



Estudio termográfico para la predicción de averías en la subestación Crucita alimentador Crucita-los Arenales

Thermographic study for the prediction of breakdowns at the Crucita feeder Crucita-los Arenales substation

Thermographic study for the prediction of breakdowns at the Crucita feeder Crucita-los Arenales substation

Erick Alejandro Román-Espinales ^I

eroman6869@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0052-7841>

Ítalo Humberto Navarrete-García ^{II}

italo.navarrete@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0798-3321>

Correspondencia: eroman6869@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 02 de mayo de 2024 * **Aceptado:** 10 de junio de 2024 * **Publicado:** 12 de julio de 2024

I. Ingeniero Eléctrico, Universidad Técnica de Manabí UTM, Ecuador.

II. Ingeniero Eléctrico, Universidad Técnica de Manabí UTM, Ecuador.

Resumen

El objetivo de este artículo fue describir el estudio termográfico de puntos calientes a la línea de distribución se tiene que un sistema de distribución eléctrica comprende todas las estructuras y dispositivos que facilitan la entrega de energía eléctrica en condiciones óptimas de tensión, corriente, frecuencia y disponibilidad. Este conjunto de infraestructuras es esencial para garantizar un suministro eléctrico fiable y eficiente. Incluye tanto subestaciones eléctricas como redes de distribución primarias y secundarias, que aseguran la provisión de energía eléctrica a diversas zonas geográficas y sectores de consumo. Se concluye que las inspecciones térmicas al sistema de distribución de la subestación Crucita alimentador Crucita – Los Arenales se realizaron en condiciones normales de operación. La investigación termográfica se la realizó con la tecnología avanzada de la cámara termográfica Fluke Tis65, la cual fue de gran importancia, ya que con este instrumento a una distancia segura se logró captar las imágenes térmicas (termogramas) con sus valores de temperatura de las 223 estructuras que conforman el sistema eléctrico principal y así solucionando las dificultades realizar análisis técnicos a las líneas energizadas de media tensión.

Palabras clave: Termografía infrarroja; Puntos calientes; Sistema de distribución eléctrica; Mantenimiento predictivo; Cámara termográfica.

Abstract

The objective of this article was to describe the thermographic study of hot spots on the distribution line. An electrical distribution system includes all the structures and devices that facilitate the delivery of electrical energy under optimal conditions of voltage, current, frequency and availability. . This set of infrastructures is essential to guarantee a reliable and efficient electricity supply. It includes both electrical substations and primary and secondary distribution networks, which ensure the provision of electrical energy to various geographic areas and consumer sectors. It is concluded that the thermal inspections of the distribution system of the Crucita feeder substation Crucita – Los Arenales were carried out under normal operating conditions. The thermographic investigation was carried out with the advanced technology of the Fluke Tis65 thermal imaging camera, which was of great importance, since with this instrument at a safe distance it was possible to capture thermal images (thermograms) with their temperature values of

223 structures that make up the main electrical system and thus solving the difficulties, carrying out technical analyzes on the energized medium voltage lines.

Keywords: Infrared thermography; Hot spots; Electrical distribution system; Predictive Maintenance; Thermal imaging camera.

Resumo

O objetivo deste artigo foi descrever o estudo termográfico dos pontos quentes na linha de distribuição. Um sistema de distribuição elétrica inclui todas as estruturas e dispositivos que facilitam a entrega de energia elétrica em condições ótimas de tensão, corrente, frequência e disponibilidade. Este conjunto de infraestruturas é essencial para garantir um fornecimento de eletricidade fiável e eficiente. Inclui subestações elétricas e redes de distribuição primária e secundária, que asseguram o fornecimento de energia elétrica a diversas áreas geográficas e setores consumidores. Conclui-se que as inspeções térmicas ao sistema de distribuição da subestação alimentadora Crucita Crucita – Los Arenales foram realizadas em condições normais de funcionamento. A investigação termográfica foi realizada com a tecnologia avançada da câmara termográfica Fluke Tis65, o que foi de grande importância, pois com este instrumento a uma distância segura foi possível captar imagens térmicas (termogramas) com os seus valores de temperatura de 223 estruturas que compõem o sistema elétrico principal e assim resolver as dificuldades, realizando análises técnicas às linhas de média tensão energizadas.

