



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CARGABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS TERMOGRÁFICOS PREDICTIVOS, PARA LAS SUBESTACIONES DE LA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR”

AUTORES:

Mosquera Velásquez Fabricio Ismael

Sánchez Gavilanes Edwin Paúl

TUTOR:

PhD. Iliana González

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2018



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Eléctrica

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **Fabricio Ismael Mosquera Velásquez** y **Edwin Paúl Sánchez Gavilanes**, se declara ser autores del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CARGABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS TERMOGRÁFICOS PREDICTIVOS, PARA LAS SUBESTACIONES DE LA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR.”**, siendo PhD. Iliana González tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....
Fabricio Ismael Mosquera Velásquez

Número de C.I. 092366360-3

.....
Edwin Paúl Sánchez Gavilanes

Número de C.I. 185001828-2



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Eléctrica

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CARGABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS TERMOGRÁFICOS PREDICTIVOS, PARA LAS SUBESTACIONES DE LA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR.” de los señores **Fabrizio Ismael Mosquera Velásquez** y **Edwin Paúl Sánchez Gavilanes**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 07 de febrero de 2018

El Tutor:

PhD. Iliana González

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **Fabricio Ismael Mosquera Velásquez** y **Edwin Paúl Sánchez Gavilanes** con el título de Proyecto de titulación: **“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CARGABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS TERMOGRÁFICOS PREDICTIVOS, PARA LAS SUBESTACIONES DE LA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR.”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Para constancia firman:

Lector 1
Ing. Msc. Xavier Proaño
C.I: 050265642-4

Lector 2
Ing. Msc. Marcos León
C.I: 050230540-2

Lector 3
Ing. Msc. Antonio Flores
C.I: 171579326-9



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de Técnico del área de subestaciones de la CNEP EP Unidad de Negocio Bolívar, apruebo la implementación del proyecto de investigación sobre el título "DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CARGABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS TERMOGRÁFICOS PREDICTIVOS, PARA LAS SUBESTACIONES DE LA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR", que lo realizaron los señores Mosquera Velásquez Fabricio Ismael con cédula de ciudadanía no. 092366360-3 y Sánchez Gavilanes Edwin Paúl con cédula de ciudadanía 185001828-2.

Guaranda, 08 de Febrero de 2018

Ing. Galo Núñez
TÉCNICO DEL ÁREA DE SUBESTACIONES
C.C. 020181282-3

Ing. Cesar Vélez
LÍDER DE MANTENIMIENTO
C.C. 130821999-5



AGRADECIMIENTO

A Dios, por llenarme de bendiciones en el transcurso de mi carrera profesional guiándome en todo momento, a mi familia por el apoyo incondicional y brindarme una oportunidad de formación académica.

A nuestro director del Proyecto de Investigación, PhD. Iliana Gonzalez quien doto de su tiempo y el invaluable apoyo para la culminación de este presenta proyecto

A la Empresa CNEL – EP Unidad de Negocio Bolívar en particular Departamento de Operación y Mantenimiento de Líneas y Subestaciones, por la confianza brindada en todo momento durante la realización de este proyecto

A la Universidad técnica de Cotopaxi por darme los conocimientos y aprendizajes adquiridos durante los diferentes años de estudio, y especialmente a la Carrera de Ingeniería Eléctrica, para ser útil a la sociedad.

Fabricio

AGRADECIMIENTO

A Dios, por llenarme de bendiciones en el transcurso de mi carrera profesional guiándome en todo momento, a mi familia por el apoyo incondicional y brindarme una oportunidad de formación académica.

A nuestro director del Proyecto de Investigación, PhD. Iliana Gonzalez quien doto de su tiempo y el invaluable apoyo para la culminación de este presenta proyecto

A la Empresa CNEL – EP Unidad de Negocio Bolívar en particular Departamento de Operación y Mantenimiento de Líneas y Subestaciones, por la confianza brindada en todo momento durante la realización de este proyecto

A la Universidad técnica de Cotopaxi por darme los conocimientos y aprendizajes adquiridos durante los diferentes años de estudio, y especialmente a la Carrera de Ingeniería Eléctrica, para ser útil a la sociedad.

Paúl

DEDICATORIA

A mis Padres Diego Y Paulina quienes fueron mi apoyo fundamental para culminar mis estudios y depositaron la confianza en mí.

A Galo Núñez quien apporto con sus conocimientos para el desarrollo del proyecto de investigación.

Fabricio

DEDICATORIA

A mi amada madre Norma Gavilanes quien desde el día de mi nacimiento me amó, cuidó, apoyo y me enseñó valores, que me llevaron a culminar este escalón tan importante en mi vida.

A mi querida familia, quienes fueron pilar fundamental en mi desarrollo académico.

A mi abuelito Antonio quien desde el cielo me protege.

A mi estimado amigo Galo Núñez, que con su apoyo tanto profesional y humano, logré culminar esta maravillosa carrera.

