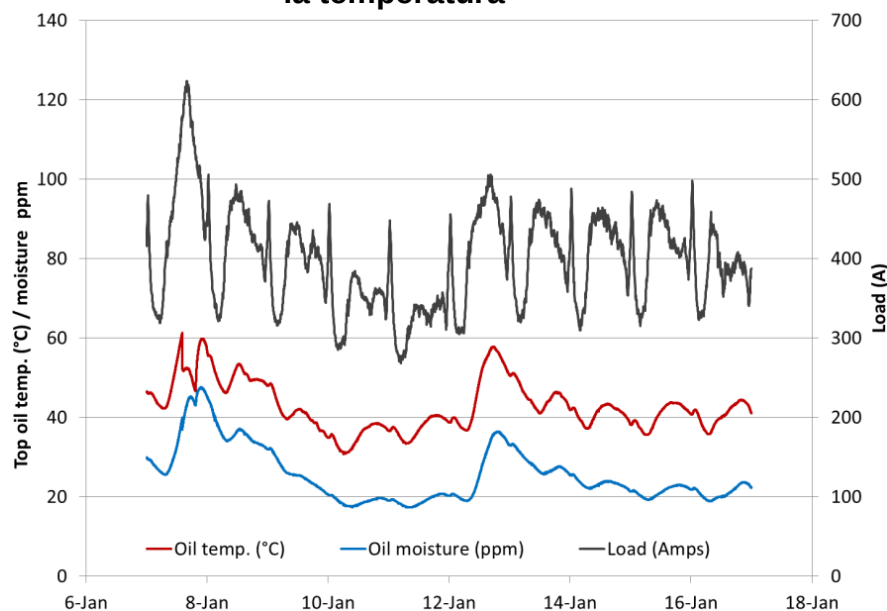
Para Yuan, (2018) es importante que los equipos eléctricos críticos sean monitoreados mediante el aditamento de dispositivos que permitan diagnosticar fallas incipientes.

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 16. Variación de humedad en aceite de transformadores con la temperatura



Fuente: VAISALA (2016). *Moisture in transformer oil behavior*.

2.5.3. 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 17. 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 se pueden mencionar las siguientes.

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

2.5.3.1. 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 18. Fuga de aceite dieléctrico detectada en transformador



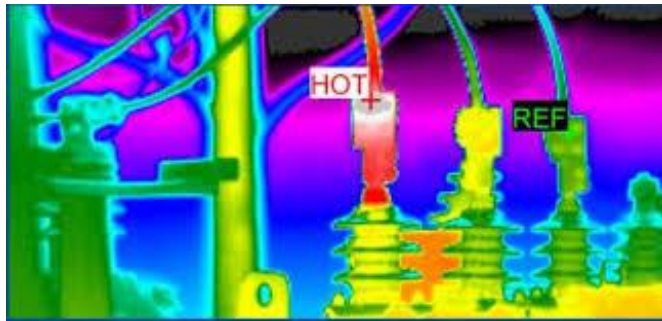
Fuente: Transmission y Distribution services (2022). *Transformer repairs*. Consultado el 13 de marzo de 2022. Recuperado de <https://www.tdsleakseal.com/transformer-repairs/>.

2.5.3.2. Inspecciones termográficas

Según García, (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 19. **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>.

2.5.3.3. Inspecciones boroscópicas

Según García, (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 20. **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/>

2.5.3.4. Inspecciones por ultrasonido

Según García, (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 dieléctrico también emplean esta técnica para localización del punto de descarga.

Figura 21. **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-eléctricas-con-ultrasonido-acustico/>.

2.6. Consideraciones de seguridad y acceso a subestaciones eléctricas

Según Henao, (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 eléctricas de distribución establecen criterios mínimos de seguridad que se deben cumplir previo al ingreso a las subestaciones con el objetivo de salvaguardar la integridad del personal.

2.6.1. Sobre la seguridad y salud ocupacional

Henao, (2014) recomienda tener en cuenta que frente al riesgo eléctrico la técnica mas efectiva para evitar accidentes es guardar distancias prudentes de las partes energizadas de la subestacion, 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 minimas de seguridad frente al personal, vehículos y respecto a las estructuras.

Figura 22. Rotulación sobre riesgos a la seguridad es subestación



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 eléctricas de distribución. 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 23. 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.

2.6.2. Normas típicas de ingreso a subestaciones eléctricas

De acuerdo con Congreso de la República de Guatemala, (2014) es obligatorio que las empresas implementen programas de prevención 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 protección 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 ejecución 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 continuación 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 grabación 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.

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo describe el procedimiento empleado para la realización del presente trabajo de investigación.

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

Entre los archivos de la empresa se revisó la documentación del proceso del diagnóstico de los equipos eléctricos el cual contenía 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 construyó una matriz de verificación de existencia y cumplimiento de los parámetros necesarios para ejecutar el análisis en cada servicio ejecutado que se denominó “previa”.

El reconocimiento de áreas mediante la visita técnica permitió identificar al personal que participa en el servicio de diagnóstico y se identificó algunas características de los equipos que son procesados por la empresa. Finalmente, en esta primera se realizó una encuesta sobre satisfacción de clientes frecuentes y sirvió de base para el análisis de los beneficios de la implementación. El modelo de esta encuesta se encuentra en el apéndice 1.

Segunda fase, diagnóstico inicial: se realizó el proceso de búsqueda y consulta de las versiones previas de las normativas ANSI (IEEE) que se aplican al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión, obteniendo acceso a los ejemplares seleccionados en formato digital e impreso para consulta. Esta etapa se realizó mediante la consulta del catálogo de normas y uso de búsqueda por palabras claves y filtros.

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

Las normativas que cumplían con los criterios de búsqueda fueron detalladas en una tabla de identificación de normativas, el modelo de la tabla se encuentra en el apéndice 2.

Una vez que se tuvieron los detalles de las normas se procedió a obtener el acceso a los ejemplares en versión completa para disponibilidad y facilidad de consulta.

Tercera fase, análisis de las normativas: se identificó y se extrajo 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.

Los ejemplares de las normativas se tuvieron 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 inició buscando todos los parámetros y datos que se aplican a los tipos de equipos que procesan en la empresa, y fueron tabulados en forma detallada en una tabla de identificación de parámetros y datos exigidos por normativas IEEE, el modelo de la tabla se encuentra en el apéndice 3.

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

El formato se encuentra disponible para acceso en formato digital e impreso, lo cual permite 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 se realizó, 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 los apéndices 4 y 5 respectivamente.

Cuarta fase, planeación de la implementación: se analizó y se estableció 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.

Los modelos digital e impreso fueron presentados ante la gerencia general de la empresa y el departamento de recursos humanos donde se describió 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, fueron puestos en juicio también en esta reunión y las resoluciones fueron recopiladas en la tabla de condiciones e incentivos laborales aplicables, el modelo de esta tabla se encuentra en el apéndice 6.

Finalmente se rehabilitó el espacio físico que ahora sirve para acoger la documentación generada de los servicios de diagnóstico y cada proyecto culminado está siendo indexado para consulta fácil.

Quinta etapa, medición de los beneficios: se midieron los beneficios de la implementación de tarjetas de inspección y toma de datos durante el diagnóstico de equipos eléctricos, y se tabularon para presentarlos a la gerencia y otros interesados. Esta etapa se realizó mediante la revisión documental de la documentación archivada de los diagnósticos realizados.

Cuando la implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas IEEE finalizó, una encuesta sobre la satisfacción del cliente por el servicio de diagnóstico prestado se trasladó al cliente, el modelo se encuentra en el apéndice 1.

Se realizó una revisión documental la cual se registró 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” sirvió 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 desarrolló antes y después de la implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos basadas en normativas IEEE.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

La información obtenida con los instrumentos de recolección de datos fue procesada y los resultados se presentan a continuación.

4.1. Selección de las normativas ANSI (IEEE) aplicables al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones

Un total de 10 normativas ANSI (IEEE) fueron seleccionadas en conjunto con manuales típicos de mantenimiento, emitidos por el fabricante de los equipos, contenidos en el presente trabajo de investigación. Los ejemplares seleccionados se muestran a continuación:

Tabla VIII. Normas seleccionadas del catálogo general ANSI (IEEE)

Nombre de la norma	Numero de norma
Guía para instalación y mantenimiento de transformadores de potencia sumergidos	IEEE std C57.93-2019
Guía para pruebas de campo de diagnóstico de transformadores de potencia, reguladores y reactores llenos de líquido.	IEEE std C57.152-2013
Guía para la aceptación y mantenimiento de aceite mineral aislante en equipos eléctricos	IEEE std C57.106-2015

Continuación de la tabla VIII.

