

# ANÁLISIS TERMOGRÁFICO DE LA SUBESTACIÓN SAN LORENZO Y SU ALIMENTADOR PRIMARIO PRINCIPAL PARA ELABORAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Felipe Vinicio Yépez Bennett

*Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas*

Felipeyepetz563@yahoo.com

*Resumen*— El presente trabajo muestra el análisis termográfico de la Subestación eléctrica San Lorenzo y su alimentador primario principal con el propósito de determinar puntos calientes por lo que se diseña una ficha técnica para recopilación. Por otro lado con el análisis de las imágenes termográficas se procederá a describir de manera puntual cada una de las causas y respectivas soluciones que se establecen respecto a la norma ANSI/NETA ATS-2009 en donde se describe el grado de severidad de las mismas. Con toda la información obtenida se realiza un plan de mantenimiento predictivo tanto para la subestación como en para el alimentador primario.

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los sistemas eléctricos de distribución los alimentadores y Subestaciones eléctricas se constituyen en

componentes esenciales para la distribución del servicio eléctrico en vista de aquellos los equipos que conforman estas unidades tienen que estar en óptimo funcionamiento y por esta razón, Cumpliendo así con las regulaciones establecidas por el ARCONEL, las empresas distribuidoras de electricidad aplican diferentes tipos de mantenimiento. Un ejemplo es el análisis termográfico como técnica del mantenimiento predictivo.

La Termografía Infrarroja juega un rol importante en las actividades del Mantenimiento predictivo. Es una técnica que produce imágenes a partir de la radiación térmica que emiten los objetos, así se puede identificar componentes eléctricos y mecánicos más calientes que su operación normal, indicando áreas de fallas inminentes o áreas con excesivo aumento de calor, que usualmente son síntomas de operaciones anormales.

Por lo anteriormente indicado se efectuara un análisis termográfico en los equipos de la Subestación eléctrica San Lorenzo y su red de distribución primaria para levantar información necesaria que nos lleven a realizar un plan de mantenimiento predictivo y determinar los puntos calientes más críticos para proceder a su posterior corrección, el mismo que permitirá tener un seguimiento periódico de las anomalías registradas.

## II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

La primera parte del presente trabajo describe los principales fundamentos teóricos del análisis termográfico, métodos de transmisión de calor, el espectro electromagnético y los conceptos de sistema eléctrico de distribución. Por otro lado los componentes que constituyen una subestación eléctrica así como también el mantenimiento predictivo en base al análisis termográfico en este proyecto, el análisis e interpretación de los resultados obtenidos mediante el estudio termográfico de la Subestación San Lorenzo y el alimentador primario principal y el plan de mantenimiento predictivo realizado.

### A. Calor

Es energía en tránsito de un cuerpo a mayor temperatura a uno con menor temperatura, una vez transferida, la energía cesa de calentar “Ver [11]”

### B. Temperatura

Es la cantidad de calor presente en un cuerpo. “Ver [12]”

### C. Escalas de temperatura

Escalas relativas (Referenciadas en el congelamiento y ebullición del agua):

- Grados Celsius (Intervalo dividido en 100 partes)  
Desde 0°C a 100°C
- Grados Fahrenheit (Intervalo dividido en 180 partes)  
Desde 32°F a 212°F

Escalas absolutas (Referenciadas desde el 0 absoluto)

- Grados Kelvin (Intervalo dividido en 100 partes)
- Grados Rankine (Intervalo dividido en 180 partes) “Ver [5]”

### D. Métodos de transferencia de calor.

El calor se transfiere, o se transmite, de cosas más calientes a más frías. Si están en contacto varios objetos con temperatura distintas esto se lleva a cabo de tres maneras: por conducción, convección y radiación. “Ver [11]”



Fig. 1 Tipos de transferencia da calor, <http://microrespuestas.com>

#### 1) Transferencia de calor por conducción.

Se transfiere energía de un objeto a otro mediante el contacto directo por el choque de partículas. “Ver [7]”

## 2) *Transferencia de calor por convección.*

Se produce en fluidos como el aire o el agua que se encuentran en movimiento debido a fuerzas gravitatorias o por fuerzas externas como corrientes de aire provocadas, este fluido transmite calor de un lugar a otro, en donde las zonas más frías tienden a hundirse, y las más calientes a elevarse.

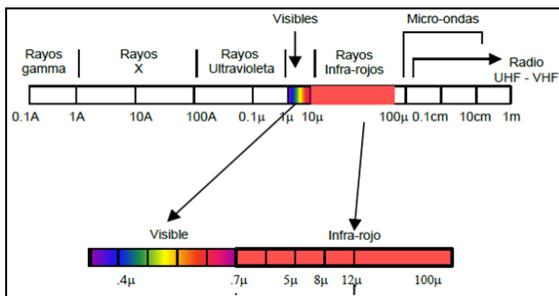
“Ver [11]”

## 3) *Transferencia de calor por radiación.*

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, 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. “Ver [2]”

## E. *Espectro de radiación*

El rango completo de longitudes de onda es lo que se denomina como el espectro electromagnético el cual no contiene definidos límites superior ni inferior. Pero se sabe que la radiación térmica va desde el ultravioleta al infrarrojo,



pasando por el visible, donde tiene la intensidad más elevada.

