



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

INFORME TÉCNICO:

TEMA:

**“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”.**

**AUTOR: VÁSQUEZ PAREDES DIEGO JAVIER**

**DIRECTOR: ING. MAURICIO VÁSQUEZ**

Ibarra - 2015

# “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”.

## RESUMEN

El presente trabajo se centra en el estudio termográfico de los sistemas eléctricos de media y baja tensión de los sistemas de bombeo del sector urbano de la EMAPA-I, con el objetivo de reducir los porcentajes de fallas, anticipándose a ellas e incrementando la confiabilidad operacional de dichos sistemas mediante un plan de mantenimiento predictivo basado en termografía.

**Diego Vásquez Paredes**

Autor

Universidad Técnica del Norte

djvasquez777@gmail.com

Ing. Mauricio Vásquez

Director de Tesis

Universidad Técnica del Norte

**PALABRAS CLAVES:** termografía, mantenimiento predictivo, confiabilidad operacional.

## I. INTRODUCCIÓN

El incremento de los porcentajes de fallas en las instalaciones eléctricas de los sistemas de bombeo del sector urbano de la EMAPA-I, ha ocasionado la suspensión del servicio de agua potable por largos períodos de tiempo, causando pérdidas económicas y molestias tanto a la empresa como a los usuarios del agua potable.

Estos problemas eléctricos, han generado la frustración por parte de los técnicos de mantenimiento de la empresa, ya que no se había logrado predecir las fallas, solo realizándose el mantenimiento correctivo de dichas instalaciones, además no se dispone de un plan de mantenimiento predictivo que permita conocer el estado de funcionamiento de los equipos.

La termografía infrarroja es una de las técnicas predictivas de fallas que permiten conocer el estado de funcionamiento de los equipos eléctricos y elementos mecánicos cuando se encuentran en funcionamiento, mediante el análisis de la radiación infrarroja emitida por la superficie de sus componentes, se verifica la existencia de anomalías.

Por tanto esta técnica es una de las mejores opciones a considerar para elaborar un plan de mantenimiento predictivo.

Esta investigación se realizó con el objetivo de reducir los porcentajes de fallas, de los elementos eléctricos que conforman los sistemas de bombeo del sector urbano de la EMAPA-I, para incrementar su confiabilidad operacional.

## II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

### *INTRODUCCIÓN A LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA*

La termografía infrarroja es la ciencia que estudia el uso de dispositivos óptico electrónicos para medir la radiación, y a partir de esta conocer la temperatura de los cuerpos (Fluke Corporation & The Snell Corporation, 2009).

La razón de ser del por qué es tan importante la medición de la temperatura, se debe a que no existe un solo proceso en el mundo, en el que la temperatura sea indiferente, por tal motivo, cuando existe un incremento en la temperatura de un componente eléctrico o mecánico, puede

indicar la existencia de una anomalía que debe ser analizada.

El motivo por el cual la termografía es una herramienta útil, en primer lugar, se debe a que se realiza sin contacto, por tanto se reduce el riesgo de sufrir accidentes eléctricos, y es una técnica no intrusiva que no afecta a los equipos bajo estudio.

En segundo lugar, la termografía permite medir la temperatura entre dos áreas o puntos dentro de la misma imagen, que se utiliza para comparar la temperatura de componentes similares, y en tercer lugar, la termografía se realiza en tiempo real, permitiendo realizar una visualización rápida de la distribución de temperatura de los componentes.

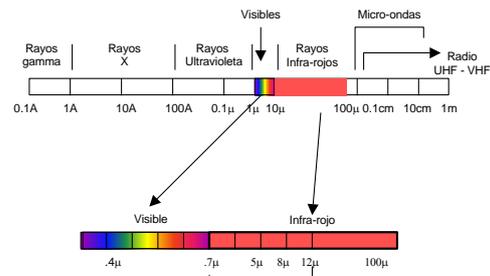
### **ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO**

El espectro electromagnético es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética que se clasifican por longitud de onda (Fluke Corporation & The Snell Corporation, 2009).

La parte del espectro que se estudió en este proyecto fue la zona que corresponde al infrarrojo. Esta zona es invisible al ojo humano, por tal motivo se utilizó una cámara infrarroja para detectar y analizar los puntos de mayor radiación, y a partir de esto conocer su temperatura en grados Celsius.

El siguiente gráfico muestra el rango de los tipos de radiación:

Grafico 1. Espectro electromagnético.



Fuente: Kurt (2006). Termodinámica.

### **RADIACIÓN INFRARROJA DE LOS CUERPOS**

Los componentes eléctricos se consideran cuerpos opacos, es decir solo tienen la capacidad de emitir y de reflejar radiación infrarroja, por tal razón lo que se mide con la cámara es la porción de radiación emitida por el mismo cuerpo y reflejada por objetos en frente del mismo.