Palavras-chave: Termografia infravermelha; Pontos quentes; Sistema de distribuição elétrica; Manutenção preditiva; Câmara de imagem térmica.

Introducción

Una de las claves para el progreso, el bienestar de nuestra sociedad y comunidad son mediante los sistemas eléctricos, los mismos que permiten el suministro de energía eléctrica con alta calidad para el funcionamiento de máquinas eléctricas, luminarias, actividades como planta de manufacturación y diferentes empresas para la reactivación económica. El inicio de los circuitos eléctricos de potencia son los sistemas de generación, que transforma potencia mecánica en potencia eléctrica; la misma que es transportada por la línea de transmisión a las subestaciones y esta a los circuitos de distribución hasta llegar al consumidor. (Reina-Pérez et al., 2018).

Uno de los objetivos primordiales de las empresas prestadoras de servicio de energía eléctrica es garantizar la disponibilidad y calidad del servicio permanente; las distribuidoras de energía tienen un gran reto en la actualidad por el crecimiento de las actividades y grandes demandas de energía en estos últimos años. Es por esto que las empresas de distribución deben brindar un buen suministro de energía eléctrica de calidad de manera ininterrumpida los 365 días del año.(Sepúlveda et al., 2017).

Las empresas distribuidoras de Energía eléctrica ante la innovación se va enfocando en el desarrollo de los mantenimientos buscando la eficiencia energética en todos los niveles de los sistemas eléctricos, especialmente en los sistemas de distribución con la implementación de herramientas tecnológicas para los tipos de mantenimientos predictivo, preventivo y correctivo dando como resultado la optimización de la calidad, la eficiencia y un suministro estable de energía eléctrica; brindando beneficios a todos sus clientes residenciales, comerciales y sectores empresariales.(Bedoya et al., 2017).

Un estudio termográfico otorgará a las empresas generadoras analizar detenidamente la calidad de energía, permitirá evaluar los puntos calientes que puedan provocar fallos en el sistema, con ello poder optimizar el uso de sus sistemas previamente instalados. Al comprobar el estado de las redes o circuitos de distribución permitirá establecer medios para la obtención de información, mejorar los procedimientos en toda la topología de la línea de acuerdo al mantenimiento esperado.(Franco Mora, 2016).

Un plan de mantenimiento permitirá prevenir futuros daños consiguiendo con ello optimizar el estado de los dispositivos, reducir costos de mantenimiento, prologar la vida útil de los dispositivos, a su vez cumplir con los objetivos propuestos que es el de garantizar la disponibilidad y calidad de energía eléctrica. Es por ello que el plan de mantenimiento predictivo no invasivo, es el procedimiento a considerarse y a prevalecer; ya que mediante el presente tipo de mantenimiento es de gran interés y de fácil aplicación a la actual industria, permitiendo mejorar o adaptar su aplicación a las necesidades de cada empresa generando con ellos grandes beneficios a sus consumidores.(Carvalho et al., 2019).

Si profundizamos y analizamos la Energía es un factor esencial, primordial y sobre todo necesario para la Economía y la productividad del país, ya que sin ella su avance tecnológico, industrial, agrícola y demás; requieren de la energía para surgir, producir y desarrollarse. Es por ello que mediante un análisis se ha observado que las interrupciones o paralizaciones del suministro de

energía eléctrica sumándoles la baja calidad de las mismas han generado grandes impactos en la economía de la provincia y porque no decirlo del País en general.(Rodríguez-Salazar & Caruso, 2021).

Los programas de mantenimiento de la Unidad de Negocios Manabí CNEL EP actualmente carece de un periodo constante de diagnósticos y estudios exhaustivo de la termografía. La aplicación de esquemas o programas de mantenimientos predictivos permitirá obtener temperaturas en base del software de la cámara termográfica, este estudio será la base para diferentes tipos de mantenimientos de forma permanente evitando deterioros, averías o fallos en el sistema eléctrico.(Loor-Fernández et al., 2021).

Es imprescindible que las líneas de media tensión deben estar periódicamente inspeccionadas para determinar la criticidad, para que no se produzcan fallos en el sistema como se mencionó anteriormente en que la Unidad de Negocios Manabí CNEL EP no tiene un plan permanente para un estudio predictivo con sus técnicas. Este trabajo a realizar contará con inspecciones por el método tradicional y el análisis termográfico, para determinar los puntos calientes de acuerdo a las normas nacionales e internacionales; a su vez realizar los planes de mantenimientos como son el predictivo, preventivo y correctivo lo que permitirá obtener los resultados esperados de la investigación.(Cruz & Yugcha, 2021).

