



**Diseño e implementación de un plan de mantenimiento de instalaciones eléctricas
industriales**

Jorge Mario Lugo Mesa

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Electricista

Asesor

Nelson de Jesús Londoño Ospina, (PhD) en Ingeniería Electrónica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Eléctrica
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Cita	Lugo Mesa [1]
Referencia	[1] J. M. Lugo Mesa, “Diseño e implementación de un plan de mantenimiento de instalaciones eléctricas industriales”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2023.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Facultad de Ingeniería. CENDOI.

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noé Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mis padres y hermanos, quienes de alguna manera estuvieron siempre apoyándome durante este proceso, estuvieron siempre pendiente de mis progresos académicos y me brindaron todo su apoyo, también a todos mis profesores y compañeros, que día a día me ayudaron a crecer y seguir avanzando.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a mi familia, quienes con todo su apoyo y amor hicieron posible que se cumpliera este sueño, a todos mis profesores que con vocación impartieron en mi un poco de su conocimiento para ayudarme a crecer, a todos mis compañeros y compañeras que me crucé en el camino, con los cuales compartí alegrías y tristezas, estos que me motivaron a seguir y nunca rendirme.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	11
A. Objetivo general	11
B. Objetivos específicos	11
III. MARCO TEÓRICO	12
IV. METODOLOGÍA	16
V. RESULTADOS Y ANALISIS	17
VII. CONCLUSIONES	31
REFERENCIAS	32

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 AMFE SISTEMA SOLAR	19
TABLA 2 INFORMACION GENERAL Y DATOS DE PLACA TRANSFORMADOR DE 150 KVA	23
TABLA 3 VALORES OBTENIDOS DE LAS VARIABLES ELECTRICAS TRAF0 150 KVA	24
TABLA 4 VALORES DE AISLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR Y SU VALORCION	24
TABLA 5 INFORMACION GENERAL Y DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR DE 50 KVA	25
TABLA 6 VALORES OBTENIDOS DE LAS VARIABLES ELECTRICAS TRAF0 50 KVA	25
TABLA 7 INFORMACION DEL ANALISIS TERMOGRAFICO TRANSFORMADOR 150 KVA	28
TABLA 8 INFORMACION DEL ANALISIS TERMOGRAFICO TRANSFORMADOR 150 KVA	29

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Paneles solares	17
Fig. 2. Diagrama unifilar	18
Fig. 3. Limpieza de módulos solares.....	20
Fig. 4. Chequeo de variables eléctricas	20
Fig. 5. Panel solar quebrado	21
Fig. 6. Conector de cable solar suelto	21
Fig. 7. Datos de placa transformador 150 kVA.....	23
Fig. 8. Datos de placa transformador de 50 kVA.....	25
Fig. 9. Transformador de 150 kVA antes y después del mantenimiento	26
Fig. 10. Transformador de 50 kVA antes y después del mantenimiento	26
Fig. 11. Análisis termográfico transformador 150 kVA, a) Cableado, b) Devanados, c) Conexiones, d) Soportes.....	28
Fig. 12. Análisis termográfico transformador 50 kVA, a) Transformador, b) Conexiones.	29

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

RCM	Reliability Centred Maintenance
AMFE	Análisis modal de fallos y efectos
PV	Photo Voltaic
NTC	Norma Técnica Colombiana
kVA	Kilo Voltio Amperio
V	Voltios

RESUMEN

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es una metodología utilizada para gestionar el mantenimiento de instalaciones eléctricas industriales, esta metodología busca determinar las actividades de mantenimiento necesarias para que los activos fijos sigan realizando las funciones para las que fueron construidos, considerando la seguridad de las personas y la integridad del medio ambiente. El proceso de RCM involucra la identificación de cuáles son las funciones que debe realizar un activo fijo bajo las condiciones particulares en que opera. La aplicación del proceso de RCM involucra el análisis de causas de los estados de falla y sus efectos, estableciendo una actividad de mantenimiento que elimine o reduzca los efectos de las fallas a un valor aceptable. Dichas tareas de mantenimiento deben ser técnicamente factibles de realizarse y su ejecución debe resolver adecuadamente las consecuencias que se pretende prevenir.

En este trabajo se muestra el mantenimiento realizado a instalaciones eléctricas industriales basado en la técnica RCM, se muestra las actividades realizadas a cada una de las instalaciones eléctricas intervenidas, Con este plan de mantenimiento se pretende disminuir el número de reparaciones y fallas imprevistas, así como también alargar la vida útil de los equipos y poder lograr de esta manera la satisfacción de los clientes y mantener la calidad del producto en todo momento.

***Palabras clave* — Mantenimiento eléctrico, Mantenimiento correctivo, Mantenimiento preventivo, Mantenimiento predictivo, RCM.**

ABSTRACT

Reliability Centered Maintenance (RCM) is a methodology used to manage the maintenance of industrial electrical installations, this methodology seeks to determine the maintenance activities necessary for fixed assets to continue performing the functions for which they were built, considering the safety of people and the integrity of the environment. The RCM process involves identifying what functions a fixed asset must perform under the particular conditions in which it operates. The application of the RCM process involves the analysis of causes of failure states and their effects, establishing a maintenance activity that eliminates or reduces the effects of failures to an acceptable value. Such maintenance tasks must be technically feasible to perform and their execution must adequately address the consequences to be prevented.

This work shows the maintenance performed to industrial electrical installations based on the RCM technique, shows the maintenance activities carried out to each of the electrical installations intervened, With this maintenance plan it is intended to reduce the number of repairs and unforeseen failures, as well as extend the useful life of the equipment and thus be able to achieve customer satisfaction and maintain the quality of the product in all the time.

