

Metodología para la formulación de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos

Gilberto Andrés Gómez Díaz

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Jabid Eduardo Quiroga Méndez

Doctor en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingeniería Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2025

### **Dedicatoria**

Dedico este logro a mis padres Gilberto Gómez Hernández y Amada de Jesús Díaz Monsalve, y a mi hermana Carolina Andrea Gómez Díaz, cuyo amor y apoyo incondicional me han permitido alcanzar mis logros personales y académicos. Agradezco que hayan creído en mis capacidades y animaran a perseguir y materializar todos mis sueños.

Quiero dedicar un especial reconocimiento a mis abuelos Eustacio Gómez Hernández y Zoraida Hernández de Gómez, cuyo legado de amor, sabiduría y bondad vive en mi corazón.

Finalmente deseo rendir un homenaje especial a todos mis seres queridos que, aunque ya no estén físicamente con nosotros, permanecen vivos en mi corazón y el recuerdo de su amor y enseñanzas guían mis acciones.

Con amor,

Gilberto Andrés Gómez Díaz

### **Agradecimientos**

Extiendo mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que contribuyeron en la realización de esta monografía, sus aportes y apoyo han sido fundamentales en este proceso académico.

También quiero agradecer a mi directo, Jabid Eduardo Quiroga, por su orientación, paciencia y valiosos consejos. Su experiencia y conocimiento han sido de gran ayuda en esta etapa de mi formación académica.

Asimismo, quiero reconocer y agradecer a mis compañeros de estudio el conocimiento y apoyo que me compartieron.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	16
1. Objetivos .....	18
1.1 Objetivo general .....	18
1.2 Objetivos específicos .....	18
2. Marcos de referencia .....	19
2.1 Marco contextual. ....	19
2.1.1 Componente técnico.....	19
2.1.2 Sistema de transformación.....	22
2.1.3 Marco conceptual.....	23
2.1.4 Marco normativo.....	25
3. Características y parámetros de seguridad industrial.....	26
3.1 Requisitos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).....	26
3.2 Requisitos que debe cumplir el personal. ....	28
3.3 Etapas del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).....	29
3.3.1 Diagnóstico. ....	29
3.3.2 Planeación. ....	30
3.3.3 Programación de actividades. ....	30
3.3.4 Ejecución.....	32
3.3.5 Supervisión y control. ....	33
3.4 Recomendaciones de seguridad .....	34

3.4.1 Método de trabajo sin tensión (basado en la Resolución Número 5018 de 2019 del Ministerio del Trabajo):.....	34
3.5 Reglas de oro (aplicables en la Resolución Número 5018 de 2019 del Ministerio del Trabajo artículos 5 y 16) .....	35
3.6 Resolución Número 5018 de 2019 del Ministerio del Trabajo artículos 15 literales e y f .....	38
4. Plan de mantenimiento.....	39
4.1 Transformador de potencia .....	39
4.2 Descripción del transformador.....	39
4.3 Transformador seco encapsulado en resina epóxica.....	40
4.4 Recomendaciones para la manipulación del sistema de transformación .....	42
4.5 Accesorios de un sistema de transformación .....	43
4.5.1 Accesorios estándar .....	44
4.5.2 Accesorios opcionales.....	44
4.5.3 Descripción de los accesorios .....	44
4.5.3.1 Aisladores para media tensión (MT).....	44
4.5.3.2 Ruedas móviles o giratorias.....	46
4.5.3.3 Placa de especificaciones técnicas .....	47
4.5.3.4 Conmutador de derivaciones operable sin carga .....	48
4.5.3.4.1 Procedimiento para operar el conmutador .....	48
4.5.3.5 Dispositivos de elevación o izaje.....	50
4.5.3.6 Sistema de puesta a tierra.....	52
4.5.3.7 Monitor de temperatura.....	55
4.6 Identificación de terminales .....	57

4.7 Grupo de conexión.....	59
4.8 Índice horario .....	60
4.9 Inspección y pruebas.....	61
4.10 Inspección .....	61
4.11 Pruebas.....	62
4.11.1 Prueba de relación de transformación (TTR).....	62
4.11.1.1 Equipo TTR analógico o de manivela .....	63
4.11.1.2 Equipo TTR digital .....	65
4.11.1.3 Cálculo de la relación de transformación.....	66
4.11.2 Prueba de resistencia en los devanados de media y baja tensión.....	67
4.11.3 Condición del estado de los aislamientos .....	70
4.11.4 Análisis de resultados .....	73
4.11.5 Torques de ajuste .....	79
4.11.6 Tornillos y elementos de fijación en general .....	80
4.11.7 Conmutador de derivaciones.....	82
4.11.8 Aisladores de resina epóxica.....	83
4.11.9 Frecuencia para el mantenimiento preventivo .....	84
4.11.10 Criterios de mantenimiento preventivo.....	84
5. Conclusiones.....	87
Referencias bibliográficas.....	88

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Fases del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)</i> .....	26
Tabla 2 <i>Valores máximos permitidos</i> .....	54
Tabla 3 <i>Formulas para hallar la relación de transformación</i> .....	66
Tabla 4 <i>Tensión de prueba según la clase de aislamiento del devanado</i> .....	71
Tabla 5 <i>Norma ANSI C.57.94</i> .....	74
Tabla 6 <i>Modos de falla en un sistema de transformación</i> .....	75
Tabla 7 <i>Pruebas que se deben realizar en un sistema de transformación</i> .....	76
Tabla 8 <i>Afectaciones a la operación en un sistema de transformación</i> .....	77
Tabla 9 <i>Afectaciones sobre el núcleo magnético de un sistema de transformación</i> .....	78
Tabla 10 <i>Afectaciones sobre el material dieléctrico de un sistema de transformación</i> .....	79
Tabla 11 <i>Frecuencia para adelantar el plan de mantenimiento preventivo</i> .....	85

### Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Estación de recarga para buses eléctricos.</i> .....	20
Figura 2 <i>Plataforma de recarga (vista superior).</i> .....	21
Figura 3 <i>Plataforma de recarga (vista frontal).</i> .....	21
Figura 4 <i>Plataforma de recarga (sección transversal).</i> .....	22
Figura 5 <i>Transformador seco encapsulado en resina epóxica.</i> .....	41
Figura 6 <i>Bridas de un transformador seco encapsulado en resina epóxica.</i> .....	43
Figura 7 <i>Aisladores para media tensión (MT).</i> .....	45
Figura 8 <i>Rueda móvil o giratoria.</i> .....	46
Figura 9 <i>Placa de especificaciones técnicas.</i> .....	47
Figura 10 <i>Conmutador de derivaciones operable sin carga.</i> .....	48
Figura 11 <i>Partes del conmutador de derivaciones operable sin carga.</i> .....	50
Figura 12 <i>Dispositivos de elevación o izaje.</i> .....	51
Figura 13 <i>Puntos de aterrizaje.</i> .....	52
Figura 14 <i>Partes del sistema de transformación que se deben aterrizar.</i> .....	53
Figura 15 <i>Monitor de temperatura.</i> .....	56
Figura 16 <i>Identificación según norma NTC.</i> .....	57
Figura 17 <i>Identificación según norma ANSI.</i> .....	58
Figura 18 <i>Ilustración índice horario.</i> .....	60
Figura 19 <i>Equipo TTR análogo o de manivela.</i> .....	64
Figura 20 <i>Conexión del equipo TTR análogo o de manivela al sistema de transformación bajo prueba.</i> .....	65

Figura 21	<i>Medición de la resistencia en los devanados de media y baja tensión.</i>	68
Figura 22	<i>Ejemplos de medición de la resistencia en los devanados de media tensión.</i>	69
Figura 23	<i>Ejemplos de medición de la resistencia en los devanados de baja tensión.</i>	70
Figura 24	<i>Cortocircuito de terminales por MT y BT.</i>	72
Figura 25	<i>Torques sugeridos.</i>	80
Figura 26	<i>Torques sugeridos.</i>	81
Figura 27	<i>Ajustes sugeridos.</i>	82
Figura 28	<i>Ajustes sugeridos.</i>	83
Figura 29	<i>Diagrama de flujo para el plan de mantenimiento preventivo.</i>	86

## Glosario

**Amenaza:** el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE (2024) señala que es el Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. (p. 5)

**Análisis de Riesgos:** “conjunto de técnicas para identificar, clasificar y evaluar los factores de riesgo. Es el estudio de consecuencias nocivas o perjudiciales, vinculadas a exposiciones reales o potenciales” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 5).

**Contacto Directo:** “es el contacto de personas o animales con conductores activos o partes energizadas de una instalación eléctrica” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 8).

**Contacto Indirecto:** “es el contacto de personas o animales con elementos o partes conductivas que normalmente no se encuentran energizadas, pero en condiciones de falla de los aislamientos se puedan energizar” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 9).

**Corriente de Contacto:** “corriente que circula a través del cuerpo humano, cuando está sometido a una tensión de contacto” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 9).

**Distancia de Seguridad:** “distancia mínima alrededor de un equipo eléctrico o de conductores energizados, necesaria para garantizar que no habrá accidente por acercamiento de personas, animales, estructuras, edificaciones o de otros equipos” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 10).

**Electrocución:** “paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano, cuya consecuencia es la muerte” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 11).

**Emergencia:** “situación que se presenta por un hecho accidental y que requiere suspender todo trabajo para atenderla” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 11).

**Equipotencializar:** el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE (2024) señala que: Es el proceso, práctica o acción de conectar partes conductivas de las instalaciones, equipos o sistemas entre sí o a un sistema de puesta a tierra, mediante una baja impedancia, para que la diferencia de potencial sea mínima entre los puntos interconectados. (p. 11)

**Factor de Riesgo:** “condición ambiental o humana cuya presencia o modificación puede producir un accidente o una enfermedad ocupacional” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 13).

**Fibrilación Ventricular:** “contracción espontánea e incontrolada de las fibras del músculo cardíaco” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 13).

**Límite de Aproximación Segura:** “es la distancia mínima, desde el punto energizado más accesible del equipo, hasta la cual el personal no electricista deberá situarse sin riesgo de exposición al arco eléctrico” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 15).

**Límite de Aproximación Restringida:** el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE (2024) señala que es: Un límite de aproximación a una distancia desde un conductor expuesto o parte del circuito energizado, dentro de la cual aumenta la probabilidad de choque eléctrico debido al arqueo combinado con movimientos inadvertidos y debe vestir ropa y elementos de protección personal. (pp. 15-16)

**Línea Eléctrica:** “conjunto compuesto por conductores, aisladores, estructuras y accesorio destinados al transporte de energía eléctrica” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 16).

**Maniobra:** “conjunto de procedimientos tendientes a operar una red eléctrica en forma segura” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 16).

**Mantenimiento:** “conjunto de acciones o procedimientos tendientes a preservar o restablecer un bien, a un estado tal que le permita garantizar la máxima confiabilidad” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 17).

**Necrosis Eléctrica:** “tipo de quemadura con muerte de tejidos” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 17).

**Nivel de Riesgo:** “equivale a grado de riesgo. Es el resultado de la valoración conjunta de la probabilidad de ocurrencia de los accidentes, de la gravedad de sus efectos y de la vulnerabilidad del medio” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 17).

**Norma de Seguridad:** “toda acción encaminada a evitar un accidente” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 17).

**Peligro Inminente:** el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE (2024) señala que: Para efectos de interpretación y aplicación del RETIE, alto riesgo será equivalente a peligro inminente; entendido como aquella condición del entorno o práctica irregular, cuya frecuencia esperada y severidad de sus efectos puedan comprometer fisiológicamente el cuerpo humano en forma grave (quemaduras, impactos, paro cardíaco, paro respiratorio, fibrilación o pérdida de funciones); o afectar el entorno de la instalación eléctrica (contaminación, incendio o explosión). En general, se puede presentar por deficiencias en la instalación eléctrica o prácticas indebidas de la electrotecnia. (p. 19)

**Persona competente:** el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE (2024) señala que: Es la persona natural que ha demostrado su formación a través de matrícula profesional vigente, que según la normatividad legal lo autorice o acredite para el ejercicio de la profesión como técnico, tecnólogo o ingeniero para ejercer en el campo de la electrotecnia considerando los riesgos asociados a la electricidad y que ha adquirido conocimientos y habilidades. (p. 19)

**Riesgo:** “probabilidad de que, en una actividad, se produzca una pérdida determinada, en un tiempo dado” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 21).

**Tensión de Contacto:** el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE (2024) señala que es la: Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro. Esta distancia horizontal es equivalente a la máxima que se alcanza al extender un brazo. (p. 23)

**Tensión de Paso:** “diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un paso (aproximadamente un metro)” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 23).

**Tensión Transferida:** “es un caso especial de tensión de contacto, donde un potencial es conducido hasta un punto remoto respecto a la subestación o a una puesta a tierra” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 23).

**Umbral de Soltar o Corriente Límite:** “es el valor máximo de corriente que permite la separación voluntaria de un 99,5% de las personas. Se considera como la máxima corriente segura y se estima en 10 mA para hombres, en corriente alterna” (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, 2024, p. 24).

## Resumen

**Título:** Metodología para la formulación de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos.\*

**Autor:** Gilberto Andrés Gómez Díaz\*\*

**Palabras Clave:** Devanados, núcleo magnético, protecciones, sistema de puesta a tierra, transformador.

**Descripción:** Con la metodología para la formulación de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos, se busca asegurar que los transformadores que harán parte del proyecto operarán de forma óptima y confiable a través del tiempo. Esto se logrará a través de la programación de actividades de mantenimiento preventivo regular, lo que permitirá identificar y corregir posible fallas, averías o problemas mayores que afecten el suministro de energía eléctrica en la estación de recarga para buses eléctricos y así garantizar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos.

En las actividades de mantenimiento preventivo se llevará a cabo la verificación de componentes críticos y se ejecutaran pruebas de seguridad, que ayudaran a reducir el riesgo de accidentes eléctricos, descargas e incendios que pongan en riesgo la integridad y seguridad del personal encargado de la operación de los equipos.

También se buscará extender la vida útil de los activos, a través de la limpieza de los componentes de los equipos eléctricos, adelantando la programación, inspecciones y ajustes periódicos para prevenir que los componentes sufran un desgaste prematuro, y así lograr reducir la probabilidad que los equipos con un valor significativo en el mercado deban ser reemplazados.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de Ingeniería Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Jabid Eduardo Quiroga. Doctor en Ingeniería Civil.

### Abstract

**Title:** Methodology for the formulation of a maintenance plan for the conversion system of a charging station for electric buses.\*

**Author(s):** Gilberto Andrés Gómez Díaz\*\*

**Key Words:** Windings, magnetic core, protections, grounding system, transformer.

**Description:** With the methodology for the formulation of a preventive maintenance plan for the transformation system of a charging station for electric buses, it is sought to ensure that the transformers that will be part of the project will operate optimally and reliably over time. This will be achieved through the scheduling of regular preventive maintenance activities, which will make it possible to identify and correct possible faults, breakdowns or major problems that affect the supply of electricity at the charging station for electric buses and thus guarantee the reliability and availability of the equipment.

In preventive maintenance activities, the verification of critical components will be carried out and safety tests will be carried out, which will help reduce the risk of electrical accidents, discharges and fires that put at risk the integrity and safety of the personnel in charge of the operation of the equipment.