Paúl

ÍNDICE GENERAL

AVAL DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
AVAL DE INGLÉS	xx
1 INFORMACIÓN GENERAL	1
2 RESUMEN DEL PROYECTO	3
3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
Directos:	4
Indirectos:	4
5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
Planteamiento del problema	4
6 OBJETIVOS	5
General.....	5
Específicos.....	5
7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACION A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS:	5
8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
Calor.....	6
Temperatura.....	6

Escalas de temperatura y unidades	6
Relativas	6
Absolutas	6
Mecanismos de transmisión de calor	7
Métodos de transferencia por calor.....	7
Conducción	7
Convección	7
Radiación.....	8
Termografía.....	8
Termografía básica	8
Termografía por infrarrojos	8
Aplicación de Termografía en Sistemas eléctricos.....	9
Alto voltaje	9
Bajo voltaje	10
Subestación eléctrica.....	10
Elementos de la subestaciones	11
Transformador	11
Transformador para medida y protección.....	11
Pararrayos.....	12
Seccionador	13
Disyuntor o Interruptor	13
Barras colectoras	14
Aisladores.....	14
Conectores.....	15
Demanda eléctrica.....	15
Curva de carga o demanda.....	15
Demanda promedio	16
Demanda máxima.....	16
Mantenimiento de subestaciones	16
Tipos de mantenimiento	17
Mantenimiento predictivo	18
Mantenimiento preventivo	19
Mantenimiento correctivo	19
Mantenimiento proactivo	19
Equipo termógrafo.....	20

Cámara termográfica.....	20
Termograma	21
Componentes de la cámara termográfica	21
Tecnologías de detección de calor.....	21
Detectores de calor	23
Detectores de fotones o fotodetectores.....	23
Rangos de temperatura	23
Rango espectral	23
Resolución espacial	23
Calibración de una cámara termográfica.....	24
Factores técnicos necesarios para operar la cámara FLUKE	24
Enfoque.....	24
Factores que limitan e inciden en un análisis termográfico.....	24
Atenuación atmosférica	24
Emisividad	25
Velocidad del viento	25
Campos magnéticos.....	26
Lluvia.....	26
Fundamentos de mantenimiento predictivo a través de la termografía infrarroja.....	26
9 HIPÓTESIS	27
10 METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	27
Métodos de investigación.....	27
Método Inductivo – Deductivo	27
Método Analítico y Sintético	27
Tipos de investigación.....	27
Investigación Bibliográfica	27
Investigación Descriptiva.....	28
Investigación Exploratoria	28
Tipos de investigación.....	28
Investigación de Campo.....	28
Técnicas de Investigación	28
Observación directa	28
Medición.....	28
Análisis	28

Resultados	28
11 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	29
Descripción General del sistema.....	29
Diagrama eléctrico unifilar de las subestaciones	29
Cargabilidad de las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar	29
Subestación Guaranda.....	29
Subestación Guanujo	30
Subestación Cochabamba.....	31
Subestación Sicoto.....	31
Subestación Caluma	32
Subestación Echeandía	32
Clasificación de las demandas	33
Cargabilidad de los transformadores de las subestaciones.....	33
Descripción de los equipos analizarse.	33
Descripción del equipo termográfico FLUKE Ti450 utilizado para las inspecciones ..	38
Partes de la cámara termográfica FLUKE Ti450	38
Encendido del equipo	38
Control de la imagen	38
Capturado de la imagen.....	38
Software de medición termográfica SmartView 4.2	39
Manual del Software de medición termográfica SmartView 4.2 realizado por los estudiantes.....	39
Metodología del mantenimiento predictivo	39
Reconocimiento de la planta.....	39
Selección de las máquinas.....	39
Elección de técnicas óptimas para verificar.....	40
Implantación del predictivo.....	40
Fijación y revisión de datos y límites de condición aceptable.	40
Mediciones de referencia.	40
Recopilación, registro y análisis de las tendencias.	40
Análisis de la condición de la máquina.	40
Corrección de fallos.....	40
Clasificación de temperaturas	41
Diagrama de flujo del plan de manteamiento basado en termografía.....	41
Resultados de las mediciones termográficas	42