Fig. 2 Longitud de ondas electromagnéticas, Termodinámica

## F. *Termografía*

La termografía es una técnica que permite medir temperatura a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético. Utilizando cámaras termográficas podremos convertir la energía radiada en información sobre temperatura. “Ver [3]”

### 1) *Termografía comparativa.*

Es un proceso utilizado por los termógrafos para comparar componentes similares en condiciones similares para evaluar el estado del equipo que se está inspeccionando. “Ver [7]”

### 2) *Termografía inicial*

Fija un punto de referencia del equipo para obtener una imagen termográfica cuando este funciona en condiciones de operación normal. Para en lo posterior proceder a compararla con imágenes de componentes similares a los cuales se requiere realizar un análisis termográfico. La termografía inicial siempre se la realiza cuando el equipo está trabajando a plena carga.

### 3) *Tendencia térmica*

Hace referencia a los pasos que debe seguir el analista y a su vez comparar los resultados obtenidos en el mismo componente pero en función del tiempo. Antes de obtener la imagen térmica del equipo se debe verificar que la velocidad

del viento no sea muy elevada, no se debe realizar la termografía en presencia de lluvias o en componentes de mucha emisividad.

#### 4) Cámaras termográficas

Son dispositivos que detectan patrones térmicos en el espectro de la longitud de onda infrarroja sin entrar en contacto directo con el equipo. “Ver [7]”

#### G. Campo de visión instantáneo (IFOV Y FOV)

Tanto el campo de visión FOV e IFOV al momento de realizar una imagen termo gráfica nos permiten efectuar una medición óptima del objeto al que vamos a medir determinando el ángulo y su correcto enfoque de la misma.

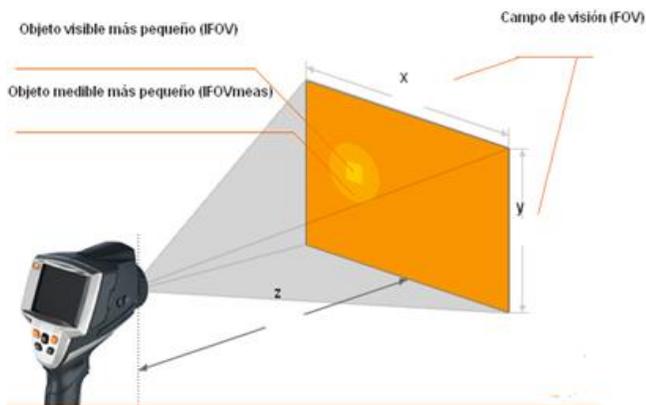


Fig. 3 Campo de visión de las cámaras termográficas, <http://www.academiatesto.com>

#### 1) Campo de visión instantáneo (IFOV):

El campo de visión instantáneo es la resolución de medida de una cámara termográfica que determina el tamaño mínimo que debe tener un objeto para que pueda medir su temperatura con precisión a una distancia concreta. “Ver [7]”

#### 2) Campo de visión (FOV):

Define el tamaño de lo que se observa en la imagen térmica, define el área total que puede ser visto por la cámara.

#### H. Funcionamiento de la cámara termográfica ti 32.

Cuando se mide la temperatura mediante la cámara termográfica, la radiación infrarroja emitida por el objeto converge debido a la óptica de la cámara, el detector realiza un cambio de tensión o de resistencia eléctrica, la cual es leída por los elementos electrónicos de la cámara termográfica; la señal producida por la cámara termográfica se convierte en una imagen electrónica (termograma) en la pantalla.

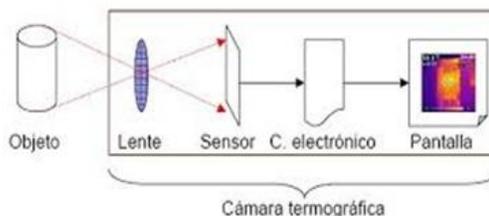


Fig. 4 Diagrama simplificado de una cámara termográfica, <https://www.flickr.com/photos/33698047@N08/8220140716>

Los pasos para realizar una imagen térmica con la cámara ti 32 se muestran a continuación:

- Encendido del equipo
- Control de la imagen
- Capturado de la imagen

#### 1) Termograma

Es la imagen de un blanco electrónicamente procesado y mostrado en la pantalla en donde los distintos tonos de color se corresponden con la distribución de la radiación infrarroja en la superficie del blanco. “Ver [7]”

## 2) *Encuadre de la imagen.*

Hace referencia en cuanto a la distancia necesaria que se debe tener desde el objeto hacia la cámara y a su vez alinear el lente de la cámara de manera tal que quede bien centro con el objeto al cual se le va a realizar la captura de la imagen térmica.

## I. *Consideraciones de medición de temperatura.*

Una inspección termográfica se la realiza bajo condiciones normales esto quiere decir que no haya presencias de lluvias, radiación, vientos fuertes, tormentas entre otras.

### 1) *Humedad relativa.*

Determina que tan húmedo está el ambiente e influye directamente en los componentes en la medida de que los mismo pueden presentar niveles de enfriamiento, esto puede conllevar a medidas erróneas.

### 2) *Enfoque.*

Una imagen desenfocada nos dará medidas erróneas, se debe mantener la pantalla limpia mientras dure las inspecciones termográficas, dependiendo la calidad del enfoque las imágenes tendrán una alta calidad.

### 3) *Ajuste del rango de temperatura.*

Hay que fijar el rango de medida que incluya lo que se pretende medir. Uno de los inconvenientes que se tiene en este punto es que si no se fija el rango de medida se tendrá menos precisión en la medida.

## J. *Fundamentos del mantenimiento.*

El papel del mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades. Tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos. “Ver [5]”

### 1) *Mantenimiento predictivo*

Está basado en la supervisión de la evolución de las condiciones de operación y de las características del equipo frente a unas tolerancias predeterminadas para de esta forma predecir el posible funcionamiento incorrecto del equipo o sus averías. “Ver [7]”

### 2) *Mantenimiento Preventivo*

La función del mantenimiento preventivo es adelantarse en el tiempo a las averías, de manera que para ello se establecen tiempos necesarios para efectuar revisiones y reparaciones, estas tareas nos conducen a planear una programación de mantenimiento preventivo adecuada para medir las disminuciones de las averías.