La radiación que corresponde a la temperatura del cuerpo es la radiación emitida. En los componentes que se estudiaron, no se encontraron cuerpos reflectores de radiación, que afecten a la medida de la temperatura, por lo que se compensó en 20°C la radiación reflejada, al ser esta la temperatura ambiente promedio.

### **DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA INFRARROJA**

El equipo infrarrojo que se seleccionó fue una cámara termográfica que utiliza software de análisis para imágenes térmicas, y permite la inspección de instalaciones eléctricas, debido a las siguientes características:

- Rango de temperatura: -20°C a 250°C
- Campo de visión (FOV): 45° (horizontal) x 34° (vertical)
- Distancia mínima de enfoque: 0,5m
- Resolución espacial (IFOV): 10.3mrad

- Resolución infrarroja: 4800 pixeles (80 x 60 pixeles)
- Resolución digital: 640 x 480 pixeles
- Software de análisis: FLIR Tools, disponible en [www.flir.es](http://www.flir.es)
- Capacidad de almacenamiento 500 imágenes térmicas y visuales.
- Duración batería: ~4 horas

### **MÉTODOS DE INSPECCIÓN**

Los métodos de inspección sirven para detectar y cuantificar puntos calientes en los componentes.

Se utilizó los métodos de inspección cualitativo, que consiste en realizar un barrido con la cámara para verificar si existen anomalías térmicas, y el segundo método utilizado fue el cuantitativo, que consiste en medir la temperatura de dichas anomalías.

El siguiente gráfico muestra el método cualitativo:

Grafico 2. Método cualitativo.



Fuente: El Autor.

Aquí se detecta la existencia de una anomalía térmica.

El método cuantitativo se indica en el siguiente gráfico:

Grafico 3. Método cuantitativo.



Fuente: El Autor.

Aquí se mide y se compara la temperatura a la entrada y a la salida de la fase afectada, en este caso, se encontró una diferencia de temperatura de 86°C.

### **PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN**

El procedimiento de inspección que se utilizó, señala el EPP (equipo de protección personal) básico e indispensable para mitigar y prevenir quemaduras por arco o shock eléctrico, además establece las condiciones en las que se debe realizar una inspección infrarroja.

El EPP que se empleó para este tipo de trabajo se compone de protección para: la cabeza (casco de seguridad aislado), la cara (gafas o protección facial completa transparentes), oídos (protección auditiva aislada tipo orejera), cuerpo (mangas y guantes dieléctricos), ropa 100% algodón, y pies (botas dieléctricas) (NFPA 70E, 2000).

El EPP que se indicó anteriormente se eligió con base en las normas que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Normas de equipos de protección.

Tema	Número y título
Protección de la cabeza	ANSI Z89.1, <i>Requirements for Protective Headwear for Industrial Workers</i> , 1997
Protección de ojos y cara	ANSI Z87.1, <i>Practice for Occupational and Educational Eye and Face Protección</i> , 1989
Guantes	ASTM D 120, <i>Standard Specification for Rubber Insulating Gloves</i> , 1995
Mangas	ASTM D 1051, <i>Standard Specification for Rubber Insulating Sleeves</i> , 1995
Guantes y mangas	ASTM F 496, <i>Standard Specification for In-Service Care of Insulating Gloves and Sleeves</i> , 1997
Protectores de cuero	ASTM F 696, <i>Standard Specification for Leather Protectors for Rubber Insulating Gloves and Mittens</i> , 1997
Calzado	ASTM F 1117, <i>Standard Specification for Dielectric Overshoe Footwear</i> , 1993 ANSI Z41, <i>Standard for Personnel Protección, Protective Footwear</i> , 1991
Inspección visual	ASTM F 1236, <i>Standard Guide for Visual Inspection of Electrical Protective Rubber Products</i> , 1996
Ropa/Vestimenta	ASTM F 1506, <i>Standard Specification for Protective Wearing Apparel for Use by Electrical Workers When Exposed to Momentary Electric Arc and Related Thermal Hazards</i> , 1998

ANSI – American National Standards Institute  
ASTM – American Society for Testing and Materials

Fuente: NFPA 70E, 2000.

De acuerdo a las prácticas recomendadas en la norma NFPA 70B, 2006: se determinó que la frecuencia de inspecciones infrarrojas para equipos eléctricos, se debe realizar semestralmente.

También se recomienda realizar las inspecciones infrarrojas en períodos de máxima carga posible, pero no menos del 40% de la nominal de equipos eléctricos (NFPA 70B, 2006).

### **TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES TÉRMICAS**

Las técnicas de análisis ayudan a identificar de donde proviene el punto con mayor temperatura en un componente con defecto, se realiza por medio del software Flir Tools, y se utiliza para identificar las posibles causas del defecto.

