



Mantenimiento a partir de puntos calientes en la Subestación Santo Domingo 230/138/69kV, utilizando termografía infrarroja

Maintenance based on hot spots in the 230/138/69kV Santo Domingo Substation, using infrared thermography

Manutenção baseada na hot spots na Subestação Santo Domingo 230/138/69kV, utilizando termografia infravermelha

Fabian Moisés Sornoza-Macías ^I
fsornoza0471@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8007-877X>

Yolanda Eugenia Llosas-Albuerne ^{II}
yolanda.llosas@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5713-0565>

Correspondencia: fsornoza0471@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 29 de marzo de 2022 * **Aceptado:** 19 de abril de 2022 * **Publicado:** 24 de mayo de 2022

- I. Ingeniero Electromecánico, Estudiante de Maestría en Electricidad, Instituto de Postgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Doctora en ciencias técnicas, Docente Investigador, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

Este trabajo de investigación se fundamenta en los principios básicos de la termografía infrarroja y la detección temprana de fallas en los sistemas y equipos eléctricos, mediante la variación de temperatura, se cimienta en la localización de puntos calientes en las instalaciones que componen la Subestación de alto voltaje Santo Domingo, perteneciente al Sistema Nacional Interconectado del Ecuador; que forma parte del anillo de interconexión a 230kV, trabajo que fue desarrollado con la ayuda de una cámara termográfica profesional de alta gama, con el propósito de generar un plan de mantenimiento predictivo que se adapte a las condiciones del entorno de trabajo para la infraestructura electromecánica, y equipos sujetos de estudio, posterior a esto, determinar las posibles fallas mecánicas y eléctricas producto del levantamiento termográfico, para, finalmente realizar un análisis de la data de valores obtenidos y detectar en qué instalaciones, equipos, conectores y herrajes se presentan el mayor número de incidencias o variaciones en los valores de temperatura.

Palabras claves: Termografía infrarroja; puntos calientes; fallas eléctricas; subestación eléctrica; mantenimiento; calidad de servicio.

Abstract

This research work is based on the basic principles of infrared thermography and the early detection of faults in electrical systems and equipment through temperature variation, it is based on the location of hot spots in the facilities that make up the High Voltage Substation. Santo Domingo, belonging to the National Interconnected System of Ecuador and which is part of the 230kV interconnection ring, work that was developed with the help of a high-end professional thermographic camera, with the purpose of generating a predictive maintenance plan that adapts to the conditions of the work environment for the electromechanical infrastructure and equipment subject to study, after this, determine the possible mechanical and electrical failures resulting from the thermographic survey to finally carry out an analysis of the data of values obtained and detect in which facilities, equipment, connectors and hardware are presented on m greater number of incidences or variations in the temperatura values.

Keywords: Infrared thermography; hot spots; electrical faults; electrical substation; maintenance; quality of service

Resumo

Este trabalho de pesquisa baseia-se nos princípios básicos da termografia infravermelha e na detecção precoce de falhas em sistemas e equipamentos elétricos por meio da variação de temperatura, baseia-se na localização de pontos quentes nas instalações que compõem a Subestação de Alta Tensão. Santo Domingo, pertencente ao Sistema Interligado Nacional do Equador e que faz parte do anel de interconexão de 230kV, trabalho que foi desenvolvido com a ajuda de uma câmera termográfica profissional de última geração, com o objetivo de gerar um plano de manutenção preditiva que se adapte às condições do ambiente de trabalho para a infraestrutura eletromecânica e equipamentos objeto de estudo, após isso, determinar as possíveis falhas mecânicas e elétricas decorrentes do levantamento termográfico para finalmente realizar uma análise dos dados de valores obtidos e detectar em quais instalações, equipamentos, conectores e acessórios são apresentados a maior número de incidentes ou variações nos valores de temperatura.

Palavras chaves: Termografia infravermelha; hot spots; falhas elétricas; subestação elétrica; manutenção; qualidade de serviço.