El objetivo de este artículo fue describir el estudio termográfico de puntos calientes en la línea de distribución.

Metodología

Para alcanzar los objetivos de la investigación se utilizarán los siguientes métodos:

Método analítico: Se usará en el momento de recopilar información para el desarrollo de los objetivos e hipótesis de la presente investigación.

Método sintético: Se enfocará en la sinterización de información, factible para realizar conclusiones y posteriormente recomendaciones.

Método estadístico: Se empleará en el diseño de los análisis de los resultados obtenidos de la investigación.

Método histórico: Se usará en la recopilación de información referente a antecedentes de la investigación

Las técnicas utilizadas en el presente trabajo de investigación son Investigación bibliográfica, observación, experimento.

Los instrumentos utilizados en la presente investigación son: cámara termográfica, cuaderno de notas, cámara digital, computadora, celular alta gama, GPS, anemómetro digital.

Población infinita: No existe una población definida puesto que no existe información de cuantas personas habitan cada casa que esté conectada a la subestación Crucita alimentador Crucita-Los Arenales.

Muestra

De la red de alimentación eléctrica de la empresa eléctrica CNEL-EP Unidad de Negocios Manabí subestación Crucita alimentador Crucita-Los Arenales, además usaremos las diferentes técnicas para recopilar información.

Encuesta:

Se realizará encuesta al personal técnico, Ingenieros de la empresa eléctrica CNEL-EP Unidad de Negocios Manabí para analizar y tener un concepto del estado de los elementos, componentes pertenecientes al sistema eléctrico de la Ciudad de Crucita.

Análisis y discusión de resultados

Con la cámara termográfica Fluke Tis65 se realizó el mantenimiento predictivo al sistema de distribución trifásica principal de la subestación Crucita alimentador Crucita – Los Arenales, el cual tiene una longitud de 10.66 km y está conformada por un total de 223 puntos (postes y estructuras).

El punto empieza después de la Subestación Crucita, recorre por el cantón Portoviejo parroquia Crucita finalizando en el sector Los Arenales.

Todas las capturas termográficas se realizaron en el campo de estudio durante el período de máxima demanda del sistema eléctrico, y fueron llevadas a cabo por un ingeniero certificado como termógrafo nivel 1. El termógrafo posee la capacitación necesaria para realizar inspecciones termográficas con precisión y cumpliendo con los estándares de calidad requeridos en la industria. Los análisis de los termogramas se ejecutaron utilizando el programa SmartView. Las temperaturas resultantes fueron corregidas teniendo en cuenta los factores atmosféricos, como la temperatura

ambiente, la humedad relativa y la velocidad del viento, los cuales estaban presentes en cada punto al momento de la inspección termográfica.

Con lo anterior mencionado y con un delta T fiable la criticidad de los puntos es determinada por las tablas de la normativa ANSI/NETA ATS-2009.

En la mayoría de las inspecciones se pudo comparar la temperatura entre elementos con cargas similares, en otros casos se comparó el elemento con la temperatura ambiente, esto con el fin de determinar la criticidad de los elementos estudiados.

En los siguientes enunciados se presentará una muestra de los resultados con los diferentes niveles de criticidad.

Aumento de criticidad

La determinación de puntos calientes en el sistema eléctrico son indicios de potenciales averías en un tiempo no determinado, las normativas ANSI/NETA ATS-2009 determinan los puntos por diferentes niveles de criticidad.

La diferencia de los niveles de temperatura se determina por el Delta T, en este proyecto se demuestra la elevación del Delta T en un estudio de 10 meses en los cuales se realizaron las captaciones termográficas en la subestación Crucita en el alimentador Crucita – Lo Arenales.

En el estudio se muestra la elevación de temperaturas en los diferentes elementos constitutivos de la línea, estos aumentos suben los rangos de criticidad establecidos en la normativa ANSI/NETA ATS-2009.