### 3) *Mantenimiento Correctivo*

En este tipo de mantenimiento se hace mucho énfasis en la reposición del elemento en el que se causó una para inesperada, para lo cual se aplica la corrección inmediata o la

corrección diferida esta última se aplica con la paralización del equipo para luego llevar a cabo su arreglo.

### *K. Planes de mantenimiento eléctrico.*

En la fase de planeación del mantenimiento nacen de dos etapas fundamentales que son, la planificación en la cual se incluyen todas las actividades realizadas antes de efectuar un mantenimiento, y la programación que son las acciones que se van a realizar de manera anticipada y ordenada mediante los tiempos y recursos disponibles.

- Constituir principios que sirven para orientar las acciones y tomar las decisiones.
- Elaborar procedimientos para realizar inspección termográfica mediante las normas ANSI/NETA ATS-2009 y NFPA 70E.
- Programar las respectivas actividades de inspección termográfica mediante un programa correspondiente en donde se especifiquen las actividades y el tiempo de duración.

### *L. Análisis termográfico en subestaciones eléctricas de distribución.*

Una subestación eléctrica se puede definir como la interconexión de varios equipos eléctricos de alta y media tensión, que se pueden agrupar por tipos según la función que desempeñen. “Ver [9]”

Aparte de las fallas eléctricas la expectativa de vida de los equipos eléctricos de la subestación disminuye cuando la temperatura del equipo supera su valor nominal debido a malas conexiones que generan puntos calientes. Los factores que inciden en el deterioro de los equipos eléctricos de la subestación eléctrica dependen en gran medida del calor, humedad, la vibración, oxidación y el tiempo. “Ver [4]”

Para realizar el análisis termográfico en una subestación de distribución se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

Los elementos que son considerados para el análisis son:

- Patio de maniobras
- Transformador de potencia
- Barra de 13.8 Kv
- Disyuntores de 13.8 y 69 Kv-Reconectores
- Seccionadores
- Sistemas de corriente continua
- Relés de sobrecorriente

### *M. Procedimiento para determinar puntos calientes en subestaciones de distribución.*

TABLA I

CLASIFICACIÓN DE LAS FALLAS POR DIFERENCIAS DE TEMP.

Para elementos individuales se debe fijar la temperatura máxima del equipo y establecer la temperatura promedio a la que este se encuentra operando, con la finalidad de realizar la comparación. Para los elementos similares en donde haya 3 equipos con anomalías se toma como referencia la temperatura promedio del equipo con menor deficiencia.

#### N. Análisis termográfico en redes de distribución

Debido a la regulación No. 004/01 CONELEC el deber de las empresas prestadoras de servicio eléctrico están en total obligación de mantener las redes de distribución primarias y secundarias en total operatividad y minimizar el riesgo de cortes parciales o totales del servicio.

El análisis termográfico se procede de la siguiente manera:

- En los componentes defectuosos fijar la temp. máxima
- Establecer la temp. promedio del equipo en funcionamiento normal
- Restar la temp. máxima de cada componente con la promedio
- Seguir los pasos de la norma ANSI/NETA ATS-2009 para determinar la severidad y pasos a seguir.

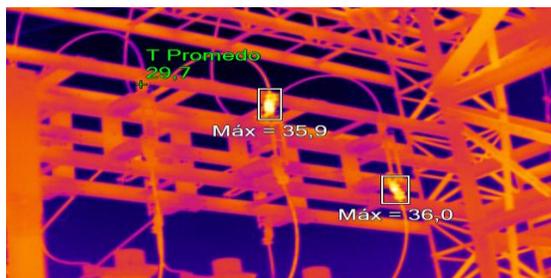


Fig. 5 Termograma de seccionadores, Autor

Nivel	Diferencias de Temperatura	Clasificación	Acción
1	1°C - 10°C O/A, ó 1°C a 3°C O/S	Posible deficiencia	Se requiere más información
2	11°C–20°C O/A, ó 4°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	Reparar en la próxima parada
3	21°C–40°C O/A,	Deficiencia	Repara tan pronto
4	>40°C O/A, ó >15°C O/S	Deficiencia mayor	REPARAR INMEDIATAMENTE

### III. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Posterior al levantamiento minucioso de la información de cada uno de los equipos que fueron objeto de estudio mediante el análisis termográfico, se procede al estudio de los datos recolectados mediante una tabla de resúmenes de resultados a fin de cuantificar y calificar las diferentes anomalías detectadas, clasificando las mismas según su relevancia y gravedad.

#### A. Análisis termográfico de la subestación San Lorenzo y su alimentador primario

Las inspecciones se realizaron en condiciones normales de operación y para ello se tomó la norma (ANSI/NETA ATS-2009; tabla 100.18) para los criterios de severidad de las anomalías como referencia, mientras que las distancias de seguridad para inspecciones termográficas fueron tomados de la norma OSHA.

TABLA II

RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

CLASIFICACIÓN DE FALLAS	TOTAL	PORCENTAJE %
<b>Equipos Analizados</b>	75	100%
Equipos En Operación Normal	55	73.33%
Equipos Con Posible Deficiencia	0	0.00%
Equipos Con Probable Deficiencia	5	6.66%
Equipos Con Deficiencia	7	9.33%
Equipos Con Deficiencia Mayor	8	10.66%

Se puede evidenciar que ocho equipos se encuentran con deficiencia mayor grado 4, lo cual representa el 10.66% del estudio, siendo las mufas de salida de los circuitos Calderón y San Lorenzo 2, los conectores y seccionadores en los que se presentan el mayor número de anomalías de este tipo.

