



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i3.2028>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

*Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de
redes y equipos para la S/E Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí*

*Thermographic analysis and its impact on network and equipment maintenance
indicators for S / E Portoviejo # 1, Manabí Business Unit*

*Análise termográfica e seu impacto nos indicadores de manutenção de rede e
equipamentos da S / E Portoviejo # 1, Unidade de Negócios Manabí*

William Paúl Loor-Fernández ^I

william.loor@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8390-9767>

Luis Santiago Quiroz-Fernández ^{II}

luis.quiroz@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2962-0583>

Yolanda Eugenia Llosas-Albuerne ^{III}

yolanda.llosas@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5713-0565>

Correspondencia: william.loor@utm.edu.ec

***Recibido:** 28 de mayo de 2021 ***Aceptado:** 20 de junio de 2021 ***Publicado:** 05 de julio de 2021

- I. Estudiante de la Maestría en Mantenimiento Industrial, Mención Gestión Eficiente del Mantenimiento Industrial, Mención Gestión Eficiente del Mantenimiento, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Magister en Administración Ambiental, Doctor en Ciencias Técnicas, Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Doctor en Ciencias Técnicas, Ingeniero Electricista, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

La presente investigación, alude al trabajo realizado en un periodo de seis meses dentro de la S/E Portoviejo #1 de CNEL EP, ubicado en la ciudad de Portoviejo y, forma parte de las estrategias de carácter preventivas, propuestas al plan de mantenimiento de la Subestación. La realización de un análisis termográfico aplicando los criterios se encuentran establecidos por la Internacional Electric Testing Association Inc. - ANSI/NETA ATS-2017 y ANSI/NETA MTS-2011 para la detección y evaluación de los puntos calientes presentes en el sistema de redes para líneas de transmisión y alimentadores de 13.8 y 69 KV respectivamente, que, acompañado de una análisis de causa-raíz evidencia el grado de afectación en la disponibilidad de los equipos y, respalda la propuesta de implementar estrategias de mejoras al plan de mantenimiento preventivo mediante análisis del espectro termográfico donde, se registrarán las fichas térmicas de las mediciones periódicas de los componentes del sistema; así como, la correcta metodología y aplicación de las estrategias de mantenimiento adoptadas.

El análisis de los indicadores de gestión del mantenimiento aplicando la metodología RAM, nos permite determinar la importancia del mencionado análisis, como elemento de apoyo fundamental del mantenimiento del sistema y diagnosticar el estado de los componentes del alimentador primario y secundario, con el fin de aumentar la disponibilidad, y reduciendo las fallas intempestivas; alcanzando así la optimización de la calidad y la reducción de costos de mantenimiento, potenciando así el mantenimiento predictivo, enfocando las actividades en el monitoreo de los equipos componentes de la Subestación.

Palabras claves: Estrategias de carácter preventivas; plan de mantenimiento; análisis termográfico; evaluación de los puntos caliente; líneas de transmisión y alimentadores; indicadores de gestión.

Abstract

This research refers to the work carried out in a period of six months within the S / E Portoviejo # 1 of CNEL EP, located in the city of Portoviejo and, is part of the preventive strategies, proposed to the maintenance plan of the Substation. Carrying out a thermographic analysis applying the criteria is established by the International Electric Testing Association Inc. - ANSI / NETA ATS-2017 and ANSI / NETA MTS-201 for the detection and evaluation of hot spots present in the

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

network system for transmission lines and feeders of 13.8 and 69 KV respectively, which, accompanied by a root-cause analysis shows the degree of affectation in the availability of the equipment and, supports the proposal to implement improvement strategies to the preventive maintenance plan through analysis of the thermographic spectrum where, the thermal records of the periodic measurements of the system components will be recorded; as well as the correct methodology and application of the maintenance strategies adopted.

The analysis of the maintenance management indicators applying the RAM methodology, allows us to determine the importance of the aforementioned analysis, as a fundamental support element of the maintenance of the system and to diagnose the state of the components of the primary and secondary feeder, in order to increase availability, and reducing untimely failures; thus achieving the optimization of quality and the reduction of maintenance costs, thus enhancing predictive maintenance, focusing activities on monitoring the component equipment of the Substation.

Keywords: Preventive strategies; maintenance plan; thermographic analysis, evaluation of hot spots; transmission lines and feeders; management indicators.

Resumo

Esta pesquisa refere-se ao trabalho realizado no período de seis meses no S / E Portoviejo nº 1 do CNEL EP, localizado na cidade de Portoviejo e, faz parte das estratégias preventivas, propostas ao plano de manutenção da Subestação. A realização de uma análise termográfica aplicando os critérios é estabelecida pela International Electric Testing Association Inc. - ANSI / NETA ATS-2017 e ANSI / NETA MTS-2011 para a detecção e avaliação de pontos quentes presentes no sistema de rede para linhas de transmissão e alimentadores de 13,8 e 69 KV respectivamente, que, acompanhada de uma análise de causa raiz mostra o grau de impacto na disponibilidade do equipamento e apóia a proposta de implementação de estratégias de melhoria do plano de manutenção preventiva através da análise do espectro termográfico onde, a registros das medições periódicas dos componentes do sistema serão registrados; bem como a correta metodologia e aplicação das estratégias de manutenção adotadas.

A análise dos indicadores de gestão da manutenção aplicando a metodologia RAM, permite-nos determinar a importância da referida análise, como elemento fundamental de apoio à manutenção do sistema e diagnosticar o estado dos componentes do alimentador primário e secundário, em a

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

fim de aumentar a disponibilidade e reduzir as falhas prematuras; alcançando assim a otimização da qualidade e a redução dos custos de manutenção, potencializando a manutenção preditiva, focando as atividades no monitoramento dos equipamentos componentes da Subestação.

Palavras-chave: Estratégias preventivas; plano de manutenção; análise termográfica; avaliação de pontos quentes; linhas de transmissão e alimentadores; indicadores de gestão.

Introducción

La Unidad de Negocios Manabí, de CNEL EP posee un plan de mantenimiento, dentro del cual, no se establece la periodicidad de los análisis termográficos y la profundidad a detalle de los mismos. La aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo, basadas en el análisis termográfico, mediante la detección de puntos calientes; esto permitirá a la subestación eléctrica Portoviejo #1 y sus alimentadores, obtener mejoras en el tiempo real de trabajo, tiempo de parada por fallos, el número de mantenimientos, a fin de optimizar el tiempo de recuperación y el tiempo operativo, como indicadores de la gestión de mantenimiento.

La importancia de este tipo de estudios en las líneas de transmisión y distribución es fundamental para mantener la continuidad del servicio y reducir los factores de incidencia de anomalías técnicas que afectan a las líneas y equipos de la subestación. El procesamiento de los datos permite obtener información para la evaluación de los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad mediante el tratamiento de los tiempos medios para reparar MTTR y el tiempo medio entre fallos MTBF.

Los alimentadores de 69 KV y las líneas de distribución de media tensión de 13,8 KV de la subestación Portoviejo # 1 presentan anomalías térmicas, las cuales, deben de ser tratadas y corregidas a tiempo; esto permite, definir las estrategias de mantenimiento preventivo que, permitan establecer la periodicidad de los barridos termográficos, para, la detección de puntos calientes y el análisis correspondiente a fin de emitir un diagnóstico que a su vez se convierte en una estrategia de control de mantenimiento predictivo.