It will also seek to extend the useful life of the assets, through the cleaning of the components of the electrical equipment, advancing the programming, inspections and periodic adjustments to prevent the components from suffering premature wear, and thus reduce the probability that equipment with a significant value in the market must be replaced.

---

\* Monograph

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Jabid Eduardo Quiroga. PhD in Civil Engineering.

## Introducción

En el documento se examinará la metodología para formular un plan de mantenimiento preventivo para un sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos, que deberá operar a un nivel de tensión de 34,5 [kV]. Esta metodología tiene como objetivo permitir al área de mantenimiento prever posibles fallas y degradación de componentes cruciales en el sistema de transformación. Este plan podrá ponerse en práctica para asegurar la continuidad y eficiencia del sistema de transformación de energía que alimentará la infraestructura de la estación de recarga de baterías para buses eléctricos.

El sistema de transformación cuenta con dispositivos fundamentales para la infraestructura eléctrica que permitirán distribuir de forma eficiente la energía eléctrica. No obstante, a causa de la naturaleza operativa y las exigencias de trabajo a las que serán sometidos, este conjunto de dispositivos estará expuesto a un proceso de desgaste inevitable, así como a un envejecimiento que puede ocasionar averías imprevistas y costos elevados asociados a estas. No llevar a cabo un programa de mantenimiento preventivo se puede convertir en la causa principal de un elevado número de interrupciones en la prestación del servicio en la estación de recarga por causa de paradas no programadas, ocasionando pérdidas a la empresa y, en algunos casos, poniendo en peligro la integridad de las personas y la operación de los equipos eléctricos.

La necesidad de proponer una metodología para la formulación de un plan de mantenimiento preventivo en el sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos deriva del principio donde un enfoque proactivo es más eficiente y rentable que los enfoques correctivo o reactivo, ya que permite identificar y corregir posibles fallas antes de que se produzcan, alargando así la vida útil de los equipos y reduciendo los costos de reparación.

En la metodología propuesta para formular un plan de mantenimiento preventivo sólido y efectivo sobre el sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos, se darán las pautas y directrices que permitirán al proyecto implementar un enfoque proactivo, garantizando la disponibilidad y confiabilidad de los dispositivos que harán parte del sistema de transformación. Analizando las mejores prácticas y tecnologías emergentes en el campo del mantenimiento, que complementen y potencien las estrategias preventivas tradicionales.

La importancia del plan de mantenimiento preventivo que se propone para los dispositivos eléctricos radica en su capacidad para mitigar riesgos, reducir costos y mejorar la eficiencia del sistema de transformación. La implementación de inspecciones periódicas, limpiezas y ajustes, permitirá detectar tempranamente posibles anomalías y realizar acciones correctivas en etapas tempranas.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

- Metodología para la formulación de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Establecer el marco contextual, conceptual y normativo de un sistema de transformación.
- Documentar las características y los parámetros en los términos de seguridad industrial requeridos para ejecutar el plan de mantenimiento preventivo en el sistema de transformación.
- Formular las etapas que hacen parte del plan de mantenimiento preventivo y definir su frecuencia.

## **2. Marcos de referencia.**

### **2.1 Marco contextual.**

Para dar cumplimiento a los objetivos de este proyecto se formuló una metodología que integra un plan de mantenimiento preventivo para un sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos, estableciendo las actividades regulares que se deben seguir con el fin de detectar y prevenir posible fallas, averías o problemas más graves que afecten la disponibilidad del suministro eléctrico.

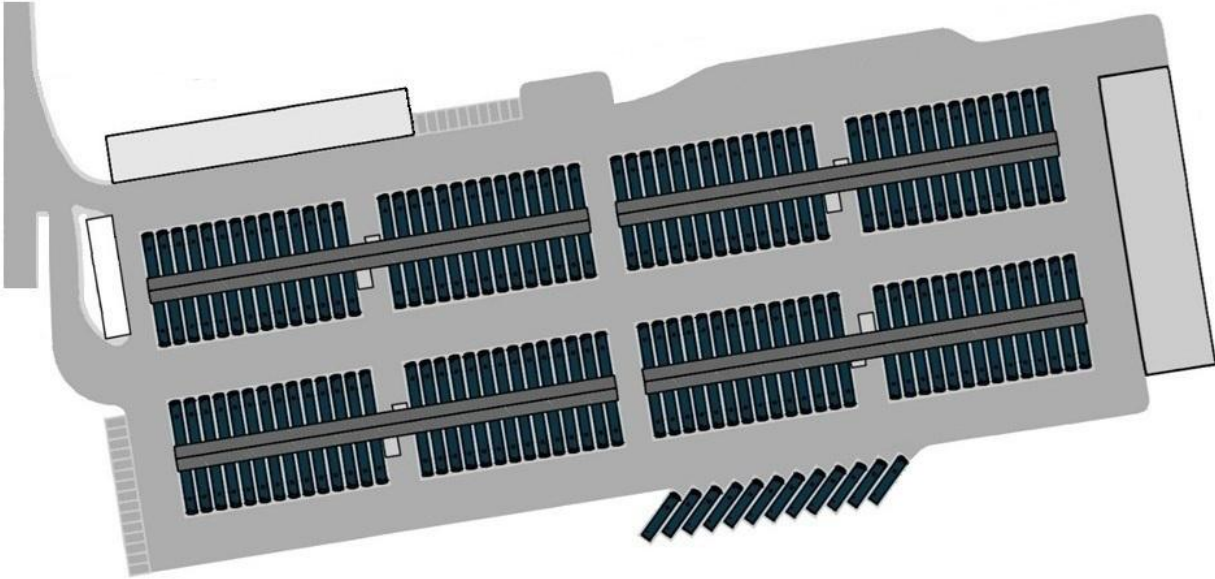
En el marco para el desarrollo de la movilidad eléctrica en el país, se requiere de proyectos de estaciones de recarga para buses eléctricos con sistemas de transformación que garanticen la confiabilidad, eficiencia y seguridad de la operación. La normativa y las políticas del gobierno nacional están alineadas con los objetivos de sostenibilidad que faciliten la transición a la electrificación del transporte público, incentivando la implementación de tecnologías verdes que permitan optimizar el uso de los recursos energéticos y minimizar el impacto ambiental.

#### **2.1.1 Componente técnico.**

La estación de recarga para buses eléctricos recibirá su alimentación principal a través de un punto físico del operador de red y contará una tensión de entrada de 34,5 [kV]. En el diseño se deberá contemplar la construcción de plataformas que permitan la instalación de los cargadores eléctricos; estos equipos brindarán una potencia máxima de salida de 180 [kW] y será posible conectar dos buses por cada cargador eléctrico.

**Figura 1**

*Estación de recarga para buses eléctricos.*



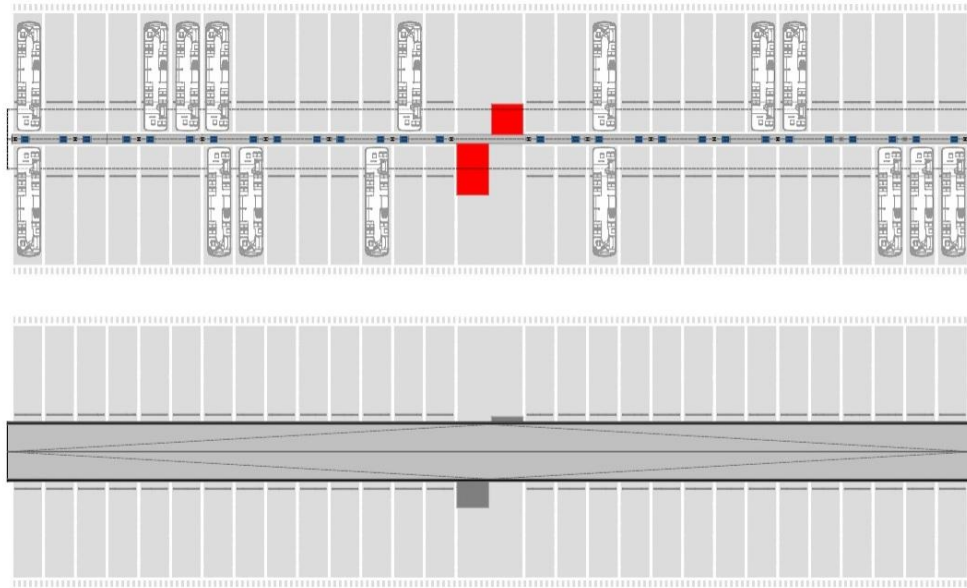
*Nota.* Esta es una imagen de elaboración propia.

Una estación de recarga para buses eléctricos cuenta con las siguientes áreas:

- Área de acceso.
- Áreas de estacionamiento.
- Infraestructura de recarga eléctrica.
- Áreas de mantenimiento.
- Área de lavado.
- Áreas administrativas.
- Área de servicios a operadores del sistema.
- Cerramientos y aislamientos.
- Espacios de soporte para todas las áreas (según se requiera)

**Figura 2**

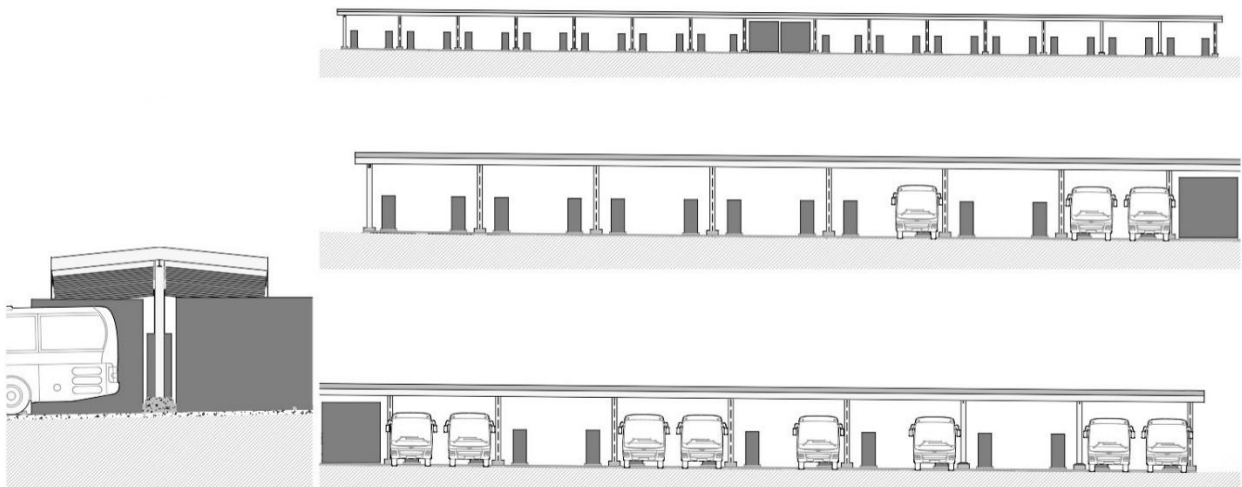
*Plataforma de recarga (vista superior).*



*Nota.* Esta es una imagen de elaboración propia.

**Figura 3**

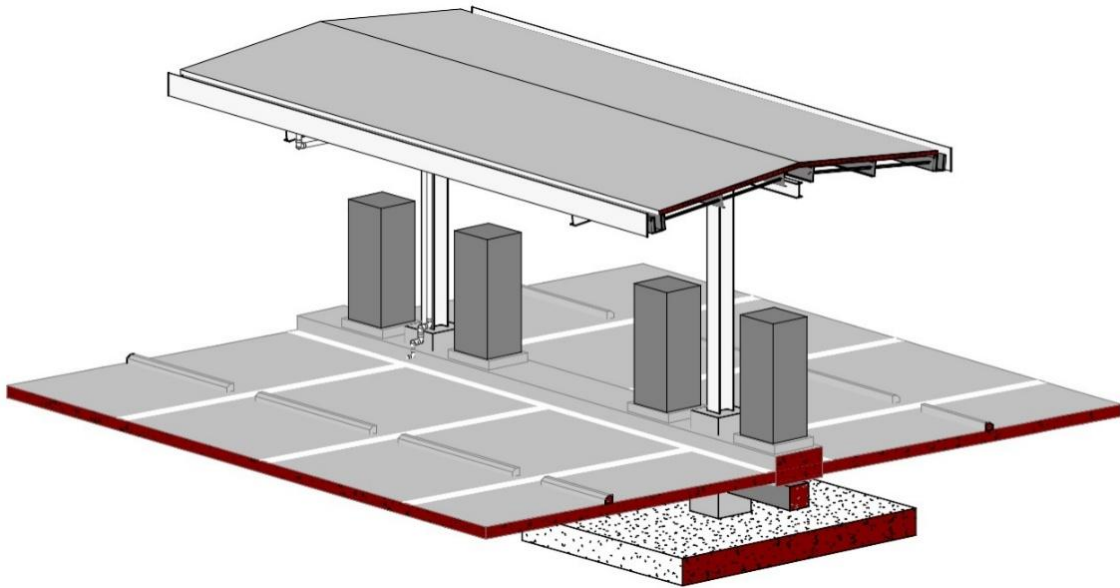
*Plataforma de recarga (vista frontal).*



*Nota.* Esta es una imagen de elaboración propia.

**Figura 4**

*Plataforma de recarga (sección transversal).*



*Nota.* Esta es una imagen de elaboración propia.

### **2.1.2 Sistema de transformación.**

El plan de mantenimiento preventivo se formula específicamente para el sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos, para efectos de la presente investigación este sistema de transformación se compone por transformadores secos encapsulados en resina epóxica, diseñados para operar a una frecuencia de 60 [Hz], con un nivel de tensión primario de 34,5 [kV] y una tensión de salida de 380 [V]. Los transformadores secos encapsulados en resina epóxica brindan mayor seguridad en relación con el riesgo de incendio y presentan una mayor resistencia a factores ambientales.

- Ventajas de los transformadores secos encapsulados en resina epóxica

Desde la perspectiva del mantenimiento y la confiabilidad operacional, los transformadores secos encapsulados en resina epóxica brindan mayores beneficios con relación a una mayor tolerancia a sobrecargas térmicas y una vida útil extendida debido a sus propiedades dieléctricas y térmicas, garantizando una operación confiable y segura en proyectos con una alta demanda en el suministro de energía eléctrica.

En términos generales, el sistema de transformación para una estación de recarga para buses eléctricos no solo debe responder a los desafíos técnicos, sino que también debe alinearse con los compromisos ambientales del país. Esto refuerza la apuesta del gobierno nacional para alcanzar la transición energética y la electrificación del transporte en el país, contribuyendo a la reducción de emisión de gases de efecto invernadero y al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

### **2.1.3 Marco conceptual.**

La transición energética que se promueve desde el gobierno nacional ha impulsado la construcción de estaciones de recarga para buses eléctricos. Estos sistemas requieren una infraestructura que sea confiable y eficiente.

El sistema de transformación para una estación de recarga para buses eléctricos se ve afectado por procesos de envejecimiento, a causa de factores ambientales y desgastes producto de su funcionamiento. Al inicio de la vida útil de los equipos eléctricos comienzan a aparecer defectos que no son perceptibles. Con el tiempo estos defectos se intensifican, se hacen perceptibles y

pueden ser medidos. A través de la metodología para la formulación de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos, se busca optimizar el funcionamiento de los equipos eléctricos durante su vida útil.