Introducción

Actualmente se requiere de una cámara termográfica para localizar y detectar los valores de temperatura anormales en condiciones estándar de trabajo a los que están sometidos los equipos dentro de una subestación eléctrica, la cámara termográfica profesional utilizada para ejecutar el levantamiento infrarrojo de la subestación Santo Domingo es una “FLIR T660” que nos permite obtener imágenes térmicas nítidas con una calidad de imagen superior, junto con un alto nivel de detalle para conseguir un diagnóstico más preciso para cada anomalía, el levantamiento termográfico fue realizado mediante el método tradicional de barrido. (Kim et al., 2021)

Las instalaciones de la subestación Santo Domingo fueron seleccionadas para realizar el presente trabajo, debido a que es parte importante del anillo interconectado de 230kV y es parte fundamental para establecer un enlace entre la Costa y Sierra Ecuatoriana, se encuentra ubicada la zona noroccidental del Ecuador, motivo por el cual se realiza el levantamiento infrarrojo de puntos calientes con una cámara termográfica profesional provista por la subgerencia de operación y mantenimiento de CELEC EP- TRANSELECTRIC.

Es importante destacar que la calendarización anual de mantenimiento de todas las Subestaciones existentes en la Zona Noroccidental del Ecuador, responde a una programación mensual realizada mediante una data histórica de trabajos preventivos basados en los manuales de operación y mantenimiento de cada equipo instalado en las Subestaciones y en función de los avisos de fallo (mantenimientos correctivos) generados por los operadores de cada Subestación, los cuales tienen que ser atendidos de manera mediata o inmediata dependiendo el nivel de afectación de cada equipo, estos avisos de fallo son reportes de eventos no deseados que ponen en riesgo el correcto funcionamiento de los equipos instalados en las Subestaciones y que de una u otra manera tienen injerencia en el correcto funcionamiento del Sistema Nacional de Transmisión.

Partiendo de esto, la termografía infrarroja nos permitirá desarrollar un plan de mantenimiento predictivo asociado a la incidencia de fallas por puntos calientes en la subestación Santo Domingo, sin mencionar las cuantiosas aplicaciones de esta innovadora y útil técnica de predicción de anomalías. (Rodríguez Atienza, 2020)

Ventajas de la aplicar Termografía Infrarroja

Entre las ventajas podemos mencionar que se disminuyen las detenciones o paradas en los procesos productivos y se supervisa la integridad del sistema control y protección, también localizamos de forma exacta y con suficiente antelación de los posibles puntos de falla mediante el incremento o variación de temperatura, este tiempo de antelación en la detección de la falla permite reducir los tiempos de reparación, lo cual desemboca en un alargamiento de la vida útil de la maquinaria y equipos.

Desventajas de la aplicar Termografía Infrarroja

Limitada capacidad de detección posibles fallas por anomalías internas a medida que las falla no manifieste externamente un incremento o variación de la temperatura, en subestaciones aisladas por aire el efecto del sol puede disimular o entregar una información errónea de los defectos encontrados, adicionalmente el flujo de carga sobre el elemento analizado puede influir de manera negativa en el análisis termográfico del elemento. (Bossio Arango & Ruiz Reyes, 2008)

Este trabajo se desarrolló con el propósito de generar un plan de mantenimiento predictivo, que se adapte a las condiciones del entorno de trabajo para la infraestructura electromecánica, y equipos sujetos de estudio, posterior a esto, determinar las posibles fallas mecánicas y eléctricas producto del levantamiento termográfico, para, finalmente realizar un análisis de la data de valores obtenidos

y detectar en qué instalaciones, equipos, conectores y herrajes se presentan el mayor número de incidencias o variaciones en los valores de temperatura.

Materiales y Métodos

La Termografía es una técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas con el fin de determinar si se encuentran funcionando dentro de los valores o parámetros térmicos aceptables para su correcto desempeño y representa una herramienta clave en el mantenimiento y así evitar pérdidas económicas.(C et al., 2011)

Es importante mencionar que la energía emitida por las máquinas de desplaza en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz, energía que en proporcional directa a la temperatura son iguales, esto significa que, a mayor índice térmico, mayor es la energía emitida. Debido a que estas ondas poseen una longitud superior a la que puede captar el ojo humano, se requiere la utilización de un instrumento que transforme esta energía en una imagen visible, para poder observar y analizar la distribución de esta energía. (Neita Duarte & Peña Rodríguez, 2014)

En el mantenimiento de instalaciones eléctricas como resultado de aplicar termografía sobre los equipos en funcionamiento, obtenemos puntos calientes o alertas térmicas que refieren los equipos, mismas que no pueden verse de manera convencional, estas alarmas de los sistemas eléctricos pueden desembocar en pérdidas muy significativas, no solo en la parte económica, sino también cobrando vidas humanas, adicionalmente el suministro eléctrico que abastece áreas tales como: Salud, Educación y Producción tanto en mini, micro y macro industrial. (2.-RTA-IS-2019.pdf, s. f.) A pesar de que ha existido una evolución de los equipos e instalaciones, las necesidades de mantenimiento se mantienen con el paso del tiempo. Por esta razón y entendiendo el mantenimiento como un conjunto de acciones técnicas que permiten regular el funcionamiento de manera continua y eficiente, lo dividiremos en tres grandes grupos:

Mantenimiento Correctivo, dedicado a la reparación de los equipos en el momento en que ocurre una falla.