Las causas de estos puntos calientes se deben a falso contacto entre conector y terminal de las mufas y conductor, flojos o sulfatados así mismo como falsos contactos entre seccionador y conductor.

TABLA III

RESUMEN ANÁLISIS TERMOGRÁFICO SUBESTACIÓN SAN LORENZO

Clasificación de los Equipos	Nº Equipos	Porcentaje %
Analizados	55	100%
Operación Normal	41	74,54%
Posible Deficiencia	0	0
Probable Deficiencia	7	12,72%
Deficiencia	5	9,09%
Deficiencia Mayor	2	3,63%

TABLA IV

RESUMEN TERMOGRÁFICO ALIMENTADOR PRINCIPAL

Clasificación de los Equipos	Nº Equipos	Porcentaje
Analizados	20	100 %
Operación Normal	13	65,00 %
Posible Deficiencia	0	0 %
Probable Deficiencia	0	0 %
Deficiencia	2	10,00 %
Deficiencia Mayor	5	25,00 %

Se observa que del total de los equipos analizados en la subestación San Lorenzo, un 3.63% se encuentran con deficiencia mayor; radicando el problema de las anomalías en las mufas de salida de los circuitos Calderón y San Lorenzo 2 en los contacto entre el conector de la mufa de salida y conductor, flojo o sulfatado. Mientras que cinco equipos se encuentran con una deficiencia mayor lo cual representa el 25% del total de los equipos inspeccionados en el alimentador primario, encontrándose el principal problema en los seccionadores, conectores y bushing de los transformadores de distribución.

### *B. Elaboración del plan de mantenimiento predictivo*

Con la implementación del análisis termográfico, se pretende predecir las anomalías antes de que se produzcan y por consiguiente reducir paradas innecesarias optimizando el mantenimiento predictivo en la empresa CNEL- EP Esmeraldas Sucursal San Lorenzo, de acuerdo a los criterios de la normas de seguridad NFPA 70E y NFPA 70B.

### C. Procedimiento para llevar una inspección

- Conformar un equipo de dos personas, el termógrafo y el operario de la subestación para que indique los circuitos, y cierre los tableros una vez culminada la inspección.
- Utilizar el siguiente equipo de protección personal: Casco de seguridad dieléctrico (norma ANSI Z. 89.1), Gafas de protección claras, Camisa manga larga y pantalón jean Calzado dieléctrico (norma ANSI – Z 41),
- No portar elementos metálicos como: relojes, anillos cadenas, celulares entre otros.
- Tener a mano una linterna para inspecciones nocturnas
- Mantener una distancia prudencial de seguridad (Norma OSHA)
- Verificar que los equipos a inspeccionar estén operando por lo menos al 50% de su carga nominal.
- Antes de efectuar una medición de temperatura, calibrar la cámara con los siguientes parámetros: Emisividad = 0.93, Temperatura aparente reflejada = 20°C.

Para el análisis de las imágenes obtenidas mediante la cámara FLUKE TI 32, se utiliza el programa smartview 3.11.

La imagen térmica modificada con todos sus parámetros va acompañada en la ficha técnica con la imagen visible del equipo y se determina el  $\Delta T$  para determinar mediante la tabla el grado de severidad según sea el nivel al que correspondan.

### D. Elaboración de fichas técnicas

Para la administración y realización de los mantenimientos predictivos se desarrollan los siguientes formatos:

- Registro de mantenimiento predictivo planificado Subestaciones.
- Registro de mantenimiento predictivo planificado Alimentadores.
- Cronograma mensual de actividades Subestación San Lorenzo
- Cronograma mensual de actividades Alimentadores
- Reporte Termográfico

### E. Rutina de actividades para una subestación de distribución.

Para realizar una inspección termográfica se debe tener una rutina de actividades donde se especifiquen los equipos a los cuales se procederá a realizar el análisis las tablas elaboradas para esta aplicación son:

- Rutina de actividades en el patio de maniobras de una Subestación Eléctrica.
- Rutina de actividades para el Disyuntor.
- Rutina de actividades para Transformador de potencia.
- Rutina de actividades para TC y TP.
- Rutina de actividades para Tableros de Control.
- Rutina de actividades para cuartos de Baterías.
- Rutina de actividades para tableros del sistema SCADA
- Rutina de actividades para la red de distribución.
- Rutina de actividades para Transformador de Distribución

## IV. CONCLUSIONES

La aplicación del mantenimiento predictivo mediante la utilización de cámaras termográficas constituye una

herramienta fundamental para las empresas eléctricas ya que esta técnica permite realizar el análisis termográfico sin ningún contacto con el equipo.

El análisis termográfico, determina el grado de severidad de las anomalías encontradas en elementos o equipamiento eléctrico que requieren ser corregidos o reemplazados dependiendo el grado de severidad de manera inmediata o mediante un mantenimiento programado.

El diseño y utilización de fichas técnicas en un análisis termográfico permite identificar puntos calientes, detallar recomendaciones y realizar el seguimiento oportuno de su corrección.