Las estrategias basadas en el análisis termográfico y su periodicidad, permitieron justificar el proceso investigativo al aplicar técnicas cualitativas y cuantitativas que, evalúen la incidencia de estas mencionadas estrategias de mantenimiento preventivo, mediante el uso de la termografía como herramienta de apoyo para el mantenimiento predictivo, de las redes de alimentación y

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

transmisión de la subestación. Con el fin de conocer los indicadores de gestión realizados por la unidad de mantenimiento y definir el nivel de disponibilidad operacional de los equipos, se aplicó una metodología de análisis RAM [Fiabilidad, Availability, Maintainability] pretende determinar por medios probabilísticos los tiempos promedios entre fallas “TPEF”, los tiempos promedios para reparar “TPPR”.

El mantenimiento eléctrico se clasifica en: tipo correctivo, preventivo, y predictivo. A pesar que el fin del mantenimiento es preservar el correcto funcionamiento de los componentes del sistema, cada uno de los tipos tiene tareas que responden al objetivo con diferente nivel de intervención y afectación del sistema. (Ramirez Sanabria & Cardenas Peñaranda, 2018)

Dentro del mantenimiento industrial, los ensayos no destructivos y en el caso particular del análisis termográfico, son un elemento fundamental para el mantenimiento de los elementos componentes de un sistema. La cámara IR se emplea en el mantenimiento predictivo, desde sistemas eléctricos, mecánicos, en procesos industriales, en la medicina, en veterinaria, así como la predicción de defectos internos en materiales.

A pesar de los altos costos de los equipos de infrarrojo, poseen mayor alcance que los equipos empleados en las técnicas de ultrasonido y radiografía limitado solo al campo de los END, los riesgos sobre la salud del operador se reducen a cero ya que los ensayos se realizan a distancia, sin contacto con la pieza y en funcionamiento, siendo los resultados que se obtienen en tiempos menores. (Eriel Pérez Zapico, 2013)

La termografía es una herramienta basada en el estudio de la temperatura de los equipos e instalaciones de una empresa sin interrumpir su ciclo de producción. Todos los objetos tienen una información térmica, imperceptible a simple vista pero que se pone de manifiesto mediante las cámaras termográficas (Olarte et al., 2011).

La aplicación del análisis termográfico en la identificación de puntos en calientes permitirá identificar daños en la red primaria y secundaria de la subestación de manera oportuna, localizando el daño o deterioro en los ítems componentes de las redes mencionadas. La etapa de detección mediante este sistema es de gran importancia porque mediante estos resultados se hará el mantenimiento preventivo correspondiente.

La cámara termográfica genera imágenes basadas en la temperatura de los objetos básicamente midiendo la energía infrarroja que emiten y convirtiendo a continuación dicha información en

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

imágenes cuyos puntos muestran diferentes colores en función de la temperatura superficial de los objetos. (Cabrera Flores, 2018); y los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre éste, como la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación. (Abarca Sigcho & Iglesias Vasco, 2014).

La emisividad, la identificación del componente y las condiciones de trabajo reales, junto con la temperatura medida, son algunos de los elementos que se utilizarán en el informe. Para que resulte más sencillo identificar el componente, normalmente se toma una fotografía visual del defecto. (Yépez Bennett, 2016);

Esta prueba también se puede utilizar para el mantenimiento preventivo en líneas de transmisión de voltaje de 230 KV, 138 KV, 69 KV y 13.8 KV (Reyes Bohórquez, 2019); Ahora no es recomendable realizar inspecciones termográficas durante los días de mucha intensidad solar (Yépez Bennett, 2016); Por tanto, la inspección termográfica deberá hacerse durante esa hora para tener resultados válidos. (Reyes Bohórquez, 2019); y para los elementos similares en donde haya 3 equipos con anomalías se toma como referencia la temperatura promedio del equipo con menor deficiencia y se procede a calcular la diferencia de temperatura con la máxima de cada uno de los equipos como se muestra en la gráfica siguiente y se clasifica el grado de la anomalía (Yépez Bennett, 2016).

El contraste en la termografía, se relaciona con diferencias de temperaturas y de emisividad de las superficies estudiadas. Por lo general, el interés está en determinar las temperaturas y poder compensar parcialmente el efecto de la emisividad. La reflexión en la superficie de partes del sistema de las radiaciones que provienen de otra parte o del mismo; así como el efecto de los flujos convectivos representan inconvenientes que dificultan la interpretación de las imágenes termográficas en los ensayos no destructivos (Yépez Bennett, 2016); una parte de estas transferencias pueden estar bajo el control del operador [caso de la termografía activa] o totalmente independientes a él [caso de la termografía pasiva] (Balageas, 2007)

De aquí que se considera a la termografía comparativa como un proceso utilizado por los termógrafos para comparar componentes similares en condiciones similares para evaluar el estado del equipo que se está inspeccionando (Fluke Corporation & Snell Group 2009); así, la transferencia de calor es el paso de la energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura, producido por dicha diferencia (Abarca Sigcho & Iglesias Vasco, 2014);

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

por lo tanto, se transfiere energía de un objeto a otro mediante el contacto directo por el choque de partículas. (Yépez Bennett, 2016); de igual manera la transferencia de calor por radiación es la más rápida y se transmite a la velocidad de la luz y no sufre atenuación en vacío. (Yépez Bennett, 2016). La utilización correcta de la termografía comparativa, se traduce en indicadores del estado de los equipos analizados. Es de suma importancia establecer el margen de error aceptable antes de empezar una inspección y trabajar con mucho cuidado para no salirse de esos límites. (Yépez Bennett, 2016)

Según Gómez et al. (2012), El diagnóstico de fallas en las redes de distribución es de gran importancia incluso en las redes de media tensión. Del mismo modo, la identificación y localización de tales eventos es un importante factor para la calidad del servicio. Para el diagnóstico de fallas se emplean algoritmos que consisten principalmente en el cómputo de la impedancia de la línea de falla, basados en el voltaje y la corriente registrados directamente en el alimentador primario. Por lo tanto, se establece una relación entre la impedancia y la distancia de la falla, teniendo presente los parámetros de la línea (Sullivan et al., 1996).

Estas afirmaciones enfocan a la termográfica como una técnica práctica para el monitoreo y diagnóstico de anomalías en el sistema, cuyas estrategias se enfocan en el mantenimiento predictivo para reducir el número de fallas, aumentando la disponibilidad operativa con la detección de puntos calientes, a fin de aumentar la confiabilidad de las Subestación Portoviejo #1 de CNEL-EP de la Unidad de Negocios Manabí.

Materiales y métodos

Análisis termográfico

El contraste en la termografía, se relaciona con diferencias de temperaturas y de emisividad de las superficies estudiadas. Por lo general, el interés está en determinar las temperaturas y poder compensar parcialmente el efecto de la emisividad. La reflexión en la superficie de partes del sistema de las radiaciones que provienen de otra parte o del mismo; así como el efecto de los flujos convectivos representan inconvenientes que dificultan la interpretación de las imágenes termográficas en los ensayos no destructivos. (Yépez Bennett, 2016)

La termografía se debe realizar cuando existe la mayor demanda de energía en la SE, es decir, en la hora pico. En general en un Sistema Eléctrico de Potencia, la hora de mayor demanda de energía

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

ocurre alrededor de las 19H00. Por tanto, la inspección termográfica deberá hacerse durante esa hora para tener resultados válidos. (Reyes Bohórquez, 2019); de igual manera el campo de visión instantáneo de medida es la resolución de la medida de una cámara termográfica que determina el tamaño mínimo que debe tener un objeto para que pueda medirse su temperatura con precisión a una distancia concreta. (Yépez Bennett, 2016)

La metodología aplicada conjuga el conjunto de procedimiento, métodos y técnicas más relevantes que permitirán llevar a cabo una sistemática, valiéndose del muestreo y el análisis estadístico y, cuyos resultados expresarán con exactitud y la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y seguridad del sistema sujeto de estudio como base en la metodología aplicada a esta investigación. Los instrumentos de medición permitirán sustentar este tipo de estudio, la investigación de campo sustentada en la tecnología de medición infrarroja con base teórica es la transferencia de calor y radiación infrarroja entregará los datos necesarios y cuyo tratamiento permitirá obtener información real y verificable.