La infraestructura destinada para recargar las baterías de los buses eléctricos deberá contar con un sistema de suministro que se ajuste a las especificaciones técnicas del proyecto, garantizando la autonomía operativa, para que todos los buses eléctricos puedan recargar sus baterías de forma simultánea.

Los elementos principales en una estación de recarga para buses eléctricos son los siguientes:

- Red de media tensión: Esta incluye los ductos subterráneos, cámaras de inspección, cárcamos y conductores necesarios para realizar la conexión desde el punto de suministro del operador de red hasta la entrada de las celdas y transformadores en las subestaciones.
- Celdas por media tensión: Se conforman por equipos de entrada y salida, medida, protección y remonte.
- Transformadores: Estos equipos se encargarán de ajustar el nivel de tensión para alimentar los cargadores que suministrarán energía a las baterías de los buses eléctricos.

En la actualidad, los proyectos de movilidad eléctrica cuentan con sistemas de transformación que emplean transformadores secos encapsulados en resina epóxica, debido a que no emplean aceite como medio de aislamiento. Los materiales aislantes empleados son capaces de operar a temperaturas de hasta 155 °C, brindando una mayor vida útil en condiciones de carga variable.

Un sistema de transformación para una estación de recarga para buses eléctricos debe considerar aspectos claves como la capacidad de carga, el tipo de conexión y factores ambientales

de la ubicación de instalación. El sistema de transformación debe ser dimensionado con base en la carga proyectada para la estación de recarga para buses eléctricos, el factor de simultaneidad y las pérdidas presentes en el sistema eléctrico del proyecto.

- Los transformadores se deberán ubicar a nivel del suelo, en proximidad a las áreas destinadas para recargar las baterías de los buses eléctricos, lo que permitirá minimizar la longitud de los conductores ubicados entre las subestaciones y los cargadores.

Todos los equipos deberán estar protegidos en contenedores o shelters, conforme a las normas aplicables.

#### **2.1.4 Marco normativo.**

El presente documento ha sido concebido como una guía que permita implementar correctamente la metodología para formular un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos, definiendo los elementos principales que permitan garantizar la vida y salud de las personas que harán parte de las actividades de mantenimiento.

La metodología para la formulación de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de transformación de una estación de recarga para buses eléctricos aplica desde el diagnóstico, la planeación, la ejecución, la supervisión y el control de las actividades. A lo largo de este documento se define y se propone los controles para el cumplimiento de la Resolución Número 5018 de 2019 del Ministerio del Trabajo y la resolución número 40117 de 02 ABR 2024 del Reglamento técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE del Ministerio de Minas y Energía.

### 3. Características y parámetros de seguridad industrial.

El sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), tiene como objetivo principal proteger la integridad física del personal que estará encargado de realizar las actividades de mantenimiento preventivo para garantizar la continuidad operativa del proyecto. Este sistema deberá cumplir estrictamente con la normativa vigente en Colombia que está regida principalmente por la Resolución Número 5018 de 2019 del Ministerio del Trabajo.

#### 3.1 Requisitos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).

**Tabla 1**

*Fases del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)*

<b>Fase</b>	<b>Actividad</b>	<b>Responsable</b>
Evaluación Inicial	Identificar los peligros y evaluar los riesgos en los procesos y actividades de la empresa.	Equipo de SST con apoyo del Comité Paritario.
	Analizar el cumplimiento normativo vigente y los estándares mínimos aplicables al SG-SST.	Coordinador de SST.
	Determinar las condiciones de vulnerabilidad ante amenazas externas e internas.	Consultores internos o externos en SST.

Fase	Actividad	Responsable
Planificación	Diseñar un plan anual de trabajo basado en las prioridades definidas en la evaluación inicial.	Dirección general y área de planificación.
	Establecer objetivos claros, medibles y coherentes con la política de seguridad y salud en el trabajo.	Alta dirección y responsables de SST.
	Asignar recursos financieros, técnicos y humanos necesarios para cumplir con las actividades programadas.	Alta gerencia con supervisión del área financiera.
Ejecución del SG-SST	Implementar las medidas de prevención y control para mitigar riesgos prioritarios.	Supervisores de áreas operativas.
	Asegurar la formación y capacitación del personal en temas de seguridad, salud y respuesta ante emergencias.	Área de talento humano y líderes de SST.
	Desarrollar simulacros y planes de acción ante emergencias al menos una vez al año.	Brigada de emergencias con apoyo del Comité SST.
Seguimiento y mejora continua	Monitorear indicadores de estructura, proceso y resultado para evaluar la efectividad del SG-SST.	Analistas de calidad y SST.
	Revisar anualmente la política de SST, los objetivos y el cumplimiento del plan de trabajo.	Alta dirección con participación del Comité SST.
	Implementar acciones correctivas y preventivas basadas en auditorías internas y externas.	Equipo auditor interno o externo.

Fase	Actividad	Responsable
Inspección y vigilancia	Verificar periódicamente las condiciones de las instalaciones, equipos y elementos de protección personal.	Encargado de mantenimiento y SST.
	Auditar el cumplimiento de las normativas aplicables en los procesos de seguridad y salud.	Consultores externos o auditores internos.
	Registrar y documentar los hallazgos para garantizar la trazabilidad y mejoras continuas.	Administradores de documentos del SG-SST.

*Nota.* Esta tabla muestra las actividades asociadas a cada una de las fases del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).

### 3.2 Requisitos que debe cumplir el personal.

- El personal deberá recibir inducción y reinducción, incluyendo capacitaciones generales y específicas en seguridad y salud en el trabajo (SST).
- Es indispensable que cada miembro del equipo cuente con una inducción técnica adecuada al rol que desempeñará.
- Todo el personal que haga parte del equipo de mantenimiento debe poseer certificación vigente para la realización de trabajos en alturas.
- Se deben realizar exámenes médicos de ingreso y revisiones periódicas anuales para verificar el estado de salud físico y mental del personal, así como su capacidad para desempeñar los trabajos de mantenimiento.

- Es esencial que el personal tenga conocimientos sobre los dispositivos de desconexión eléctrica y sus características técnicas.
- El personal deberá estar familiarizado con los equipos de seguridad del sistema, tanto los de protección colectiva como los de protección individual, además de las normas para su uso correcto.
- Es obligatorio conocer y aplicar los procedimientos de bloqueo y etiquetado.
- El personal deberá dominar la implementación de las cinco reglas de oro de seguridad eléctrica.
- Cada trabajador deberá contar con una autorización escrita, emitida por el líder del proceso, que lo habilite formalmente para realizar las actividades asignadas.

### **3.3 Etapas del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).**

#### **3.3.1 Diagnóstico.**

Para realizar una adecuada planificación y programación de las actividades, es necesario llevar a cabo un diagnóstico previo. Este diagnóstico consiste en una inspección inicial del lugar donde se ejecutarán los trabajos, con el propósito de evaluar las condiciones operativas y de seguridad y salud en el trabajo (SST) de los equipos o instalaciones a intervenir. Además, se deben considerar aspectos como el acceso al sitio, las condiciones del área de trabajo, los posibles riesgos laborales y las estrategias para la atención de emergencias, incluyendo primeros auxilios y acciones de mayor complejidad si fueran necesarias.

### **3.3.2 Planeación.**

Para llevar a cabo actividades de mantenimiento preventivo, resulta esencial contar con un análisis de trabajo seguro, realizado durante el diagnóstico inicial. Este análisis debe ser revisado y aprobado por un profesional y su superior jerárquico.

Además, será necesario:

- Examinar y evaluar los planos eléctricos actualizados del sistema a intervenir.
- Estimar tanto el tiempo requerido para la ejecución de las tareas como el necesario para llevar a cabo los procedimientos operativos, garantizando la seguridad en los trabajos programados.
- Antes de intervenir los equipos, se debe coordinar con el personal responsable de suspender el suministro de energía eléctrica que fluye a través del sistema de transformación, con el fin de asegurar que los trabajos se puedan desarrollar de forma segura durante las maniobras. También se deberá definir los planes de contingencia correspondientes.
- Gestionar la solicitud de consignación de acuerdo con la normativa vigente que rige dichas actividades.

### **3.3.3 Programación de actividades.**

La programación para el desarrollo de actividades de mantenimiento preventivo se llevará a cabo mediante el uso de la orden de trabajo. Este documento deberá detallar las responsabilidades asignadas, las condiciones operativas, y los procedimientos a seguir para garantizar la correcta

ejecución y entrega de las instalaciones intervenidas. A continuación, se describen los aspectos clave del proceso:

Responsables del Trabajo:

- Responsable Designado: Persona a cargo de recibir el equipo o instalación en las condiciones operativas definidas y aprobadas. Coordina la ejecución de las actividades y realiza la entrega del equipo o instalación tras la intervención.
- Sustituto: Asume las responsabilidades del trabajo en caso de que el responsable designado no pueda cumplir sus funciones.
- Capacitación del Personal
- Todas las personas involucradas en las actividades planeadas deben contar con la capacitación requerida conforme a las responsabilidades asignadas.
- Análisis de Trabajo Seguro
- La orden de trabajo incluye el análisis de trabajo seguro (ATS) elaborado durante la fase de diagnóstico.
- Este ATS debe ser validado y aprobado por los profesionales a cargo en la etapa de planeación, garantizando la seguridad de las actividades.
- Plan de Emergencia
- Se debe disponer de un plan de emergencia adecuado a las actividades a realizar.
- Es obligatorio contar con personas responsables para la atención de primeros auxilios en caso de incidentes.

### 3.3.4 Ejecución.

Aspectos clave a considerar

Al momento de ejecutar el trabajo, es esencial atender los siguientes ítems:

Reunión previa: El encargado de la actividad debe convocar al equipo antes de iniciar las labores para:

- Detallar el procedimiento a seguir.
- Asignar responsabilidades tanto individuales como grupales.
- Informar sobre los riesgos identificados en el diagnóstico previo.
- Presentar el plan de emergencias diseñado.
- Describir las medidas de seguridad aplicables.
- Asegurar que todos los integrantes utilicen los equipos de protección personal (EPP) y colectivos necesarios.
- Confirmar, mediante preguntas, que las instrucciones han sido comprendidas por todos.

Documentación: Es indispensable diligenciar el formato de Análisis de Trabajo Seguro (ATS), aplicable a métodos de trabajo sin tensión eléctrica.

Protocolos y normas: Explicar cómo se implementarán las maniobras y se cumplirán las cinco reglas de oro para garantizar la seguridad.

Revisión de riesgos: El responsable o un delegado debe realizar una inspección exhaustiva para identificar posibles riesgos adicionales no contemplados en el diagnóstico inicial, y establecer medidas de control para prevenir accidentes.

**Delimitación del área:** Es necesario demarcar y señalizar adecuadamente la zona de trabajo, asegurándose de cumplir con las normativas nacionales o internacionales adoptadas por la organización, con el fin de proteger tanto al personal como a terceros.

**Cierre de actividades:** Al finalizar los trabajos, se debe realizar la limpieza del área, reportar la conclusión de las actividades y documentar el estado de los equipos o instalaciones intervenidas.

**Informe de mantenimiento:** Elaborar un informe que incluya los registros correspondientes. Este debe resaltar cambios realizados, así como pendientes o averías detectadas que puedan influir en futuros trabajos.

### **3.3.5 Supervisión y control.**

Cada miembro del equipo tiene la responsabilidad de garantizar y promover el cumplimiento de las normas y procedimientos de seguridad, actuando en coherencia con el principio del autocuidado.

La persona a cargo del trabajo deberá:

- Asegurar el cumplimiento riguroso de las normas y procedimientos de seguridad establecidos para las actividades diagnósticas, planificadas y programadas en el ATS.
- Exigir a los trabajadores que realicen inspecciones previas y posteriores a las herramientas, equipos, instrumentos, y elementos de protección personal y colectivos.
- Supervisar que las tareas se ejecuten conforme a los procedimientos establecidos, así como al diagnóstico, planificación y programación previstos.
- Confirmar el estado óptimo de las herramientas, equipos, instrumentos y elementos de protección personal y colectiva.

- Solicitar el reemplazo de cualquier elemento que presente defectos.
- Comprobar que el área de trabajo esté correctamente delimitada y señalizada.
- Retirar del lugar de trabajo a cualquier trabajador que presente impedimentos para la ejecución de la tarea, informando de inmediato al superior sobre las razones del retiro.
- Promover un ambiente de respeto entre los trabajadores para minimizar riesgos de accidentes.
- Detener las labores en caso de identificar un peligro inminente que ponga en riesgo la salud, integridad de los trabajadores, la comunidad, la propiedad o el medio ambiente (por ejemplo, condiciones climáticas adversas, tormentas eléctricas, problemas de orden público o incumplimiento de distancias de seguridad).

### **3.4 Recomendaciones de seguridad**

#### **3.4.1 Método de trabajo sin tensión (basado en la Resolución Número 5018 de 2019 del Ministerio del Trabajo):**

- a) “Todo trabajo en un equipo o una instalación eléctrica, o en su proximidad, que conlleve un peligro eléctrico debe efectuarse sin tensión, salvo en los casos que se indican en este lineamiento” (Resolución Número 5018 del Ministerio del Trabajo, 2019, p. 7).
- b) La Resolución Número 5018 del Ministerio del Trabajo (2019) señala que: Para desenergizar o dejar sin tensión un equipo o instalación eléctrica, deben incorporarse a los procedimientos técnicos, las medidas de seguridad para prevención de peligro eléctrico,

que serán aplicadas con carácter obligatorio pro todo el personal que de una u otra forma tiene responsabilidad sobre los equipos e instalaciones a intervenir. (p. 7)

- c) La Resolución Número 5018 del Ministerio del Trabajo (2019) señala que: Señalizar y demarcar la zona de trabajo es la delimitación perimetral temporal del área de trabajo para evitar el ingreso y circulación de personas no habilitadas. Mediante cintas, vallas o letreros donde se indique la restricción y el peligro en el sitio de trabajo. Esta actividad debe garantizarse desde el arribo o ubicación en el sitio de trabajo y hasta la completa culminación del mismo. (p. 7)

### **3.5 Reglas de oro (aplicables en la Resolución Número 5018 de 2019 del Ministerio del Trabajo artículos 5 y 16)**

1. Efectuar el corte visible de todas las fuentes de tensión. la Resolución Número 5018 del Ministerio del Trabajo (2019) señala que: Efectuar la desconexión de todas las fuentes de tensión, mediante interruptores y demás equipos de seccionamiento. En aquellos aparatos en que el corte no pueda ser visible, debe existir un dispositivo que permita identificar claramente las posiciones de apertura y cierre de manera que se garantice que el corte sea efectivo. (p. 7)

Los dispositivos encargados de proporcionar un corte visible son los seccionadores y los puentes extraíbles. Los interruptores, por su parte, no ofrecen esta característica a menos que puedan ser retirados de los barrajes. Es importante destacar que los seccionadores, a pesar de garantizar el corte visible, no deben ser manipulados durante las labores de condenación y bloqueo.