***Keywords* — Electrical Maintenance, Corrective Maintenance, Preventive Maintenance, Predictive Maintenance, RCM.**

I. INTRODUCCIÓN

La continuidad del servicio eléctrico es una necesidad primordial pues todas las actividades tanto en el comercio, en la industria y en el hogar dependen de la energía eléctrica y es necesario, por tanto, mantener un servicio de electricidad constante. La interrupción del servicio puede ocasionar cuantiosas pérdidas económicas pues se interrumpe las actividades destinadas a producir bienes y servicios, pudiendo llegar a un escenario crítico de manera directamente proporcional al tiempo que dure dicha paralización. A fin de lograr un servicio óptimo resulta necesario que todo el sistema eléctrico se encuentre en buenas condiciones para su funcionamiento, lo cual se consigue con un buen mantenimiento preventivo-correctivo. El mantenimiento preventivo permite de manera programada mantener en buen estado y funcionando un sistema. Mientras que el mantenimiento correctivo tiene por objetivo restaurar o cambiar los componentes del sistema que pueden tener alguna falla que a futuro origine problemas en su funcionamiento [1].

En este proyecto se realizaron los respectivos mantenimientos a diferentes instalaciones eléctricas guiados por la técnica RCM, entre ellas está el sistema de generación solar y transformadores elevadores las cuales, con el tiempo que han estado en funcionamiento, sin ningún tipo de intervención, ya habían comenzado a tener fallas en algunos de sus componentes y disminuido y su productividad se veía afectada.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar e implementar un plan de mantenimiento en las instalaciones eléctricas industriales, elaborando un cronograma óptimo de actividades, para disminuir las fallas que se puedan generar.

B. Objetivos específicos

- Analizar el estado actual de las instalaciones eléctricas existentes en la empresa con el fin de diseñar un plan de mantenimiento preventivo y/o correctivo.
- Desarrollar una evaluación por criticidad aplicable a las instalaciones eléctricas de la industria a la programación de las actividades del mantenimiento.
- Seleccionar una estrategia de mantenimiento conveniente, aplicada a las instalaciones eléctricas industriales con la finalidad de asegurar la confiabilidad requerida de los componentes del sistema eléctrico.

III. MARCO TEÓRICO

El mantenimiento es la generalización de intervenciones y acciones técnicas previamente organizadas, que permitirán mantener o recuperar el estado del equipamiento a intervenir. A través de las intervenciones de mantenimiento, se generan resultados de confiabilidad y optimización de recursos, permitiendo cumplir metas y objetivos con una gran eficiencia, calidad y rendimiento al momento de ofrecer algún tipo de servicio, salvaguardando la integridad del usuario y la del operario.

Es importante resaltar que la gestión del mantenimiento de las instalaciones eléctricas tiene su base en la realización de requerimientos técnicos enfocados a la observación e inspección como primer punto, luego siguen la ejecución de mediciones de los diferentes componentes y equipos que conforman la instalación eléctrica, para luego detectar los problemas que puedan incidir en la disminución de la eficiencia energética, aumentar las perturbaciones y disminuir la vida útil de los diferentes elementos. Sin embargo, estas actividades deben estar reunidas en un registro de información, registros físicos, en hojas de datos y/o registros en electrónico para sistemas en línea, y deben ser la base fundamental para que tanto la parte técnica como la administrativa de la empresa sean conscientes de las necesidades de una planificación, programación, seguimiento y control para preservar y optimizar el tiempo de vida útil de los activos, con el mínimo costo de inversión [6].

Tipos de mantenimiento:

La importancia del mantenimiento industrial radica en la necesidad que tienen las empresas de conservar todas sus máquinas e instalaciones trabajando continua y eficientemente. Las grandes industrias, conscientes de las pérdidas que se producen cuando una máquina se descompone e interrumpe su producción, destinan una buena parte de su presupuesto en actividades de mantenimiento preventivo [2]. Existen diferentes actividades las cuales están agrupadas en diferentes tipos de mantenimiento. Según la literatura existen varias formas de dividir los tipos de mantenimiento como:

- Tipos de mantenimiento según su objetivo
- Tipos de mantenimiento según su aplicación.

Los tipos de mantenimiento según su objetivo se dividen en 4: Mantenimiento correctivo, predictivo, preventivo y modificativo.

Mantenimiento preventivo: “el mantenimiento preventivo, está basado específicamente en planificar intervenciones, con la finalidad de realizar inspecciones constantes en las instalaciones, monitoreo de conservación y trabajos preventivos que permiten evidenciar o subsanar deficiencias

existentes, evitando paradas inesperadas o fallas en el sistema. Es a bien indicar que, las intervenciones preventivas provienen de un levantamiento de información y una evaluación por criticidad respecto de las instalaciones que serán incluidas en el trabajo preventivo, de manera que se puedan priorizar aquellos que cuentan con una elevada criticidad; es decir, los que están más propensos a paralizarse. En términos generales, cuando se habla de trabajos de mantenimiento preventivos, se trata de incrementar el tiempo de vida útil de los equipos y/o dispositivos, manteniéndolo en un óptimo estado para su regular proceso. Cuando se habla de trabajos preventivos, se debe de considerar intervenciones que cuenten con fechas iniciales y finales de programación para su intervención, de manera que permitan llevar una relación histórica por equipo y así se realice su supervisión respectiva” [3].

Mantenimiento preventivo activo: “este tipo de mantenimiento involucra la limpieza del sistema y sus componentes. La frecuencia con la cual se debe implementar este tipo de mantenimiento depende del ambiente y de la calidad de los componentes” [4].

Mantenimiento preventivo pasivo: “este tipo de mantenimiento consiste en el cuidado de las instalaciones en su ambiente externo, condiciones físicas de operación del sistema y la prevención eléctrica” [4].

Mantenimiento predictivo: “este tipo de mantenimiento está basado básicamente, en realizar inspecciones constantes que tienen como objetivo determinar la necesidad de efectuar acciones correctivas. No está basado en planes rígidos como el mantenimiento preventivo, pero si advierte el límite de trabajo que le queda al sistema para que posiblemente sea intervenido. El mantenimiento predictivo no requiere de desmontaje ni limpieza alguna a los equipos, solo se efectúan los trabajos con equipos de medición de temperatura, vibración, velocidad de torque” [3].