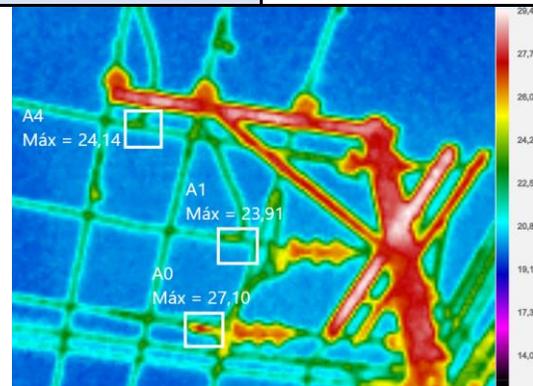
Hasta no realizar un apropiado mantenimiento en los puntos calientes, estos seguirán aumentando su gravedad hasta llegar al fallo eléctrico, las cuales paralizarán la continuidad del servicio eléctrico en las redes de distribución. Por tal motivo hasta no realizar el mantenimiento, se debe monitorear el desarrollo de la criticidad del punto caliente.

Análisis de aumento de criticidad

Se presentan un muestreo del aumento del Delta T en un tiempo de 10 meses de estudio termográfico en las líneas de distribución de subestación Crucita en el alimentador Crucita – Lo Arenales.

Estructura No. 9

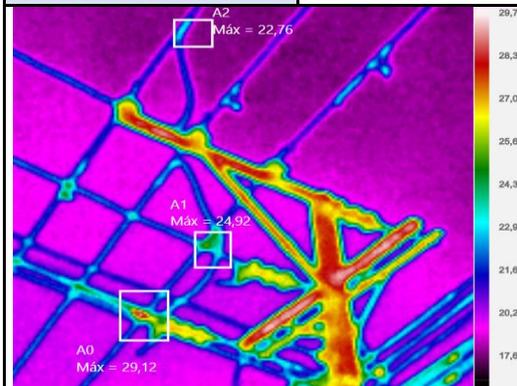
Fecha de estudio	10/VIII/2022
Temperatura ambiente (°C)	29,3
Humedad Relativa (%)	56,5
Velocidad viento (m/s)	2,5
Emisividad	0,95
Rango de la Imagen	14°C a 29,4°C



Puntos de Medición (°C)	
A0 (T° Max)	27,1
A1 (T° Ref)	23,91
A4	24,14

Factor de Corrección de Temperatura (Vel. viento)	
T° Max	36,85
T° Ref	32,51
Delta T °C (ΔT)	4,34

Fecha de estudio	21/VI/2023
Temperatura ambiente (°C)	28,5
Humedad Relativa (%)	56
Velocidad viento (m/s)	2,3
Emisividad	0,95
Rango de la Imagen	17,6°C a 29,7°C



Puntos de Medición (°C)	
A0 (T° Max)	29,12
A1	24,92
A2 (T° Ref)	22,76

Factor de Corrección de Temperatura (Vel. viento)	
T° Max	39,60
T° Ref	30,95
Delta T °C (ΔT)	8,65

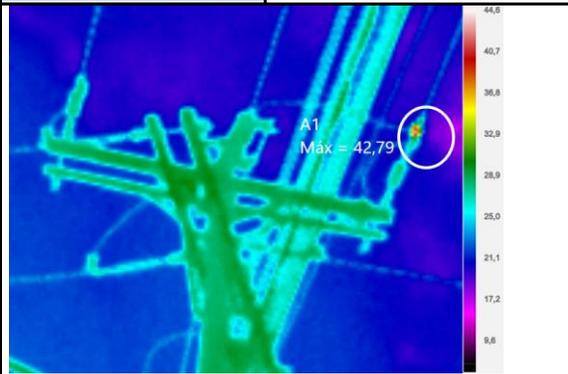
La aparición del punto caliente (A0) se ha generado en el conector de compresión.

Se evidencia una elevación del Delta T en el punto 9, cuando se empezó el estudio se presentó el fallo con una Delta T de 4,34 °C, en la siguiente toma el Delta T tenía 8.65 °C.

En el lapso de tiempo de 10 meses, el punto sufrió un incremento de su Delta T en 4,31°C.