2. Efectuar condenación o bloqueo y etiquetado de los aparatos de corte. la Resolución Número 5018 del Ministerio del Trabajo (2019) señala que: Operación que impide la reconexión del dispositivo sobre el que se ha efectuado el corte efectivo, permite mantenerlo en la posición determinada e imposibilita su cierre intempestivo. Para su materialización se puede utilizar candado de condenación y complementarse con la instalación de las tarjetas o avisos de "NO OPERAR". En los casos en que no sea posible el bloqueo mecánico, deben adoptarse medidas equivalentes como, por ejemplo, retirar de su alojamiento los elementos extraíbles. (pp. 7-8)
3. Verificar ausencia de tensión en cada una de las fases. la Resolución Número 5018 del Ministerio del Trabajo (2019) señala que: Haciendo uso de los elementos de protección personal y del detector de tensión, se verificará la ausencia de la misma en todos los elementos activos de la instalación o circuito. Esta verificación debe realizarse por contacto en el sitio más cercano a la zona de trabajo. El equipo de protección personal y el detector de tensión a utilizar deben ser acordes al nivel de tensión del circuito. El detector debe probarse antes y después de su uso para verificar su buen funcionamiento en el punto donde se realizó el corte. (p. 8)
4. la Resolución Número 5018 del Ministerio del Trabajo (2019) señala que: Instalar puesta a tierra y poner en cortocircuito todas las posibles fuentes de tensión que inciden en la zona de trabajo, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:
  - a) El equipo de puesta a tierra temporal debe estar en perfecto estado, los conductores utilizados deben ser adecuados y tener la sección suficiente para las corrientes de cortocircuito de la instalación en que se utilizan. Las pértigas empleadas para su instalación

deben ser inspeccionadas antes de cada uso para constatar que están limpias, secas y sin fracturas.

- b) Se deben usar los elementos de protección personal para el control de peligros: casco de seguridad, gafas de protección, botas dieléctricas y guantes aislantes.
  - c) Deben guardarse las distancias de seguridad dependiendo del nivel de tensión.
  - d) El equipo de puesta a tierra se conectará primero a la malla o electrodo de puesta a tierra de la instalación, luego a la silleta equipotencial (si se utiliza) y después a las fases que han de aterrizar iniciando por el conductor o la fase más cercana.
  - e) Para su desconexión se procederá en orden inverso a la instalación.
  - f) Los conectores del equipo de puesta a tierra deben asegurarse firmemente.
  - g) Siempre que exista un conductor de neutro, se debe tratar como si fuera una fase.
  - h) Evitar la formación de bucles o bobinas en los conductores de puesta a tierra. (p. 8)
5. Señalizar y delimitar la zona de trabajo: la Resolución Número 5018 del Ministerio del Trabajo (2019) señala que: Se debe marcar la sección de trabajo en forma muy notoria, acordonándola o usando barreras con avisos preventivos, a fin de que sean identificadas claramente cuáles son las partes desenergizadas y cuales las energizadas evitándose con estos contactos accidentales con dichas partes energizadas, tanto de la sección de trabajo como de las adyacentes. Esto aplica para gabinetes, celdas de control, casetas de relés, tableros de mandos, entre otros. (p. 20)

En ningún caso se deben exceder las distancias mínimas de seguridad establecidas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), especificadas en la Tabla 18.1, que define los límites seguros para trabajar en proximidad a líneas con energía.

**3.6 Resolución Número 5018 de 2019 del Ministerio del Trabajo artículos 15 literales e y f**

- “Todos los equipos primarios instalados en áreas de inducción y que se encuentran desconectados de las bases o líneas para fines de pruebas o mantenimiento, deben conectarse a tierra para evitar descargas estáticas peligrosas” (Resolución Número 5018 del Ministerio del Trabajo, 2019, p. 19).

Es fundamental considerar que, al llevar a cabo tareas de mantenimiento o pruebas eléctricas en equipos de reserva o desconectados de la fuente de alimentación en subestaciones, tales como transformadores y pararrayos, es necesario conectarlos equipotencialmente a la malla de tierra de la subestación. Esto se realiza para prevenir el riesgo de descargas eléctricas.

- “No se debe dejar cables energizados desconectados y con sus terminales suspendidas” (Resolución Número 5018 del Ministerio del Trabajo, 2019, p. 19).

Al ejecutar mantenimientos preventivos en subestaciones, es fundamental que el personal verifique que no queden cables energizados expuestos al momento de la conexión para realizar las labores de mantenimiento. Para esta propuesta de mantenimiento preventivo, los trabajos se llevarán a cabo exclusivamente con los equipos desenergizados, por lo que no resulta aplicable lo estipulado en el numeral 6 de la Resolución Número 5018. En caso de identificar algún cable energizado suspendido fuera de sus terminales, se deberá informar de inmediato para proceder con su corrección.

#### **4. Plan de mantenimiento.**

##### **4.1 Transformador de potencia**

La transmisión de energía eléctrica se realiza a tensiones elevadas, como 115 [kV] y 230 [kV], con el propósito de minimizar las pérdidas de energía. Por otro lado, la distribución hacia los usuarios finales se efectúa a niveles de tensión de 13,8 [kV] y 34,5 [kV]. Para reducir estos niveles de tensión, se utilizan transformadores de potencia.

##### **4.2 Descripción del transformador**

Un transformador es un equipo electromagnético compuesto por uno o varios devanados que están conectados entre sí a través de un acoplamiento mutuo, con o sin núcleo magnético. Este equipo se utiliza ampliamente en los sistemas de energía eléctrica para transferir potencia entre diferentes circuitos eléctricos mediante inducción electromagnética, manteniendo la misma frecuencia, aunque adaptando los niveles de voltaje y corriente según sea necesario.

Por otro lado, los transformadores tipo seco son aquellos en los que tanto el núcleo como las bobinas están contenidos en un medio aislante que puede ser gaseoso o sólido, pero nunca líquido.

A lo largo del tiempo, los transformadores inmersos en líquidos aislantes han sido predominantes en las redes eléctricas. Sin embargo, factores como el impacto ambiental, el riesgo de incendio, los problemas de fugas y los costos asociados al mantenimiento han incentivado el desarrollo y la implementación de transformadores tipo seco como una alternativa viable.

Los transformadores tipo seco están compuestos principalmente por una parte activa que incluye el núcleo (circuito magnético), las bobinas (circuito eléctrico) y las bridas, cuya especificación varía según el tipo de transformador.

Existen diferentes tipos de transformadores tipo seco en el mercado, cuya clasificación se basa en el tipo de aislamiento utilizado y los límites de temperatura permitidos para su funcionamiento.

### **4.3 Transformador seco encapsulado en resina epóxica**

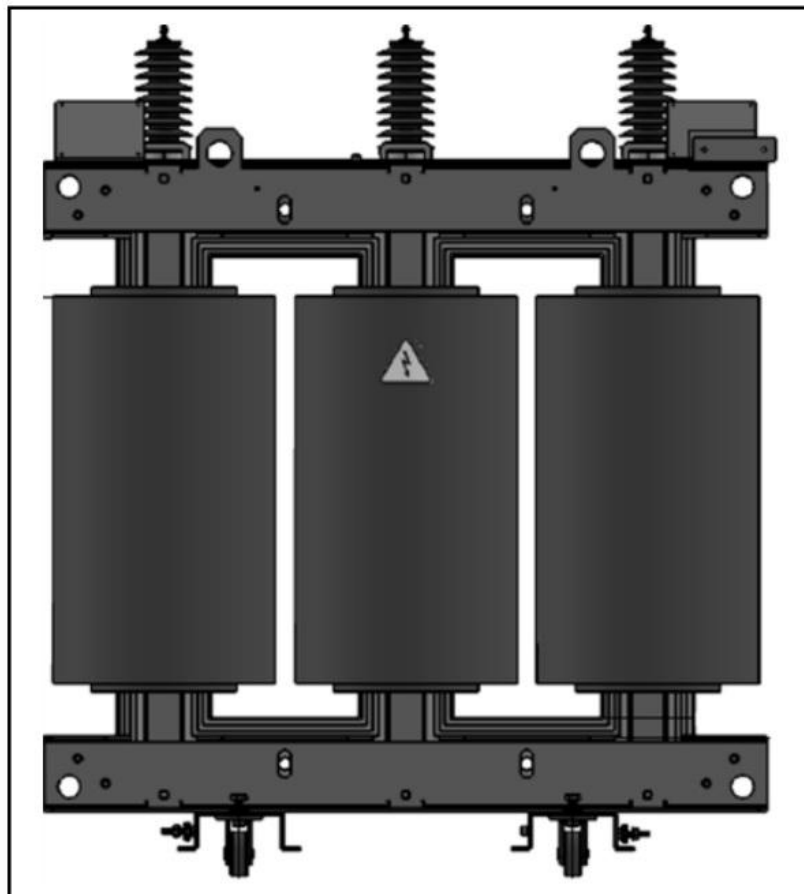
Los transformadores encapsulados en resina epóxica han demostrado ser altamente confiables, lo que permite su uso en entornos con altos niveles de humedad y contaminación. Esto contribuye a la eliminación de riesgos asociados, como incendios y la liberación de sustancias tóxicas o perjudiciales.

Están elaborados con materiales aislantes que poseen propiedades para retardar al fuego y poseen capacidad de autoextinción.

Estos equipos están diseñados específicamente para operar de manera eficiente en condiciones ambientales adversas y se clasifican según factores como el clima, las características del entorno y su desempeño ante el fuego.

**Figura 5**

*Transformador seco encapsulado en resina epóxica.*



*Nota.* Transformador seco encapsulado en resina epóxica. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

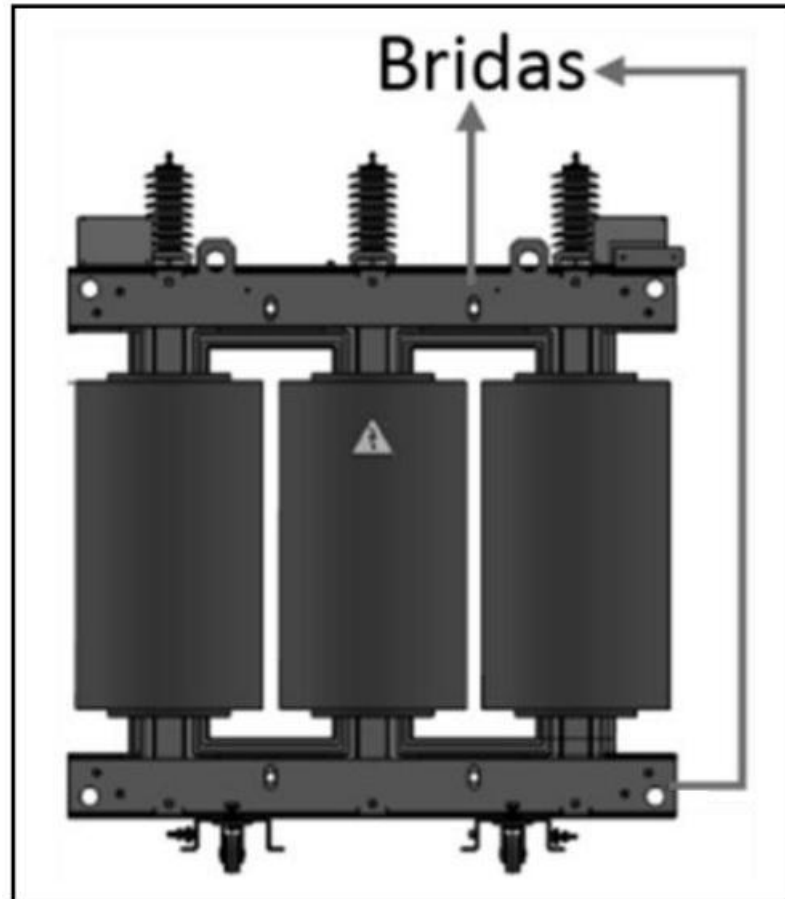
#### **4.4 Recomendaciones para la manipulación del sistema de transformación**

Con las siguientes recomendaciones se busca garantizar la integridad del transformador durante su manipulación.

- Los Aisladores de MT, terminales de BT, conexiones, bobinas, o el transformador mismo no deben ser utilizados como punto de soporte o apoyo.
- No arrastrar el transformador directamente sobre el piso, esto puede causar deformaciones, deterioro de la pintura, oxidación y desajustes estructurales.
- No se debe utilizar las bobinas, terminales, conexiones o accesorios como puntos de empuje.
- Si es necesario empujar el equipo, se permite hacerlo apoyándose únicamente en las bridas que sujetan el circuito magnético, ya que están diseñadas para soportar estas fuerzas.

**Figura 6**

*Bridas de un transformador seco encapsulado en resina epóxica.*



*Nota.* Bridas de un transformador seco encapsulado en resina epóxica. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

#### **4.5 Accesorios de un sistema de transformación**

Los transformadores secos cuentan con diversos accesorios que se dividen en dos categorías principales:

#### **4.5.1 Accesorios estándar**

Se refiere a los elementos básicos indispensables que el fabricante debe proporcionar junto con los transformadores para garantizar su identificación, manejo adecuado, instalación correcta, operación eficiente y protección. Estos accesorios incluyen:

- Aisladores para media tensión (MT).
- Ruedas móviles o giratorias.
- Placa de especificaciones técnicas.
- Conmutador de derivaciones operable sin carga.
- Dispositivos de elevación o izaje.
- Sistema de puesta a tierra.
- Etiquetado de terminales de media y baja tensión.

#### **4.5.2 Accesorios opcionales**

Incluyen componentes que pueden ser solicitados por normativas específicas o a petición del cliente, como monitores de temperatura y sistemas de ventilación forzada.

#### **4.5.3 Descripción de los accesorios**

##### **4.5.3.1 Aisladores para media tensión (MT)**

Generalmente están fabricados en porcelana o resina epóxica, su función principal es sujetar mecánicamente los conductores eléctricos, manteniéndolos aislados de otros conductores y de la tierra. Además, conectan los terminales de media tensión del núcleo activo con la fuente de energía. Sus características varían según el nivel de tensión, el aislamiento básico requerido y las distancias de fuga y arco.

### Figura 7

*Aisladores para media tensión (MT).*



*Nota.* Aisladores para media tensión (MT). Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

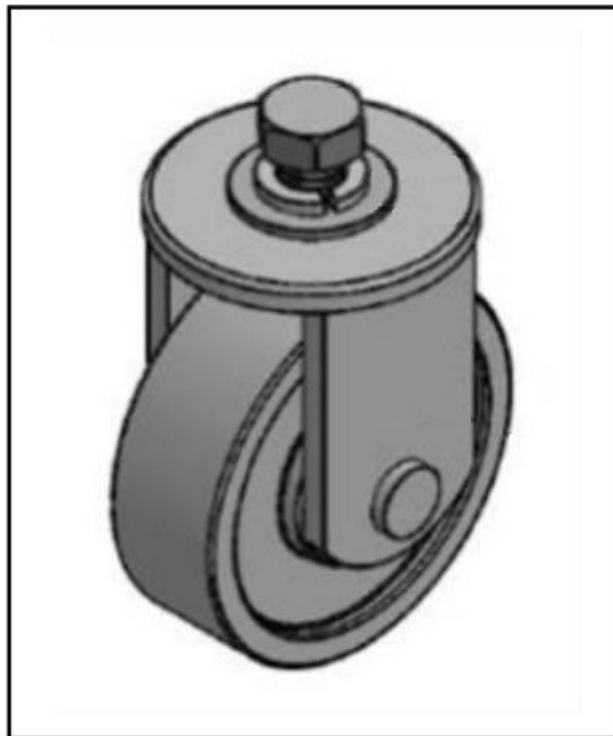
Para transformadores de mayor capacidad, generalmente no se utilizan aisladores, ya que las conexiones se realizan directamente sobre el barraje de BT.