Existen varias técnicas para realizar mantenimiento predictivo, se pueden clasificar en técnicas sencillas de fácil realización y en técnicas complejas que requieren de ciertos conocimientos y equipos sofisticados. Dentro de las primeras estarían las inspecciones visuales de las instalaciones y equipos. Dentro de las técnicas complejas se destacan inspecciones mediante la toma de datos con equipos como analizadores de redes y cámaras termográficas. La termografía es la técnica mediante la cual se transforma una imagen de infrarrojos en una imagen radiométrica, permite visualizar las distribuciones superficiales de temperatura y leer los valores de las temperaturas de la imagen; a fin de reunir toda la información térmica de un equipo eléctrico o mecánico, de tal forma que se pueda monitorear bajo condiciones de trabajo normales o anormales y descubrir posibles problemas que generarán fallas futuras. En el mantenimiento predictivo de instalaciones eléctricas la termografía tiene un papel muy importante debido a que permite detectar puntos calientes debido a chispas, malos contactos entre conductores eléctricos, bajo nivel de refrigeración de equipos entre otros [5].

Mantenimiento correctivo: consiste en las intervenciones de un equipo o sistema que se encuentra en condiciones críticas, es decir, ha tenido una falla no prevista que le impide continuar con la generación de activos, restableciendo el equipo con el único fin de “disminuir su tiempo ocioso”, que no es otra cosa que su rehabilitación para que continúe trabajando de manera óptima en el sistema. Este tipo de mantenimientos se aprecia en empresas que no cuentan con un programa preventivo y generalmente sus egresos económicos en reparación son significativos. Este tipo de mantenimiento solo se efectúa, cuando un equipo o sistema ha colapsado y existe información directa por parte de las áreas usuarias. Los trabajos correctivos consisten esencialmente en la reparación de un equipo que presenta fallas no previstas. Este tipo de mantenimiento actúa únicamente cuando existe una falla en el equipo [3].

Mantenimiento modificativo: “son las actuaciones que se realizan para renovar o adecuar los elementos existentes a nuevos requerimientos, bien funcionales, productivos, medioambientales, de accesibilidad, de eficiencia energética, de seguridad, económicos, etc. Tiene como propósito compensar la obsolescencia tecnológica o las nuevas exigencias que en el momento de construcción no existían o no fueron tenidas en cuenta pero que en la actualidad sí deben serlo” [7].

Los tipos de mantenimiento según su aplicación son: Mantenimiento cero horas (Overhaul), mantenimiento en uso y mantenimiento de oportunidad.

Mantenimiento cero horas (Overhaul): “es considerado como el conjunto de tareas que se realizan a determinada máquina, para que esta quede en un estado prácticamente nuevo. Para ello se toman ciertas acciones preventivas, como la revisión de equipos y procesos antes de que aparezca algún fallo” [7].

Mantenimiento en uso: “es el mantenimiento básico de un equipo que pueden realizar los mismos usuarios del equipo. Se basa en realizar una serie de tareas sencillas, como por ejemplo la toma de datos, una inspección visual, o una lubricación. En cualquier caso, son tareas sencillas que no requieren de una formación especial” [7].

Mantenimiento de oportunidad: “consiste en dar mantenimiento a las maquinas en momentos de parada o en horarios en los cuales no se está haciendo uso de esta para así evitar tiempos muertos por mantenimiento repentino o por cambio de alguna pieza de maquinaria, además evitar el paro de producción” [7].

RCM: Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el

sector de aviación, donde no se obtenían los resultados más adecuados para la seguridad de la navegación aérea. Posteriormente fue trasladada al campo militar y mucho después al industrial, tras comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la confiabilidad de la instalación, es decir, disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción [7]. Los objetivos secundarios, pero igualmente importantes son aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la planta está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costes de mantenimiento. El análisis de los fallos potenciales de una instalación industrial según esta metodología aporta una serie de resultados: Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos. Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales. Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta. Las acciones tendentes a evitar los fallos pueden ser de varios tipos:

- Determinación de tareas de mantenimiento que evitan o reducen estas averías.
- Mejoras y modificaciones en la instalación.
- Medidas que reducen los efectos de los fallos, en el caso de que estos no puedan evitarse.

Es muy importante que después de saber cómo funciona un equipo y que fallas puede presentar, determinar las consecuencias de estas, es decir, saber si pueden ser suprimidas o simplemente amortiguadas. Luego de tener muy claros estos conceptos sobre el equipo, hay que enfocarse en un concepto clave que es el modo de falla, el cual refleja las múltiples circunstancias en las que se puede presentar una falla funcional específica. Un modo de falla es un concepto concreto que está ligado directamente con la función precisa que realiza el equipo. Entre más modos de fallas puedan ser identificados, más preciso y completo será el análisis para determinar el plan de mantenimiento adecuado para el equipo o sistema [7].

Análisis modal de fallos y efectos: el AMFE es una de las herramientas de análisis de falla más usadas por las empresas a la hora de implementar RCM. Aunque su aplicación no esté directamente relacionada con esta metodología, se considera un paso muy útil para poder lidiar con los múltiples y diversos modos de falla asociados a un sistema productivo. Para poder realizar el análisis de falla del sistema que se ha estudiado, se comenzó por hacer un estudio AMFE, el cual se caracteriza por definir los componentes más elementales de la estructura e identificar sus modos de falla, además de las causas de origen de estos y las consecuencias que estos tienen en el sistema [8].

IV. METODOLOGÍA

Para elaborar el plan de mantenimiento de las instalaciones eléctricas industriales basado en la técnica RCM se debe llevar a cabo los siguientes pasos.