Estructura No. 211

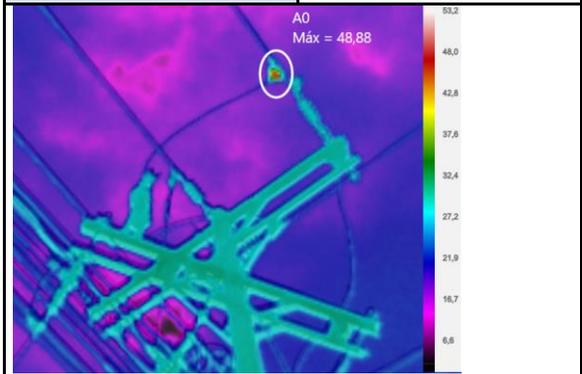
Fecha de estudio	10/VIII/2022
Temperatura ambiente (°C)	27,7
Humedad Relativa (%)	84
Velocidad viento (m/s)	4
Emisividad	0,95
Rango de la Imagen	9,6 °C hasta 44,6 °C



Puntos de Medición (°C)	
A1 (T° Max)	42,79
T° Ref	Temp. Ambiente

Factor de Corrección de Temperatura (Vel. viento)	
T° Max	79,59
T° Ref	27,7
Delta T °C (ΔT)	51,89

Fecha de estudio	21/VI/2023
Temperatura ambiente (°C)	26
Humedad Relativa (%)	84
Velocidad viento (m/s)	4,2
Emisividad	0,95
Rango de la Imagen	6,6°C hasta 53,2 °C



Puntos de Medición (°C)	
A0 (T° Max)	48,88
T° Ref	Temp. Ambiente

Factor de Corrección de Temperatura (Vel. viento)	
T° Max	90,91
T° Ref	26
Delta T °C (ΔT)	64,91

La aparición del punto caliente (A0) se ha generado en la grapa en caliente.

Se evidencia una elevación del Delta T en el punto 211, cuando se empezó el estudio se presentó el fallo con una Delta T de 51,89 °C, en la siguiente toma el Delta T tenía 64.91 °C.

En el lapso de tiempo de 10 meses, el punto caliente se incrementó en 13,02°C.

Estructura No. 215

Fecha de estudio	10/VIII/2022
Temperatura ambiente (°C)	28,2
Humedad Relativa (%)	84
Velocidad viento (m/s)	4
Emisividad	0,95
Rango de la Imagen	17,6 °C hasta 39,2 °C



Puntos de Medición (°C)	
A1 (T° Max)	37,12
T° Ref	Temp. Ambiente

Factor de Corrección de Temperatura (Vel. viento)	
T° Max	69,04
T° Ref	28,2
Delta T °C (ΔT)	40, 84

Fecha de estudio	21/VI/2023
Temperatura ambiente (°C)	27,1
Humedad Relativa (%)	84
Velocidad viento (m/s)	4,3
Emisividad	0,95
Rango de la Imagen	15,4,°C hasta 40,4 °C



Puntos de Medición (°C)	
A0 (T° Max)	38,90
T° Ref	Temp. Ambiente

Factor de Corrección de Temperatura (Vel. viento)	
T° Max	72,35
T° Ref	27,1
Delta T °C (ΔT)	45.25

La aparición del punto caliente (A0) se ha generado en la grapa en caliente.

Se evidencia una elevación del Delta T en el punto 215, cuando se empezó el estudio se presentó el fallo con una Delta T de 40,84 °C, en la siguiente toma el Delta T tenía 45,25 °C.

En el lapso de tiempo de 10 meses, el punto caliente se incrementó en 4,41°C.

Conclusiones

Después de realizar la investigación técnica termográfica al sistema de distribución eléctrica de la subestación Crucita alimentador Crucita – Los Arenales, con los resultados obtenidos en el estudio presentado en el capítulo 3 y con los objetivos específicos propuestos en este proyecto, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Determinar la georeferenciación y la numeración de los postes del alimentador

Se consiguió georeferenciar y enumerar un total de 223 puntos (postes y estructuras) del sistema de distribución de la subestación Crucita alimentador Crucita – Los Arenales, con el objetivo de identificar, cuantificar, localizar y clasificar cada punto en la zona de estudio. Para obtener las coordenadas geográficas se utilizó el dispositivo GPS Garmin modelo eTrex32x. Además, se concluye la utilización del programa Google Earth que ha proporcionado mapas interactivos de alta calidad que contribuyen significativamente a la exploración efectiva y precisa de cada punto del sistema eléctrico con el entorno que lo rodea.