Mantenimiento Preventivo, detecta daños en los equipos antes de que éstos dejen de funcionar y detengan el proceso de producción.

Mantenimiento Predictivo, o mantenimiento con base en la condición, que se basa en la constante supervisión del equipo en funcionamiento y en la previsión de averías.(C et al., 2010)

Como punto de partida para el levantamiento de termográfico en las diferentes áreas de la subestación objeto de análisis, lo cual comprende: vanos de entrada a la subestación, conexiones a equipos primarios incluyendo el conexionado entre ellos, conectores de bushings de alta, media y baja tensión de transformadores de potencia, conexión a los transformadores para instrumentos tableros de protección, control y medición y finalmente los equipos de servicios auxiliares, esta actividad nos ubica en una investigación cuantitativa – deductiva, resultado de este proceso de recolección de imágenes infrarrojas obtendremos una data informativa que nos permitirá clasificar las posibles fallas encontradas y hacer uso de esta información para desarrollar un plan de mantenimiento lo más apegado a la realidad de los equipos para brindar un servicio estable e ininterrumpido y de calidad a la sociedad.

Resultados

Se realizó el levantamiento de imágenes termográficas en las instalaciones de la subestación Santo Domingo y utilizando la norma de la International Electric Testing Association por sus siglas en ingles NETA ATS 2009, misma que establece normas y criterios para la industria en el ámbito de pruebas eléctricas ha determinado una tabla de criterios, que constituyen una ayuda útil para la termografía y determina el grado de severidad de un problema eléctrico, únicamente para mediciones directas de temperatura.

Tabla 1. Acciones basadas en el incremento de temperatura

Nivel	Diferencia de Temperatura	Clasificación	Acción
1	1°C - 10°C O/A o 1°C - 3°C O/S	Posible deficiencia	Se requiere más información
2	11°C - 20°C O/A o 4°C - 15°C O/S	Probable deficiencia	Reparar en la próxima parada disponible
3	21°C - 40°C O/A o > 15°C O/S	Deficiencia	Reparar tan pronto como sea posible
4	> 40°C O/A o > 15°C O/S	Deficiencia mayor	REPARAR INMEDIATAMENTE

Fuente: International Electric Testing Association 2009. **Elaboración:** Propia

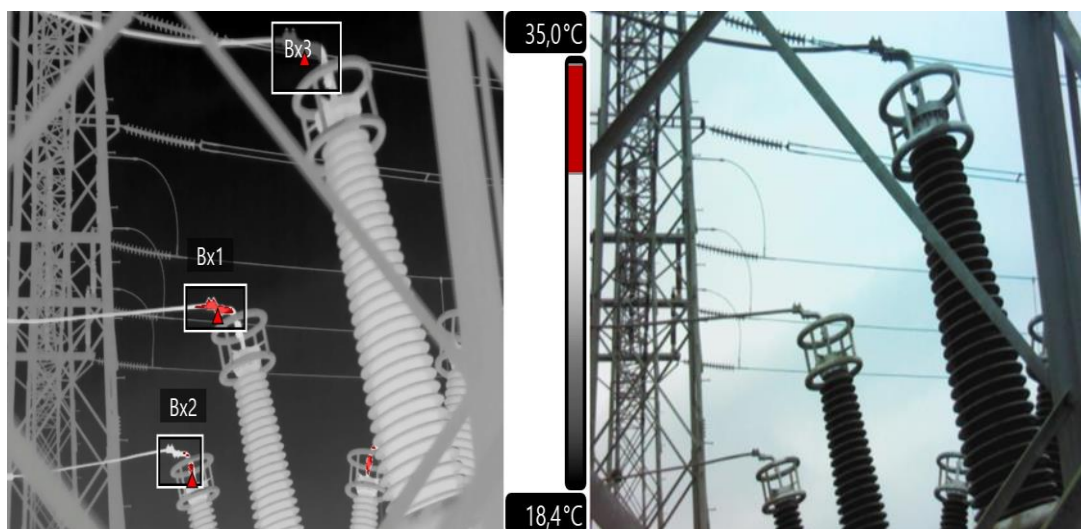
O/A: Over Ambient. (Sobre la temperatura ambiente)

O/S: Over Similar. (Sobre la temperatura de un cuerpo similar en condición normal)

1.- Termograma obtenido de la grapa terminal de la salida del interruptor hacia el seccionador de línea:

Bahía	Fase	Elemento	Ubicación	Potencia
Santa Rosa 2	ABC	52-212	Grapa terminal hacia seccionador 89-213	110(MW)

Ilustración 1: Análisis termográfico en conectores de interruptor de 230kV.