Nombre de la norma	Numero de norma
Guía para pruebas de campo de aislamiento de aparatos eléctricos	IEEE std 62-1995
Guía para pruebas de campo de transformadores de corriente de relé	IEEE std C57.13.1-2017
Norma para requisitos de desempeño y prueba para transformadores de instrumentos de un voltaje nominal del sistema de 115 kV y superior	IEEE std C57.13.5-2019
Guía para la aplicación, instalación, operación y mantenimiento de seccionadores e interruptores de aire de alto voltaje	IEEE std C37.35-1995
Requisito estándar para interruptores de aire de alto voltaje de CA clasificados por encima de 1000 V. Enmienda 1: Criterios de aceptación	IEEE std C37.30.1a-2017
Norma para pararrayos de óxido de metal para circuitos de alimentación de CA (>1 kV)	IEEE std C62.11-2020
Procedimiento de prueba para interruptores de alto voltaje de CA basado en una corriente simétrica	IEEE std C37.09-2018

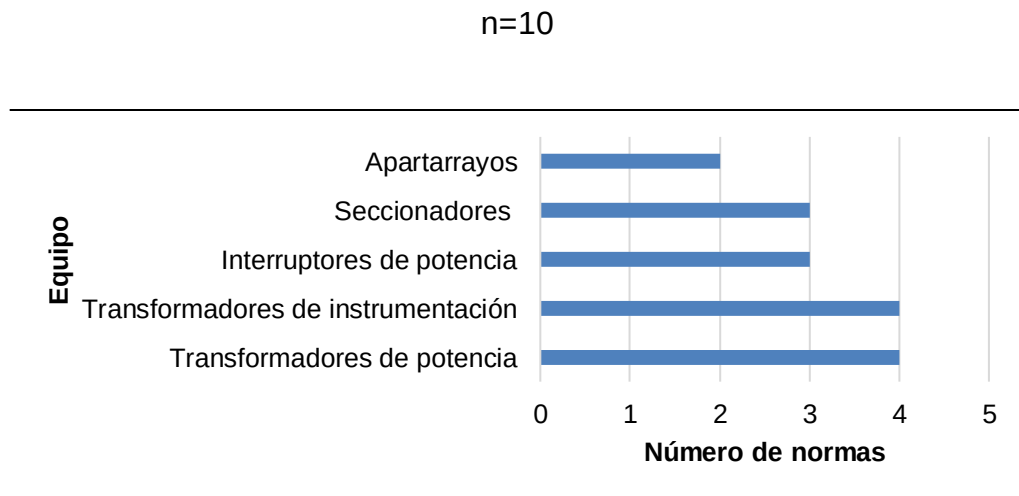
Fuente: elaboración propia.

Las normativas anteriores pertenecen a series distintas del catálogo general de IEEE, las series se diferencian de acuerdo con el equipo al cual aplican y las versiones son renovadas por miembros de la comunidad científica internacional según exista nuevos hallazgos que ameriten revisiones de las normas vigentes actualmente.

Entre las normas seleccionadas existen algunos ejemplares que se encuentran contenidas en secciones dedicadas a un tipo de equipamiento específico, pero, que su aplicación se extiende y generaliza incluso a secciones diferentes como la IEEE C57.106-2015 que trata sobre líquido aislante que es comúnmente empleado en distintos tipos de equipos.

A continuación, en la figura 24 se muestra el número de normativas seleccionadas que aplican a cada tipo de equipo eléctrico de subestaciones:

Figura 24. Número de normas seleccionadas que aplican a cada equipo eléctrico de subestaciones

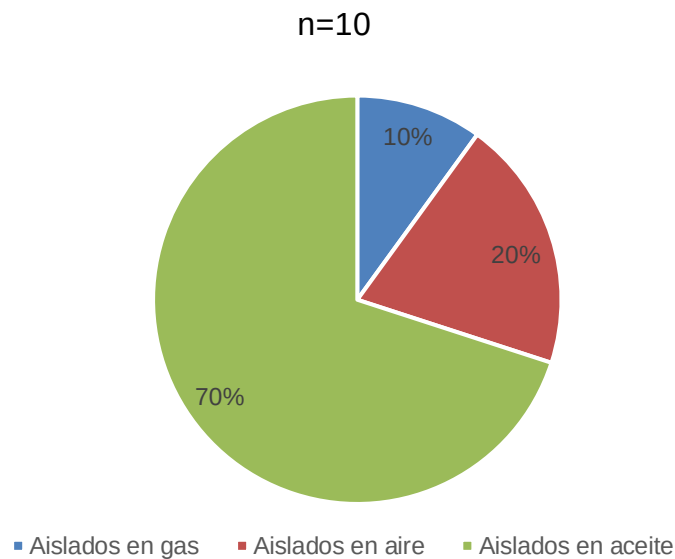


Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo que todos los equipos eléctricos de subestación que son procesados por la empresa cuentan con normativas aplicables al diagnóstico y mantenimiento. Los transformadores de potencia e instrumentación muestran un mayor número de normativas dedicadas (4 cada uno), e incluso a nivel de catalogo general son los que más abundancia de ejemplares muestran.

Las normativas seleccionadas son específicas también en cuanto al tipo de tecnología de aislamiento al cual aplican, obteniéndose los siguientes datos:

Figura 25. Porcentaje de normas que aplican a cada tipo de tecnología de aislamiento del equipamiento eléctrico



Fuente: elaboración propia.

Los porcentajes muestran que los equipos aislados en aceite representan la tecnología de aislamiento con mayor presencia de normativas dedicadas por parte de ANSI (IEEE), con el 70 % del total de ejemplares seleccionados para el presente trabajo de investigación.

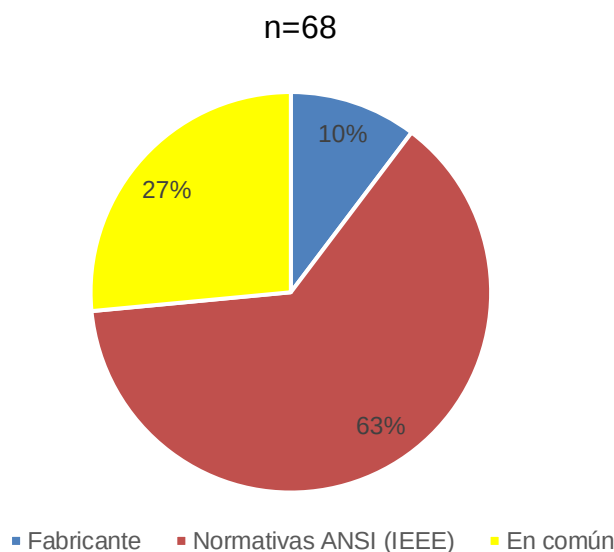
Los equipos aislados en gas y aire son minoría dentro de las normas consultadas con un 10 y 20 % respectivamente, pero, sí existen normativas disponibles dedicadas a estas tecnologías para los procesos de diagnóstico y mantenimiento.

4.2. Identificación de los parámetros que exigen las normativas ANSI (IEEE) para el análisis de datos obtenidos del mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones

Los ejemplares de las normativas seleccionadas y los manuales típicos de mantenimiento fueron interpretados extrayendo de ellas todos los parámetros de inspección y toma de datos requeridos para el proceso del diagnóstico pertinente a los equipos eléctricos de subestaciones.

Se obtuvieron 68 parámetros los cuales se encuentran tabulados en la tarjeta de inspección y toma de datos para el diagnóstico de equipamiento eléctrico y pueden ser consultados en el apéndice 2 y 3. Los manuales del fabricante y las normativas seleccionadas fueron consultadas y contrastadas obteniéndose los siguientes datos:

Figura 26. Comparación entre los parámetros de inspección exigidos por el fabricante y las normativas ANSI (IEEE)



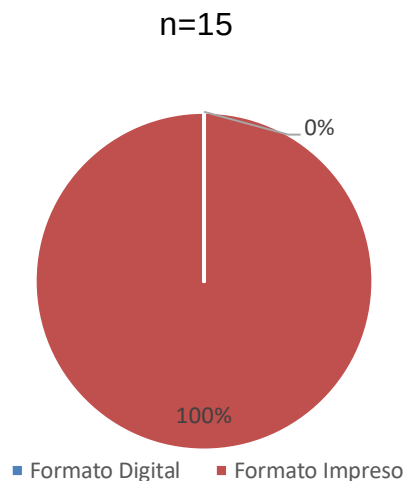
Fuente: elaboración propia.

La comparación entre los parámetros que exige cada parte muestra que la mayoría, 63.2 % de los contenidos en la tarjeta son exigidos expresamente por las normativas ANSI (IEEE), mientras que el 10.3 % de los contenidos son exigidos expresamente por el fabricante. Como resultado de la integración de los parámetros requeridos por ambas partes en la tarjeta de inspección y toma de datos, se obtuvo que únicamente un 26.5 % de los parámetros son exigidos por ambas entidades en común.