#### RECONOCIMIENTOS

Un agradecimiento a Dios por acompañarme todos los días de mi vida, a mis padres por cuidar y velar por mí en todos estos años. Un agradecimiento especial al Ing. Hernán Pérez por el tiempo y el invaluable apoyo brindado a la realización de este trabajo de grado; A los amigos y todos los ingenieros de la carrera de Ingeniería en mantenimiento eléctrico. Así mismo quiero agradecer al personal de termografía de la empresa eléctrica EMELNORTE los cuales con sus conocimientos y su vasta experiencia contribuyeron para el desarrollo de esta investigación, de ante mano les tengo presente a todos los ingenieros del departamento de calidad de energía de esta prestigiosa institución guardándoles mucho respeto y mis más sincero agradecimiento.

#### REFERENCIAS

- [1] MARTÍNEZ, L. (2007). *Organización y Planificación de Sistemas de Mantenimiento*. Centro de Estudios Gerenciales ISID; 2da. Edición; Caracas.
- [2] YUNUS A. CENGEL. *Transferencia de calor y masa un enfoque práctico*, tercera edición México 2010.
- [3] SANTIAGO SABUGAL GARCÍA & FLORENTINO GÓMEZ MOÑUX. “*centrales térmicas de ciclo combinado teoría y proyecto*”; España 2006.
- [4] ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto (2005) *Pruebas y mantenimiento a equipos eléctricos*, Edit. Limusa, México.
- [5] Yebra Morón Juan Antonio (2009) *Sistemas Eléctrico de Distribución*, Edit. Reverté, México.
- [6] HERRERA, L. *Temperatura y procesos de transferencia de calor*. Colombia, 2005 (p.13-41).
- [7] Introducción a los principios de la termografía, Creado en cooperación entre Fluke Corporation y The Snell Group. Pág. 57,58.
- [8] Guía informativa de utilización de cámaras termográficas, Flir Systems & (ITC). 2012.
- [9] Hernández, Fernández y Baptista P., “Metodología de la Investigación”, México, 2003, Editorial Oasis.
- [10] INTERNATIONAL ELECTRICAL TESTING ASSOCIATION ING. - NETA MTS-2005.
- [11] Incopera, F., De Witt, D. (1999) *Fundamentos de transferencia de calor*. Cuarta edición. México: Pearson Educación.
- [12] Holman, J. (1999) *Transferencia de calor*. México: Compañía Editorial Continental S.A.
- [13] MSPAS – GTZ. “*Manual de Procedimientos Estandarizados para Mantenimiento*”; Proyecto de

# THERMOGRAPHIC ANALYSIS OF SUBSTATION SAN LORENZO AND ITS MAIN FEEDER PRIMARY PLAN TO DEVELOP A PREDICTIVE MAINTENANCE.

Felipe Vinicio Yépez Bennett

*Technical University North, FICA*

Felipeyepetz563@yahoo.com

*Summary*— this paper shows the thermographic analysis of electric substation San Lorenzo and its main primary feeder for the purpose of determining hot spots so a data sheet for collection is designed. In addition to the analysis of thermal images will now be described in a timely manner each of the causes and respective solutions provided regarding ANSI / NETA ATS-2009 standard where the degree of severity thereof described. With all the information obtained predictive maintenance plan for both the substation and feeder for the primary takes place.

## I. INTRODUCTION

Inside electrical distribution systems feeders and electrical substations constitute essential components for the

distribution of electric service in view of that the teams that make these units must be in good working order and for this reason, thus complying with the regulations set by ARCONEL, electricity distribution companies apply different types of maintenance. An example is the thermographic analysis as predictive maintenance technique.

Infrared thermography plays an important role in predictive maintenance activities. It is a technique that produces images from the thermal radiation emitted by objects and can identify hottest electrical and mechanical components that normal operation, indicating areas of impending failures or areas with excessive heat gain, which are usually symptoms abnormal operations.

At above a thermographic analysis was completed at the equipment of electric substation San Lorenzo and its primary distribution network to raise necessary information with us to make a plan predictive maintenance and determine the most critical hot spots to proceed later correction, the same which will permit regular monitoring of registered anomalies.

## II. DEVELOPMENT OF CONTENTS

The first part of this paper describes the main theoretical foundations of thermographic analysis, heat transfer methods, the electromagnetic spectrum and concepts of electrical distribution system. On the other hand the components that make up an electrical substation as well as predictive maintenance based on thermography analysis in this project, analysis and interpretation of the results obtained by the thermographic study Substation San Lorenzo and the primary feeder main and plan predictive maintenance performed.

### A. *hot*

It is energy in transit from one body at a higher temperature to one with a lower temperature, once transferred, energy ceases to heat "See [11]"

### B. *Temperature*

Is the amount of heat present in a body. "See [12]"

### C. *Temperature scale*

Relative scales (referenced in the freezing and boiling water):

- Degrees Celsius (Range divided into 100 parts)

From 0 ° C to 100 ° C

- Degrees Fahrenheit (Range divided into 180 parts)

From 32 ° F to 212 ° F

Absolute scales (Referenced from 0 absolute)

- Degrees Kelvin (Range divided into 100 parts)
- Degrees Rankine (Range divided into 180 parts)

"See [5]"

### D. *Heat transfer methods.*

Heat is transferred, or transmitted, hottest things cooler. If multiple objects are in contact with different temperature this is done in three ways: by conduction, convection and radiation. "See [11]"



Fig. 6 Types of heat transfer gives, <http://microrespuestas.com>

#### 1) *Heat transfer by conduction.*

Energy from one object to another is transferred by direct contact by the collision of particles. "See [7]"