Fuente: Proyecto de Investigación. **Elaboración:** Propia

Tabla 2. Clasificación de la anomalía.

MEDIDAS		PARÁMETROS	
Bx1 Maximum	40,0 °C	Emisividad	0,92
Bx2 Maximum	35,9 °C	Temperatura Reflejada	28,0 °C
Bx3 Maximum	28,2 °C	Distancia	10,0 m
Dt1 (Bx1.Max - Bx3.Max)	11,8 °C	Temperatura Atmosférica	28,0 °C
Dt2 (Bx2.Max - Bx3.Max)	7,7 °C	Humedad Relativa	54 %
Alarm Above Limit	30,6 °C	Temperatura óptica externa	20,0 °C
		Transmisión óptica externa	1,00

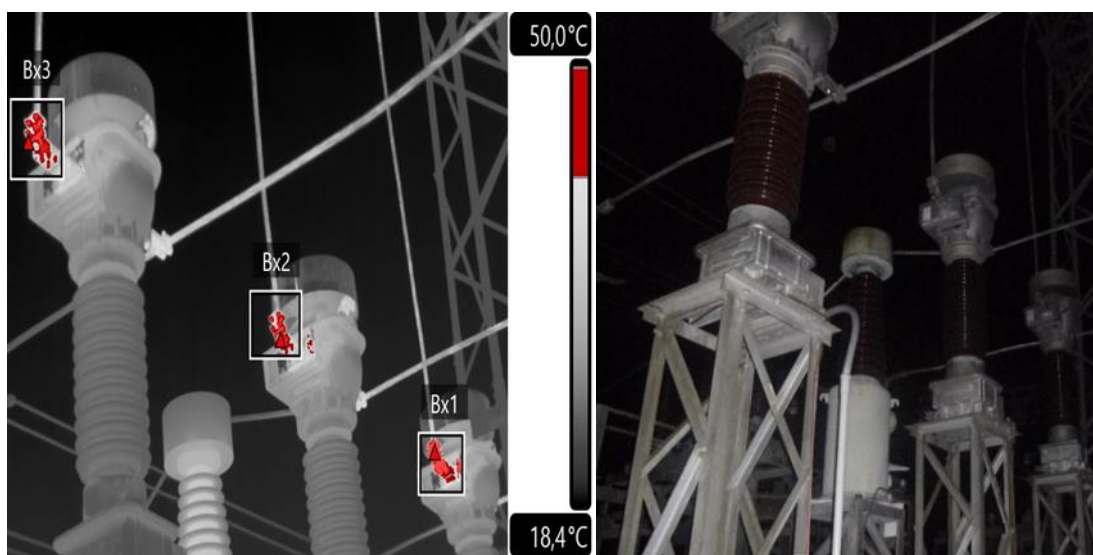
Elaboración: Propia

Diagnóstico: *Reparar en la próxima parada disponible.*

2.- Termograma obtenido de la grapa terminal de la salida del transformador de corriente hacia la salida de la línea:

Bahía	Fase	Elemento	Ubicación	Potencia
SDM 2	C	TC	Grapa terminal hacia cadena vertical pórtico	68 (MW)

Ilustración 2: Análisis termográfico en conectores en transformador de corriente de 69kV.



Fuente: Proyecto de Investigación. **Elaboración:** Propia

Tabla 3. Clasificación de la anomalía.

MEDIDAS		PARÁMETROS	
Bx1 Maximum	69,0 °C	Emisividad	0,92
Bx2 Maximum	50,8 °C	Temperatura Reflejada	25,0 °C
Bx3 Maximum	50,1 °C	Distancia	10,0 m
Dt1 (Bx1.Max - Ref.temp)	44,0 °C	Temperatura Atmosférica	25,0 °C
Dt2 (Bx2.Max - Ref.temp)	25,8 °C	Humedad Relativa	64 %
Dt3 (Bx3.Max - Ref.temp)	25,1 °C	Temperatura óptica externa	20,0 °C
		Transmisión óptica externa	1,00