4.3. Desarrollo del modelo óptimo de tarjeta de inspección y toma de datos para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones

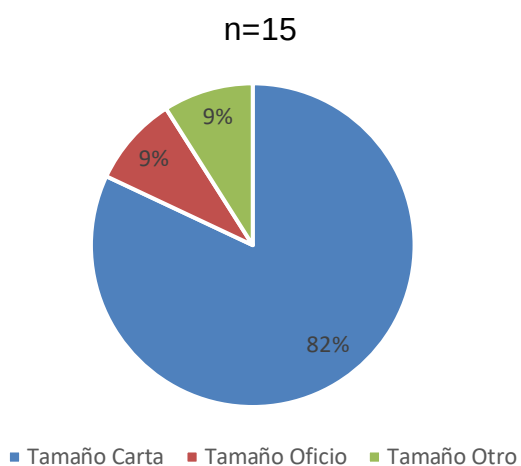
La totalidad del personal involucrado en el área de servicios eléctricos y mantenimiento fue encuestada acerca de algunas características deseadas para el diseño de la tarjeta de inspección y toma de datos. Los resultados se muestran a continuación:

Figura 27. Preferencias de formato para la tarjeta por ingenieros y técnicos de mantenimiento



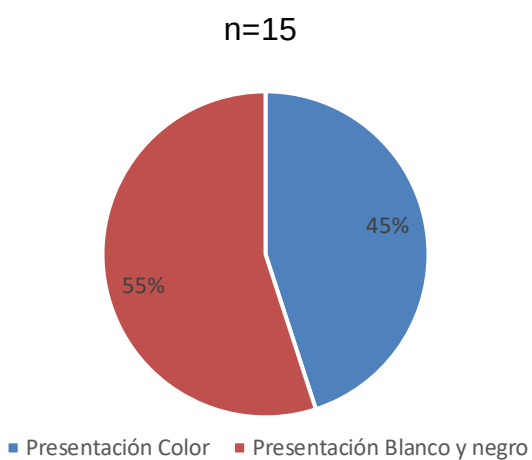
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Preferencias de tamaño para la tarjeta por ingenieros y técnicos de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Preferencias de color para la tarjeta por ingenieros y técnicos de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

El modelo impreso y en formato físico fue el preferido por todos los colaboradores del área de servicios eléctricos con un 100 % a favor, quienes coincidieron en que este modelo se ajusta a sus necesidades en el campo.

El tamaño de la tarjeta que forma parte importante del diseño para la optimización y facilidad de uso fue encuestado también, obteniéndose preferencia por el tamaño carta con un 82 % a favor, y el tamaño oficio y A4 sugerido quedaron con un 9 % respectivamente.

En cuanto a la presentación, el modelo en blanco y negro predominó entre las características preferidas del personal con un 55 % a favor. La presentación a color tiene una popularidad aceptable con un 45 %. La tarjeta de inspección y toma de datos fue elaborada empleando Excel con una configuración sin márgenes y empleando las características preferidas por los colaboradores del área de servicios eléctricos y mantenimiento de la empresa.

Los datos incluidos en las tarjetas de inspección y toma de datos son categorizados de la siguiente manera:

- Información general del equipo
- Inspección de calidad de energía
- Inspección de indicadores
- Inspección de elementos mecánicos y eléctricos
- Inspección de empaques

Son parámetros propios del diseño, origen, tipo y especificación del equipo eléctrico de subestación, objeto de diagnóstico durante el mantenimiento.

Estas características fueron presentadas ante la gerencia general donde se realizaron algunas correcciones al formato y se establecieron las condiciones contenidas en el desarrollo de la metodología para la introducción del uso obligatorio. El modelo final se muestra a continuación.

Tabla IX. **Tarjeta de inspección y toma de datos a equipos eléctricos de subestaciones de distribución y potencia basada en normas ANSI (IEEE)**



Tarjeta de inspección y toma de datos a equipos eléctricos de subestaciones de distribución y potencia

El propósito de una inspección de mantenimiento es evaluar la condición del equipamiento y dar a conocer estos hallazgos al personal apropiado. La inspección periódica de los equipos de subestaciones y sus accesorios contribuye a la operación continua e identificar problemas potenciales antes de ser lo suficientemente graves. Estos lineamientos de inspección cumplen y exceden los requeridos por ANSI (IEEE).

Identificador del equipo: _____

Fecha: _____

Información general de equipos

Cliente: _____

Subestación: _____

Fecha de fabricación: _____

Tensión nominal: _____

Capacidad nominal: _____

Elevación de temperatura: _____

Material de aisladores: _____

Ubicación: _____

Temperatura ambiente: _____

Fabricante: _____

No de serie: _____

Corriente In: _____

Frecuencia: _____

Tipo de aislamiento: _____

Cantidad de aislante: _____

Clima: _____

Tipo de accesos: _____

Peso total: _____

Tipo de enfriamiento: _____

Numero de fases: _____

Humedad relativa: _____

Tamaño de accesos: _____

Seleccione el equipamiento a inspeccionar

☐ Transformador de potencia
☐ Transformador de instrumento
☐ Interruptor de potencia
☐ Seccionador
☐ Apartarrayos
☐ Otro, especifique; _____

Modelo: _____

Posiciones y condiciones actuales

	Cambiadores de derivaciones	Seccionadores
Baja tensión		
Alta tensión		

Tensión de servicios auxiliares: _____

¿Color de identificador de contenido de PCB?

¿Existe contaminación de suelos o aguas con fluido aislante?

Inspección de calidad de energía

No	Parámetro	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Neutro	Trifásico	Unidad	Conformidad	
								Si	No
1	Voltaje						V		
2	Corriente						A		
5	Potencia aparente						kVA		
6	Factor de potencia						-		
8	THD en voltaje						%		
9	THD en corriente						%		

Inspección de indicadores

No	Parámetro	Actual	Máximo Registrado	Reseteo	¿Indicador visible?	Unidad	Conformidad	
							Si	No
1	Color de sílica gel					N/A		
2	Nivel de líquido en tanque principal					N/A		
3	Temperatura del líquido aislante					°C/°F		
4	Temperatura de los devanados					°C/°F		
5	Presión de botellas de gas inerte					PSI/Pa		
6	Presión interna del tanque del equipo					PSI/Pa		

Continuación tabla IX.

5	Nivel de gases acumulados en buchholz					cm3		
6	Cantidad de conmutaciones					Unidad		
7	Nivel de liquido en cambiador OLTC					N/A		

Inspección de elementos mecánicos								
No	Parámetro	¿Grietas?	¿Fugas?	¿Corrosión?	¿Operación normal?	Conformidad		
						Sí	No	
1	Gabinete (NEMA)							
2	Tanque principal							
3	Válvulas de muestreo o filtrado							
4	Placa de puesta a tierra							
5	Gabinetes de control							
6	Radiadores							
7	Válvulas de radiadores							
8	Ventiladores							
9	Tanque de cambiador OLTC							
10	Bombas de aceite							
11	Bombas de agua							
12	Tanque conservador							
13	Tornillería en general							
12	Interbloqueos de seguridad							

Inspección de empaques								
No	Parámetro	¿Grietas?	¿Cortes?	¿Fugas?	¿Deformaciones?	Conformidad		
						Sí	No	
1	Empaques del tanque del equipo							
12	Empaques de accesorios							

Detalle la ubicación y dimensiones aproximadas del empaque no conforme

Inspección de elementos eléctricos								
No	Parámetro	¿Posición correcta?	¿Flameo?	¿Erosión?	Inspección térmica	¿Contaminación?	Conformidad	
							Sí	No
1	Motores							
2	Elementos de control							
3	Cambiador de derivaciones							
4	Boquillas y aisladores							
5	Contactos principales							
6	Cachos de arqueo							
8	Apartarrayos del transformador							

* Anote el resultado de la inspección de elementos y partes no consideradas en esta tarjeta de inspección

* Tome los datos de partes dañadas para evaluar su reemplazo (dimensiones, diámetros, serial u otros)

Versión: 1a; noviembre de 2022

Firma inspector

Vo.Bo. Supervisor de servicios

Fuente: elaboración propia.