#### 4.5.3.2 Ruedas móviles o giratorias.

Disponibles en varios tamaños, estas pueden ser fijas, giratorias o equipadas con frenos, dependiendo de los requerimientos de instalación y movilidad del transformador.

#### Figura 8

*Rueda móvil o giratoria.*



*Nota.* Rueda móvil o giratoria. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

**4.5.3.3 Placa de especificaciones técnicas**

Es una lámina fabricada con materiales resistentes a la corrosión, como aluminio o acero inoxidable, donde se detallan los datos técnicos del transformador. Debe colocarse en un lugar visible y tener inscripciones legibles y duraderas.

**Figura 9**

*Placa de especificaciones técnicas.*



*Nota.* Placa de especificaciones técnicas. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

#### 4.5.3.4 Conmutador de derivaciones operable sin carga

Permite ajustar la relación de vueltas en el devanado primario para regular la tensión de salida en el secundario, compensando las fluctuaciones en los puntos de consumo. Su operación debe realizarse con el transformador desenergizado y siguiendo las medidas de seguridad establecidas. En transformadores secos clase F, el conmutador consiste en bujes de bronce adheridos a las bobinas, conectados mediante una platina de cobre ajustable.

#### Figura 10

*Conmutador de derivaciones operable sin carga.*



*Nota.* Conmutador de derivaciones operable sin carga. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

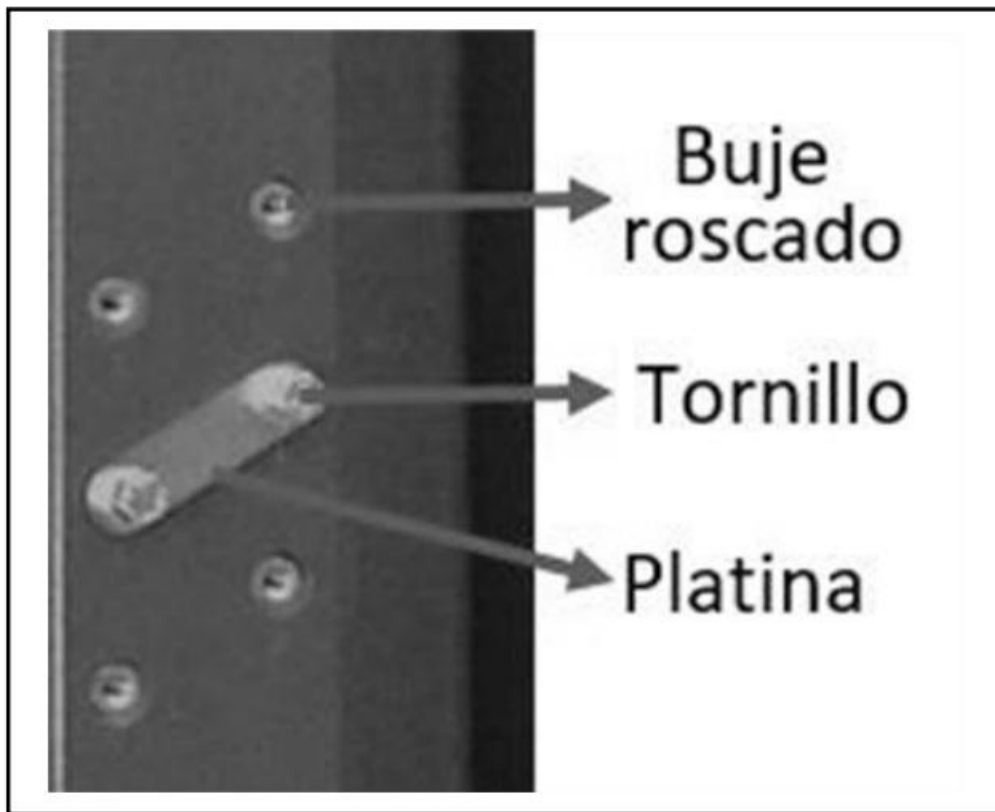
##### 4.5.3.4.1 Procedimiento para operar el conmutador

1. Asegúrese de desconectar el transformador de la fuente de energía principal.
2. Compruebe que no haya presencia de voltaje en el transformador utilizando un voltímetro para medir el devanado de baja tensión (BT).

3. Conecte los terminales de media tensión (MT) y baja tensión (BT) a tierra.
4. Desmonte los elementos de sujeción, como tuercas o tornillos, que fijan la platina de cobre del conmutador.
5. Posicione la platina de cobre en el lugar correspondiente según lo requerido.
6. Vuelva a fijar firmemente las tuercas o tornillos que aseguran la platina de cobre.
7. Quite las conexiones de puesta a tierra de los terminales de media tensión (MT) y baja tensión (BT).
8. Verifique la continuidad en los terminales de media tensión (MT) para confirmar que el conmutador está correctamente enclavado.
9. Restaure la energía al transformador.
10. Realice una medición de voltaje en los terminales de baja tensión (BT) para asegurar que el nivel de voltaje sea el esperado.

**Figura 11**

*Partes del conmutador de derivaciones operable sin carga.*



*Nota.* Partes del conmutador de derivaciones operable sin carga. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

#### **4.5.3.5 Dispositivos de elevación o izaje**

Los componentes diseñados para levantar un transformador completamente ensamblado están posicionados estratégicamente para evitar que los estrobos o eslingas entren en contacto con otros accesorios, bujes o la tapa del equipo, evitando así posibles daños.

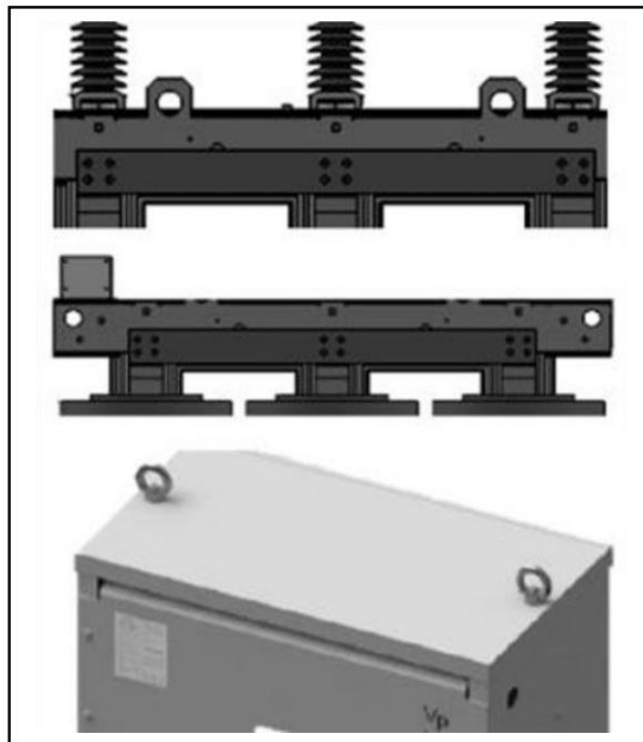
Estos elementos, que suelen ubicarse en la brida superior del transformador o en la tapa cuando está equipado con un tanque, incluyen:

- Perforaciones.
- Ganchos atornillados.
- Platinas perforadas y soldadas.

Es importante destacar que su función se limita exclusivamente a la elevación o izaje del transformador, y no deben ser utilizados para su transporte.

### Figura 12

*Dispositivos de elevación o izaje.*



*Nota.* Dispositivos de elevación o izaje. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetrón S.A.S., s.f.)

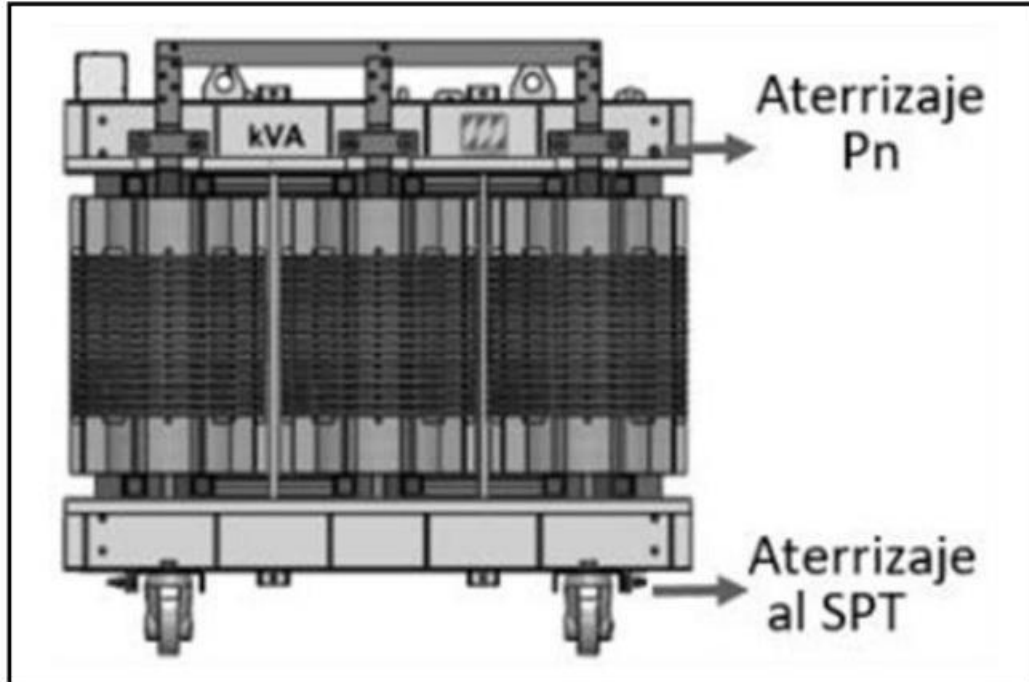
#### 4.5.3.6 Sistema de puesta a tierra

El transformador cuenta con tornillos o platinas, junto con los accesorios necesarios, para garantizar lo siguiente:

1. La conexión a tierra del punto neutro en el lado de baja tensión, la cual se entrega previamente conectada desde fábrica.
2. La conexión del transformador al sistema de puesta a tierra correspondiente al lugar donde se instalará.

**Figura 13**

*Puntos de aterrizaje.*



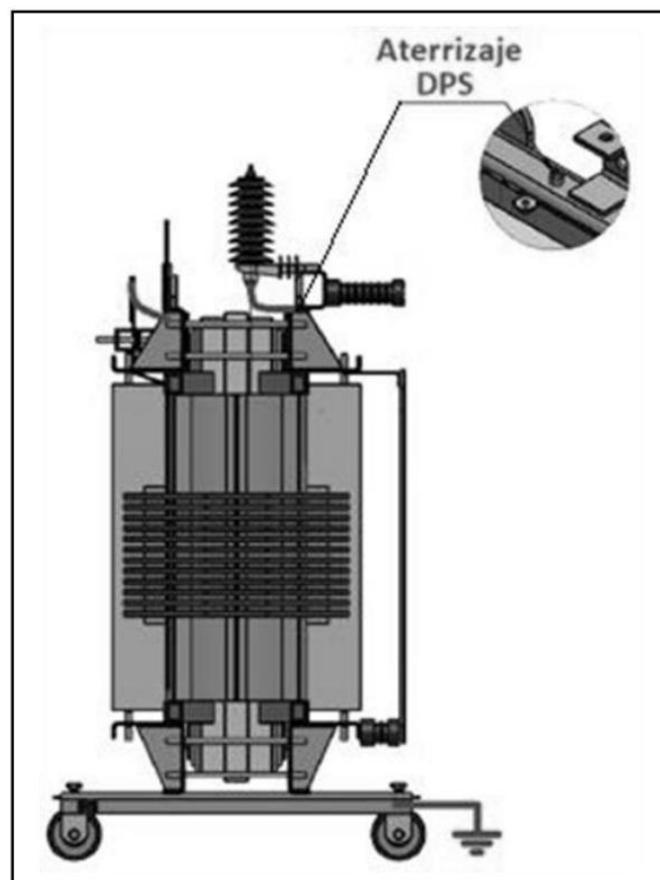
*Nota.* Puntos de aterrizaje. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetrón S.A.S., s.f.)

3. El neutro del sistema de baja tensión, los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) y el sistema de transformación deben estar firmemente conectados al sistema de puesta a tierra.

Nota: Es necesario que también se conecten a tierra los gabinetes, así como los elementos de control y protección que lo requieran.

### Figura 14

*Partes del sistema de transformación que se deben aterrizar.*



*Nota.* Partes del sistema de transformación que se deben aterrizar. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

4. Los objetivos principales de un sistema de puesta a tierra son los siguientes:
  - a) Proteger la integridad de los seres vivos y evitar riesgos eléctricos.
  - b) Salvaguardar las instalaciones eléctricas frente a posibles fallas.
  - c) Garantizar la compatibilidad electromagnética entre los diferentes equipos del sistema.
  - d) Facilitar que los dispositivos de protección puedan actuar con rapidez en caso de fallas.
  - e) Proveer un punto de referencia común para el sistema eléctrico.
5. Valores de referencia para la resistencia del sistema de puesta a tierra.

**Tabla 2***Valores máximos permitidos*

<b>Aplicación</b>	<b>Valores máximos permitidos para la resistencia de puesta a tierra [<math>\Omega</math>]</b>
Subestaciones diseñadas para operar en media tensión.	10
Sistemas de protección contra descargas atmosféricas.	10
Punto neutro de acometida en instalaciones de baja tensión.	25
Redes específicas para equipos electrónicos o dispositivos sensibles.	10

*Nota.* Esta tabla muestra los valores máximos permitidos para la resistencia de puesta a tierra.

#### **4.5.3.7 Monitor de temperatura**

Es un dispositivo crucial para garantizar la operación segura y eficiente de equipos eléctricos como transformadores. Su función principal es medir y controlar la temperatura mediante el uso de sensores específicos, como termopares, ubicados estratégicamente en cada bobina del transformador.

Características clave:

1. Medición precisa: La temperatura se mide a través de termopares en las bobinas, permitiendo un monitoreo continuo y exacto.
2. Indicador digital: Muestra automáticamente el valor de la temperatura más alta detectada y permite la selección manual para visualizar las temperaturas individuales en cada fase.
3. Control y protección: Ayuda a prevenir sobrecalentamientos al activar sistemas de enfriamiento o alarmas, permitiendo prolongar la vida útil del transformador al evitar daños por temperaturas excesivas.