#### 2) *Convective heat transfer.*

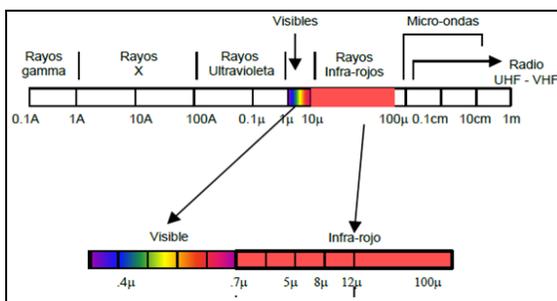
It occurs in fluids such as air or water that are in motion due to gravitational forces or external forces such as currents induced air, this fluid transfers heat from one place to another, where colder areas tend to sink, and the hottest to rise. "See [11]"

### 3) Heat transfer for radiation

The radiation energy emitted by matter in the form of electromagnetic waves (or photons) as a result of changes in the electronic configurations of atoms or molecules, heat transfer by radiation is the fastest and is transmitted to the speed light and does not suffer attenuation vacuum. "See [2]"

### E. Espectrum of radiation.

The full range of wavelengths is what is known as the electromagnetic spectrum which contains no defined upper or lower limits. But it is known that thermal radiation is from ultraviolet to infrared, through the visible, which has the



highest intensity.

Fig. 7 Length of electromagnetic waves, Termodinámica

### F. Thermography

Thermography is a technique to measure temperature remotely and without physical contact with the object to study. By sensing infrared radiation of the electromagnetic spectrum. Using thermal imagers can convert radiated energy into temperature information. "See [3]"

#### 1) Comparative Thermography

It is a process used by thermographs to compare similar components under similar conditions to assess the state of the equipment being inspected. "See [7]"

#### 2) Initial Thermography

Sets a benchmark team for a thermographic image when it functions under normal operation. To proceed further as compared with images similar components which are required to perform a thermographic analysis. The initial thermography is always done when the team is working at full load.

#### 3) Thermal Trend

It refers to the steps you need to follow the analyst and turn compare the results obtained in the same component but a function of time. Before obtaining the thermal image of the team must verify that the wind speed is not too high, should not be performed in the presence thermography rainy or very emissivity components.

#### 4) Thermal Imagers

They are devices that detect thermal patterns in the spectrum of infrared wavelength without coming into direct contact with the team. "See [7]"

### G. Instantaneous field of view (IFOV and FOV)

Both the FOV and IFOV when making a graphic image thermos allow us to make optimum measurement of the object to which we will be measured by determining the angle and the right approach to it.

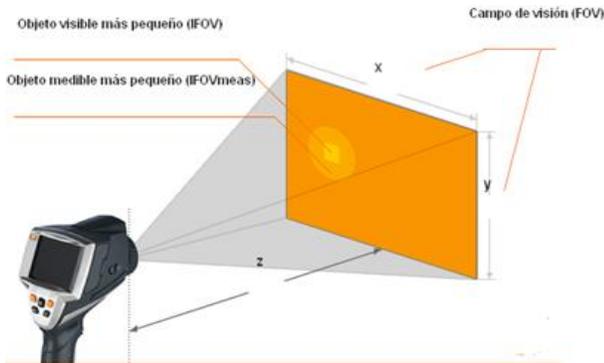


Fig. 8 Field of view thermal imagers, <http://www.academiatesto.com>

#### 1) Instantaneous field of view (IFOV):

The instantaneous field of view is the measurement resolution of a thermal imaging camera that determines the minimum size must have an object so that it can accurately measure its temperature at a specific distance. "See [7]"

#### 2) Field of View (FOV):

Sets the size of what is observed in the thermal image, defines the total area that can be seen by the camera.

### H. Operation of the thermal imaging camera TI 32.

When the temperature is measured by the thermal imager, infrared radiation emitted by the object converge due to camera optics, the detector makes a change of voltage or electrical resistance, which is read by the electronic elements

of the thermal imaging camera; the signal produced by the thermographic camera becomes an electronic image (thermogram) on the screen.

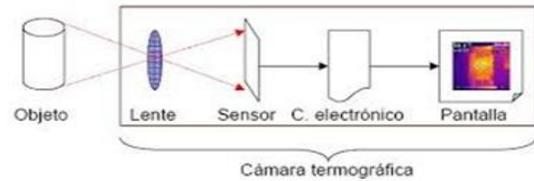


Fig. 9 Simplified diagram of a thermographic camera, <https://www.flickr.com/photos/33698047@N08/8220140716>

The steps to perform a thermal imaging camera with TI 32 are shown below:

- Turning the machine
- Pictured Control
- Captured image

#### 1) Thermogram

It is the image of an electronically processed and displayed on the screen where different color tones correspond to the distribution of infrared radiation on the target surface white. "See [7]"

#### 2) Full image.

Refers as to the necessary distance should be from the object to the camera and turn to align the camera lens so that it is firmly center with the object that is going to make the capture of the thermal image.

#### I. Considerations temperature measurement.

A thermographic inspection is carried out under normal conditions this means that there is no presence of rain, radiation, high winds, storms and others.

#### 1) *Relative humidity*

Determines how wet is the atmosphere and directly influences the components to the extent that it may have cooling levels, this can lead to erroneous measurements.

#### 2) *Focus*

An unfocused image will give erroneous measurements, it must be kept clean screen during thermographic inspections, depending on the quality of the images will approach a high quality.

#### 3) *Adjust the temperature range.*

You have to set the measuring range that includes what is being measured. One of the problems that have at this point is that if the measuring range is not set will have less precision in the measurement.