4.4. Desarrollo de la metodología para la introducción del uso obligatorio de la tarjeta de inspección y toma de datos en el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones

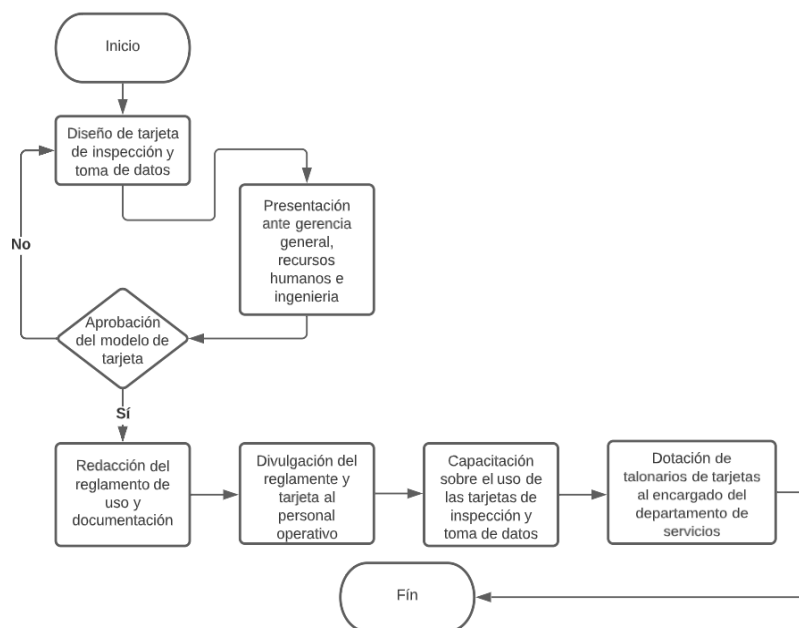
Las entrevistas realizadas al personal operativo sobre la percepción de la implementación de tarjetas de inspección y toma de datos fueron consideradas en el desarrollo de la metodología en acompañamiento con gerencia general, recursos humanos e ingeniería en el presente trabajo de graduación.

La información recabada de las entrevistas fue presentada junto al modelo aprobado de tarjeta de inspección y toma de datos previo al desarrollo de la metodología, siendo conscientes del pensar y sentir de los colaboradores respecto a la implementación.

Las fases de la implementación fueron desarrolladas de forma secuencial de acuerdo con el flujograma de la figura 30 y el tiempo empleado para la implementación se muestra a continuación:

Las actividades las acompañó ingeniería de procesos internos quien aportó valor para la consecución de una metodología enfocada en procesos e integrada al plan de optimización de la organización, permitiendo la introducción obligatoria como se muestra a continuación:

Figura 30. Flujograma de la secuencia de introducción del uso obligatorio de la tarjeta de inspección y toma de datos



Fuente: elaboración propia.

La información de las entrevistas y las reuniones presenciales sostenidas con los departamentos involucrados permitieron crear un flujograma con la metodología por emplear para introducir el uso obligatorio de las tarjetas de inspección y toma de datos.

La metodología comprendió implementar este proceso mediante un reglamento interno redactado por las partes involucradas y aprobado por la gerencia general, que luego fue divulgado y presentado en una capacitación interna en horario ordinario.

Las tarjetas de inspección y toma de datos impresas en talonarios según el diseño aprobado fueron entregados al finalizar la capacitación y las condiciones e incentivos para su uso se muestran en la tabla siguiente:

Los incentivos se brindan siempre y cuando se hayan cumplido las condiciones indicadas de acuerdo con la lista de cotejo para verificación que se encuentra en el anexo 2.

Tabla X. Condiciones e incentivos aprobados por gerencia general para la introducción obligatoria del uso de tarjetas de inspección y toma de datos

No.	Descripción	Tipo
1	La documentación debe ser rellenada en campo obligatoriamente con el visto bueno del supervisor de servicios a cargo	Condición
2	La documentación completa del servicio debe ser presentada por técnicos a cargo al siguiente día hábil de haber sido ejecutado ante el auxiliar de procesos quien brindará la constancia de recibido conforme	Condición
3	El pago de horas extras y liquidación de viáticos asignados será procesado únicamente cuando presente la solicitud junto a la constancia de recibido conforme por el auxiliar de procesos	Condición
4	Se otorgará un permiso de dos horas para temas personales, como máximo una vez a la semana al personal que cuente con récord intacto del uso y documentación de las tarjetas	Incentivo
5	Los formatos se emitirán en blanco en y negro, pero con el logo de la empresa a color y no se generarán duplicados por políticas de confidencialidad	Condición

Fuente: elaboración propia.

Estas condiciones e incentivos han sido revisadas por gerencia general y aprobadas por la misma dirección y se encuentran sujetas a revisión periódica por parte de ingeniería de procesos si requiere algún ajuste o mejora.

Las fases de la implementación fueron desarrolladas de forma secuencial de acuerdo con el flujograma de la figura 25 y el tiempo empleado para la implementación se muestra a continuación:

Tabla XI. Tiempos de duración de las fases de implementación de tarjetas de inspección y toma de datos

Fase de la implementación	Duración	Enmiendas
Diseño	30 días	0
Presentación ante gerencia general, RRHH e ingeniería	2 días	2
Aprobación del modelo	1 día	0
Redacción del reglamento de uso	15 días	4
Presentación y divulgación	1 día	0
Capacitación y entrega de las tarjetas	1 día	0
<i>Tiempo total de implementación</i>	<i>50 días</i>	

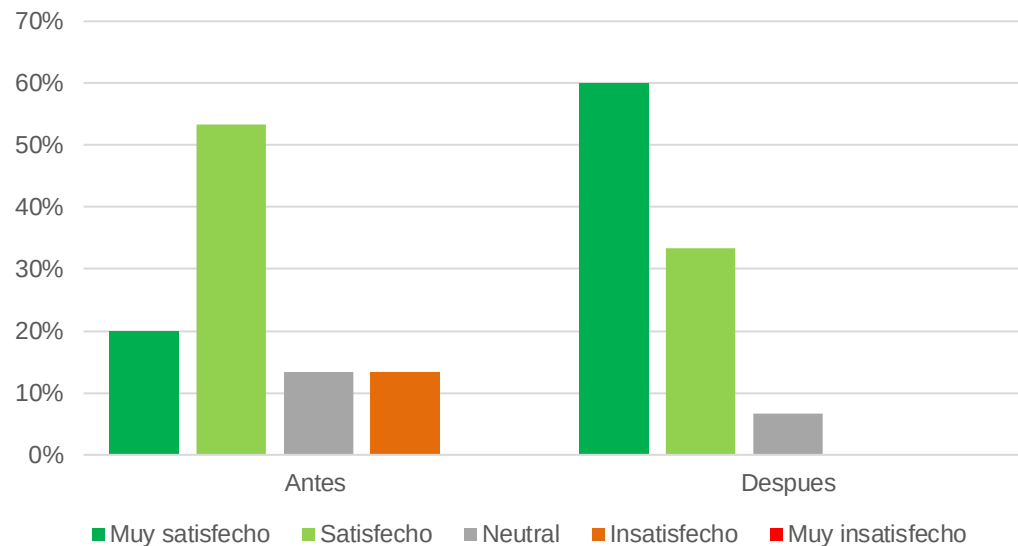
Fuente: elaboración propia.

4.5. Evaluación de los beneficios obtenidos del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos obtenidos durante el proceso del diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones

Las encuestas sobre satisfacción del cliente se realizaron antes y después de la implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos en la empresa, obteniéndose los resultados que se muestran a continuación.

n=15

Figura 31. Satisfacción global del cliente con los servicios de diagnóstico prestados, antes y después de la implementación de la tarjeta de inspección y toma de datos



Fuente: elaboración propia.