La información obtenida de histórico de falos, informes y reportes de mantenimiento permitirán conocer el comportamiento del sistema y enfocar las actividades de mantenimiento a los ítems que presentan desfases en el cumplimiento de las funciones dentro de subestación “PORTOVIEJO #1”, en donde debido a la elevada demanda de consumo energético ha obligado a la administración general de CNEL a repotenciar sus equipos, aumentando el índice de mantenibilidad y requiriendo una disponibilidad operativa óptima. Para particularizar nuestro objeto de estudio y analizar el comportamiento de las variables que sustentan este análisis mediante una metodología PHVA (Tabla 1) que nos permita conocer de mejor manera los lineamientos establecidos para el programa general de investigación que sustenta este estudio en cada una de sus etapas.

Tabla 1: Programa General de investigación Basado en el ciclo PHVA

Ciclo (PHVA)	ACTIVIDADES
PLANEAR	<ul style="list-style-type: none">• Definición del objetivo general y específico de la investigación con base en el análisis termográfico de las líneas de abastecimiento.• Revisión de las actividades de mantenimiento intrínseco de la planta los requerimientos legales, sanitarios y ambientales dentro de las normativas vigentes.• Asignación de los recursos técnicos y económicos para la realización de la investigación.• Selección de los instrumentos de medición y control de las variables dependiente e independiente en cada etapa.• Revisión de los datos históricos de fallos para definir.• Aplicación de estrategias para el control y evaluación de los indicadores de

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

	mantenimiento
HACER	<ul style="list-style-type: none"> Realización de informes de las evaluaciones efectuadas. Aplicación la metodología seleccionada para alcanzar los objetivos planteados en la investigación. Análisis termográfico de redes y equipos para la S/E PORTOVIEJO #1 de CNEL EP Evaluación de las fase de investigación de campo y de laboratorio.
VERIFICAR	<ul style="list-style-type: none"> El cumplimiento de los objetivos de la investigación. El cumplimiento de la metodología planteados dentro del diseño metodológico El nivel de los indicadores de mantenimiento a los sistemas sujetos de estudio
ACTUAR	<ul style="list-style-type: none"> Generación de informes y entrega de recomendaciones como aporte al fortalecimiento de la unidad de mantenimiento para redes y equipos para la S/E PORTOVIEJO #1 de CNEL.

Nota: La presente tabla muestra en la metodología PHVA (Planear, Hacer, Verificar y actuar) aplicada en el programa general de investigación para este proyecto.

La metodología aplicada en esta investigación se fundamenta de medición mediante el empleo de una cámara termográfica para conocer el comportamiento de redes y equipos de la S/E Portoviejo de CNEL EP durante los periodos de mayor consumo; y así, con el empleo de los datos del histórico de fallos conocer la criticidad y los valores de los indicadores de mantenimiento aplicando una metodología de análisis RAMS. La aplicación de este tipo de análisis relacionado a la termografía desprende de los principios, magnitudes y leyes entre (tabla 2).

Tabla 2: Magnitudes y Unidades de la Termografía

<i>MAGNITUDES</i>	<i>UNIDADES</i>
<i>Intensidad radiante</i>	<i>W/sr (estereorradián)</i>
<i>Radiancia integrada en tiempo</i>	<i>J/(sr*m²)</i>
<i>Flujo radiante</i>	<i>W</i>
<i>Irradiancia</i>	<i>W/m²</i>
<i>Dosis</i>	<i>J/m²</i>
<i>Radiancia (L)</i>	<i>W/(sr*m²)</i>

Nota: La presente tabla muestra en las magnitudes y unidades utilizadas para el análisis mediante cámara termográfica.

Instrumentos

Con la finalidad de realizar el estudio termográfico para medir y visualizar a distancia y sin ningún contacto temperaturas de los elementos sujetos de estudio como un aporte al análisis de la actividad de mantenimiento y la incidencia de este en la subestación que depende del criterio de la empresa, se hace necesario evaluar los problemas y averías eléctricas dentro de las instalaciones para detectar potenciales riesgos.

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

La elección correcta de la cámara termográfica como instrumento de inspeccionar del rango de temperatura, facilita la inspección a distancia independientemente del tamaño del objeto y su temperatura de funcionamiento. (Tabla 3)

Tabla 3: Datos de barrido termográfico.

Fecha de inspección	17/05/2021	LOCALIZACIÓN	1°04'02.8"S 80°28'31.0"W
Equipamiento	Cámara termográfica	Fabricante	Fluke corporation
Serial de la Camara	TiS65-18060670	Rango de calibración	-20,00°C a "80,00°C
IR Talla del sensor	260x195	DSP versión	3.10.30
Norma aplicada	ANSI/NETA ATS-2017 y ANSI/NETA MTS-2011	Problema potencial	Puntos Calientes
CONDICIONES DE MUESTREO			
Emisividad	0,95	Humedad relativa	75%
Temperatura ambiente	26,00 °C	Temperatura reflejada	26,00°C
Temperatura de fondo	26,00°C	Velocidad del viento	8 km/h soplando de dirección suroeste

Nota: La presente tabla muestra los instrumentos y los datos necesarios para realizar el barrido termográfico.

El desarrollo de la investigación a efectuarse en la subestación Portoviejo # 1 de CNEL EP ubicada en la provincia de Manabí cantón Portoviejo, brinda cobertura necesaria a la ciudad de Portoviejo y sus alrededores con una fuente de alimentación de 230 Kw. El diagrama eléctrico unifilar de la subestación necesario para realizar nuestra investigación corresponde a los datos proporcionados por CNEL – EP y cuya evaluación mediante un estudio termográfico y respaldado por un análisis de los indicadores de mantenimiento otorgo los datos necesarios para determinar el la criticidad de los sistemas, y el procesamiento de estos para conocer cuál es la mantenibilidad, disponibilidad, confiabilidad y seguridad del sistema y sostener conclusiones que afirmen el objeto de esta investigación.