**Figura 15**

*Monitor de temperatura.*



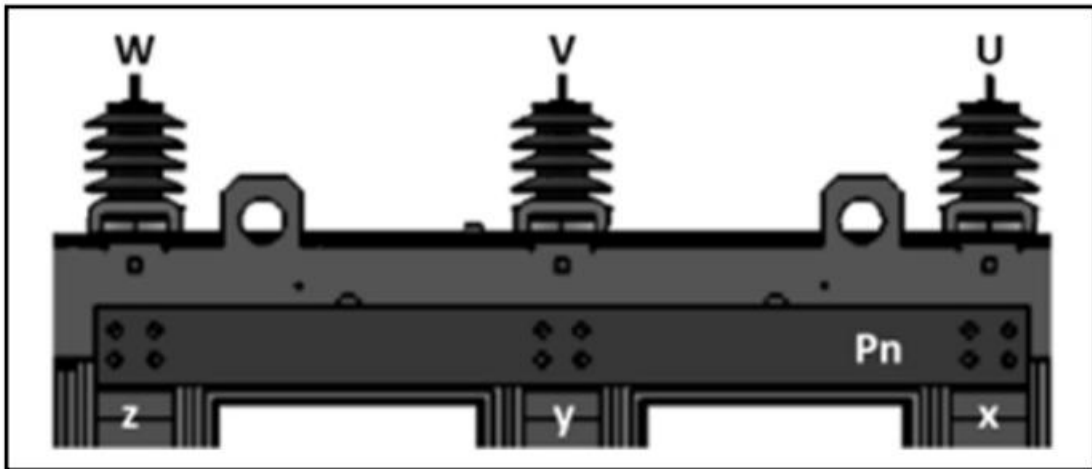
*Nota.* Monitor de temperatura. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetrón S.A.S., s.f.)

#### 4.6 Identificación de terminales

La identificación de los terminales de media tensión (MT) y baja tensión (BT) en transformadores varía según la norma técnica aplicada, ya sea la norma NTC o ANSI.

#### Figura 16

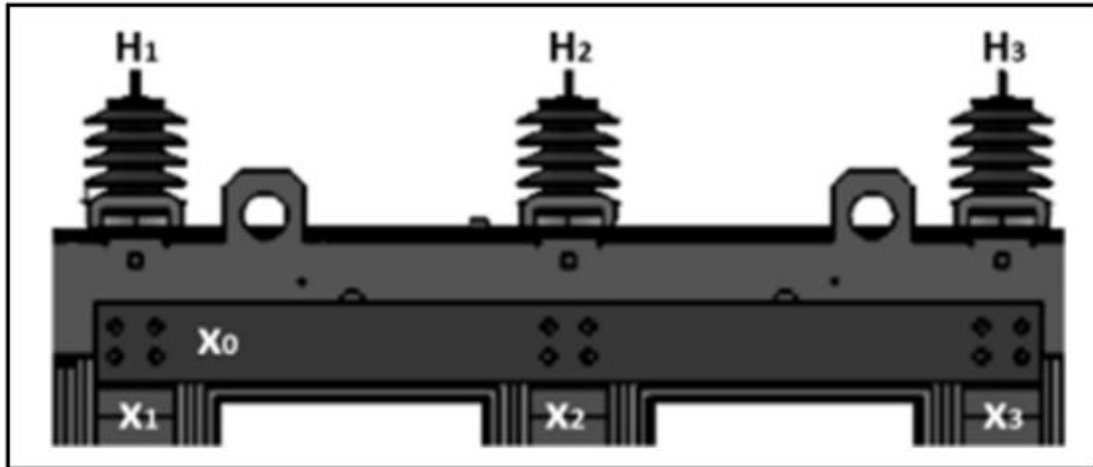
*Identificación según norma NTC.*



*Nota.* Identificación de transformadores trifásicos. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

**Figura 17**

*Identificación según norma ANSI.*



*Nota.* Identificación de transformadores trifásicos. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

Los terminales de media tensión, se identifican utilizando letras en mayúsculas, mientras que en los terminales de baja tensión se emplean letras en minúsculas.

En el caso de los transformadores trifásicos, existen dos aspectos adicionales de gran relevancia para su correcta conexión:

1. El grupo de conexión
2. El índice horario

#### 4.7 Grupo de conexión

El grupo de conexión define la configuración empleada en los devanados de un transformador, generalmente en el devanado primario y el secundario. Este grupo se expresa mediante un código compuesto por letras y números, que se interpreta así:

1. La primera letra, escrita en mayúscula, representa la forma de conexión del devanado que opera con la mayor tensión.
2. La segunda letra, en minúscula, identifica la configuración del devanado que trabaja con la menor tensión.
3. El número señala el ángulo de desfase en grados eléctricos entre la tensión del devanado primario y la del secundario (1 equivale a  $30^\circ$ ).
4. Si aparece una tercera letra (N o n), indica que el devanado en estrella (Y o y) dispone de un punto neutro accesible.

Ejemplo: Dyn5

D: Representa la conexión del devanado de mayor tensión en configuración delta (triángulo).

y: Denota la conexión del devanado de menor tensión en configuración estrella.

n: Señala que la conexión en estrella incluye un punto neutro accesible.

5: Indica un desfase de  $150^\circ$  entre las tensiones primaria y secundaria, calculado como  $5 \times 30^\circ$ .

#### 4.8 Índice horario

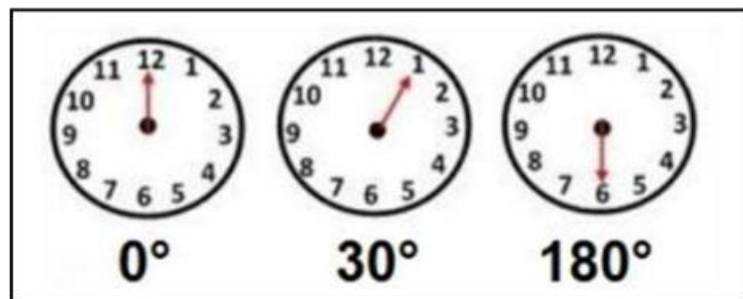
El índice horario corresponde al ángulo de desfase entre los vectores de las fuerzas electromotrices (tensiones) del devanado primario y el secundario de un transformador cuando este opera sin carga.

En términos simples, se trata de la diferencia angular, medida en grados, entre la tensión del primario y la del secundario.

Este concepto recibe el nombre de índice horario porque el desfase se representa utilizando la disposición de las horas en un reloj, donde cada hora, partiendo de las 12 en punto, equivale a un ángulo de  $30^\circ$ .

#### Figura 18

*Ilustración índice horario.*



*Nota.* Ilustración índice horario. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetrón S.A.S., s.f.)

## **4.9 Inspección y pruebas**

### **4.10 Inspección**

Antes de proceder con las pruebas del sistema de transformación, es indispensable realizar las siguientes verificaciones:

1. Elimine cualquier residuo de polvo, suciedad o materiales extraños que puedan estar adheridos al equipo.
2. Inspeccione que los accesorios fijados al sistema de transformación estén en óptimas condiciones y correctamente asegurados.
3. Verifique que el sistema de transformación no presente daños físicos, como golpes, que puedan comprometer su funcionamiento.
4. Asegúrese de que las conexiones de media tensión estén en su lugar y no muestren señales de daños.
5. Confirme que los datos de la placa de especificaciones técnicas coincidan con las especificaciones requeridas, tales como potencia, voltajes entre otros.
6. Inspeccione que el conmutador de derivaciones esté correctamente ajustado y posicionado según lo indicado.
7. Verifique que el punto neutro en baja tensión esté debidamente conectado a tierra.
8. Asegúrese de que todos los componentes estén completos y en perfecto estado.
9. Fije el transformador de manera segura a la base.
10. Se recomienda colocar el sistema de transformación sobre amortiguadores o resortes para mitigar las vibraciones generadas durante su operación.

Asegúrese de que se mantengan las distancias mínimas de seguridad en el sistema de transformación.

- a) El cumplimiento de las distancias mínimas no solo disminuye el nivel de ruido generado por el sistema de transformación, sino que también facilita su mantenimiento, limpieza e inspección.
- b) Además, asegúrese de que el lugar esté adecuadamente ventilado para prevenir el sobrecalentamiento del equipo.

#### **4.11 Pruebas**

Para garantizar el correcto desempeño del sistema de transformación, es indispensable llevar a cabo una serie de pruebas que permita la disponibilidad y confiabilidad en la operación del sistema.

##### **4.11.1 Prueba de relación de transformación (TTR)**

Esta prueba permite determinar la relación de voltajes o el número de espiras entre dos o más devanados del sistema de transformación. Además, permite detectar:

- a) El tipo de grupo de conexión.
- b) Posibles cortocircuitos entre espiras o capas.
- c) Daños ocasionados por terminales abiertos o reventados.
- d) Deficiencias o fallas en el conmutador.
- e) Conexiones incorrectas o invertidas.

Dependiendo del instrumento empleado, el procedimiento puede realizarse de la siguiente manera:

#### **4.11.1.1 Equipo TTR analógico o de manivela**

Este tipo de equipo compara la relación del sistema de transformación bajo prueba con un transformador de referencia interno, el cual cuenta con una relación ajustable en pequeños incrementos.

Para efectuar la medición, se aplica tensión conectando en paralelo los devanados de media tensión del sistema de transformación bajo prueba con el equipo TTR analógico o de manivela. Simultáneamente, los devanados de baja tensión se conectan en paralelo a un detector sensible. El objetivo es ajustar la relación de transformación del equipo TTR analógico o de manivela hasta que el detector indique un valor de cero (0). Una vez logrado, la relación de transformación del equipo TTR analógico o de manivela corresponderá a la relación de transformación del sistema de transformación bajo prueba.

Este procedimiento debe realizarse para todas las posiciones del conmutador y en cada una de las fases en caso de que se trate de un transformador trifásico.

**Figura 19**

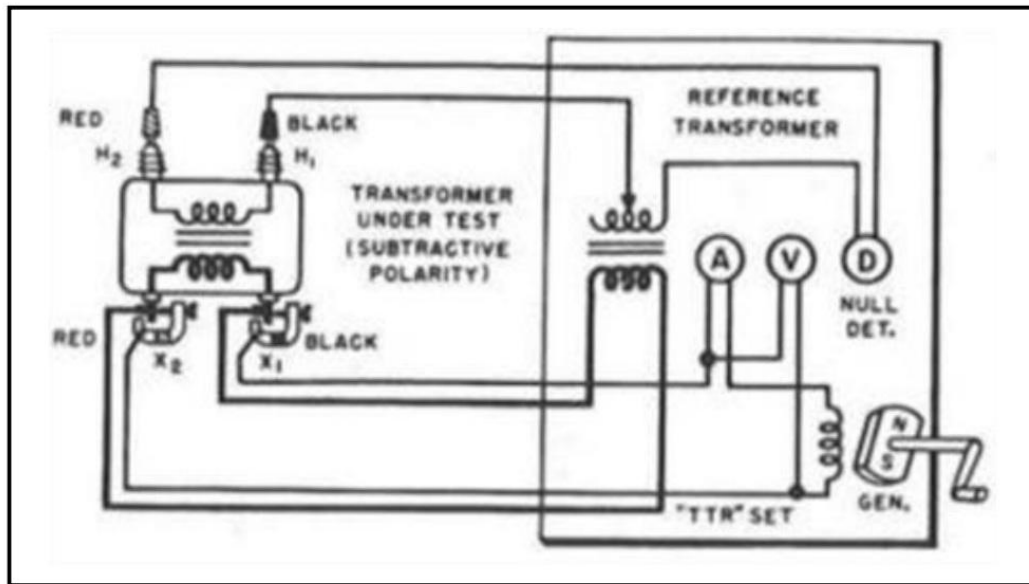
*Equipo TTR análogo o de manivela.*



*Nota.* Equipo TTR análogo o de manivela. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetrón S.A.S., s.f.)

**Figura 20**

*Conexión del equipo TTR análogo o de manivela al sistema de transformación bajo prueba.*



*Nota.* Conexión del equipo TTR análogo o de manivela al sistema de transformación bajo prueba. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

#### 4.11.1.2 Equipo TTR digital

Este instrumento funciona aplicando un voltaje ajustable a los terminales de media tensión (MT) del sistema de transformación bajo prueba, mientras mide simultáneamente el voltaje de salida correspondiente en los terminales de baja tensión (BT). Al dividir estos valores de tensión, se obtiene la relación de transformación del sistema bajo prueba.

Para llevar a cabo la medición, los terminales de media tensión (MT) y baja tensión (BT) del equipo TTR digital se conectan a los terminales correspondientes del sistema de transformación bajo prueba, respetando la identificación de las fases. Es necesario configurar el equipo TTR digital

según el grupo de conexión del sistema de transformación y la tensión de prueba a aplicar. Por norma general, se emplea un voltaje estándar de 8 [V] para estas pruebas.

#### 4.11.1.3 Cálculo de la relación de transformación

Este cálculo se lleva a cabo considerando el grupo de conexión del sistema de transformación o su polaridad correspondiente:

**Tabla 3**

*Formulas para hallar la relación de transformación*

Fases	Tipo de Conexión	Formula
3	Dd - Yy	$RT = \frac{\text{Voltaje AT}}{\text{Voltaje BT}}$
	Dy	$RT = \frac{\text{Voltaje AT} (L - L)}{\text{Voltaje BT} (L - L) / \sqrt{3}}$
	Yd	$RT = \frac{\text{Voltaje AT} (L - L) / \sqrt{3}}{\text{Voltaje BT} (L - L)}$

*Nota.* Esta tabla muestra las fórmulas para hallar la relación de transformación en sistemas trifásicos.

#### 4.11.2 Prueba de resistencia en los devanados de media y baja tensión

Esta prueba tiene como finalidad confirmar que las conexiones internas del sistema de transformación están en buen estado, es decir, que no presentan interrupciones ni están flojas.

1. Utilizando un óhmetro (o multímetro), mida las conexiones de los terminales de media tensión del sistema de transformación. Realice las mediciones entre los siguientes pares de terminales:
  - Para sistemas de transformación trifásicos: U-V, U-W, V-W o H1-H2, H1-H3, H2-H3.

Una vez que la lectura del instrumento se estabilice, compare los valores obtenidos con los indicados en el certificado de pruebas del equipo. Es importante que las diferencias entre los valores medidos y los de referencia no superen el rango de  $\pm 5\%$ .

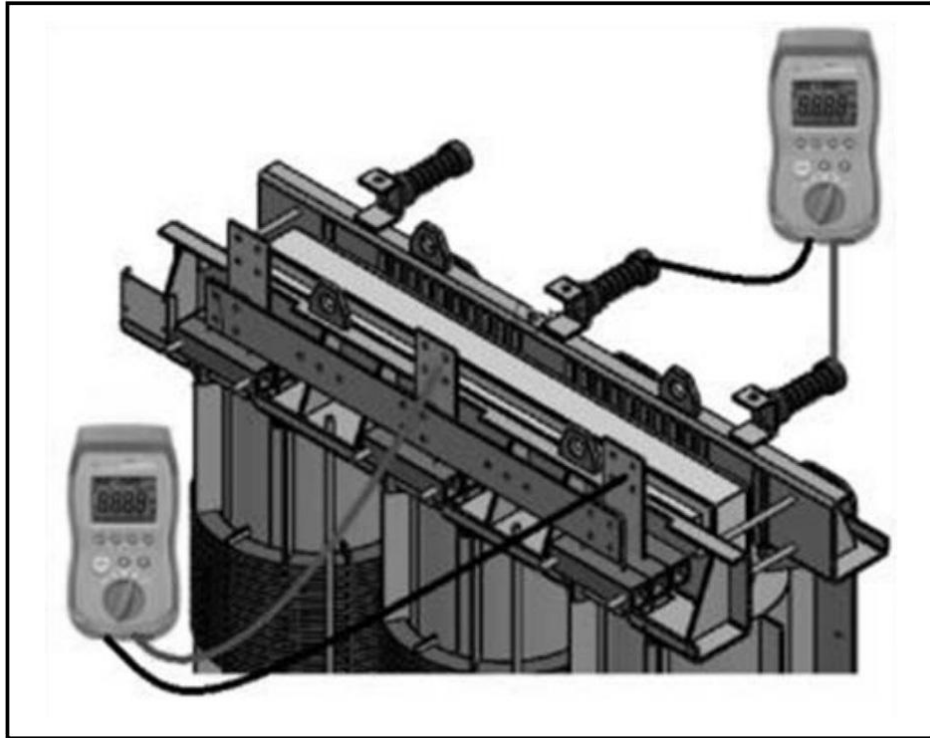
2. Proceda a verificar las conexiones en los terminales de baja tensión del sistema de transformación, midiendo entre los pares siguientes:

Para sistemas de transformación trifásicos: x-y, x-z, y-z o x1-x2, x1-x3, x2-x3.