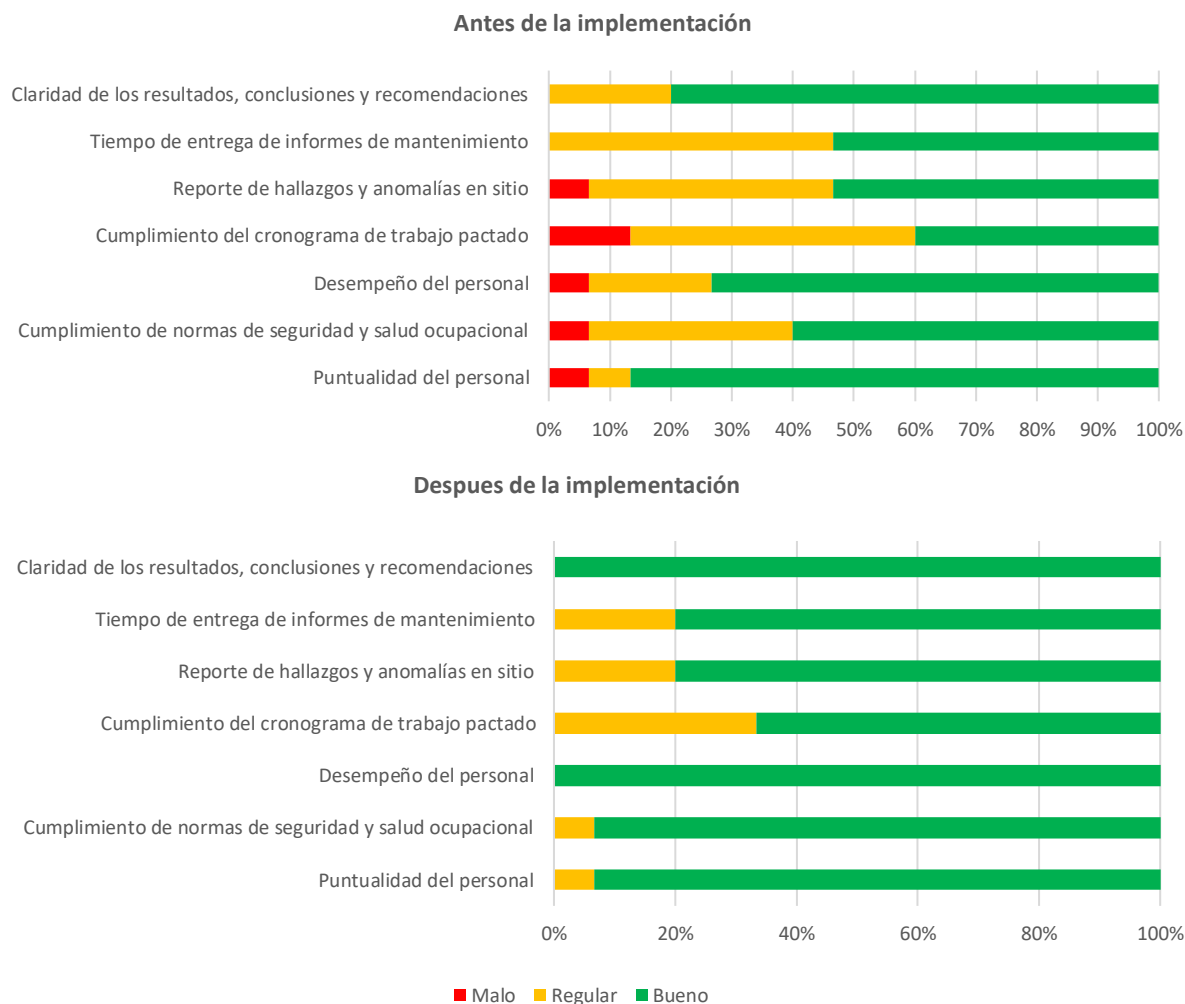
La satisfacción global del cliente mejoró de acuerdo con las respuestas recibidas de las encuestas según el apéndice 1.

Ninguno de los encuestados se mostró insatisfecho durante el segundo sondeo, luego de la implementación de las tarjetas de inspección y toma de datos al proceso del servicio de diagnóstico de equipamiento eléctrico de subestaciones.

Los servicios calificados como “muy satisfechos” se incrementaron desde un 20 hasta un 60 % de los clientes encuestados.

Figura 32. Calificación del cliente sobre los aspectos considerados para calificar la satisfacción con los servicios prestados

n=15



Fuente: elaboración propia.

Los aspectos más importantes del desarrollo de los servicios de diagnóstico de equipamiento eléctrico se evaluaron por los clientes en simultaneidad con la satisfacción global del servicio prestado empleando la encuesta del apéndice 1.

Se observó una reducción importante de aspectos calificados como “malos” durante las encuestas realizadas, mientras las valoraciones positivas se incrementaron en una forma proporcional. El porcentaje de valoraciones positivas creció hasta un 40 % respecto de la encuesta previa.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se analizan los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo de investigación que permitió implementar tarjetas de inspección y toma de datos al proceso de diagnóstico de equipamiento eléctrico de subestaciones de distribución de media tensión.

- Selección de las normativas ANSI (IEEE) aplicables al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones

La selección de las normativas permitió identificar 10 ejemplares de ANSI/IEEE que luego de haber sido filtrados en las búsquedas, son aplicables al desarrollo del diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones. La búsqueda reveló que las normas se encuentran catalogadas según el tipo de equipo al cual están dirigidas y cuentan con un código que las identifica, permitiendo una búsqueda más optimizada y delimitada.

Los ejemplares que fueron seleccionados dan cobertura a todos los equipos eléctricos de subestaciones analizados en este trabajo de investigación, incluso a algunos que por su naturaleza de operación, costo y robustez no se les toma en consideración durante los planes de mantenimiento predictivo – preventivo en las empresas, como el caso de los pararrayos, los cuales generalmente son reemplazados cuando presentan falla y han llegado al final de su vida útil.

El proceso de búsqueda y selección se figuraba como algo engorroso al notar el catálogo tan amplio que hay en cada sección de las normativas, pero, al indagar en los manuales de mantenimiento que emite el fabricante se identificó que este hace referencia a las normativas que sugiere se empleen para el diagnóstico y mantenimiento de rutina durante la etapa de operación, facilitando la búsqueda.

Los ejemplares fueron localizados por el código y adquiridos directamente en la página web de ANSI o IEEE, y de acuerdo con las preferencias de uso, pudo obtenerse acceso al formato digital, ya que el formato físico implicaba otros costos y un tiempo de entrega muy castigado por los problemas de la logística mundial derivados del Covid-19.

Se detectó que algunas normativas que se encuentran en secciones dedicadas a un tipo específico de equipo, también aplican a otros equipos, y esto es debido a que son complementos para la operación, como el caso del aceite mineral aislante que se encuentra en sección de transformadores de potencia y son comúnmente empleados también en interruptores, transformadores de instrumentos y otros.

De los ejemplares seleccionados se notó que algunos equipos tienen más ejemplares dedicados por parte de ANSI/IEEE, como el caso de los transformadores de potencia, y que existe congruencia con el comportamiento de la industria, que también invierte más recursos en estos, respecto al resto de equipos de sus subestaciones. De hecho, muchas industrias hoy en día prefieren no invertir en el mantenimiento de pararrayos, seccionadores y otros, basados en que el costo de reemplazo no lo amerita.

Es evidente que esto se ha tergiversado, ya que en ANSI/IEEE, sí bien hay más ejemplares dedicados a algunos equipos, pero, es por su complejidad constructiva, la naturaleza de los componentes, e incluso por lo indispensable que resultan para la operación del sistema eléctrico de distribución.

Por tanto, se considera una decisión no acertada, el hecho de obviar el resto de los equipos de los planes de mantenimiento predictivo - preventivo, ya que en la etapa de diseño del sistema eléctrico se designaron para cumplir con una asignación específica como la liberación de fallas, el drenado de sobretensiones de la red que pueden comprometer la vida útil remanente de equipamiento más costoso como transformadores, o incluso evitar que se llegue a dañar dispositivos sensibles de áreas operativas y lesiones al personal debido a una maniobra errónea.

Al respecto del nulo mantenimiento predictivo – preventivo en equipos auxiliares para la operación del sistema, Botero (2008) realizó hallazgos que respaldan esta realidad en organizaciones del medio industrial, al encontrar que no se realiza ninguna labor de mantenimiento a no ser que el equipo se encuentre defectuoso en una empresa de montajes metalmecánicos, civiles y eléctricos, durante el desarrollo de su trabajo de investigación.

- Identificación de los parámetros que exigen las normativas ANSI (IEEE) para el análisis de datos obtenidos del mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones

De acuerdo con la revisión de las normativas seleccionadas se identificaron 68 parámetros que son exigidos por las normas ANSI/IEEE para el proceso de inspección y toma de datos durante las tareas de mantenimiento.

Del total de los parámetros identificados, 35 fueron de tipo cuantitativo y 33 de tipo cualitativo, representando un 51.4 y 48.6 % respectivamente, esto debido a que la revisión de las normativas implicó la lectura y comprensión de los distintos capítulos que la componen. Acción que se llevó a cabo al percatarse que algunos parámetros comúnmente evaluados en subestaciones de distribución no se encontraron en la lista de inspecciones sugeridas por las normativas y se encontró que algunos parámetros están parafraseados en incisos dedicados a la explicación de los métodos de pruebas y otros concatenados a la interpretación de los resultados.

La lista de parámetros fue complementada con algunos provenientes de los manuales típicos de mantenimiento emitidos por los fabricantes, los cuales representan un 10.3 %. Al término de la depuración y revisión de los parámetros se determinó que ANSI/IEEE y el fabricante únicamente coinciden en un 26.5 % del total de los parámetros y la razón de esto es que, aunque ambos pueden colaborar para la emisión de las normativas tienen enfoques un tanto distintos en cuanto a las inspecciones durante la etapa operativa.

El fabricante sugerirá unos parámetros generales y limitados a inspeccionar enfocándose en garantizar la operatividad continua de los equipos y en entablar una relación comercial postventa que propicie la adquisición de equipos en futuros proyectos o el suministro de consumibles y repuestos.

Por su parte ANSI/IEEE muestra un compromiso con la divulgación de los avances tecnológicos y metodológicos en materia de mantenimiento predictivo - preventivo enfocado en la operatividad continua, la seguridad industrial del personal operativo y el análisis y seguimiento de mecanismos de falla enfocado en la prevención de desastres. Esto es representado por el aporte de parámetros al total identificado, donde ANSI/IEEE aportó exclusivamente el 63.2 %.