Equipos sujetos de estudio

Al realizar los barridos termográficos, implementando la cámara termográfica como instrumento de medición al sistema, subsistemas y componentes de la sub estación se pudo realizar una clasificación sistemas de los componentes según su nivel de criticidad, evaluando la focalización del mantenimiento en las zonas más afectadas durante un periodo de 6 meses pudiendo constatar el nivel de los indicadores de mantenimiento por medio de un análisis RAM que evidencia el

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
 Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

porcentaje de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad luego de aplicar los tratamientos respectivos

Según Vásquez Paredes (2017), se deben priorizar las actividades en razón de los componentes sometidos al análisis termográfico de aquí que:

Para establecer la prioridad y el grado de severidad de componentes con defecto, referenciado al 100% de su carga nominal, se utiliza la tabla de criterios de la norma “NETA” (International Electrical Testing Asociation), válida únicamente para mediciones directas de temperatura, que se muestra a continuación:

Tabla 4: Clasificación de las fallas según las diferencias de temperatura

NIVEL	DIFERENCIA DE TEMPERATURA (Δ T) EN BASE A LAS COMPARACIONES ENTRE LOS COMPONENTES Y EL AIRE AMBIENTE	DIFERENCIA DE TEMPERATURA (Δ T) EN BASE A LAS COMPARACIONES ENTRE SIMILARES COMPONENTES BAJO CARGAS SIMILARES.	CLASIFICACIÓN	ACCIÓN
1	1°C - 10°C O/A	1°C a 3°C O/S	Posible deficiencia	La deficiencia posible; investigación de órdenes
2	11°C–20°C O/A	ó 4°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	Indica probable deficiencia; la reparación como el tiempo lo permite
3	21°C–40°C O/A	-----	Deficiencia	Monitorear hasta que las medidas correctivas se pueden realizar
4	>40°C O/A	>15°C O/S	Deficiencia mayor	Discrepancia importante; REPARAR INMEDIATAMENTE

Fuente: ANSI/NETA ATS-2017 TABLA 100.18. Thermographic Survey Suggested Actions Based Temperature Rise. O/A: Over Ambient: (Sobre Temperatura ambiente); O/S: Over Similar: (Sobre Temperatura de un cuerpo similar en condiciones normales).

El análisis del modo efecto de fallas

Mediante una lista de comprobación para cada tipo de equipo o de sistema y sus componentes por separado por medio se la siguiente formula:

$$\square\square\square\square\square = \square\square\square\square\square\square\square\square\square\square \square\square \square\square\square\square * \square\square\square\square \square\square \square\square\square\square\square\square\square\square$$

Ecuación 1

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
 Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

Análisis de criticidad

El análisis de la criticidad como fuente del problema para una calificación deficiente y evidencia delta de temperatura como evidencia de las anomalías expuesto en los análisis permite direccionar las actividades de mantenimiento hacia puntos focales debido a los procesos críticos de mantenimientos preventivos y reducir la tasa de fallos y la severidad de sus consecuencias. Así tenemos:

$$\square\square\square\square\square\square\square\square\square = \square\square\square\square\square\square\square\square\square * \square\square\square\square\square\square\square\square\square\square$$

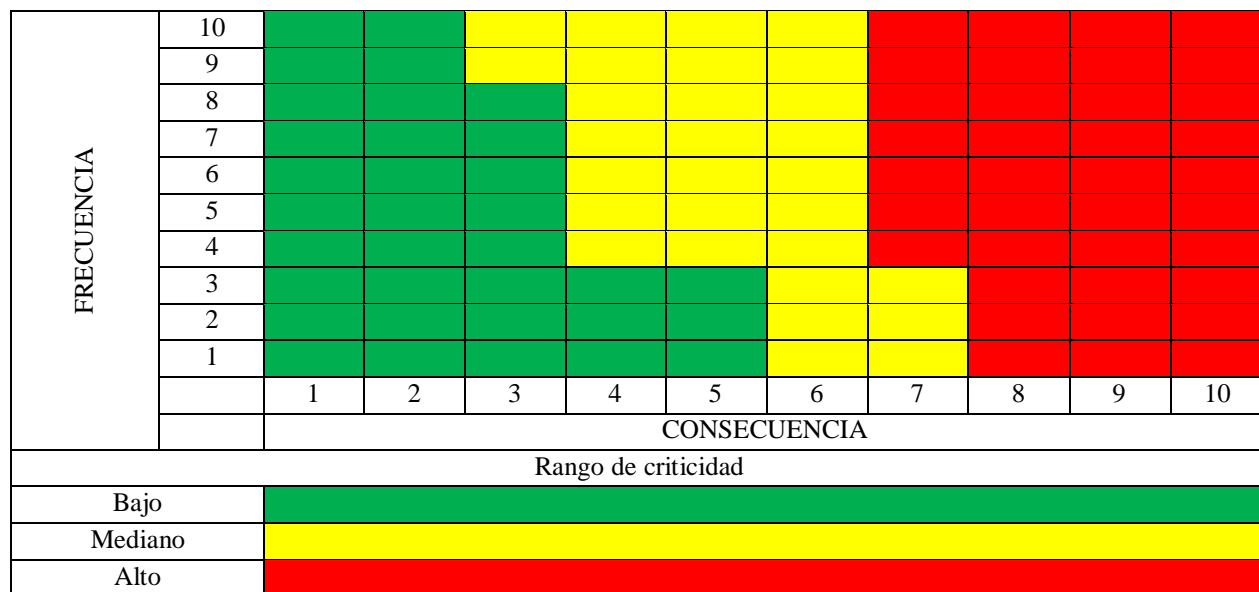
$$\square\square\square = \square\square * \square$$

Ecuación 2

Matriz de criticidad

La matriz de criticidad y los riesgos inherentes u ocurrencia de estos constituyendo así un factor de riesgo. (Figura 1).

Figura 1: Matriz de criticidad en razón de la frecuencia e impacto de los riesgos



Nota: La presente gráfica el diagrama de criticidad aplicable a los elementos de estudio

Criterios de evaluación

Para la evaluación de los factores de riesgo se consideraron los siguientes criterios:

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

- Frecuencia de Fallos (FF)
- Impacto operacional (IO)
- Disponibilidad de repuestos (DR)
- Impacto en seguridad o medioambiente (SHA)
- Detectabilidad del fallo (DF)
- Tiempo de reparación (TR)
- Coste de reparación (CR)

Se debe establecer una matriz de comparación para realizar un análisis cualitativo y cuantitativos de los variables y determinar aquellos elementos del sistemas, subsistemas o componentes se encuentran mayormente afectados y enfocar las acciones de mantenimiento a aquellas zonas críticas. En este criterio, se determina la diferencia de temperaturas entre el punto que presenta la falla y un punto de referencia. Esta referencia presenta típicamente la temperatura ambiente o es un equipo que está trabajando a las mismas condiciones del equipo comparado. En el criterio Delta de Temperatura existen normas o estándares usados por Termógrafos para evaluar y/o clasificar la diferencia de temperatura resultante de los criterios establecidos por la Internacional Electric Testing Association Inc. - ANSI/NETA ATS-2017 y ANSI/NETA MTS-2011, los cuales proporciona rangos muy estrictos para la clasificación de temperaturas.

Matrices de comparación

Al aplicar un Proceso de análisis jerárquico o AHP que proporcione la posibilidad de incluir datos cuantitativos relativos a las alternativas de decisión incorporando aspectos cualitativos que suelen quedarse fuera del análisis debido a su complejidad para ser medidos. Mediante la construcción de un modelo jerárquico, que permita organizar la información de manera eficiente y gráfica con respecto de un problema, al descomponer y analizarla por partes los efectos del tratamiento de estos datos en los diferentes niveles, uniendo todas las soluciones de los problemas en función de un atributo o criterio común que satisfaga la relación recíproca al comparar dos elementos mediante el empleo de una escala con valores de 1 a 9 para calificar las preferencias relativa a estos.