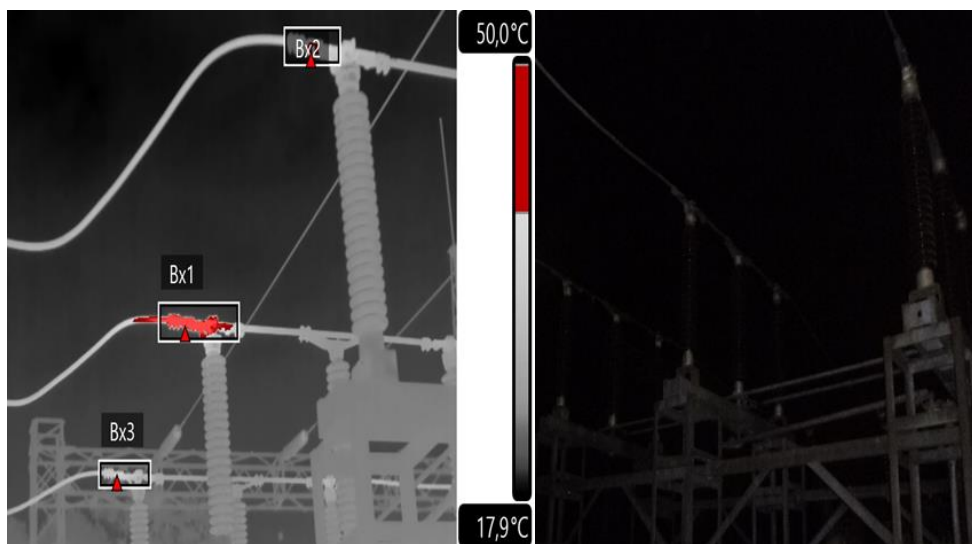
Fuente: Proyecto de Investigación. **Elaboración:** Propia

Diagnóstico: *Reparar tan pronto como sea posible*

3.- Termograma obtenido de la grapa terminal de la salida del seccionador de barra hacia el interruptor:

Bahía	Fase	Elemento	Ubicación	Potencia
ATU 138kV	AB	89-1U1	Grapa terminal hacia 52-1U2	98(MW)

Ilustración 2: Análisis termográfico en conectores en transformador de corriente de 69kV.



Fuente: Proyecto de Investigación. **Elaboración:** Propia

Tabla 4. Clasificación de la anomalía.

MEDIDAS		PARÁMETROS	
Bx1 Maximum	91,9 °C	Emisividad	0,92
Bx2 Maximum	39,8 °C	Temperatura Reflejada	25,0 °C
Bx3 Maximum	37,2 °C	Distancia	10,0 m
Dt1 (Bx1.Max - Bx3.Max)	54,6 °C	Temperatura Atmosférica	25,0 °C
Dt2 (Bx2.Max - Bx3.Max)	2,5 °C	Humedad Relativa	64 %
Alarm Above Limit	38,7 °C	Temperatura óptica externa	20,0 °C
		Transmisión óptica externa	1,00

Fuente: Proyecto de Investigación. **Elaboración:** Propia

Diagnóstico: Reparar inmediatamente.

De los veinte puntos levantados en el barrido termográfico para obtener los puntos calientes en la subestación y según la caracterización de cada uno de ellos se desprende el tipo de mantenimiento requerido en los equipos, como se muestra en la tabla descrita a continuación:

Tabla 4. Resumen del levantamiento termográfico general y tipo de mantenimiento requerido.

Ítem	Bahía	Fase	Elemento	Ubicación	T. máx °C	Delta °C	Potencia (MW)	Observaciones	Tipo de mantenimiento requerido
1	Santa Rosa 2	BC	52-212	Grapa terminal hacia seccionador 89-213	40	11,8	110	Grado 2 (Reparar en la próxima parada disponible)	Mtto. preventivo
2	Santa Rosa 2	AC	52-212	Grapa terminal hacia seccionador 89-211	38,3	10,9	110	Grado 2 (Reparar en la próxima parada disponible)	Mtto. preventivo
3	Santa Rosa 2	A	Cuello de cadena vertical	Terminal punchado hacia seccionador 89-217 y 89-219	47,3	22,1	110	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo
4	Santa Rosa 1	BC	52-222	Grapa terminal hacia secc. 89-223	45,7	12,4	112	Grado 2 (Reparar en la próxima parada disponible)	Mtto. preventivo
5	Santa Rosa 1	A	52-222	Grapa terminal hacia secc. 89-221	52,7	24,9	112	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo
6	Barra 1 230kV	A	Cuello cadena horizontal vertical pórtico	Terminal punchado hacia seccionador 89-227	45,4	20,7	295	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo
7	Santa Rosa 1	B	Cuello de cadena vertical	Terminal punchado hacia 89-227 y 89-229	45,2	21,5	112	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo
8	ATU 230kV	C	Cuello cadena horizontal vertical pórtico	Terminal punchado hacia seccionador 89-2U7	53,4	28,2	97	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo
9	ATU 230kV	C	52-2U2	Grapa terminal hacia 89-2U1	45,5	14,8	97	Grado 2 (Reparar en la próxima parada disponible)	Mtto. preventivo
10	BABA	A	Trampa de onda	Grapa paralela hacia 89-233	52,2	27,5	78	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo

11	ATU 138kV	AB	89-1U3	Grapa terminal hacia 89-1U5	66	35,1	98	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo
12	ATU 138kV	AB	89-1U1	Grapa terminal hacia 52-1U2	91,9	54,6	98	Grado 4 (Reparar inmediatamente)	Mtto. Correctivo
13	ATU 138kV	BC	89-1U1	Grapa terminal hacia BP	42	12,2	98	Grado 2 (Reparar en la próxima parada disponible)	Mtto. preventivo
14	Barra terciaria Trafos ATR	C	Aislador Neutro	Grapa terminal hacia Barra N 13.8kV	47,8	22,8		Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo
15	SDM 2	BC	89-011	Grapa terminal hacia BP	58,1	14	68	Grado 2 (Reparar en la próxima parada disponible)	Mtto. preventivo
16	SDM 2	BC	89-013	Grapa terminal hacia TC	51,7	9,2	68	Grado 2 (Reparar en la próxima parada disponible)	Mtto. preventivo
17	SDM 2	C	TC	Grapa terminal hacia cadena vertical pórtico	69	44	68	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo
18	ATR 69kV	C	89-OR3	Grapa terminal hacia 89-OR5	59,1	16	54	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo
19	ATR 69kV	BC	52-OR2	Grapa terminal hacia 89-OR3	54,9	23,7	54	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo
20	LT SDM1QND	B	TORRE EOO1	Grapa paralela de cuello	75,8	49,4	54	Grado 3 (Reparar tan pronto como sea posible)	Mtto. preventivo

Conclusiones

Aporte muy importante de esta investigación es la cámara FLIR T660 ya que este es el instrumento utilizado para traducir las imágenes térmicas a valores numéricos de temperatura, siendo los puntos calientes un indicador de avería o futuras fallas en un sistema eléctrico de alta tensión, con los resultados obtenidos del levantamiento termográfico se realizará una propuesta de mantenimiento predictivo, debido a que este tipo de mantenimiento evalúa el estado de las instalaciones y recomienda intervenir o no en función del estado de las mismas, adicionalmente es un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar en términos de fallas potenciales la condición operativa de los equipos, finalmente con el levantamiento termográfico se logra mantener la vida útil del sistema eléctrico logrando un régimen estable de suministro, garantizando la calidad de suministro eléctrico a los abonados.

Referencias

1. 2.-RTA-1S-2019.pdf. (s. f.). Recuperado 9 de febrero de 2022, de <https://itsfo.edu.ec/web/wp-content/uploads/2020/04/2.-RTA-1S-2019.pdf#page=64>
2. Bossio Arango, V., & Ruiz Reyes, A. E. (2008). Termografía en el mantenimiento de equipos instalados en subestaciones de potencia convencionales. <http://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0043907.pdf>.
<https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/1581>
3. C, W. O., A, M. B., & A, B. C. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia et Technica*, 2(45), 223-226.
4. C, W. O., A, M. B., & Zabaleta, B. C. (2011). Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo. *Scientia et Technica*, 2(48), 253-256.
<https://doi.org/10.22517/23447214.1303>
5. Kim, J. S., Choi, K. N., & Kang, S. W. (2021). Infrared Thermal Image-Based Sustainable Fault Detection for Electrical Facilities. *Sustainability*, 13(2), 557.
<https://doi.org/10.3390/su13020557>
6. Neita Duarte, L. Y., & Peña Rodríguez, E. O. (2014). Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo. En *Instname:Universidad Pontificia Bolivariana*. Universidad Pontificia Bolivariana.
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1561>
7. Rodríguez Atienza, F. J. (2020). *Aplicaciones de la termografía infrarroja en las instalaciones eléctricas*. <https://idus.us.es/handle/11441/102252>