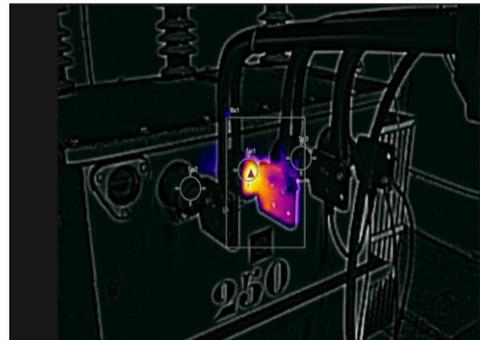
Las técnicas que se utilizaron se describen a continuación, y se realizaron en el siguiente orden:

#### 1. Ajuste térmico:

El ajuste térmico es el ajuste de la escala de colores de la paleta seleccionada sobre el componente que se analiza, se utilizó con la finalidad de señalar las zonas en falla de los componentes con defecto.

A continuación se indica una imagen térmica en la que se efectuó el ajuste, se observa que el problema radica en el bushing de la fase 2 del transformador:

Gráfico 4. Ajuste térmico.



Fuente: Al Autor.

#### 2. Medición por cuadros:

La medición por cuadros se utilizó para identificar los puntos con máxima temperatura, dentro de un área seleccionada, como se muestra en la siguiente imagen:

Gráfico 5. Cuadro de medida.



Fuente: El Autor.

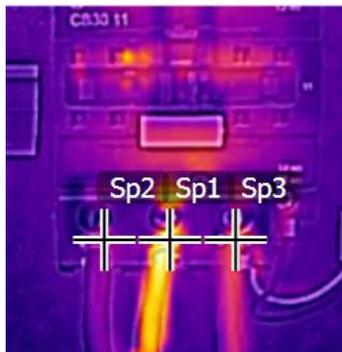
El área de medida se identifica por el nombre Ar1.

### 3. Medición por puntos:

La medida por puntos, se empleó para medir las temperaturas de las fases en un solo punto, y para presentar las fallas de una manera sencilla en los informes.

En la siguiente imagen se establecieron los puntos de medida Sp1, Sp2 y Sp3:

Gráfico 6. Puntos de medida.



Fuente: El Autor.

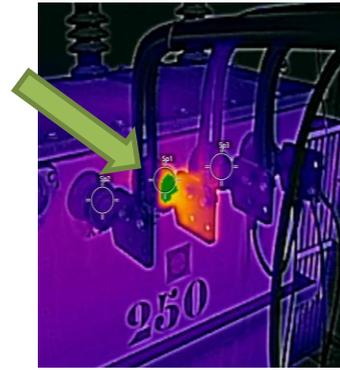
Aquí se señala la fase con defecto, y se compara con las otras fases en los mismos puntos.

### 4. Isoterma:

La isoterma se utilizó para determinar de dónde proviene el calor en un componente con defecto. Esta técnica permite ir cubriendo con un color de elevado contraste (por ejemplo: verde) las zonas que se encuentran más calientes dentro de la imagen.

A continuación se muestra una imagen térmica de un componente al que se le aplicó isoterma de color verde que se indica con la flecha:

Gráfico 7. Isoterma.



Fuente: El Autor.

Mediante esta técnica se pudo comprobar que la zona más caliente proviene de la parte interna de la base del bushing del transformador.

### **GRADO DE SEVERIDAD DE UN FALLO ELÉCTRICO SEGÚN LA NORMA.**

Para establecer la prioridad y el grado de severidad de componentes con defecto, referenciado al 100% de su carga nominal, se utilizó la tabla de criterios de la norma "NETA" (International Electrical Testing Association), esta norma señala que las diferencias de temperatura con respecto a componentes de referencia, tiene la siguiente clasificación:

- (a) Las diferencias de temperatura de 1°C a 3°C indican posible deficiencia y necesitan de seguimiento térmico.
- (b) Las diferencias de temperatura de 4°C a 15°C indican deficiencia, y deben ser reparadas ten pronto como sea posible
- (c) Las diferencias de temperatura de 16°C y superiores, señalan deficiencia mayor, por lo que deben ser reparadas de inmediato.

## **ESTRUCTURA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

El plan de mantenimiento predictivo o basado en la condición comprende las siguientes etapas:

- (a) fija las políticas, que sirven para orientar las acciones de acuerdo a los objetivos del mantenimiento predictivo;
- (b) elabora procedimientos
- (c) programa actividades; y
- (d) elabora presupuestos (García, 2012).

Dentro de los principios del mantenimiento predictivo, se utilizó el análisis causa raíz como herramienta de la confiabilidad, para conocer el origen de las anomalías.

Los procedimientos y el programa de inspecciones que forman parte del plan se elaboraron con base en las normas NFPA 70E Y NFPA 70B.