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
 Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

Tabla 5: Tabla de clasificación por ponderaciones de Satty

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Nota: La presente tabla los criterios de tiempo de reparación en un periodo de 6 meses. Tomado de (Mendoza, Solano, Palencia, & David, 2019)

Determinación de las consecuencias

El nivel de las consecuencias se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C_{ij} = \alpha * (10 * \beta * \gamma) + \delta * \epsilon + \zeta * \eta + \theta * \iota$$

Ecuación 3

El radio de inconsistencia (IR) y el índice de consistencia (CI) se debe de calcular previo la matriz de juicio para conocer sus valores referenciales mediante la ecuación:

$$IR \approx \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n |a_{ij} - a_{ji}|$$

$$CI = \frac{IR_{max} - IR}{IR_{max} - 1}$$

Ecuación 4

Dónde:

λ_{max} = máximo auto valor de la matriz

$$CI = \frac{IR_{max} - IR}{IR_{max} - 1}$$

Ecuación 5

Metodologías para el análisis y procesamiento de los datos

El análisis RAM

El análisis RAM permite pronosticar para un período determinado de tiempo la disponibilidad y el factor de servicio de un determinado Ítems con respecto a la función que cumple este dentro de un

sistema. La fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, permiten la funcionabilidad en razón de los siguientes factores:

Tiempo Operativo

$$h = \frac{Tr}{m}$$

Ecuación 6

Donde:

Tr: Tiempo real de trabajado en el período analizado (horas)

m: cantidad de fallos de la maquina durante el periodo de observación.

Tiempo medio de recuperación de la capacidad de trabajo

$$Tf = \frac{m}{m}$$

Ecuación 7

Donde:

Tf: Tiempo de parada por fallas en el periodo analizado (horas)

m: Cantidad de fallos de la maquina durante el periodo de observación.

El tiempo medio entre fallos

Se calcula obteniendo el tiempo promedio para fallar (MTTF) como tiempo promedio entre fallos para datos exponencialmente distribuidos mediante la siguiente ecuación:

$$MTTF = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} t_i}{m}$$

Ecuación 8

$$R(t) = \frac{1}{m}$$

Ecuación 9

Confiabilidad

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Ecuación 10

Donde

λ = Es la frecuencia con la que se presentan los fallos en los componentes

μ = Es la inversa del MTBF (tiempo medio entre fallos)

La ecuación también se puede expresar de la siguiente forma:

$$R(t) = e^{-\frac{1}{\mu} \lambda t}$$

Ecuación 11

El cálculo de la confiabilidad de un sistema en serie:

$$R = R_1^{(-1)} * R_2^{(-1)} * R_3^{(-1)}$$

Ecuación 12

El tiempo medio de reparación

Se calcula con la siguiente fórmula

$$R(t) = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} R_i(t)}{\mu}$$

Ecuación 13

$$\mu = \frac{1}{\lambda}$$

Ecuación 14

Mantenibilidad

Relaciona las características técnicas, capacidades, experiencias y medios técnicos de los equipos de trabajo; con los parámetros de tiempo medio de inmovilización, tiempo acumulado de buen funcionamiento, tiempo acumulado de paralización de la instalación debido al mantenimiento correctivo, número de intervenciones de mantenimiento con paralización del servicio. se representa por M(t) mediante la ecuación:

$$M(t) = 1 - \frac{1}{\mu} \lambda t$$

Ecuación 15

Disponibilidad

La disponibilidad para un estimado de tiempo en un sistema dependiendo de su enfoque es:

Disponibilidad n de disponibilidad

$$D_n = \frac{UT}{UT + DT}$$

Ecuación 16

Disponibilidad Genérica sin mantenimientos preventivos- AG

$$D_{AG} = \frac{UT}{UT + DT}$$

Ecuación 17

Donde:

UT: Tiempos útiles o Up Time

DT: Tiempos en que la máquina ni funciona ni produce, o Down Time

m: Número de eventos de UT

n: Número de no funcionalidades DT.

Se debe asumir que no existen planeadas MP dentro de los tiempos de DT.

Disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos

$$D_{GP} = \frac{UT}{UT + DT + MP}$$

Ecuación 18

Se aproxima y queda como

$$D_{GP} \approx \frac{UT}{UT + DT}$$

Ecuación 19

Disponibilidad inherente o intrínseca - AI

$$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1}{\frac{1}{MTBF} + \frac{1}{MTTR}}$$

Ecuación 20

Tiempo medio entre mantenimientos

El tiempo medio entre mantenimientos (MTBM) como consecuencia del mantenimiento preventivo se aproxima al Tiempo medio de buen funcionamiento (MTBF) en un periodo de tiempo en función de la frecuencia con que se dan los mantenimientos planeados y no planeados dentro de la subestación con las siguientes formulas:

$$\frac{1}{\frac{1}{MTBF} + \frac{1}{MTTR}}$$

Ecuación 21

$$\frac{MTBF}{\frac{1}{\frac{1}{MTBF} + \frac{1}{MTTR}}}$$

Ecuación 22

Disponibilidad alcanzada - AA

$$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1}{\frac{1}{MTBF} + \frac{1}{MTTR}}$$

Ecuación 23

Ambos valores se calculan exactamente igual que en la disponibilidad alcanzada.

Donde:

MTTR = Tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos, sin incluir las demoras logísticas, ni los retrasos administrativos; es el mismo que se define anteriormente.

MP = Tiempo neto medio para ejecutar tareas proactivas de mantenimientos planeados.

Mc = Tiempo medio de mantenimiento activo que se requiere para realizar una tarea de mantenimiento correctivo.

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

Disponibilidad Operacional - DO - AO

$$\frac{\text{MTBM}}{M} = \frac{\text{MTBM}}{M} + \frac{\text{MTBM}}{M}$$

Ecuación 24

Donde:

MTBM = Tiempo medio entre mantenimientos

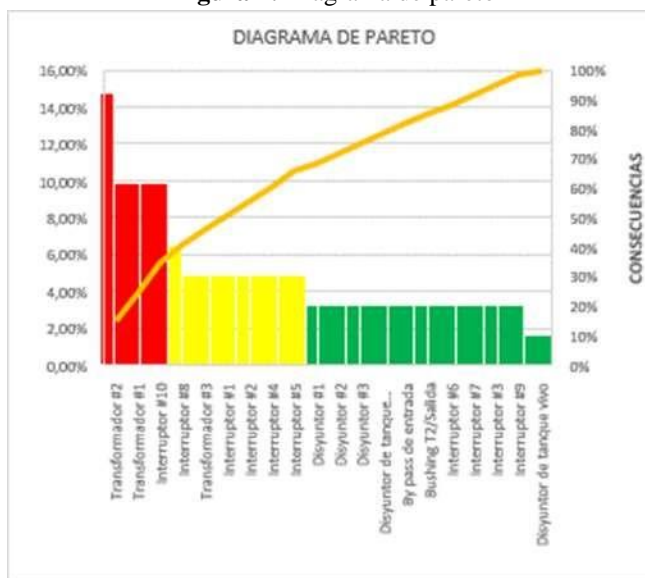
M = Mantenimientos.

Resultados y discusión

Análisis de criticidad de los ítems del sistema

Las evaluaciones realizadas de forma sistemática, permitieron generar reportes de las condiciones del sistema, bajo los parámetros establecidos en la norma de inspección, de forma independiente para cada ítem; esto permite definir la criticidad del sistema [figura 2] y dirigir los esfuerzos de la unidad de mantenimiento, en función del impacto y severidad de las consecuencias.

Figura 2: Diagrama de pareto



Nota: La presente tabla de asignaciones de criterios por ítem en un período realizado de los equipos de la Sub-Estación Portoviejo #1. Elaboración propia.