Realizar el estudio termográfico de puntos calientes a la línea de distribución

Las inspecciones térmicas al sistema de distribución de la subestación Crucita alimentador Crucita – Los Arenales se realizaron en condiciones normales de operación. La investigación termográfica se la realizó con la tecnología avanzada de la cámara termográfica Fluke Tis65, la cual fue de gran importancia, ya que con este instrumento a una distancia segura se logró captar las imágenes térmicas (termogramas) con sus valores de temperatura de las 223 estructuras que conforman el sistema eléctrico principal y así solucionando las dificultades realizar análisis técnicos a las líneas energizadas de media tensión.

Identificar los puntos calientes por medio del Software Smart View

Con las imágenes térmicas del sistema eléctrico de la subestación Crucita alimentador Crucita – Los Arenales captados con la cámara termográfica Fluke Tis65, el software SmartView facilitó el análisis e interpretación de cada termograma (223 puntos) resultante de la investigación termográfica. En conclusión: El buen uso y manejo del software SmartView como herramienta eficiente con funcionalidades avanzadas, permitió relacionar las imágenes térmicas con imágenes de luz visible, organizar termogramas, gestionar datos térmicos. Además, nos facilitó la revisión, evaluación y explicación de las imágenes térmicas de manera óptima. Con el software se pudo crear de manera fácil informes técnicos de las 223 estructuras que proporcionaron una visión clara y precisa de las condiciones de los elementos constructivos del sistema eléctrico, lo cual nos ayudó a crear acciones de mantenimientos para prevenir fallos en la línea eléctrica.

Elaborar el mantenimiento predictivo del alimentador observando la criticidad de la línea



Al relacionar los resultados del estudio termográfico con los datos atmosféricos (velocidad del viento, humedad relativa y temperatura ambiente) se pudo obtener los valores fiables de Delta T de los componentes del sistema eléctrico de la subestación Crucita alimentador Crucita – Los Arenales, con el delta T se pudo determinar la criticidad de los 223 puntos estudiados y con la clasificaciones de criticidad de las tablas () de la normativa ANSI/NETA 2009, se predijo la existencia de 27 fallas de puntos calientes compuestas en 19 puntos con nivel del criticidad bajo, 6 puntos con niveles de criticidad medio y 2 puntos con nivel de criticidad alto. Con estos datos se

afirma la factibilidad en la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo en un sistema eléctrico de media tensión.

Referencias

1. Bedoya, C. C., Sierra, D. F. F., & Diaz, H. A. S. (2017). LA TERMOGRAFIA COMO HERRAMIENTA DE DIAGNOSTICO PREDICTIVO PARA LOS ELEMENTOS ELECTRICOS CONECTADOS A LA RED ENERGIA. 116.
2. Carvalho, T. P., Soares, F. A. A. M. N., Vita, R., Francisco, R. da P., Basto, J. P., & Alcalá, S. G. S. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106024. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>
3. Cruz, & Yugcha, V. H. (2021). Mantenimiento predictivo aplicando técnicas: Visuales, termográficas, efecto corona y ultrasonido acústico para detectar anomalías y prever interrupciones de energía eléctrica, no programadas, de las líneas de subtransmisión en el Ecuador. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8013>
4. Franco Mora, P. (2016). Creación de unidad de negocio en la empresa Link Nova: Prestación de servicio predictivo con cámara termográfica. <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/292>
5. Loor-Fernández, W. P., Quiroz-Fernández, L. S., & Llosas-Albuerne, Y. E. (2021). Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí. *Dominio de las Ciencias*, 7(3), 848–876. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i3.2028>
6. Reina-Pérez, F. C., Reina-Quiñónez, F. M., Valencia-Ortiz, N. P., Chere-Quiñónez, B. F., & Góngora-Ortiz, J. G. (2018). El mantenimiento predictivo, eficaz para sistemas eléctricos de potencia. *Polo del Conocimiento*, 2(12), 134. <https://doi.org/10.23857/pc.v2i12.417>
7. Rodríguez-Salazar, J. E., & Caruso, N. M. (2021). Soluciones para la mejora de la calidad del servicio de energía eléctrica en Barranquilla. Revisión de la literatura. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.17981/bilo.3.1.2021.08>
8. Sepúlveda, R. E., Agudelo Correa, I. A., & Casas Pamplona, J. C. (2017). Modelo Metodológico para Realizar Mantenimientos Predictivo y Preventivo por Medio de Drones

en el Municipio de Guatapé. [Thesis, Posgrado].
<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/5574>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).