Los parámetros propuestos para integrar en la tarjeta de inspección y toma de datos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla XII. Parámetros de la tarjeta de inspección y toma de datos

no	parámetro	no.	parámetro	no.	parámetro	no.	parámetro
1	Serie	18	Ubicación	35	THD en corriente	52	Radiadores
2	fecha	19	Clima	36	Color de silica gel	53	Válvulas de radiadores
3	cliente	20	Humedad relativa	37	Nivel de liquido	54	Ventiladores
4	Subestación	21	Temperatura ambiente	38	Temperatura del liquido	55	Tanque de OLTC
5	fabricación	22	Tipo de accesos	39	Temperatura del devanado	56	Bombas de aceite
6	fabricante	23	Tamaño de accesos	40	Presión de gas inerte	57	Bombas de agua
7	tensión	24	Modelo	41	Presión del tanque	58	Tanque conservador
8	corriente	25	Posición de cambiador de derivaciones	42	Nivel de gases acumulados	59	Tornillería en general

Continuación de la tabla XII.

no	parámetro	no.	parámetro	no.	parámetro	no.	parámetro
9	capacidad	26	Seccionadores	43	Cantidad de conmutaciones	60	Interbloques de seguridad
10	frecuencia	27	Tensión de servicios aux.	44	Nivel de líquido en OLTC	61	Empaques de tanque
11	peso	28	Color etiqueta (PCB)	45	Gabinete	62	Empaques de accesorios
12	Elevación t.	29	Contaminación ambiental	46	Tanque principal	63	Motores
13	Aislamiento	30	Voltaje de fase	47	Válvulas	64	Elementos de control
14	Enfriamiento	31	Corriente de fase	48	Placas de puesta a tierra	65	Boquillas y aisladores
15	Material de aisladores	32	Potencia aparente de fase	49	Gabinete de control	66	Contactos principales
16	Cantidad de aislante	33	Factor de potencia	50	Cambiador de derivaciones	67	Cachos de arqueo
17	Fases	34	THD en voltaje	51	Posición de seccionador	68	Apartarrays

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados son congruentes con lo obtenido por Bolotinha (2019), donde en términos generales en su análisis del mantenimiento periódico e inspecciones al equipamiento de subestaciones indica que un programa de mantenimiento preventivo es una poderosa herramienta para asegurar la calidad y la continuidad de la operación de la red y una importante contribución a la seguridad del personal y las instalaciones, basándose en ANSI/IEEE e IEC.

- Desarrollo del modelo óptimo de tarjeta de inspección y toma de datos para el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones

Desarrollar el modelo de la tarjeta de inspección y toma de datos óptimos implicó tener a consideración incluir todos los parámetros exigidos por las normativas ANSI (IEEE) y el fabricante en el mismo documento, añadiendo características que permitieran practicidad y facilidad de uso, organización cronológica de la actividad, respaldo de la memoria humana, enfoque en la evidencia de daños detectados, reducción del tiempo de ejecución, evaluación rápida de la condición y fácil almacenamiento y resguardo.

Los parámetros exigidos fueron extraídos directamente de los ejemplares, mientras el concepto de tarjetas de inspección y toma de datos es resultado del estudio de la teoría relativa a los tipos de mantenimiento en subestaciones contempladas dentro de las filosofías del mantenimiento predictivo-preventivo.

Para lograr la optimización y características deseadas fue importante conocer la percepción de los clientes internos, el capital humano que es conformado por el personal operativo (técnicos e ingenieros de mantenimiento), la cual se obtuvo mediante una encuesta desarrollada durante su estancia en las oficinas de la organización.

Los resultados de la encuesta muestran que el personal prefiere un formato físico (100 %), con tamaño carta (80 %) y en blanco y negro (55 %). Las tarjetas en físico tamaño carta son preferibles por la facilidad para almacenarlos y portarlos, no requiriendo conexión a una red de internet u otra y no dependiendo de dispositivos electrónicos que podrían llegar a perder la información por problemas de memoria o la corrupción de archivos y dispositivos, del cual, ya reseñan un caso ocurrido dentro de la organización.

El método de inspección y toma de datos bajo el cual se ha optimizado el modelo es el tradicional para el mantenimiento de equipamiento de subestaciones, el cual comprende la ejecución por personal operativo sin el uso de herramientas o equipos tecnológicos adicionales, más que los asignados por plan corporativo, como teléfono celular y computadoras.

El método se ha seleccionado tomando a consideración los resultados obtenidos por Díaz (2020), en donde se ha realizado un análisis de los costos que implica migrar de un método de inspección tradicional a la automatización robótica de procesos RPA, lo cual implica un incremento de hasta el 42 % del costo por día de inspección empleando drones. El incremento de costos está concentrado en el personal operativo y los equipos.

Al término del desarrollo del modelo se realizaron 6 simulaciones de inspección con el objetivo de comprobar su funcionalidad, ajustando alto de filas, agregando sombreado como función de guía de línea y la adición de colores. El modelo resultante fue enviado a imprenta, generando 500 tarjetas, divididas en talonarios de 50 unidades.

Al modelo optimizado se añadieron colores y se imprimió sin copias a requerimiento de gerencia general, con el afán de dotar de sentido de pertenencia a la organización y cumplir con los acuerdos de confidencialidad celebrados entre clientes y la misma organización.

- Desarrollo de la metodología para la introducción del uso obligatorio de la tarjeta de inspección y toma de datos en el proceso de diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones

La revisión documental inicial reveló que los diagnósticos y mantenimientos realizados al equipamiento eléctrico de subestaciones de distribución de media tensión se realizan en cumplimiento con las normativas que aplican al tipo de equipamiento procesado, sin embargo, se detectaron deficiencias en cuanto a la documentación del proceso de inspección y toma de datos.

Del 2019 al 25 de agosto del 2022 constan 279 registros de servicios, de los cuales únicamente 40 muestran evidencia de inspección y toma de datos, representando un 14.3 % del total archivado. Estos registros son variados predominando la impresión de imágenes fotográficas y apuntes sin formato específico lo cual es coherente con las respuestas obtenidas en la entrevista sobre la percepción de la implementación de la tarjeta de inspección y toma de datos, donde indicaban que la inspección la documentaban con el teléfono celular.

La situación de la documentación estaba siendo favorecida por la falta de especificaciones directas respecto a este proceso, provocando una alta probabilidad de falta de información que permitiera desarrollar un diagnóstico certero y confiable del equipamiento.

Utilizar un reglamento interno fue una idea común, considerando que en la entrevista se notó que, aunque estaban a favor de documentar, consideraban que esto traería más carga laboral.

El reglamento redactado acordó que la documentación obligatoria fuera la siguiente:

- Orden de servicio
- Inspección de trabajo eléctrico seguro
- Inspección y toma de datos del equipo
- Resultados de pruebas y
- Constancia del servicio realizado

El contenido por documentar se complementó con el modelo desarrollado de tarjetas de inspección y toma de datos, estandarizando el proceso existente y optimizando los tiempos de ejecución que permitieran la implementación de la mejora planteada de forma controlada y con el menor impacto posible en las operaciones al corriente a cargo del personal de mantenimiento. El impacto se buscó mitigar empleando las condiciones e incentivos aprobados.

El proceso de implementación mediante el reglamento interno se dio en 50 días desde el diseño de la tarjeta hasta la dotación de los ejemplares, y la razón es que algunos pasos conllevaron tiempos mayores debido a que en el proceso de revisión en días hábiles también se debía contar con la presencia de gerencia general e ingeniería.

La inspección implementada como parte del proceso condiciona y obliga al uso de esta herramienta que permite visualizar detalles críticos para la ejecución de las operaciones como mostraron Huaranca y Calatayud (2021) que lograron identificar 19 subestaciones que se encontraban en sobrecarga eléctrica en estado crítico luego de implementar la inspección del índice de carga en 274 subestaciones.

- Evaluación de los beneficios obtenidos del uso de la tarjeta de inspección y toma de datos obtenidos durante el proceso del diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones

La evaluación de los beneficios obtenidos del uso de la tarjeta durante las tareas de diagnóstico y mantenimiento de equipos de subestaciones mostró una mejora en la satisfacción global del cliente con el servicio prestado, identificándose que la mejora global descansa sobre una mejora de la calificación de aspectos del desarrollo del servicio, como informe de resultados, reporte de hallazgos, desempeño y cumplimiento de normas de seguridad industrial por parte del personal.

Los resultados se obtuvieron mediante una encuesta que fue realizada a los clientes en forma digital a través de correos corporativos inicialmente, tomando en consideración las complicaciones derivadas del Covid-19, sin embargo, ninguna encuesta fue contestada y al consultar sobre las razones, se recibieron comentarios que indicaban que la mayoría de servicios de diagnóstico y mantenimiento son coordinados por personal del área de compras, lo que imposibilita la comunicación directa con el personal de mantenimiento por medios digitales.