### *J. Fundamentals of maintenance.*

The role of maintenance is to increase the reliability of production systems to perform activities. Such as planning, organization, control and execution of methods of maintenance of equipment. "See [5]"

#### 1) *Predictive Maintenance*

It is based on the monitoring of the evolution of operating conditions and equipment characteristics against predetermined to thereby predict possible equipment malfunction or fault tolerance. "See [7]"

#### 2) *Preventive maintenance*

The role of preventive maintenance is ahead in time to breakdowns, so times required for this are set to perform inspections and repairs, these tasks lead us to plan a proper preventive maintenance schedule to measure decreases breakdowns.

#### 3) *Corrective Maintenance*

In this type of maintenance much emphasis on the replacement of the element in which one to unexpectedly caused is made, for which immediate correction or deferred correction latter applies to the shutdown of the equipment is applied to then carry out their arrangement.

### *K. Electrical maintenance plans.*

In the planning phase maintenance born two basic steps that are planning in which all the activities prior to maintenance, and programming are the actions to be performed early and orderly manner included by the time and resources available.

- Establish principles that serve to guide actions and make decisions.
- Develop procedures for thermographic inspection by the ANSI / NETA ATS-2009 and NFPA 70E standards.

- Programar las respectivas actividades de inspección termográfica mediante un programa correspondiente en donde se especifiquen las actividades y el tiempo de duración.

*L. Thermographic analysis in power distribution substations.*

An electrical substation can be defined as the interconnection of various electrical equipment of high and medium voltage, which can be grouped by types according to their function. "See [9]"

Apart from electrical faults life expectancy of electrical substation equipment decreases as the temperature of the equipment exceeds its nominal value due to bad connections that generate hot spots. The factors affecting the deterioration of the electrical equipment of electric substation depend heavily from heat, moisture, vibration, rust and time. "See [4]"

To perform thermographic analysis in a distribution substation should take into account the following recommendations:

The elements that are considered for the analysis are:

- Railyard
- Power transformer
- 13.8 bar Kv
- Circuit Breakers 13.8 and 69 Kv-Reclosers
- Disconnects

- DC Systems
- overcurrent relays

*M. Procedure for determining hot spots in distribution substations.*

TABLE V  
CLASSIFICATION OF FAILURES BY TEMPERATURE DIFFERENCES

Nivel	Diferencias de Temperatura	Clasificación	Acción
1	1°C - 10°C O/A, ó 1°C a 3°C O/S	Posible deficiencia	Se requiere más información
2	11°C–20°C O/A, ó 4°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	Reparar en la próxima parada
3	21°C–40°C O/A,	Deficiencia	Repara tan pronto
4	>40°C O/A, ó >15°C O/S	Deficiencia mayor	REPARAR INMEDIATAMENTE

For individual items should set the maximum temperature of the equipment and set the average temperature at which this is operating, in order to make the comparison. For similar elements where there are 3 teams with anomalies is taken as reference the average temperature of the equipment with minor deficiency.

*N. Thermographic analysis in distribution networks*

Due to the regulation No. 004/01 CONELEC the duty of the companies providing electric service are total obligation to maintain networks of primary and secondary distribution in

full operation and minimize the risk of partial or total service cuts.

- The thermographic analysis proceed as follows:
- In defective components set the temp. maxim
- Set the temp. Average equipment in normal operation
- Subtract the temp. maximum of each component with the average
- Follow the steps in the ANSI / NETA ATS-2009 standard for determining the severity and steps.

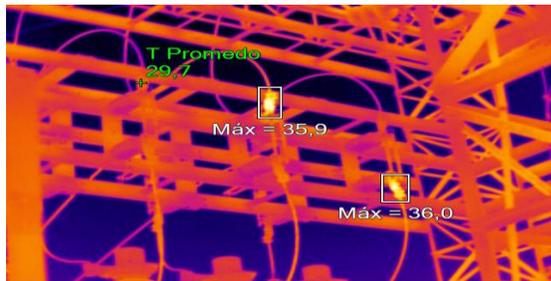


Fig. 10 Termograma de seccionadores, Autor

### III. DEVELOPMENT OF THE PROPOSAL

After the detailed survey information of each of the teams that were studied by thermographic analysis, we proceed to the study of data collected by a summary table of results to quantify and qualify the different detected abnormalities, categorizing them according to their relevance and severity.

#### A. thermographic analysis of the substation San Lorenzo and its primary feede

The inspections were carried out under normal operating conditions and for this (ANSI / NETA ATS-2009; Table 100.18) standard was taken for severity criteria of anomalies

reference, while safety distances for thermographic inspections were taken from OSHA standard.

TABLE VI

SUMMARY OF RESULTS OF ANALYSIS THERMOGRAPHIC

CLASIFICACIÓN DE FALLAS	TOTAL	PORCENTAJE %
<b>Equipos Analizados</b>	75	100%
Equipos En Operación Normal	55	73.33%
Equipos Con Posible Deficiencia	0	0.00%
Equipos Con Probable Deficiencia	5	6.66%
Equipos Con Deficiencia	7	9.33%
Equipos Con Deficiencia Mayor	8	10.66%

It may show that eight teams are deficient higher grade 4, which represents 10.66% of the study, with the MUFAs output Calderon and San Lorenzo 2 circuits, connectors and switches in which the largest number present anomalies of this type.

TABLE VII

SUMMARY ANALYSIS THERMOGRAPHIC SUBSTATION SAN LORENZO

Clasificación de los Equipos	Nº Equipos	Porcentaje %
Analizados	55	100%
Operación Normal	41	74,54%
Posible Deficiencia	0	0
Probable Deficiencia	7	12,72%
Deficiencia	5	9,09%
Deficiencia Mayor	2	3,63%

The causes of these hot spots are due to poor contact between connector and terminal of the MUFAs and conductor, loose or sulfated himself as false contacts between switch and driver.