Se logró determinar que el 85,25% de los fallos presentados es se presentan en el 14,75% de los equipos

Análisis termográfico

Equipos de subestación Portoviejo #1

El cumplimiento de las estrategias de mantenimiento predictivo mediante barrido termográfico aplicable a la subestación Portoviejo # 1 de la Unidad de negocios Manabí de CNEL E/P, se realizó un análisis termográfico de la sub-estación con reportes con el fin de determinar el estado de los equipos y líneas de distribución eléctrica que evidencien la presencia de puntos calientes ocasionados por problemas de resistencia eléctrica, circuitos abiertos, cortocircuitos calentamiento por inducción, desfase de carga, sobrecarga y una contacto entre elementos transmisores receptores. Los trabajos de termografía se realizaron por personal certificado y calificado bajo el estándar ANSI/NETA ATS-2017 y ANSI/NETA MTS-2011.

Descripción de los elementos analizados

Las Técnicas de inspección establece una comparativa entre los datos obtenidos de la inspección con presencia de puntos calientes y los datos relevantes en tomas posteriores de aquellos puntos con mayor incidencia. Al comparar el comportamiento de los equipos que trabajan en condiciones similares se puede evaluar el estado de los mismos en condiciones normales. La secuencia de equipos que permiten recibir, transformar y transmitir la energía para su comercialización y que fueron sometidos al análisis termográfico son:

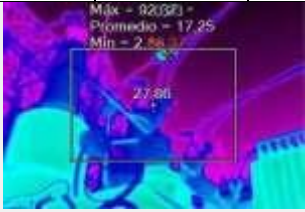

1. Seccionador de línea
2. Seccionador de barra
3. Disyuntores; seccionador del transformador
4. By pass
5. Transformadores de corriente
6. Transformadores de potencial
7. Transformador.

El empleo de la cámara termográfica TiS65-18060670 para la toma de datos relacionados a los rangos de temperatura en el castillo 1-2 y 3 a nivel de 69 kV. de la subestación Portoviejo #1 permitió establecer la afectación que tienen las conexiones e identificar las variaciones de temperatura (ΔT) las comparaciones similares bajo cargas similares.

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

Formato de análisis de incidencia de barrido termográfico

Tabla 6: Barrido termográfico, Ítem #8, Toma 1

IR_04355.IS2	Ítem	TRANSFORMADOR 2/LA					
							
INFORMACIÓN DE LA IMAGEN							
Rango de la imagen		0,23 °C a 92,37 °C					
Fecha de la Imagen		18/05/2021		Hora de la imagen		19:35:54 PM	
INFORMACIÓN DE LOS INDICADORES							
Marcador	□□□□	□□□□	Promedio	□□□	□	ΔT_1	ΔT_2
Punto central	27,9°C	27,9°C	27,9°C	26,0 °C	0,00	25,4°C	1,9°C
Cuadro central	92,4°C	2,5°C	17,3°C	26,0 °C	11,30	89,9°C	66,4°C
Caliente	92,4°C	92,4°C	92,4°C	26,0 °C	0,00	89,9°C	66,4°C
Frio	0,2°C	0,2°C	0,2°C	26,0 °C	0,00		
INTERCONEXIÓN CON BARRAS COLECTORAS 69 KV							
Observaciones:						Acción a seguir	
Se estableciendo un ΔT_1 en 1,2 °C en el punto central y de 29,7 °C en el área del cuadro central y 37,9 °C en el punto caliente con respecto a la temperatura de referencia; un ΔT_2 de 2,8 °C en el punto central y de 25,6 °C en el cuadro central y de 33,9°C en el punto caliente con respecto a la temperatura reflejada de fondo, ubicándose en un nivel de severidad crítica.						Mantenimiento correctivo, desfase importante; reparar de forma inmediata.	
Diagnóstico						Prioridad de reparación	
Presenta un elevado incremento de temperatura en los terminales.						INMEDIATA	

Nota: La presente tabla muestra la toma IR_04355.IS2 del transformador 2 en los que se establece la presencia de puntos calientes. Elaboración propia

Tabla 7: Resultados del Barrido Termográfico, Sub-Estación Portoviejo #1, 17 de mayo del 2020.

SUB-ESTACIÓN PORTOVIEJO #1					
#	ÍTEM	TEMPERATURAS			PRIORIDAD
		□□□	□□□□	ΔT	
1	Disyuntor #1	28,2 °C	21,2 °C	7,0 °C	MEDIA
2	Disyuntor #2	35,2 °C	22,4 °C	12,8°C	MEDIA
3	Disyuntor #3	32,7 °C	22,3 °C	10,4°C	MEDIA
4	Disyuntor de tanque vivo	33,5 °C	20,1°C	13,4 °C	MEDIA
5	Disyuntor de tanque muerto	34,4 °C	22,1 °C	12,3 °C	MEDIA
6	By pass de entrada	30,2 °C	20,7 °C	9,6 °C	MEDIA
7	Transformador #1	45,1 °C	21,0 °C	24,1 °C	INMEDIATA
8	Transformador #2	59,9 °C	22,0 °C	37,9 °C	INMEDIATA

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

9	Transformador #3	31,1 °C	21,6 °C	9,5 °C	MEDIA
10	Bushing T2/Salida	33,2 °C	22,3 °C	10,9 °C	MEDIA
11	Interruptor #1	39,7 °C	21,8 °C	17,9 °C	ALTA
12	Interruptor #2	31,3 °C	20,8 °C	10,5 °C	MEDIA
12	Interruptor #3	54,1 °C	21,1 °C	33,0 °C	INMEDIATA
14	Interruptor #4	39,0 °C	21,9 °C	17,1 °C	MEDIA
15	Interruptor #5	47,5 °C	21,2 °C	26,3 °C	ALTA
16	Interruptor #6	42,3 °C	21,4 °C	20,9 °C	ALTA
17	Interruptor #7	48,6 °C	21,3 °C	27,3 °C	ALTA
18	Interruptor #8	48,8 °C	21,3 °C	27,5 °C	ALTA
19	Interruptor #9	33,0 °C	21,9 °C	11,1 °C	MEDIA
20	Interruptor #10	48,8 °C	21,3 °C	27,5 °C	ALTA

Nota: La presente tabla muestran los resultados del barrido termográfico realizado a los equipos de la Sub-Estación Portoviejo #1 de la Unidad de negocios Manabí de CNEL E/P en los que se establece la presencia de puntos calientes. Elaboración propia.

Tabla 8: Resultados del Barrido Termográfico, Sub-Estación Portoviejo #1, 18 de mayo del 2020.

SUB-ESTACIÓN PORTOVIEJO #1					
#	ÍTEM	TEMPERATURAS			PRIORIDAD
		□□□ □	□□□ □	ΔT	
1	Disyuntor #1	27,0 °C	1,1 °C	25,9 °C	INMEDIATA
2	Disyuntor #2	24,0 °C	12,0 °C	12,0 °C	MEDIA
3	Disyuntor #3	24,8 °C	2,7 °C	22,1 °C	ALTA
4	Disyuntor de tanque vivo	23,7 °C	2,4 °C	21,3 °C	ALTA
5	Disyuntor de tanque muerto	28,9 °C	4,4 °C	12,9 °C	MEDIA
6	By pass de entrada	21,5 °C	6,5 °C	15,0 °C	MEDIA
7	Transformador #1	41,9 °C	2,3 °C	39,6 °C	ALTA
8	Transformador #2	92,4 °C	2,5 °C	89,9 °C	INMEDIATA
9	Transformador #3	45,9 °C	3,9 °C	42,0 °C	INMEDIATA
10	Bushing T2/Salida	26,4 °C	13,5 °C	12,9 °C	MEDIA
11	Interruptor #1	23,4 °C	1,8 °C	21,6 °C	ALTA
12	Interruptor #2	24,8 °C	1,4 °C	27,4 °C	ALTA
12	Interruptor #3	25,8 °C	0,5 °C	25,3 °C	ALTA
14	Interruptor #4	31,9 °C	1,2 °C	30,7 °C	ALTA
15	Interruptor #5	27,4 °C	0,9 °C	26,5 °C	ALTA
16	Interruptor #6	26,3 °C	1,8 °C	24,5 °C	ALTA
17	Interruptor #7	44,2 °C	3,7 °C	44,2 °C	INMEDIATA
18	Interruptor #8	31,4 °C	1,9 °C	29,5 °C	ALTA
19	Interruptor #9	89,8 °C	0,0 °C	89,8 °C	INMEDIATA
20	Interruptor #10	22,4 °C	0,2 °C	22,2 °C	ALTA