Se cambió la estrategia para encuestar, aprovechando el desarrollo de los mantenimientos en sitio del cliente, al finalizar los trabajos se solicitó que calificaran nuestro servicio mediante la encuesta de satisfacción en papeletas impresas, previo a entregar la constancia del servicio realizado.

Esto ayudó a obtener calificaciones más apegadas a la realidad, ya que se realizaron a las personas que atestiguaron las tareas cuando las sensaciones y emociones se encontraban recientes.

Los aspectos que muestran mejora son claves para un óptimo desarrollo de las tareas de mantenimiento en subestaciones y son reflejo de los beneficios que aporta el uso de la tarjeta de inspección y toma de datos y la implementación mediante un reglamento interno.

Las tarjetas de inspección y toma de datos aportaron al informe de resultados y el reporte de hallazgos, y el reglamento interno mejoró el desempeño y el cumplimiento de normas de seguridad al obligar al personal a apearse al uso de los formatos requeridos.

Se considera que la tarjeta de inspección y toma de datos cumple satisfactoriamente con el objetivo de resolver el problema principal que aborda este trabajo de investigación, pero dado que algunos clientes se muestran en un impase entre satisfechos e insatisfechos calificando como neutral, debe seguir refinándose la técnica para su uso y sobre todo explorando formas de representar y plasmar estos resultados en los informes de los mantenimientos, que permitan al cliente percibir las bondades de su uso y el valor que se ha agregado a los procesos de diagnósticos y mantenimientos de rutina.

El proceso fue mejorado mediante la implementación y el uso obligatorio de las tarjetas de inspección y toma de datos y representa una contribución importante a la resolución de los problemas de seguridad del personal y el equipamiento, garantizando la continuidad del servicio y generando condiciones óptimas en áreas de trabajo. (Bolotinha, 2019)

CONCLUSIONES

1. Se seleccionaron 10 normativas verificando la aplicabilidad del contenido a las tareas de mantenimiento y usando como referencia las sugerencias de los fabricantes en los manuales de mantenimiento. Los detalles se muestran en la sección de resultados del presente estudio.
2. Se identificaron 61 parámetros que las normativas exigen que se inspeccionen y recaben durante las tareas de mantenimiento anual, y se complementaron con 7 parámetros especificados por el fabricante, de los cuales 35 son cuantitativos y 33 cualitativos.
3. El modelo óptimo de la tarjeta de inspección y toma de datos fue desarrollado incluyendo los 68 parámetros exigidos por las normativas y el fabricante con las sugerencias de formato de los técnicos e ingenieros de mantenimiento.
4. Se desarrolló la metodología para el uso obligatorio de las tarjetas empleando un reglamento interno que obliga a documentar las tareas de mantenimiento, incluyendo la inspección y toma de datos de los equipos. El flujograma de la metodología desarrollada se encuentra en la sección de resultados.
5. Se evaluaron los beneficios de la implementación de las tarjetas, obteniéndose una mejora en la satisfacción del cliente, con un impacto positivo en la calificación de aspectos operativos como la optimización del tiempo, mejora de los informes y el desempeño del personal.

RECOMENDACIONES

1. Para las empresas es conveniente incluir todos componentes del sistema eléctrico en la planificación de mantenimiento anual, aun cuando sean equipos auxiliares con pocas normativas dedicadas, ya que garantizan la operación según el diseño y reduce las probabilidades de falla y los riesgos de seguridad al personal.
2. A la Gerencia Técnica: verificar la vigencia de las normativas que contienen los parámetros de inspección y toma de datos y actualizarlos cuando sea requerido, garantizando el cumplimiento de estos y aprovechando los beneficios de nuevos hallazgos en materia de mantenimiento.
3. Implementar un buzón de sugerencias acerca de los formatos de la documentación, de modo que la gerencia técnica pueda obtener retroalimentación para análisis estadístico de causas de inconformidad y se pueda establecer planes de mejora.
4. Verificar continuamente el cumplimiento de la documentación establecida en el reglamento de uso y documentación como una forma de crear un hábito que acerque al personal operativo hacia una cultura de datos.
5. Continuar ejecutando las encuestas sobre satisfacción al cliente al finalizar los servicios de mantenimiento para que la gerencia comercial pueda generar análisis estadístico e identifique oportunidades de mejora para la empresa.

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, y NETA. (mayo 2019). *Maintenance Testing Especifications*. <https://www.netaworld.org/standards/ansi-neta-mts>
3. Bolotinha, M. (enero 2019). Substations equipment inspection and periodic maintenance. *Transformer Magazine*. Edición especial. 74-83.
4. Botero, A. (2008). *Implementación de mantenimiento preventivo para equipos en una empresa de montajes metalmecánicos, civiles y eléctricos*. (Tesis de grado), Universidad EAFIT, Medellín.
5. Cabañas, M. F. (1998). *Técnicas para el mantenimiento diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas*. Barcelona: Marcombo.
6. Decreto No. 229-2014. Reglamento de salud y seguridad ocupacional. Diario de Centroamérica. Guatemala. 7 de febrero de 2014.
7. 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, Perú.

8. Enríquez Harper, G. (2003). *Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales*. México, D.F.: Limusa.
9. Enríquez Harper, G. (2005). *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. México, D.F.: Limusa.
10. Fernández, J. R. (2014). *Equipos eléctricos y electrónicos*. Madrid: Ediciones Paraninfo S.A.
11. García , S. (2011). *La contratación del mantenimiento industrial: Procesos de externalización, contratos y empresas de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
12. García, E. R. (1996). *Fundamentos de operación, mantenimiento y pruebas de equipos eléctricos en la industria*. (Tesis de maestría), Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/7698/1/1020118277.PDF>.
13. Garrido, S. G. (2010). *Organización y gestión integral del mantenimiento*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.
14. Guyer, P. (2017). *An Introduction to Electrical Substations Maintenance*. California : Guyer Partners.
15. Henao, F. (2014). *Riesgos eléctricos y mecánicos*. Colombia: Ecoe Ediciones.

16. Levitt, J. (2009). *The Handbook of Maintenance Management*. New York: Industrial Press Inc.
17. 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.
18. Nuevo, A. (2020). *Montaje y mantenimiento eléctrico electrónico*. España: Ediciones Paraninfo, S.A.
19. 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, España.
20. Morón, J. A. (2009). *Sistemas eléctricos de distribución*. Barcelona: Reverté ediciones.
21. 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, Perú.
22. Sánchez, D. (2014). *Operaciones auxiliares en el mantenimiento de equipos eléctricos*. Madrid: Editorial Elearning, S.L.

23. Trashorras, J. (2015). *Subestaciones eléctricas*. Madrid: Grafo.
24. Villegas, M. (2003). *Subestaciones de alta y extra alta tensión*. Colombia: Impresiones Gráficas Ltda.

APÉNDICES

Apéndice 1. 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.

ENCUESTA DE SATISFACCION DEL CLIENTE

Información general: La encuesta presentada a continuación tiene como objetivo evaluar el nivel de satisfacción de los clientes con los servicios de diagnostico 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.

Por favor marque con una "x" la puntuación que considere que representa el servicio brindado

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			

En general, indique en la escala que tan satisfecho se encuentra con el servicio brindado

Muy satisfecho	
Satisfecho	
Neutral	
Insatisfecho	
Muy insatisfecho	

¡Sus comentarios son bienvenidos!

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Registro de identificación de normas ANSI (IEEE)**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Hoja No.

1

REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DE NORMAS ANSI (IEEE)

Información general: La siguiente tabla tiene como objetivo principal registrar todas aquellas normas que se han consultado y que aplican al diagnóstico y mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones de distribución.

Nombre de la norma	Numero de la norma	Equipo al que aplica

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Registro de identificación de parámetros 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

Hoja No.

/

REGISTRO DE PARAMETROS DE INSPECCION Y TOMA DE DATOS EXIGIDOS

Información general: La siguiente tabla tiene como objetivo principal registrar todos los parámetros de inspección y toma de datos exigidos por las normativas aplicables a equipos eléctricos de subestaciones de distribución

Parámetro exigido	Numero de la norma	Equipo al que aplica

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. 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

ENCUESTA SOBRE EL DISEÑO DE LAS TARJETAS DE INSPECCION Y TOMA DE DATOS

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

Serie de preguntas

Por favor marque con una "x" la opción que considere de su preferencia

1. ¿Le serviría tener duplicados para emitir copias de la inspección y toma de datos?

Digital	
Impreso	
Sí, 2 duplicados	
Sí, mas de 2 duplicados	

2. ¿Que presentación de tarjetas de inspección y toma de datos considera adecuada?

Blanco y negro	
Color	

3. ¿Qué tamaño de papel considera adecuado para las tarjetas de inspección y toma de datos?

Carta	
Oficio	
Otro, especifique	

3. ¿Qué color considera adecuado para las tarjetas de inspección y toma de datos?