- Identificación del elemento a analizar. Primero se realizará un análisis del estado de las instalaciones eléctricas para recopilar información. Esta información incluye planos, diagramas, manuales, bitácoras de operación/mantenimiento, documentos como el contexto operativo (si existe), también es importante que se pregunte al personal de operación, producción y mantenimiento para extraer información sobre los requerimientos de desempeño deseados y problemas actuales que se estén presentando en las instalaciones eléctricas.
- Análisis modal de fallos y efectos (AMFE). Se debe incluir tanto los fallos que hayan ocurrido a un elemento como el conjunto de las posibles que pueden presentarse para ser prevenidos en su totalidad. Para cada elemento será necesario clasificar los fallos posibles, teniendo en cuenta los diferentes fallos ocultos que pueden presentarse y las diferentes consecuencias medioambientales, en la producción y en el mantenimiento. Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Cada falla funcional suele tener más de un modo. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de RCM. Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante listar la causa raíz. Para cada modo deben indicarse los efectos de falla asociados. El efecto de falla es una breve descripción de qué sucede con el sistema cuando la falla ocurre. Los efectos de falla deben indicar claramente cuál es la importancia que tendría la falla en caso de producirse.
- Selección de táctica de mantenimiento con la lógica RCM. Se selecciona la aplicación a cada modo de fallo de la lógica RCM, en donde la naturaleza aleatoria de los fallos cuestiona si en determinadas ocasiones es posible mantener el sistema en funcionamiento una vez detectado el problema. Se debe tener en cuenta que no solo es necesario detectar el problema, sino dar seguridad de que se tendrá tiempo de resolverlo antes que este haga que el elemento no cumpla con su función requerida. Esta selección se hace entre los diferentes tipos de mantenimiento que son el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo. El mantenimiento predictivo consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra. El mantenimiento preventivo se refiere a aquellas tareas de sustitución hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente. Estas tareas solo son válidas si existe un patrón de desgaste, es decir, si la probabilidad de falla aumenta rápidamente después de superada la vida útil del elemento. El mantenimiento correctivo consiste en realizar la sustitución de los elementos cuando ya fallaron. Esto con el fin de reestablecer el sistema. Una vez realizada la selección de la

táctica de mantenimiento, se debe documentar y en caso de que se pueda realizar otra táctica de mantenimiento se hace una realimentación.

- Finalmente, este proceso se realiza con cada uno de los elementos del sistema.

Cabe aclarar que el método RCM es un método que se evalúa permanentemente, es decir, no basta con realizar el plan RCM el día de hoy y este va a regir eternamente, es posible que, en algún momento, cualquier elemento falle por una causa que nunca se previó, por ende, el plan RCM se le incluye este nuevo tipo de falla, de tal modo que ya se tendría rastreado un nuevo tipo de falla y sus soluciones.

V. RESULTADOS Y ANALISIS

En el desarrollo del proyecto de prácticas académicas, se realizó el mantenimiento eléctrico correspondiente a varias instalaciones, los resultados de las actividades realizadas se muestran a continuación:

Mantenimiento de sistema solar:

El sistema de generación solar cuenta con los siguientes datos técnicos:

- Cinco inversores de la marca ABB PVS-60-TL-SX2
- Módulos solares de la marca Jinko JKM345M-72
- Potencia nominal de 300 kW



Fig. 1. Paneles solares

La figura 2, muestra el diagrama unifilar del sistema solar al cual se le realizo el mantenimiento.

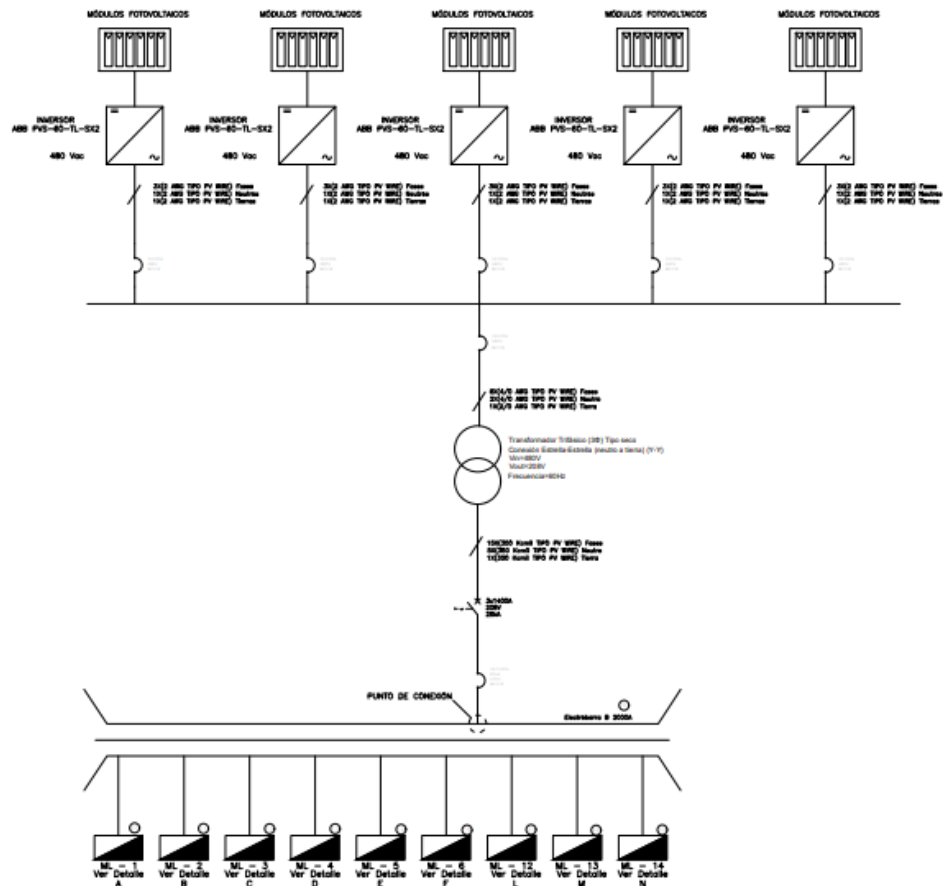


Fig. 2. Diagrama unifilar

La tabla 1 muestra el analisis modal de fallas y efectos con los elementos mas representativos del sistema solar al cual se le realizo el mantenimiento, este analisis es de gran importancia porque permitio destacar las posibles causas de fallas de las instalaciones y asi efectuar un mantenimiento mas productivo y confiable.

TABLA 1
AMFE SISTEMA SOLAR

Elemento	Función	Falla	Efecto	Causa
Módulos solares fotovoltaicos	Generar energía eléctrica en DC	Celdas solares con generación de energía eléctrica deficiente o nula	Módulos solares con generación de energía eléctrica deficiente	Superficie del panel sucia u obstruida
				Temperaturas excesivas
				Ruptura del panel por estrés térmico o agentes externos
Estructura de fijación	Fijar los módulos solares en el techo de la planta	Colapso de la estructura	Módulos caídos y desorientados	Fractura de los materiales
				Tornillos y tuercas desapretados
				Deformaciones permanentes
Cableado PV	Conducir la electricidad	Desconexión o ruptura del conductor	Se suspende la transmisión de energía eléctrica	Conectores flojos
				Cables demasiado tensionados
				Aislamiento derretido o fisurado
Inversores	Convertir la corriente directa de entrada en corriente alterna	No convierte la corriente directa en corriente alterna	No se puede utilizar la energía generada para maquina AC	Sobrecalentamiento
				Fallo en los componentes electrónicos
				Problemas en las conexiones

Para el desarrollo del mantenimiento se llevó a cabo las siguientes actividades:

- Inspección visual y técnica de los módulos solares y sus conexiones.
- Inspección visual y técnica de ductos y cableado en DC y AC.
- Limpieza de módulos.