TABLE VIII  
SUMMARY THERMOGRAPHIC MAIN FEEDER

Clasificación de los Equipos	N° Equipos	Porcentaje
Analizados	20	100 %
Operación Normal	13	65,00 %
Possible Deficiencia	0	0 %
Probable Deficiencia	0	0 %
Deficiencia	2	10,00 %
Deficiencia Mayor	5	25,00 %

It is noted that the total analyzed in the substation equipment San Lorenzo a 3.63% are most deficient; filing the problem of anomalies in the output MUFAs Calderon and San Lorenzo 2 circuits in the contact between the connector and the output jinx driver, loose or sulfated. While five teams are a major deficiency which represents 25% of total equipment inspected in the primary feeder, being the main problem in the isolators, connectors and bushing of distribution transformers.

### B. Development of predictive maintenance plan

With the implementation of thermographic analysis it is to predict problems before they occur and thereby reduce unnecessary stops optimizing predictive maintenance in the company CNEL- EP Esmeraldas Branch San Lorenzo,

according to the criteria of safety standards NFPA 70E and NFPA 70B.

### C. Procedure for an inspection

- Form a team of two people, the thermographer and the operator of the substation to indicate circuits and close the boards after completion of the inspection.
- Use the following personal protective equipment: safety helmet dielectric (ANSI Z 89.1 standard), clear protective glasses, long sleeve shirt and pants jean dielectric Footwear (ANSI - Z 41)
- Do not carry metal items such as watches, chains, rings, cell among others.
- Have a flashlight for night inspections
- Keep a safe distance of safety (OSHA Standard)
- Check that the teams are operating to inspect at least 50% of its rated load.
- Before making a temperature measurement, calibrate the camera with the following parameters: Emissivity = 0.93, reflected apparent temperature = 20 ° C.

For the analysis of images obtained by FLUKE TI camera 32, the program is used smartview 3.11.

The thermal image modified with all its parameters is accompanied in the data sheet with the visible image of the team and .DELTA.T is determined by the table to determine the degree of severity depending on the level to which they relate.

#### *D. Development of technical specifications*

For the administration and implementation of predictive maintenance develop the following formats:

- Record Substations planned predictive maintenance.
- Record Feeders planned predictive maintenance.
- monthly schedule of activities Substation San Lorenzo
- Feeders monthly activities schedule
- Thermographic Report

#### *E. Routine activities for a distribution substation.*

To make a thermographic inspection should be a routine activity where teams which will proceed to the analysis specified tables developed for this application are:

- Routine activities in the switchyard of an electrical substation.
- Routine activities for Circuit Breaker.
- Routine activities for Power Transformer.
- Routine activities for TC and TP.
- Routine activities Dashboards.
- Routine activities Batteries quarters.
- Routine activities for SCADA system boards
- Routine activities to the distribution network.
- Routine activities Distribution Transformer

#### IV. CONCLUSIONS

The application of predictive maintenance using thermal imagers is an essential tool for utilities esta since the thermographic analysis technique Allows without any Contact with the team.

The thermographic analysis, Determines the severity of the anomalies found in electrical equipment or elements need to be corrected That or Replaced Immediately DEPENDING ON the severity or by scheduled maintenance.

The design and use of technical specifications in a thermographic analysis Identifies hot spots, detailing Recommendations and perform Timely follow-up correction.

#### SURVEYS

A thank God for joining me every day of my life, my parents for care and watch over me all these years. A special thanks to Mr. Hernán Pérez for the time and the invaluable support given to the completion of this degree work support; to friends and all engineers Engineering in electrical maintenance. Also I want to thank the staff of thermography utility EMELNORTE which their knowledge and vast experience contributed to the development of this research beforehand them I have this to all engineers of the department of power quality of this prestigious institution guardándoles respect and my sincere thanks.

#### REFERENCES

- [1] MARTÍNEZ, L. (2007). *Organización y Planificación de Sistemas de Mantenimiento*. Centro de Estudios Gerenciales ISID; 2da. Edición; Caracas.

- [2] YUNUS A. CENGEL. *Transferencia de calor y masa un enfoque práctico*, tercera edición México 2010.
- [3] SANTIAGO SABUGAL GARCÍA & FLORENTINO GÓMEZ MOÑUX. “*centrales térmicas de ciclo combinado teoría y proyecto*”; España 2006.
- [4] ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto (2005) *Pruebas y mantenimiento a equipos eléctricos*, Edit. Limusa, México.
- [5] Yebra Morón Juan Antonio (2009) *Sistemas Eléctrico de Distribución*, Edit. Reverté, México.
- [6] HERRERA, L. *Temperatura y procesos de transferencia de calor*. Colombia, 2005 (p.13-41).
- [7] Introducción a los principios de la termografía, Creado en cooperación entre Fluke Corporation y The Snell Group. Pág. 57,58.
- [8] Guía informativa de utilización de cámaras termográficas, Flir Systems & (ITC). 2012.
- [9] Hernández, Fernández y Baptista P., “Metodología de la Investigación”, México, 2003, Editorial Oasis.
- [10] INTERNATIONAL ELECTRICAL TESTING ASSOCIATION ING. - NETA MTS-2005.
- [11] Incopera, F., De Witt, D. (1999) *Fundamentos de transferencia de calor*. Cuarta edición. México: Pearson Educación.
- [12] Holman, J. (1999) *Transferencia de calor*. México: Compañía Editorial Continental S.A.
- MSPAS – GTZ. “*Manual de Procedimientos Estandarizados para Mantenimiento*”; Proyecto de *Mantenimiento Hospitalario (PMH)*. EL SALVADOR, 1998.