Nota: La presente tabla muestran los resultados del barrido termográfico realizado a los equipos de la Sub-Estación Portoviejo #1 de la Unidad de negocios Manabí de CNEL E/P en los que se establece la presencia de puntos calientes. Elaboración propia.

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

Equipos de la Sub-Estación Portoviejo #1 de la Unidad de negocios Manabí de CNEL E/P en los que se establece la presencia de puntos calientes

El establecer estrategias de mantenimiento preventivo mediante la aplicación de una metodología de inspección mediante análisis termográfico permite evaluar las condiciones de desempeño de la subestación. Se realizó un análisis RAM para determinar el factor de servicio y los indicadores de la gestión de mantenimiento luego de generar las directrices para la toma de muestras infrarrojas a los sistemas que presentan mayor criticidad y conocer su confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad operativa apoyados en los datos obtenidos del histórico de fallos.

Tabla 9: Histórico de fallos de la Sub-Estación Portoviejo #1

HISÓRICO DE FALLOS						
SISTEMAS	INDICADOR	MESES				
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
SISTEMA	Tr (h)	0.3	6,9	2,48	0,0001	1,5
	Tf (h)	730	672	730	730	730
	M (u)	1	1	1	1	1

Nota: La presente tabla muestra los indicadores aplicados al análisis RAM de los equipos de la Sub-Estación Portoviejo #1. Elaboración propia.

El tiempo real de trabajado [Tr], el Tiempo de parada por fallas en el periodo analizado [Tf], el número de mantenimientos [m], los tiempos de recuperación [TR] y el tiempo operativo [TO], fueron obtenidos de los datos internos de la empresa. El procesamiento de estos datos permitió obtener información para la evaluación de los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, mediante el tratamiento de los tiempos medios para reparar [MTTR] y el tiempo medio entre fallos [MTBF]; para establecer indicadores de gestión de mantenimiento. [tabla 4-5]

Tabla 10: Indicadores de tiempo de operación y tiempo de recuperación.

INDICADORES DE ANALISIS RAMS						
INDICADOR	Tiempo de Reparación	FORMULAS	$\square \square = \frac{\square}{\square}$			
ÍTEM		Meses				
		Ene ro	Febre ro	Mar zo	Abr il	Ma yo
SISTEMA		0,30 horas	6,90 horas	2,48 horas	0,00010 horas	1,50 horas

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

INDICADOR	Tiempo Operativo	FORMULAS	Meses				
			Ene ro	Febre ro	Mar zo	Abr il	Ma yo
			730,00	672,00	730,00	730,00	730,00

Nota: La presente tabla muestra los indicadores de tiempo operativo y tiempo de recuperación de los sistemas de los equipos de la Sub-Estación Portoviejo #1. Elaboración propia.

Tabla 11: Indicadores de metodología RAM

ANALISIS RAMS		
SISTEMAS DE LOS EQUIPOS DE LA SUB-ESTACIÓN PORTOVIEJO #1.	PERÍODO	ENERO A MAYO DEL 2021
INDICADOR	Tiempo medio de reparación	
FORMULAS	$\square\square\square\square = \frac{\sum \square\square\square\square}{\square\square\square\square} (\square\square\square\square)$	0,28 Días 6,72
INDICADOR	Tiempo Medio entre fallos	
FORMULAS	$\square\square\square\square = \frac{\sum \square\square\square\square}{\square\square\square\square} (\square\square\square\square)$	89,80 Días 2.155,20
INDICADOR	Confiabilidad	
FORMULAS	$\square(\square) = \square - \frac{\square}{\square\square\square\square} \square\square\square\square$	0,91 91%
INDICADOR	Mantenibilidad	
FORMULAS	$\square = \square - \frac{\square}{\square\square\square\square} = \square - \square * \square$	0,97 97%
INDICADOR	Disponibilidad	
FORMULAS	$\square = \frac{(\sum \square\square + \sum \square\square) - \sum \square\square}{(\sum \square\square + \sum \square\square)}$	0,997 99,7%
INDICADOR	Tiempo medio entre mantenimientos correctivos	
FORMULAS	$\square\square\square\square\square = \frac{\sum \square\square}{\square\square}$	29,93 Días 718,40 Horas
INDICADOR	Tiempo medio entre mantenimientos programados	
FORMULAS	$\square\square\square\square\square = \frac{\sum \square\square}{\square\square}$	12,47 Días 299,33 Horas
INDICADOR	Tiempo medio entre mantenimientos	
FORMULAS	$\square\square\square\square = \frac{\square}{\square\square\square\square + \square\square\square\square}$	8,80 Días 211,29 Horas
INDICADOR	Disponibilidad Operacional	
FORMULAS	$\square\square = \frac{\square\square\square\square}{\square\square\square\square + \square}$	0,99 99%

Nota: La presente tabla muestra los valores de los indicadores RAM de los equipos de la Sub-Estación Portoviejo #1. Elaboración propia.

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

Los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema son el resultado de la implementación de las estrategias de mantenimiento adoptadas en la Sub-Estación Portoviejo #1 que permitieron mejoras en el plan de mantenimiento. El barrido termográfico como aporte al mantenimiento preventivo de la subestación evidenciaron las variantes en las temperaturas entre los meses de enero y mayo de 2021 mejorando el sistema empleado para acciones de mantenimientos programados y actividades de carácter correctivo.

Conclusiones

Se realizó un análisis termográfico que permitió identificar las áreas con mayor incidencia de puntos calientes. El barrido termográfico en la sub-estación Portoviejo #1 encontró anomalías térmicas con diversos grados de severidad; estos criterios se encuentran establecidos por la Internacional Electric Testing Association Inc. - ANSI/NETA ATS-2017 y ANSI/NETA MTS-201, los cuales proporciona rangos muy estrictos para la clasificación de temperaturas estableciendo sus causas y las acciones preventivas y correctivas que se deben tomar.

La evaluación integral del sistema de redes de la S/E permitieron identificar los componentes del alimentador primario y secundarios. Las estrategias de mantenimiento que enfoca sus actividades en el monitoreo de los equipos componentes de la Subestación permitió establecer el tiempo de vida útil para cada ítem y conocer su funcionabilidad y la incidencia de éstas en los índices de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad.

Se logró establecer una base de datos que, permitió elaborar un histórico de fallos para los sistemas componentes de la sub-estación. La ficha técnica obtenida se enfocó en las actividades de mantenimiento preventivo orientadas al análisis con técnicas de termografía como aporte al mantenimiento que garantice la disponibilidad operativa de los ítems componentes del sistema con un reajuste de las actividades de mantenimiento en los elementos que presentan mayor incidencia de puntos calientes dentro de la subestación Portoviejo #1 de la Unidad de Negocios Portoviejo de CNEL.