- Limpieza de micro inversor o inversor(es).
- Torque de estructura.
- Torque de conexiones eléctricas.
- Ventilación y temperatura.
- Chequeo de tensión y de corriente.
- Análisis de equipos con defectos.

Las figuras 3 y 4 muestran algunas de las tareas que se realizaron al momento de realizar el mantenimiento.



Fig. 3. Limpieza de módulos solares



Fig. 4. Chequeo de variables eléctricas

En las figuras 3 y 4 se observan algunos elementos con fallas, los cuales hacen que la generación de energía eléctrica sea menor a la esperada.



Fig. 5. Panel solar quebrado



Fig. 6. Conector de cable solar suelto

Mantenimiento de transformadores elevadores

Se realizó mantenimiento a dos transformadores elevadores, uno de 50 kVA 220/440 V en aceite y el otro de 150 kVA, 220/440 V tipo seco.

Para llevar a cabo el mantenimiento se realizaron las siguientes actividades:

Verificación cuarto eléctrico:

- Condición física de acceso.
- Condición física de puertas, gabinetes y área general.
- Iluminación general de la subestación.
- Iluminación de emergencia de la subestación.
- Estado general de los elementos en la subestación.
- Revisión de existencia y estado de los sellos de los medidores y celdas.
- Control entrada a la subestación.

Mantenimiento Transformadores tipo ACEITE:

- Limpieza exterior.
- Ajuste de tornillería y terminales en protecciones y barrajes.
- Revisión de acometidas.
- Medida de resistencia de aislamiento.

Mantenimiento Transformadores tipo SECO

- Limpieza exterior.
- Limpieza de bobinados con Nitrógeno.
- Ajuste de tornillería y terminales en protecciones y barrajes.
- Revisión de acometidas.
- Medida de resistencia de aislamiento.

Malla de tierra en subestación:

- Revisión de puestas a tierra: cableado y conexiones
- Ajustes menores en caso de ser necesario

Transformador de 150 kVA tipo seco:

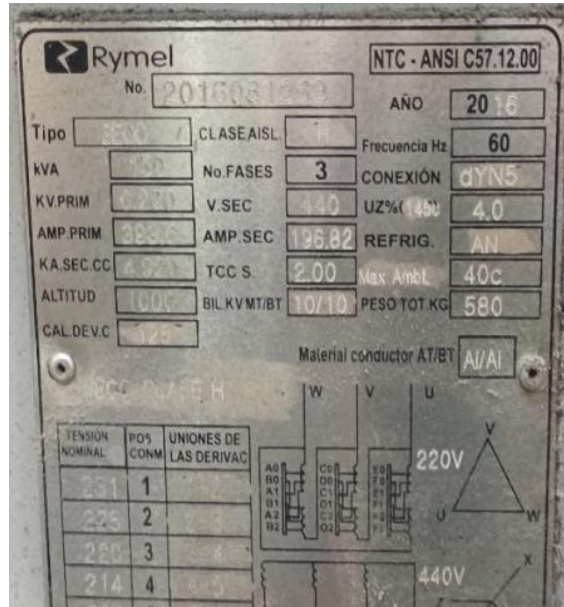


Fig. 7. Datos de placa transformador 150 kVA

TABLA 2
INFORMACION GENERAL Y DATOS DE PLACA TRANSFORMADOR DE 150 KVA

Información general	
Año de fabricación	2016
Tipo	Seco
Fusible	N/A
Tensión nominal	440
Relación de tensión	220/440
Breaker Principal	ABB
IN	450
IF1	453
IF2	454
IF3	453

Los resultados de las medidas del gabinete principal se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 3
VALORES OBTENIDOS DE LAS VARIABLES ELECTRICAS TRAF0 150 KVA

Variables medidas	Valor obtenido	Valor de referencia	Valoración (CUMPLE SI/NO)
Tensión fase 1 – fase 2	458	404.8 - 462	SI
Tensión fase 2 – fase 3	460	404.8 - 462	SI
Tensión fase 1 – fase 3	453	404.8 - 462	SI
Tensión fase 1 – Neutro	258	233.6 - 266.7	SI
Tensión fase 2 – Neutro	260	233.6 - 266.7	SI
Tensión fase 3 – Neutro	260	233.6 - 266.7	SI
Tensión fase 1 – Tierra	258	233.6 - 266.7	SI
Tensión fase 2 – Tierra	260	233.6 - 266.7	SI
Tensión fase 3 – Tierra	260	233.6 - 266.7	SI
Tensión Neutro – Tierra	0.0	0-5	SI

La tabla 4, muestra los resultados de las medidas de resistencia de aislamiento del transformador.

TABLA 4
VALORES DE AISLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR Y SU VALORCION

Conexiones	Valor obtenido	Referencia mínima	Valoración (CUMPLE SI/NO)
Alta tensión vs. Baja tensión			
F1	20 G Ω	>5 G Ω	SI
F2	20 G Ω	>5 G Ω	SI
F3	20 G Ω	>5 G Ω	SI
Alta tensión vs. Tierra			
F1	20 G Ω	>5 G Ω	SI
F2	20 G Ω	>5 G Ω	SI
F3	20 G Ω	>5 G Ω	SI
Baja tensión vs. Tierra			
F1	10 G Ω	>3 G Ω	SI
F2	10 G Ω	>3 G Ω	SI
F3	10 G Ω	>3 G Ω	SI

Nota: La valoración de los datos presentados en las tablas III y IV se hacen con referencia en las normas NTC 5001: Calidad de la Potencia Eléctrica y NTC 1340: Tensiones y Frecuencia nominales en Versión A 23004-IMC-IN01 Pág. 8 de 19 sistemas de Energía Eléctrica en redes de servicio público, además de las necesidades del cliente.