Al igual que en el caso de media tensión, compare las lecturas estabilizadas con las especificaciones del certificado de pruebas. No se debe exceder una variación de  $\pm 5\%$  respecto a los valores de referencia.

**Figura 21**

*Medición de la resistencia en los devanados de media y baja tensión.*



*Nota.* Medición de la resistencia en los devanados de media y baja tensión. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

Si al finalizar las pruebas se presentan las siguientes situaciones, es probable que el sistema de transformación haya sufrido un daño interno:

1. Al verificar el devanado de media tensión (MT), alguno de los valores medidos es aproximadamente el doble o la mitad de lo especificado en el certificado de pruebas (ver figura 21)

2. Al realizar la medición del devanado de media tensión MT, el instrumento no reporta ningún valor.
3. Al medir el devanado de baja tensión (BT), se observa que alguno de los valores obtenidos es aproximadamente el doble o la mitad de lo indicado en el certificado de pruebas, o bien, el equipo de medición no registra ningún resultado (ver figura 22).

**Figura 22**

*Ejemplos de medición de la resistencia en los devanados de media tensión.*

Resultados consignados en el certificado de pruebas para la posición 2 del conmutador de derivaciones ( $\Omega$ )			
U-V	V-W	W-U	
29.9	29.8	30.0	

Mediciones ( $\Omega$ )			
Posiciones conmutador	U-V	V-W	W-U
1	30.5	30.4	30.6
2	30.3	30.1	30.2
3	29.8	29.6	29.7
4	29.5	29.3	29.4
5	29.1	29.0	29.2

Mediciones ( $\Omega$ )			
Posiciones conmutador	U-V	V-W	W-U
1	30.5	61.0	30.6
2	30.3	60.1	30.2
3	29.8	29.6	29.7
4	29.5	29.3	29.4
5	29.1	29.0	29.2

Mediciones ( $\Omega$ )			
Posiciones conmutador	U-V	V-W	W-U
1	30.5	30.4	30.6
2	1.	30.1	30.2
3	29.8	29.6	29.7
4	29.5	29.3	29.4
5	29.1	29.0	29.2

*Nota.* Ejemplos de medición de la resistencia en los devanados de media tensión. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetrón S.A.S., s.f.)

**Figura 23**

*Ejemplos de medición de la resistencia en los devanados de baja tensión.*

Resultados consignados en el certificado de pruebas para BT			
U-V	V-W	W-U	
2.31	2.30	2.31	
Valores medidos en campo			
U-V	V-W	W-U	✓
2.34	2.33	2.33	
U-V	V-W	W-U	✗
4.70	2.33	2.33	
U-V	V-W	W-U	✗
2.34	1.	2.33	

*Nota.* Ejemplos de medición de la resistencia en los devanados de baja tensión. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

#### 4.11.3 Condición del estado de los aislamientos

Esta prueba tiene como propósito evaluar las condiciones de los aislamientos, principalmente en términos de posibles contaminantes como humedad o partículas metálicas.

1. Instrumentación recomendada: Emplee un medidor de resistencia (megger) con una capacidad de 5 [kV] y un rango mínimo de medición de 50 [MΩ]. Asegúrese de utilizar el mismo nivel de tensión aplicado durante la prueba de fábrica para reducir posibles variaciones en los resultados.

2. Procedimiento para seguir

- a) En sistemas de transformación trifásicos, realice el cortocircuito de los terminales de media tensión (MT) (U-V-W o H1-H2-H3) y en los terminales de baja tensión (BT) (Pn-x-y-z o x1-x2-x3).
- b) Aplique la tensión de prueba adecuada según la clase de aislamiento del devanado bajo prueba.

**Tabla 4**

*Tensión de prueba según la clase de aislamiento del devanado*

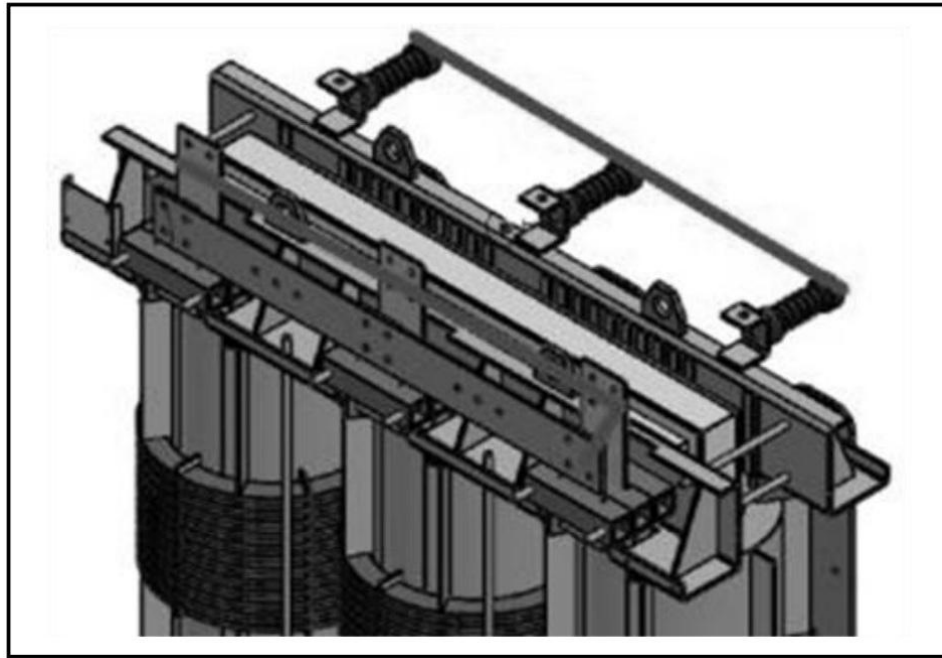
Clase [kV]	Voltaje DC [kV]
$\leq 1.2$	1
$> 1.2$	5

*Nota.* Esta tabla muestra la tensión de prueba que debe ser aplicada según la clase de aislamiento del devanado.

- c) Mantenga cada medición durante un tiempo de un minuto para cada caso (MT frente a BT, MT frente a T, y BT frente a T).

**Figura 24**

*Cortocircuito de terminales por MT y BT.*



*Nota.* Cortocircuito de terminales por MT y BT. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

3. Configuración de las conexiones para las mediciones
  - a) Media tensión - Baja tensión: Conecte el cable positivo (+) al terminal de media tensión y el cable negativo (-) al terminal de baja tensión; el cable de protección irá conectado a tierra.
  - b) Media tensión - Tierra: Coloque el cable positivo (+) en el terminal de media tensión y el cable negativo (-) en el terminal de la tierra; el cable de protección se conectará al terminal de baja tensión.

- c) Baja tensión - Tierra: Conecte el cable positivo (+) al terminal de baja tensión y el cable negativo (-) al terminal de la tierra; el cable de protección irá al terminal de media tensión.

Este procedimiento garantiza una evaluación adecuada de los aislamientos, permitiendo identificar cualquier posible deterioro o contaminación que pueda comprometer el funcionamiento seguro del equipo.

#### 4.11.4 Análisis de resultados

En esta prueba, no se observa una relación directa entre la potencia nominal, el nivel de tensión del sistema de transformación y los valores de resistencia de aislamiento. Para determinar si las mediciones obtenidas en el lugar de instalación cumplen con los estándares, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

1. Utilice la fórmula empírica de James Biddle para estimar el valor mínimo aceptable de la resistencia de aislamiento.

$$R = \frac{CE}{\sqrt{kVA}}$$

Donde,

R = Resistencia a 20°C del aislamiento medido en 1 min

C = Constante para medidas a 20°C

C = 30 para transformadores secos

kVA = Potencia nominal

E = Tensión nominal en voltios del devanado bajo prueba

2. En ausencia de recomendaciones específicas del fabricante, siga los valores orientativos proporcionados por la norma ANSI C.57.94.

**Tabla 5**

*Norma ANSI C.57.94*

<b>Winding [kV] Class</b>	<b>Insulation Resistance [MΩ]</b>
1.2	600
2.5	1000
5.0	1500
8.7	2000
15.0	3000

*Nota.* Esta tabla muestra los valores de referencia según la clase del sistema de transformación.

Ajustar los resultados de las pruebas considerando las correcciones necesarias por temperatura.

**Tabla 6**

*Modos de falla en un sistema de transformación*

Ítem	Acciones que se deben implementar	Novedad detectada			
1	Conectar el sistema de transformación a la red de media tensión (MT).	☑			☑
2	Verificar el estado general de los dispositivos de protección contra sobretensiones (pararrayos).	☑			
3	Confirmar las especificaciones técnicas de los pararrayos instalados.	☑			
4	Energizar el sistema de transformación asegurándose de que no haya carga conectada.	☑	☑		
5	Inspeccionar el estado físico y funcional de los fusibles.		☑		
6	Verificar que los fusibles instalados correspondan al amperaje adecuado.		☑		
7	Comprobar que el sistema de transformación esté correctamente aterrizado.		☑	☑	
8	Asegurar un aterrizaje adecuado del neutro (Pn).			☑	
9	Revisar que las conexiones del cableado estén correctamente ajustadas.			☑	☑
10	Limpiar las conexiones y monitorear si persisten problemas.				
11	Confirmar el torque correcto en los ajustes externos.				
12	Medir el voltaje de entrada para asegurar que sea el esperado.				☑
13	Realizar una segunda verificación del voltaje de entrada como medida de seguridad.		☑		
14	Garantizar que el conmutador esté adecuadamente fijado.				☑
15	Llevar a cabo pruebas funcionales en el sistema de transformación.	☑			☑
		Expulsa cañuelas.	Fusibles fundidos.	Variación de voltaje entre fases en baja tensión (BT).	Ausencia de voltaje en baja tensión (BT).

*Nota.* Esta tabla muestra los modos de falla más comunes en un sistema de transformación.

**Tabla 7**

*Pruebas que se deben realizar en un sistema de transformación*

Ítem	Acciones que se deben implementar	Novedad detectada				
1	Verificar las condiciones del equipo de medición y de los conductores.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
2	Comprobar que el conmutador esté correctamente enclavado y ajustado.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
3	Confirmar que las conexiones del equipo TTR al sistema de transformación estén configuradas según el grupo de conexión correspondiente.	<input checked="" type="checkbox"/>				
4	Confirmar que el equipo de medición esté configurado dentro del rango de operación.		<input checked="" type="checkbox"/>			
5	Realizar una limpieza exhaustiva de los terminales de media y baja tensión.			<input checked="" type="checkbox"/>		
6	Considerar el valor de la temperatura durante la prueba.			<input checked="" type="checkbox"/>		
7	Ajustar los resultados de la prueba en función de la temperatura medida.			<input checked="" type="checkbox"/>		
8	Verificar que el neutro esté desconectado de la conexión a tierra.				<input checked="" type="checkbox"/>	
9	En el caso de contar con una pantalla electrostática, asegurar que no se encuentre conectada a tierra.				<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Tensión de entrada.					<input checked="" type="checkbox"/>
11	Configuración del núcleo y las bridas.					<input checked="" type="checkbox"/>
12	Fijación del transformador al suelo.					<input checked="" type="checkbox"/>
13	Espaciado mínimo respecto a superficies reflectantes.					<input checked="" type="checkbox"/>
14	Conexiones flexibles, especialmente en el lado de baja tensión.					<input checked="" type="checkbox"/>
		Falta de coincidencia en la relación de transformación.	Ausencia de valores de resistencia en los devanados de media tensión.	Resistencias de aislamiento con valores demasiado bajos.	Presencia de cortocircuitos en la resistencia del aislamiento.	Oscilaciones o ruido.

*Nota.* Esta tabla muestra las pruebas que se deben realizar en un sistema de transformación y los problemas que se pueden identificar con cada prueba.

**Tabla 8***Afectaciones a la operación en un sistema de transformación*

Ítem	Afectaciones	Causas	Inspecciones y medidas necesarias
1	Incremento de temperatura en los devanados.	Sobrecargas recurrentes debido a conexiones externas inadecuadas, insuficiente ventilación, temperaturas ambientales altas, ventiladores defectuosos o mal orientados, y una alta concentración de amoníaco.	Especificaciones nominales. Sistema de ventilación. Conexiones.
2	Disminución del nivel de tensión.	Falta de conexión en el circuito primario.	Conexiones.
3	Exceso de tensión en el circuito secundario.	Exceso de tensión de alimentación provocado por una conexión primaria inadecuada.	Especificaciones nominales.
4	Desbalance en las tensiones secundarias.	Sobrecarga ocasionada por conexiones realizadas en puntos diferentes de las bobinas.	Especificaciones nominales.
5	Deterioro o fallo del sistema de aislamiento.	Sobrecargas continuas generadas por acumulación de suciedad en las bobinas, daños mecánicos debido a desplazamientos, y picos de tensión en la línea.	Especificaciones nominales. Limpieza. Movimiento y estabilidad. Protección contra sobretensiones.
6	Activación de fusibles o disparo de interruptores.	Fusibles o interruptores que no se abren a tiempo, cortocircuitos y sobrecargas.	Especificaciones nominales. Protección contra sobretensiones.
7	Sobrecalentamiento en los conductores eléctricos.	Conexiones mal ajustadas o uso de cables con una sección transversal inadecuada.	Conexiones. Sistema de ventilación.

*Nota.* Esta tabla muestra las afectaciones a la operación en un sistema de transformación, sus causas y las medidas que se deben implementar.

**Tabla 9***Afectaciones sobre el núcleo magnético de un sistema de transformación*

Ítem	Núcleo magnético	Causas	Inspecciones y medidas necesarias
1	Oscilaciones o ruido.	Frecuencia de alimentación reducida o tensión elevada; fijaciones sueltas debido al transporte o movimiento; conexiones incorrectas en los terminales; montaje en suelos elevados o en proximidad a paredes y uso de conductores rígidos.	Especificaciones nominales. Conexiones mecánicas. Factores que incrementan el ruido.
2	Sobrecalentamiento.	Presencia de alta tensión en la entrada; carga inapropiada; generación de armónicos; acumulación de suciedad en el núcleo.	Especificaciones nominales. Mantenimiento.
3	Corriente en vacío elevada.	Frecuencia de entrada reducida; tensión elevada en la alimentación.	Especificaciones nominales.

*Nota.* Esta tabla muestra las afectaciones sobre el núcleo magnético de un sistema de transformación, sus causas y las medidas que se deben implementar.