Referencias

1. Abarca Sigcho, D. F., & Iglesias Vasco, F. J. (2014). Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo Mediante la Aplicación de Termografía Industrial en los Motores

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

- Eléctricos de la Planta de Eurolit en la Empresa Tubasec CA [TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO DE MANTENIMIENTO, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3061>
2. Alomá, E., & Malaver, M. J. E. d. l. c. r. d. i. y. e. d. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot. 25(3), 387-400.
[file:///C:/Users/COMPUTEACH/Downloads/87934-Texto%20del%20art%C3%ADculo-216473-1-10-20100121%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/COMPUTEACH/Downloads/87934-Texto%20del%20art%C3%ADculo-216473-1-10-20100121%20(2).pdf)
 3. Balageas, D. L. (2007). Termografía infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END). IV Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires,
 4. Cabrera Flores, G. I. (2018). Mantenimiento predictivo con aplicación de un Sistema Termografico para optimizar los indicadores de calidad de suministro en los alimentadores de Media Tension Trujillo Nor Oeste [TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA, UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO].
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/26581/cabrera_fg.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 5. EP, C. (2008). HISTORIA DE CNEL. Retrieved 15 de diciembre from <https://www.cnelep.gob.ec/historia/>
 6. Eriel Pérez Zapico, A. D. S., Carlos René Gómez Pérez, Freddy Santo Castillo. (2013, septiembre-diciembre, 2013,). Observación y cuantificación de defectos en soldaduras a través del procesamiento digital de imágenes termográficas. Ingeniería Mecánica, 16. No. 3, 246-256.
 7. <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>
 8. Galar, D., Berges, L., & Royo, J. J. I. J. i. d. A. M. X. J. d. C. (2009). Construcción de KPIs de mantenimiento en base a los parámetros RAMS: La necesidad de un cuadro de mando [TESIS PARA OPTAR EL TITULO INGENIERO EN MANTENIMIENTO MECANICO, UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR].
<https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/14700>

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

9. Garrido, F. J. S. D. M. B. P. G. Á. M. R. A. H. (2015, 2015). IR thermography applies to the detection of solar panel. *Revista de la construcción*, 14. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2015000300001>
10. Gómez, V. A., Peña, R. A., & Hernández, C. (2012). Identificación y Localización de Fallas en Sistemas de Distribución con Medidores de Calidad del Servicio de Energía Eléctrica %J *Información tecnológica*. 23, 109-116. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642012000200013&nrm=iso
11. Gondres Torné, I., Lajes Choy, S., & del Castillo Serpa, A. (2018). Gestión del mantenimiento a interruptores de potencia. Estado del arte %J *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. 26, 192-202. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052018000200192&nrm=iso
12. Hidalgo, J. C. (2003). La importancia de la correlación de las tecnologías predictivas en el diagnóstico de motores eléctricos. 1er congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento,
13. Jaimes, J. E. S., Ochoa, J. A. V., & Camacho, E. A. A. J. R. C. D. T. D. A. (2017). ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y ÁRBOLES DE DIAGNÓSTICO DE FALLAS PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIA. 1(27), 104-111. http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/viewFile/2544/1288
14. Jiménez Barrera, J. T. (2020). Propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, a los activos críticos del sistema eléctrico de distribución a nivel de subestaciones, en la empresa Continental Tire Andina SA [Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
15. Magíster en Gestión de Mantenimiento, Universidad del Azuay]. <http://201.159.222.99/bitstream/datos/9963/1/15593.pdf>
16. Mejia, J. B., & Varona, R. L. J. S. e. t. (2014). Calibración de Cámara Termográfica Fluke TI-32. 19(1), 59-66. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84930900010.pdf>
17. Michael Pérez Pérez, F. M. P., Hilario Reyes Pacheco, Michel Hernández Hernández. (2015). Aplicación de la Termografía en la inspección y el diagnóstico de paredes de

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

- generadores de vapor bkz-340-140/29m. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 23, No. 4(RNPS-0111), 69-75. rcta@unah.edu.cu
18. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000400012
 19. Muñoz-Potosi, A., Pencue-Fierro, L., & León-Téllez, J. J. B. R. d. l. F. d. C. B. (2009). Análisis Termográfico Para La Determinación De Puntos Críticos En Equipos Mecánicos Y Eléctricos. 7(1), 1-4. <https://www.redalyc.org/pdf/903/90312171013.pdf>
 20. Olarte, W., Botero, M., & Zabaleta, B. C. J. S. e. t. (2011). Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo. 2(48), 253-256. <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1303>
 21. Pedro, M. G. A. (2010). Confiabilidad estructural y políticas de mantenimiento a la subestación eléctrica Yaritagua 115/13,8 kV. Universidad, Ciencia y Tecnología, 14, N° 55. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212010000200002
 22. Penkova Vassileva, M. J. C. y. s. (2007). Mantenimiento y análisis de vibraciones. <https://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/bitstream/handle/123456789/1250/CISO20073204-668-678.pdf>
 23. Ramirez Sanabria, I. D., & Cardenas Peñaranda, W. M. (2018). Analisis De Resultado De Tecnicas De Ultrasonido Y Termografía Que Permitan Pronosticar Las Fallas En Redes Electricas Aereas Y Subestaciones De Media Y Baja Tension De Ebsa [TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE ESPECIALISTA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA, Universidad Industrial de Santander, Ingeniería Eléctrica, Electrónica y ...]. <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/37364/1/172998.pdf>
 24. Reyes Bohórquez, D. A. (2019). Mantenimiento predictivo para subestación eléctrica de una planta procesadora de químicos. <http://192.188.52.94/bitstream/3317/12755/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-219.pdf>
 25. Reyna Regnault, R. E. G., Carlos Eduardo. (2011). TERMOGRAFÍA ACÚSTICA COMO APOYO COMPLEMENTARIO A LA TERMOGRAFÍA INFRAROJA. 5-16. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/91122651001%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/91122651001%20(1).pdf)
 26. Suárez-Domínguez, F. J., Prendes-Gero, M. B., Martín-Rodríguez, Á., & Higuera-Garrido, A. (2015). IR thermography applies to the detection of solar panel %J Revista de la

Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E
Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí

- construcción. 14, 9-14. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2015000300001&nrm=iso
27. Vásquez Paredes, D. J. (2017). Estudio termográfico aplicado como técnica de mantenimiento predictivo en las instalaciones eléctricas de media y baja tensión de los sistemas de bombeo del sector urbano de la EMAPA-I [TESIS PARA LA OPTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN LA ESPECIALIDAD DE MANTENIMIENTO ELECTRICO, UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7548>
28. VErena Mercado, J. B. P. (2016, 2017). MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ENFOCADO EN LA EFICIENCIA Y OPTIMIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA. CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍA, Saber, Universidad de Oriente, 198702SU187 28 N° 1, 99-105. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622016000100010
29. Yépez Bennett, F. V. (2016). Análisis termográfico de la subestación San Lorenzo y su alimentador primario principal para elaborar un plan de mantenimiento predictivo [TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO DE MANTENIMIENTO ELECTRICO, UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE]. <http://repositorio.utn.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5681/1/04%20MEL%20016%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
30. Young, H. D., Freedman, R. A., & Lewis Ford, A. (2009). Física universitaria. Pearson educación. <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/handle/123456789/1380>

©2020 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/>).