Transformador de 50 kVA en aceite:



Fig. 8. Datos de placa transformador de 50 kVA

TABLA 5
INFORMACION GENERAL Y DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR DE 50 KVA

INFORMACIÓN GENERAL	
AÑO DE FABRICACIÓN	1998
TIPO	ACEITE
CAPACIDAD (KVA)	50
TENSIÓN NOM.	440
RELACIÓN DE TENSIÓN	440/254
BREAKER PPAL	ABB
IN	150

Los resultados de las medidas del gabinete principal se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 6
VALORES OBTENIDOS DE LAS VARIABLES ELECTRICAS TRAF0 50 KVA

VARIABLES MEDIDAS	Valor obtenido	Valor de referencia	Valoración (CUMPLE Si/NO)
Tensión fase 1 – fase 2	454	404.8 - 462	Si
Tensión fase 2 – fase 3	453	404.8 – 462	Si
Tensión fase 1 – fase 3	457	404.8 – 462	Si
Tensión fase 1 – Neutro	257	233.6 - 266.7	Si
Tensión fase 2 – Neutro	256	233.6 - 266.7	Si
Tensión fase 3 – Neutro	259	233.6 - 266.7	Si
Tensión fase 1 – Tierra	257	233.6 - 266.7	Si
Tensión fase 2 – Tierra	256	233.6 - 266.7	Si
Tensión fase 3 – Tierra	259	233.6 - 266.7	Si
Tensión Neutro – Tierra	0.0	0-5	Si

Nota: La valoración de los datos presentados en las tablas V y VI se hacen con referencia en las normas NTC 5001: Calidad de la Potencia Eléctrica y NTC 1340: tensiones y frecuencia nominales en versión A 23004-IMC-IN01 Pág. 8 de 19 sistemas de Energía Eléctrica en redes de servicio público, además de las necesidades del cliente.

Las figuras 9 y 10 muestran los dos transformadores antes y después del mantenimiento, se observa que la zona donde están ubicados presenta una acumulación de polvo y material particulado que podría afectar el funcionamiento de los equipos y mermar la vida útil.



Fig. 9. Transformador de 150 kVA antes y después del mantenimiento

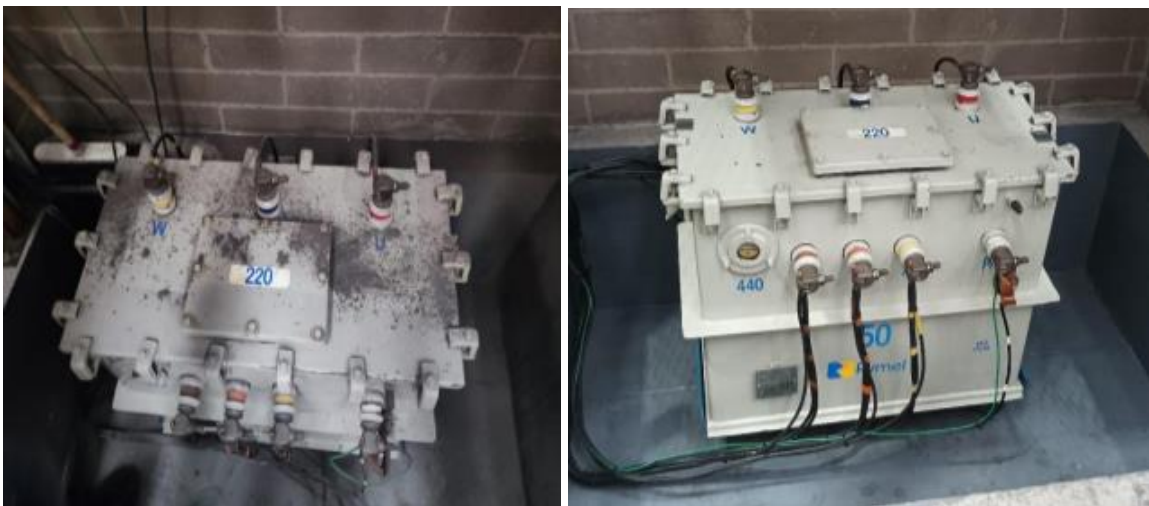


Fig. 10. Transformador de 50 kVA antes y después del mantenimiento

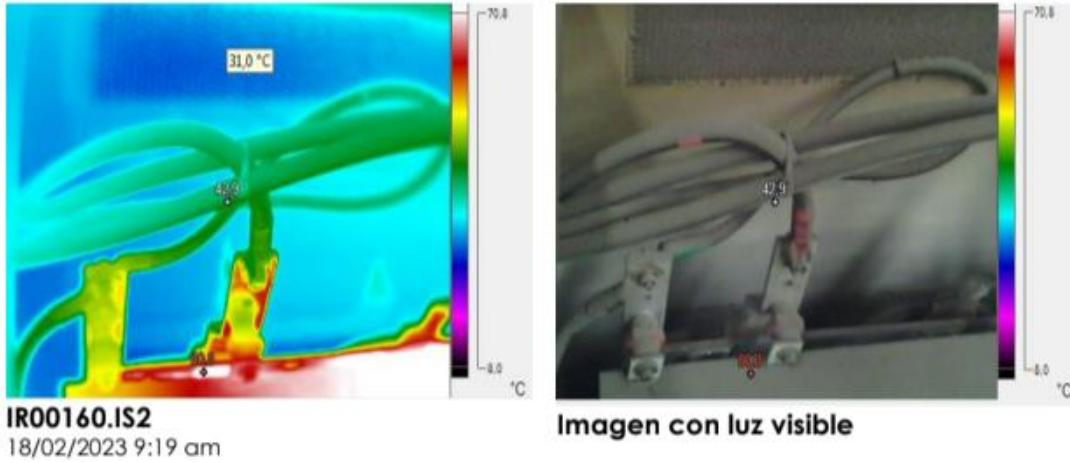
Inspección termográfica

Los transformadores elevadores se sometieron un mantenimiento predictivo en el cual se llevó a cabo un análisis termográfico, el cual permite identificar componentes eléctricos y mecánicos mas