Blanco	
Amarillo	
Verde	
Celeste	
Rosa	

3. ¿Necesitaría algún elemento adicional para utilizar en campo las tarjetas de inspección y toma de datos?

Ninguno	
Sellos	
Estuche impermeable	
Tablilla	
Otros, especifique	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. 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.

ENTREVISTA DE PERCEPCION DE IMPLEMENTACION DE TARJETAS DE INSPECCION Y TOMA DE DATOS

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

Serie de preguntas

Numero	Descripción
1	¿Cuál es su puesto dentro de la organización laboral?
2	¿Cómo hace para recordarse de todos los parámetros y hallazgos que necesita 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.

Apéndice 6. 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

Hoja No.

/

CONDICIONES E INCENTIVOS PARA EL USO DE LAS TARJETAS DE INSPECCION Y TOMA DE DATOS

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 inspección y toma de datos en los servicios de diagnóstico y mantenimiento de equipos eléctricos de subestaciones de distribución

Descripción detallada	Aprobaciones

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Matriz de coherencia

Objetivo específico	Nombre de la variable	Indicador	Análisis de datos	Conclusión	Recomendación
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.	Numero de normas que aplican al diagnóstico de equipos eléctricos de subestaciones de distribución de media tensión.	Análisis de indicadores de número se emplearán gráficos y tablas:	Se seleccionaron 10 normativas verificando la aplicabilidad del contenido a las tareas de mantenimiento y usando como referencia las sugerencias de los fabricantes en los manuales de mantenimiento. Los detalles se muestran en la sección de resultados del presente estudio.	Para las empresas es conveniente incluir todos componentes del sistema eléctrico en la planificación de mantenimiento anual, aun cuando sean equipos auxiliares con pocas normativas dedicadas, ya que garantizan la operación según el diseño y reduce las probabilidades de falla y los riesgos de seguridad al personal.
		Numero de normas que aplican a Interruptores de potencia, transformadores de potencia, transformadores de instrumento, seccionadores y apartarrayos.	Análisis de datos = conteo. Tipo de grafico = barras agrupadas.		
		Porcentaje de normas que aplican a cada tecnología de aislamiento, como gas, aire y aceite.	Para el análisis de indicadores de porcentaje se emplearán tablas: Análisis de datos = Porcentajes.		

Continuación apéndice 7.

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)	Porcentaje de parámetros exigidos por las normativas y el fabricante	Para el análisis de indicadores de porcentaje se emplearán tablas: Análisis de datos = Porcentajes	Se identificaron 61 parámetros que las normativas exigen que se inspeccionen y recaben durante las tareas de mantenimiento anual, y se complementaron con 7 parámetros especificados por el fabricante, de los cuales 35 son cuantitativos y 33 cualitativos.	A la gerencia técnica: verificar la vigencia de las normativas que contienen los parámetros de inspección y toma de datos y actualizarlos cuando sea requerido, garantizando el cumplimiento de estos y aprovechando los beneficios de nuevos hallazgos en materia de mantenimiento.
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 y toma de datos.	Porcentaje: Modelo preferido por los ingenieros/técnicos o supervisores de mantenimiento entre un modelo físico y digital Tamaño preferido por los ingenieros/técnicos o supervisores de mantenimiento entre un modelo tamaño carta y oficio Presentación preferida por los ingenieros/técnicos o supervisores de mantenimiento entre un modelo a color y otro en blanco y negro	Para el análisis de indicadores de porcentaje se emplearán tablas: Análisis de datos = Porcentajes	El modelo óptimo de la tarjeta de inspección y toma de datos fue desarrollado incluyendo los 68 parámetros exigidos por las normativas y el fabricante con las sugerencias de formato de los técnicos e ingenieros de mantenimiento.	Implementar un buzón de sugerencias acerca de los formatos de la documentación, de modo que la gerencia técnica pueda obtener retroalimentación para análisis estadístico de causas de inconformidad y se pueda establecer planes de mejora.

Continuación apéndice 7.

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	Flujograma de la secuencia para introducción obligatoria del uso de tarjetas de inspección y toma de datos Número de condiciones e incentivos aprobados para el uso de las tarjetas de inspección y toma de datos Cantidad de los tiempos de duración de las fases de implementación	Para el análisis de indicadores se empleará un flujograma: Análisis de datos = mapeo del proceso Para el análisis de indicadores de Numero y cantidad se emplearán tablas: Análisis de datos = detallado	Se desarrolló la metodología para el uso obligatorio de las tarjetas empleando un reglamento interno que obliga a documentar las tareas de mantenimiento, incluyendo la inspección y toma de datos de los equipos. El flujograma de la metodología desarrollada se encuentra en la sección de resultados.	Verificar continuamente el cumplimiento de la documentación establecida en el reglamento de uso y documentación como una forma de crear un hábito que acerque al personal operativo hacia una cultura de datos.
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	Índice de satisfacción global de los clientes Calificación de los clientes respecto a algunos aspectos del desarrollo del servicio	Para el análisis de indicadores de índice de satisfacción global se emplearán gráficos: Análisis de datos = conteo Tipo de grafico = columnas agrupadas Para el análisis de calificación de clientes se empleará gráficos: Análisis de datos = conteo Tipo de grafico = barras 100 % apiladas	Se evaluaron los beneficios de la implementación de las tarjetas, obteniéndose una mejora en la satisfacción del cliente, con un impacto positivo en la calificación de aspectos operativos como la optimización del tiempo, mejora de los informes y el desempeño del personal.	Continuar ejecutando las encuestas sobre satisfacción al cliente al finalizar los servicios de mantenimiento para que la gerencia comercial pueda generar análisis estadístico e identifique oportunidades de mejora para la empresa.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Dirección URL de consulta de las normas seleccionadas

Nombre de la norma	Dirección URL
IEEE std C57.93-2019 - Guía para instalación y mantenimiento de transformadores de potencia sumergidos	https://ieeexplore.ieee.org/document/8713998
IEEE std C57.152-2013 - Guía para pruebas de campo de diagnóstico de transformadores de potencia, reguladores y reactores llenos de líquido.	https://ieeexplore.ieee.org/document/6544533
IEEE std C57.106-2015 - Guía para la aceptación y mantenimiento de aceite mineral aislante en equipos eléctricos	https://ieeexplore.ieee.org/document/7442048
IEEE std 62-1995 - Guía para pruebas de campo de aislamiento de aparatos eléctricos	https://ieeexplore.ieee.org/document/467562
IEEE std C57.13.1-2017 - Guía para pruebas de campo de transformadores de corriente de relé	https://ieeexplore.ieee.org/document/8556537
IEEE std C57.13.5-2019 - Norma para requisitos de desempeño y prueba para transformadores de instrumentos de un voltaje nominal del sistema de 115 kV y superior	https://ieeexplore.ieee.org/document/9003630
IEEE std C37.35-1995 - Guía para la aplicación, instalación, operación y mantenimiento de seccionadores e interruptores de aire de alto voltaje	https://ieeexplore.ieee.org/document/499691
IEEE std C37.30.1a-2017 - Requisito estándar para interruptores de aire de alto voltaje de CA clasificados por encima de 1000 V. Enmienda 1: Criterios de aceptación	https://ieeexplore.ieee.org/document/8013772
IEEE std C62.11-2020 - Norma para pararrayos de óxido de metal para circuitos de alimentación de CA (>1 kV)	https://ieeexplore.ieee.org/document/9246994
IEEE std C37.09-2018 - Procedimiento de prueba para interruptores de alto voltaje de CA basado en una corriente simétrica	https://ieeexplore.ieee.org/document/8716852

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Lista de cotejo actual de verificación del cumplimiento de condiciones para acceder a incentivo**

		LISTA DE COTEJO PARA ACEPTACIÓN DE SERVICIOS		PR No:			
Inspeccion del proceso							
No	Descripción del documento		¿Aplica?	Presenta	Recibe	Fecha y hora	Notas
1	Entrega de orden de servicios						
2	Listados	Herramientas y equipos					
		De materiales					
		De personal					
		De vehículos					
		Viáticos					
3	Constancia del servicio realizado						
4	Liquidación de viáticos						
5	Devoluciones a bodegas	De herramientas y equipos					
		De materiales					
6	Devolución de vehículos	Entrega de llaves					
		Limpieza de vehículo					
		Nivel de combustible					
		Daños al vehículo					
7	Detalle de horas hombre						
8	Entrega de resultados	Pruebas					
		Muestras					
		Fotografías					
		Evidencia física					
		Monitoreos					
		Formatos					
9	Informe técnico final						
10	Reporte de eventualidades						
Información de ejecución							
Vo.Bo. Supervisor de procesos		Vo.Bo. Supervisor de servicios		Vo.Bo. Gerencia técnica		Fecha y hora de presentación	

Fuente: elaboración propia.