### **III. RESULTADOS**

Luego de realizar el estudio de termografía, se verificó gran cantidad de componentes que necesitan de seguimiento térmico, se encontró cuatro equipos con deficiencia mayor que representan el 1% del estudio y que necesitan repararse inmediatamente, son los siguientes: el bushing del transformador del pozo #1, los fusibles tipo NH y el motor de eje horizontal del proyecto #1 de la Estación de Bombeo Yuyucocha y un contactor de la planta de tratamiento Yahuarcocha.

Las causas de estos puntos calientes se debieron a falsos contactos en bornes y en el caso

del transformador debido a un falso contacto interno.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Resumen de resultados del estudio de termografía.

<b>Clasificación de los Equipos</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>N° Equipos</b>
Analizados	100	502
Operación Normal	90	450
Posible Deficiencia	5	25
Probable Deficiencia	3	14
Deficiencia	2	9
Deficiencia Mayor	1	4

Fuente: El Autor.

### **IV. CONCLUSIONES**

Tras realizar la investigación de campo, se evidencia gran cantidad de componentes con defecto, debido al deterioro y la falta de mantenimiento de los sistemas de bombeo del sector urbano de la EMAPA-I.

Luego de realizar el análisis de las imágenes térmicas, se verifica el grado de severidad de las fallas, encontrando cuatro componentes eléctricos en distintas plantas con deficiencia mayor, que necesitan ser reparados inmediatamente, y gran cantidad de componentes con deficiencia, que necesitan ser reparados tan pronto como sea posible.

Como resultado de la socialización del estudio de termografía, el Director técnico de la EMAPA-I, decidió ejecutar las acciones correctivas sugeridas en los informes termográficos que se entregó por cada planta.

Después de elaborar el plan de mantenimiento predictivo mediante termografía, se concluye que la mayoría de problemas, se presentan debido a falsos contactos en los bornes de componentes eléctricos.

## V. RECOMENDACIONES

Se sugiere implementar un plan de mantenimiento predictivo, que utilice ensayos no destructivos como la termografía y el análisis de vibraciones, para conocer el estado de funcionamiento de los equipos eléctricos y mecánicos que conforman los sistemas de bombeo.

Se sugiere que se establezca un orden de prioridad, de acuerdo a la tabla de clasificación de fallas de la ANSI/NETA ATS-2009, para que se corrija primero las fallas más significativas.

Se aconseja que los componentes con defecto, que tienen deficiencia mayor, se reparen a la mayor brevedad posible, para evitar la inoperatividad de las plantas.

Debido al alto porcentaje de fallas ocasionadas por falsos contactos, se sugiere implementar un programa de ajuste de terminales mediante uso de torquímetro y de tablas de torque, para proveer el torque necesario a dichas terminales.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Fluke Corporation & The Snell Group (2009). *Introducción a los principios de la termografía*. Impreso en los países bajos: American Technical Publishers.

Fluke, (2008). *Guía de aplicaciones de la termografía en mantenimiento industrial*. Madrid, España: Fluke Ibérica, S.L.

García, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.

Hidalgo, J. (2003). *La importancia de la correlación de las tecnologías predictivas en el*

*diagnóstico de motores eléctricos*. León, Gto. México: 1er Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento.

INTERNATIONAL ELECTRIC TESTING ASSOCIATION INC.-NETA MTS-2005.

ITC. (2006). *Thermography Level 1 Course Manual*. DANDERYD, Sweden: FLIR Systems AB.

Manual del usuario Flir Tools/Tools+ 2014, FLIR Systems, Inc. All rights reserved worldwide).

Murillo, William M. (2003). *Modelo de confiabilidad basado en el análisis de fallas*. Bogotá, Colombia: ACIEM – ECOPEPETROL. V Congreso internacional de mantenimiento industrial.

Testo AG. (2012). *Termografía, guía de bolsillo*. Argentina: Copyright, Testo AG.

## VII. BIOGRAFÍAS



**Diego J. Vásquez P.**, nació en Ibarra - Ecuador el 10 de Noviembre de 1991. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio “La Salle”. Egreso en la Universidad Técnica del Norte en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico. Área de interés: Equipos de baja y media tensión, motores eléctricos, variadores, ensayos no destructivos y terotecnología.

(djvasquez777@gmail.com)



**Mauricio Vásquez.**, nació en Chaltura – Ecuador el 16 de Julio de 1959. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio San Diego. Se graduó en 1988 en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero Eléctrico. Tiene estudios de cuarto nivel en Educación superior en la Unita y Administración de Negocios en la Universidad Técnica del Norte. Actualmente desempeña el cargo de Director de Planificación de Emelnorte y es Profesor Principal en la Universidad Técnica del Norte – Ibarra. Áreas de interés: Distribución de energía eléctrica. (mvasquezbrito@gmail.com)