**Tabla 10**

*Afectaciones sobre el material dieléctrico de un sistema de transformación*

Ítem	Materiales dieléctricos	Causas	Inspecciones y medidas necesarias
1	Presencia de humo.	Durante la primera puesta en servicio del sistema de transformación, es posible que el barniz en exceso se queme, generando humo. Esto generalmente no representa un inconveniente; sin embargo, si el humo persiste, podría indicar un daño en el aislamiento.	
2	Deterioro del aislamiento.	La presencia de impulsos de tensión en la línea, junto con una acumulación excesiva de suciedad y polvo en las bobinas, pueden afectar su funcionamiento.	Sobretensiones. Mantenimiento.
3	Sobrecalentamiento.	La obstrucción de los canales de ventilación o una circulación de aire inadecuada también pueden generar problemas operativos.	Ventilación.

*Nota.* Esta tabla muestra las afectaciones sobre el material dieléctrico de un sistema de transformación, sus causas y las medidas que se deben implementar.

#### 4.11.5 Torques de ajuste

Los ajustes realizados en los accesorios externos del sistema de transformación deben llevarse a cabo siguiendo las especificaciones proporcionadas por los fabricantes, especialmente en lo que respecta a los valores de torque recomendados. A continuación, se destacan los ajustes más importantes:

#### 4.11.6 Tornillos y elementos de fijación en general

**Figura 25**

*Torques sugeridos.*

<b>T o r q u e (lbf * ft)</b>						
<b>Hierro</b>				<b>Acero inoxidable</b>		
<b>Diámetro</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 5</b>	<b>Grado 8</b>	<b>Diámetro</b>	<b>A304</b>	<b>A316</b>
1/4	5,5	8	12	1/4	6	7
5/16	11	17	25	5/16	11	12
3/8	20	31	44	3/8	20	21
7/16	32	49	70	7/16	31	33
1/2	49	75	107	1/2	43	45
9/16	70	109	154	9/16	56	59
5/8	97	150	212	5/8	92	96
3/4	173	266	376	3/4	127	131
7/8	166	429	606	7/8	194	202
1	250	644	909	1	286	299
1-1/8	354	794	1287	1-1/8	413	432
1-1/4	500	1120	1875	1-1/4	523	546
1-3/8	655	1469	2382	1-1/2	888	930
1-1/2	870	1950	3161			

*Nota.* Torques sugeridos. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S., s.f.)

**Figura 26***Torques sugeridos.*

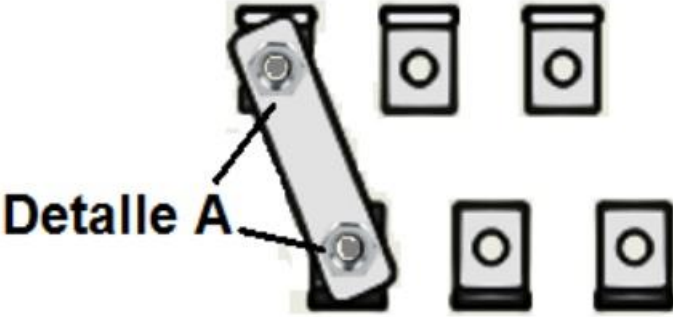
<b>T o r q u e (lbf * ft)</b>				
latón / Bronce			Aluminio 2024 -T4	
Diámetro	Latón	Bronce	Diámetro	2024 -T4
1/4	5	6	1/4	4
5/16	9	10	5/16	7
3/8	16	18	3/8	12
7/16	26	29	7/16	19
1/2	35	40	1/2	26
9/16	47	53	9/16	34
5/8	76	86	5/8	60
3/4	104	118	3/4	82
7/8	159	178	7/8	124
1	235	265	1	184
1-1/8	337	383	1-1/8	265
1-1/4	428	485	1-1/4	336
1-1/2	727	822	1-1/2	570

*Nota.* Torques sugeridos. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetrón S.A.S., s.f.)

**4.11.7 Conmutador de derivaciones****Figura 27**

*Ajustes sugeridos.*

Detalle	Descripción	Torque (lb-ft)	
		Inoxidable	Bronce
A	Ajuste tornillo 3/8"	20	18

The diagram shows a mechanical component, likely a switch contact, with a callout 'Detalle A' pointing to a screw. Four screws are shown separately to the right, representing the recommended torque values for different materials.

*Nota.* Ajustes sugeridos. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetrón S.A.S., s.f.)

#### 4.11.8 Aisladores de resina epóxica

**Figura 28**

*Ajustes sugeridos.*

Detalle	Descripción	Torque (lb-ft)	
		Inoxidable	Bronce
A	Ajuste tornillo 3/8"	20	18
B	Ajuste tornillo 1/4"	6	6
C	Ajuste tornillo 5/8"	92	86

The diagram shows a black epoxy resin insulator with three screws. Callout 'Detalle B' points to the bottom screw, 'Detalle A' points to the middle screw, and 'Detalle C' points to the top screw.

*Nota.* Ajustes sugeridos. Tomado de (Industrias Electromecánicas Magnetrón S.A.S., s.f.)

#### **4.11.9 Frecuencia para el mantenimiento preventivo**

#### **4.11.10 Criterios de mantenimiento preventivo**

La continuidad y confiabilidad del servicio proporcionado por un transformador dependen directamente de una supervisión meticulosa y de un adecuado programa de mantenimiento. Estas actividades de mantenimiento y monitoreo deben realizarse con el equipo desenergizado y correctamente conectado a tierra.

El procedimiento incluye pruebas eléctricas y dieléctricas realizadas por personal altamente capacitado con amplia experiencia en trabajos de campo. Dichas pruebas se ejecutan de manera programada o en respuesta a situaciones específicas, con el objetivo de evaluar el estado del equipo. Esto permite determinar si su condición es la esperada, si presenta un deterioro superior al normal o si existen indicios que sugieran una posible falla inminente.

El propósito de estas pruebas es:

- Confirmar que los equipos estén en buen estado.
- Verificar periódicamente su funcionamiento adecuado.
- Identificar la magnitud y naturaleza de los daños después de un evento no planificado.
- Garantizar la calidad del trabajo de reparación realizado en campo.

Como resultado de las pruebas, se elabora un informe de diagnóstico detallado que incluye recomendaciones claras para apoyar la toma de decisiones informadas y efectivas.

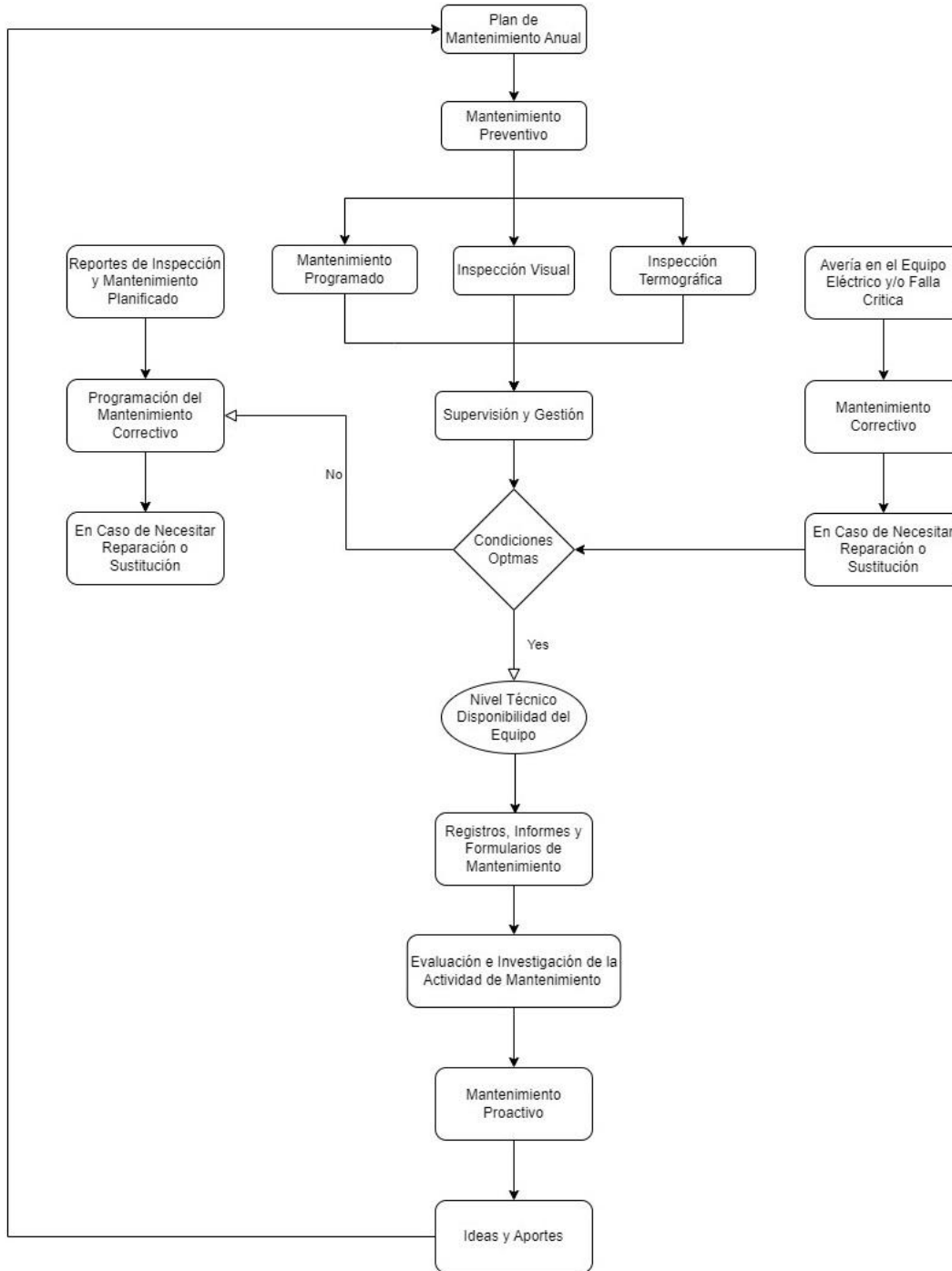
**Tabla 11***Frecuencia para adelantar el plan de mantenimiento preventivo*

<b>Ítem</b>	<b>Accesorios</b>	<b>Periodicidad</b>
1	Sistema de puesta a tierra	12 meses
2	Aisladores para media tensión (MT)	
3	Conmutador de derivaciones operable sin carga	
4	Devanado primario	
5	Devanado secundario	
6	Encapsulamientos o protecciones	
7	Barraje de baja tensión	
8	Núcleo magnético	
9	Orejas para levantar o maniobrar el equipo	
10	Placa de especificaciones técnicas	
11	Sensor de temperatura (termómetro o termosonda)	
12	Brida de conexión	
13	Argolla para transporte o desplazamiento	
14	Ruedas móviles o giratorias	

*Nota.* Esta tabla muestra los accesorios del sistema de transformación y la periodicidad con la cual deben ser intervenidos.

**Figura 29**

*Diagrama de flujo para el plan de mantenimiento preventivo.*



*Nota.* Esta es una imagen de elaboración propia.

## 5. Conclusiones

- Se definió un marco integral que abarca los fundamentos técnicos y regulatorios relacionados con los sistemas de transformación. Este análisis permitió contextualizar la importancia de estos sistemas en el ámbito eléctrico y garantizar su cumplimiento con las normativas vigentes, promoviendo una operación segura y eficiente.
- Se elaboró un documento técnico que detalla las características esenciales del sistema de transformación y los parámetros críticos que deben considerarse para garantizar la seguridad industrial durante las labores de mantenimiento preventivo. Este enfoque asegura que las actividades se desarrollen minimizando riesgos para el personal y el sistema de transformación.
- Se diseñó un plan de mantenimiento preventivo estructurado en etapas claramente definidas, acompañadas de su respectiva frecuencia de ejecución. Esta formulación garantiza una operación continua y confiable del sistema de transformación, optimizando recursos y reduciendo la probabilidad de fallas y sus defectos.

### Referencias bibliográficas

Alcorta-García, E., Elizondo-González, C., Pérez-Rojas, C., & Avalos-González, A. (2006). Detección de Fallas en Transformadores Eléctricos.

Elías Castells, X. (2012). TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS. In Reciclaje de residuos industriales: Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Editorial Díaz de Santos, S.A.

Enríquez Harper, G. (2015). EL LIBRO PRACTICO DE LOS GENERADORES, TRANSFORMADORES Y MOTORES ELECTRICOS. Limusa.

Guerrero Pérez, R., & Melero Ávila, V. (2012). Montaje y mantenimiento de transformadores (1st ed.). IC Editorial.

Henao, J. D. Z., Fernández, A. C., & Gómez, D. F. G. (2020). Técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia: Una revisión crítica. *Ingeniare: Revista Chilena de ingeniería*, 28(2), 184–203. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200184>

Hernández Lipez, A. M., Martínez Lamus, N. C., & Vargas Torres, H. R. (2008). SISTEMA DE PRUEBAS EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA [recurso electrónico]. UIS.

Kosow, I. L. (2021). Máquinas eléctricas y transformadores. Reverté.

Núñez Mata, Ó., Gómez-Ramírez, G. A., Acuña Rojas, F., & González Solís, C. (2023). Metodología para Evaluar la Condición de Transformadores Eléctricos de Potencia Basada en un Índice de Salud. *Ingeniería*, 33(1), 48–65. <https://doi.org/10.15517/ri.v33i1.50613>

Pérez Hernández, R. (2012). Análisis de falla en un transformador de potencia. *ingeniería energética*, 33(1), 59–68. [https://uids-primo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/fulldisplay?docid=TN\\_cdi\\_dialnet\\_primary\\_oai\\_dialnet\\_unirioja\\_es\\_ART0000459486&context=PC&vid=UIDS&lang=es\\_CO&search\\_scope=uids\\_completo&adaptor=primo\\_central\\_multiple\\_fe&tab=uids\\_tab&query=any,contains,mantenimiento%20preventivo%20transformadores&offset=0](https://uids-primo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/fulldisplay?docid=TN_cdi_dialnet_primary_oai_dialnet_unirioja_es_ART0000459486&context=PC&vid=UIDS&lang=es_CO&search_scope=uids_completo&adaptor=primo_central_multiple_fe&tab=uids_tab&query=any,contains,mantenimiento%20preventivo%20transformadores&offset=0)

Pérez Londoño, S. M., & López Quintero, J. G. (2018). Transformadores eléctricos.

Ras Oliva, E. (1978). TRANSFORMADORES DE POTENCIA, DE MEDIDA Y DE PROTECCION (4ed.). Marcombo.

Reglamento técnico de instalaciones eléctricas - RETIE. (s/f). Gov.Co. Recuperado el 28 de enero de 2025, de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/>

Solano Martínez, J. E., & Plata Cordero, J. G. (2005). MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA [recurso electrónico]. UIS.

Suarez Espinosa, A. M., Alba Cárdenas, A., & Amaya Palacio, J. A. (2008). PROPUESTA PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE TRANSFORMADORES DE MEDIA TENSION Y ELABORACION DE UN INSTRUCTIVO TECNICO [recurso electrónico]. UIS.

Zorrilla Henao, J. D., Céspedes Fernández, A., & García Gómez, D. F. (2020). Técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia: Una revisión crítica. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 184-203.