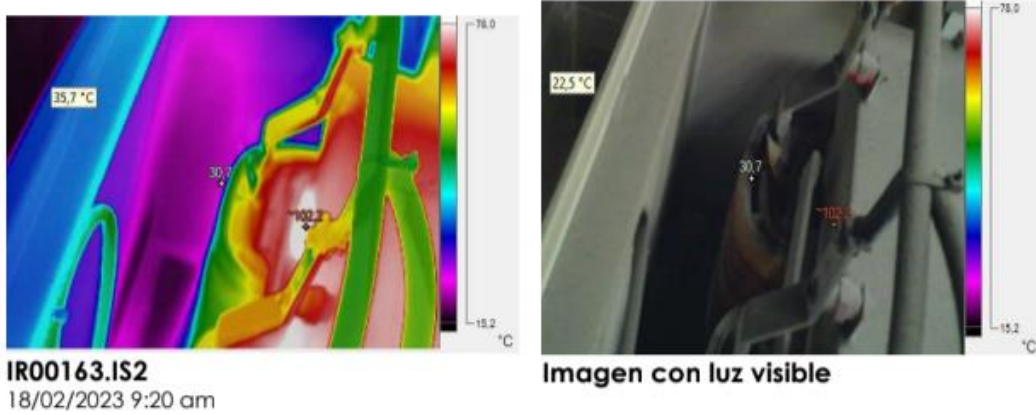
calientes de lo que deberían estar, detectar perdidas excesivas de calor causadas por conexiones débiles o inadecuadas y así minimizar las probabilidades de fallo de los transformadores.

Los resultados obtenidos en el análisis termográfico se presentan a continuación.

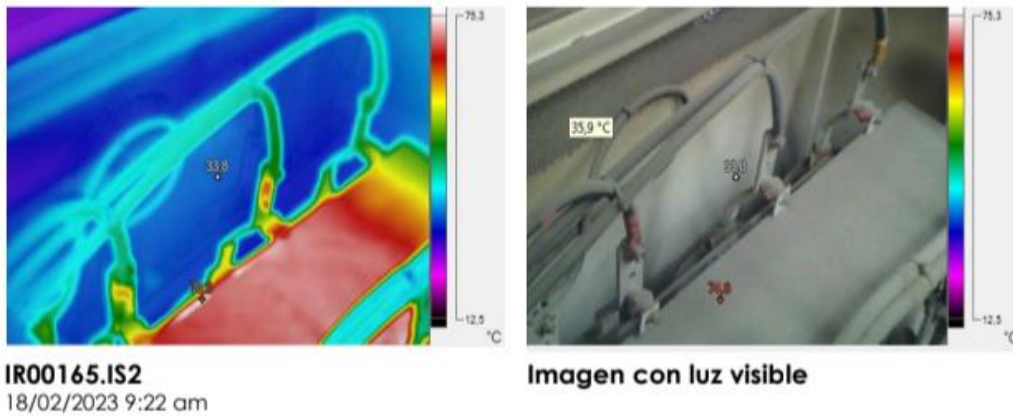
Análisis termográfico para el transformador de 150 kVA tipo seco:



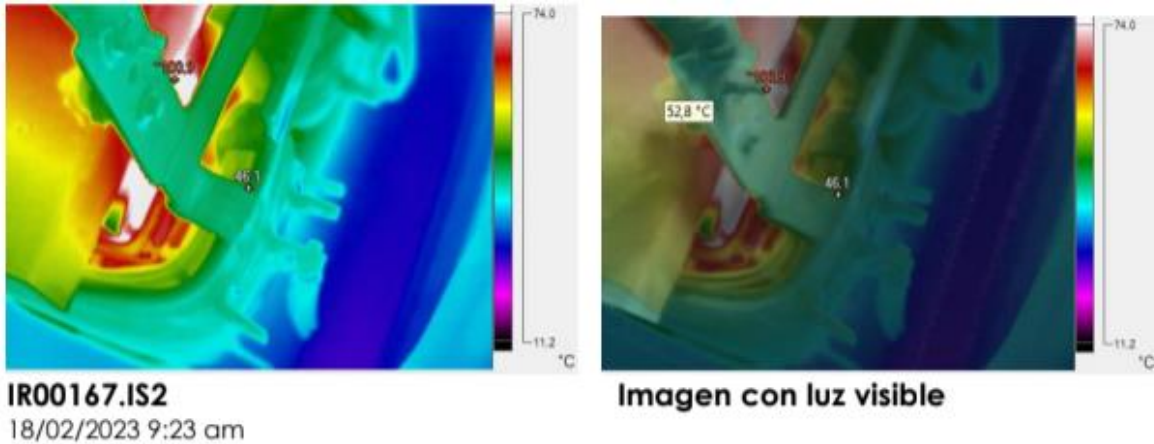
a)



b)



c)



d)

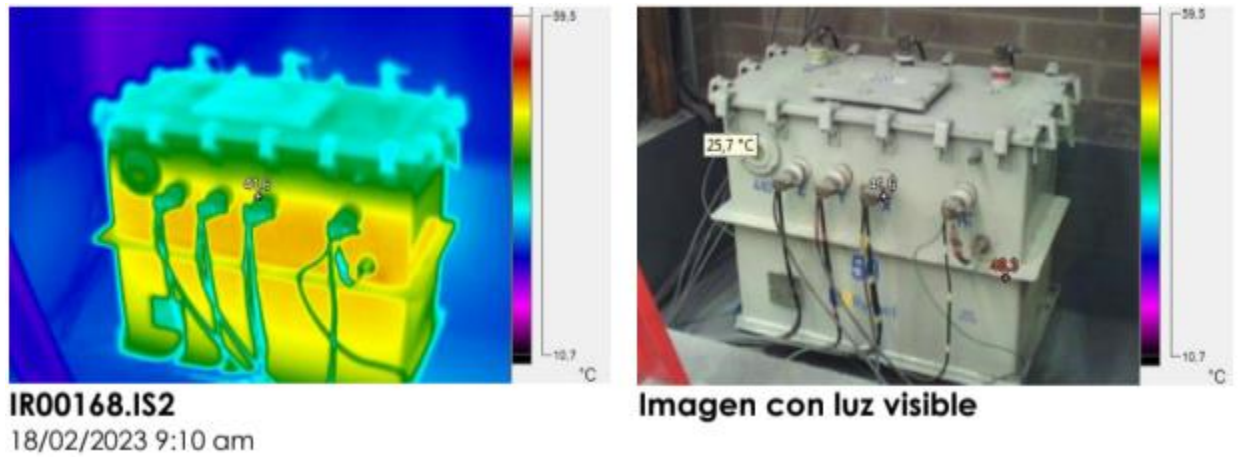
Fig. 11. Análisis termográfico transformador 150 kVA, a) Cableado, b) Devanados, c) Conexiones, d) Soportes.

TABLA 7
INFORMACION DEL ANALISIS TERMOGRAFICO TRANSFORMADOR 150 KVA

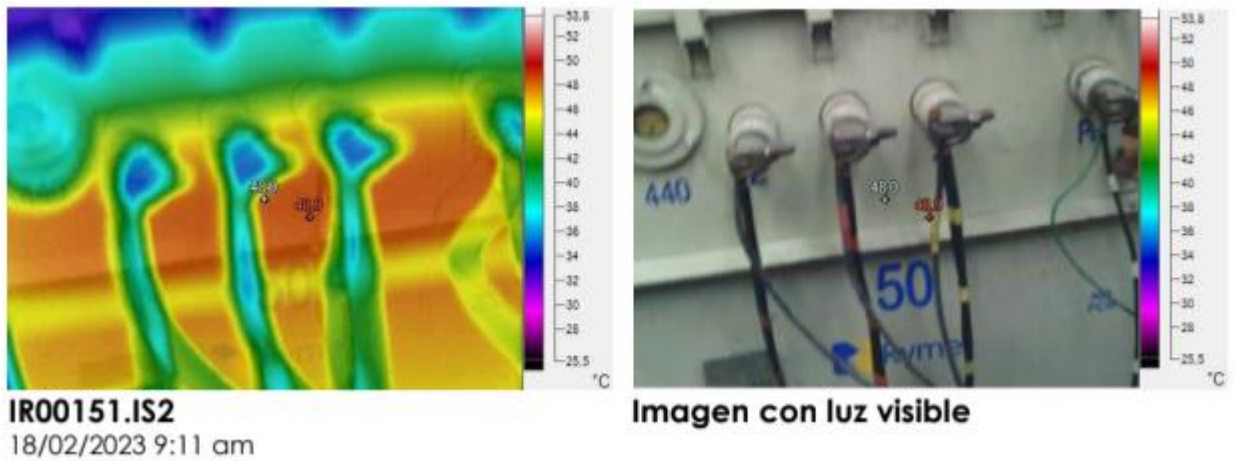
Temperatura de fondo	22,0°C
Emisividad	0,95
Temperatura promedio	38,8°C
Rango de temperatura de la imagen	28,6°C a 80,8°C
Rango de calibración	-25,0°C a 125,0°C
Gravedad	Baja

Los resultados obtenidos en el análisis termográfico realizado al transformador de 150 kVA, de la figura 11 y la tabla 7, muestran que la temperatura registrada se debe al calentamiento de la parte no activa (chasis) del transformador, por la cantidad de polvo y material particulado que se genera en esta zona no permite disipar el calor. Las conexiones de los cables al transformador presentan calentamiento por desajuste en algunas partes.

Análisis termográfico para el transformador de 50 kVA en aceite:



a)



b)

Fig. 12. Análisis termográfico transformador 50 kVA, a) Transformador, b) Conexiones.

TABLA 8
INFORMACION DEL ANALISIS TERMOGRAFICO TRANSFORMADOR 150 KVA

Temperatura de fondo	22,0°C
Emisividad	0,95
Temperatura promedio	33,0°C
Rango de temperatura de la imagen	22,0°C a 48,3°C
Rango de calibración	-25,0°C a 125,0°C
Gravedad	No se ha detectado ningún problema

Los resultados obtenidos en el análisis termográfico realizado al transformador de 50 kVA, de la figura 12 y la tabla 8, muestra que no hay anomalías ni puntos calientes en devanados del transformador ni conexiones del cableado, este transformador funciona correctamente.

VII. CONCLUSIONES

Realizar un mantenimiento enfocado en la aplicación de tareas de acuerdo con los eventos que podrían causar fallos en las instalaciones, realizando solo las actividades necesarias para garantizar el correcto funcionamiento, es un método muy efectivo, puesto que permite disminuir costos de mantenimiento.

Contar con un plan de mantenimiento eléctrico anual es de gran importancia para cualquier industria, debido a que las instalaciones eléctricas fallan constantemente por diferentes factores, ocasionando pérdidas económicas por paro de equipos que afectan la producción y también por costos en mantenimientos netamente correctivos.

REFERENCIAS

- [1] Martínez Avilés, J. C., & Rivera Plúas, J. M. (2014). *Mantenimiento preventivo-correctivo y sistema levantamiento de información para las líneas de su transmisión (69kva) en el sector pueblo viejo-ventanas de la cnel-ep* (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB. 2014).
- [2] GÓMEZ, S. (2017). Técnicas de mantenimiento predictivo. metodología de aplicación en las organizaciones. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, Bogotá.
- [3] Vizcarra Aguayo, G. (2019). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo en las instalaciones eléctricas del Parque Metropolitano La Muralla.
- [4] Plan de mantenimiento de equipos Informáticos - uned-illesbalears.net, <http://bit.ly/3DkxWQU> (accessed Jul. 5, 2023).
- [5] Neita Duarte, L. Y., & Peña Rodríguez, E. O. (2014). Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo.
- [6] Mercado, V., & Peña, J. B. (2016). Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica. *Saber*, 28(1), 99-105.
- [7] Medina Báez, A. (2019). Técnicas de mantenimiento RCM y TPM, aplicando RCM al mantenimiento eléctrico.
- [8] JERIA SOBARZO, S. “ANÁLISIS DE FALLA EN SISTEMAS DE SEGUIMIENTO DE PANELES FOTOVOLTAICOS,” Repositorio, <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/52786/3560902039093UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.