Subestación Guaranda.....	43
Subestación Guanujo	43
Subestación Cochabamba.....	44
Subestación Sicoto	44
Subestación Echeandía	45
Subestación Caluma	45
Anomalías térmicas en las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar	46
Plan de mantenimiento predictivo para equipos de la subestación.....	46
Reporte 1.....	47
Reporte 2.....	49
Plan de mantenimiento correctivo realizado.....	50
Descripción del plan de mantenimiento predictivo mediante termografía	50
Procedimiento planteado por los autores.....	51
12 IMPACTOS	52
Impacto técnico	52
Impacto social.....	52
Impacto ambiental	52
Impacto económico	52
13 PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO	53
Análisis costo - beneficio.....	53
Gestión	53
Mano de obra.....	53
Costos.....	53
Costo de termografía en mantenimiento predictivo	53
Costo de mantenimiento correctivo.....	54
Subestación Echeandía	54
Subestación caluma	55
Costo-Beneficio	56
14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
Conclusiones	58
Recomendaciones	58
15 REFERENCIAS	59
16 ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades en relación a los objetivos planteados	5
Tabla 2. Cargabilidad de los transformadores en la Unidad de Negocio Bolívar	33
Tabla 3. Clasificación de las fallas según las diferencias de temperatura	41
Tabla 4. Frecuencia de las inspecciones termográficas	42
Tabla 5. Resultados del barrido termográfico.....	43
Tabla 6. Resultados del barrido termográfico.....	43
Tabla 7. Resultados del barrido termográfico.....	44
Tabla 8. Resultados del barrido termográfico.....	44
Tabla 9. Resultados del barrido termográfico.....	45
Tabla 10. Resultados del barrido termográfico.....	45
Tabla 11. Anomalías encontradas en la Unidad de Negocio Bolívar	46
Tabla 12. Reporte termográfico de la subestación Caluma	48
Tabla 13. Reporte termográfico de la subestación Echeandía	49
Tabla 14. Frecuencia de mantenimientos predictivos, basados en termografía	50
Tabla 15. Distancias de seguridad para realizar termografía.....	51
Tabla 16. Costo por hora de personal y movilización	53
Tabla 17. Costo de un barrido termográfico en 6 subestaciones	54
Tabla 18. Costo reajuste de conectores en la Subestación Echeandía.....	54
Tabla 19. Costo de Energía no Suministrada	55
Tabla 20. Costo total de Mantenimiento no programado en subestación Echeandía	55
Tabla 21. Costo reajuste de conectores en la Subestación caluma.....	55
Tabla 22. Costo de Energía no Suministrada	56
Tabla 23. Costo total de Mantenimiento no programado en subestación Caluma	56
Tabla 24. Potencia desconectada las subestaciones con anomalías térmicas.	56
Tabla 25. Tiempo estimado en detectar la falla.....	56
Tabla 26. Costos de energía no suministrada por desconexión no programada.....	57
Tabla 27. Costo del Proyecto de investigación.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los mecanismos de transferencia de calor.....	7
Figura 2. Algunas aplicaciones de la termografía por infrarrojos.....	9
Figura 3. Subestación Eléctrica Guaranda.....	10
Figura 4. Transformador de Corriente y sus partes.....	11
Figura 5. Transformador de potencial y sus partes.....	12
Figura 6. Pararrayos.....	12
Figura 7. Seccionador de columnas giratorias y sus partes.....	13
Figura 8. Disyuntor y sus partes.....	13
Figura 9. Barras tubulares de una subestación.....	14
Figura 10. Aisladores utilizados en una subestación.....	14
Figura 11. Conectores utilizados en subestaciones.....	15
Figura 12. Curva de demanda diaria de la Subestación Guaranda.....	16
Figura 13. Curva de falla de un equipo.....	17
Figura 14. Esquema simplificado de una cámara termográfica.....	21
Figura 15. Cámara termográfica con un sistema de detección por escáner.....	22
Figura 16. Cámara termográfica con un sistema de detección (FPA).....	22
Figura 17. Espectro electromagnético y las bandas espectrales utilizadas en la fabricación de cámaras termográficas.....	24
Figura 18. a) Termografía tomada con un viento de 14 Km/h; b) Termografía tomada sin viento.....	25
Figura 19. Seccionador de línea (89L).....	34
Figura 20. Seccionador de barra (89B).....	34
Figura 21. Disyuntor (52).....	35
Figura 22. Seccionador del Transformador (89A).....	35
Figura 23. By pass (89Y).....	36
Figura 24. Transformadores de corriente.....	36
Figura 25. Transformadores de potencial.....	37
Figura 26. Transformador.....	37
Figura 27. Diagrama de flujo del plan de manteamiento basado en termografía.....	41

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva de carga diaria de la subestación Guaranda.....	30
Gráfico 2. Curva de carga diaria de la subestación Guanujo.....	30
Gráfico 3. Curva de carga diaria de la subestación Cochabamba.....	31
Gráfico 4. Curva de carga diaria de la subestación Sicoto	31
Gráfico 5. Curva de carga diaria de la subestación Caluma	32
Gráfico 6. Curva de carga diaria de la subestación Echeandía.....	32

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CARGABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS TERMOGRÁFICOS PREDICTIVOS, PARA LAS SUBESTACIONES DE LA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR.”

Autores: Fabricio Ismael Mosquera Velásquez

Edwin Paúl Sánchez Gavilanes

RESUMEN

El presente trabajo de titulación “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CARGABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS TERMOGRÁFICOS PREDICTIVOS, PARA LAS SUBESTACIONES DE LA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR.” trata sobre el análisis termográfico en las Subestaciones Eléctricas de la CNEL - EP Unidad de Negocio Bolívar con el propósito de determinar puntos calientes, que sirven para la evaluación de los mantenimientos predictivos y así reducir el número de interrupciones a los usuarios. Dentro del desarrollo de la presente investigación se diseña una ficha técnica para la recopilación y el posterior análisis de las imágenes termográficas de las respectivas anomalías encontradas, para describir de manera puntual cada una de las causas y sus respectivas soluciones atendiendo a la norma ANSI/NETA ATS-2009, lo que permitirá la propuesta de un plan de mantenimiento predictivo en base al periodo evaluado. Por último se presenta un análisis económico, conclusiones y recomendaciones que permitan a la CNEL - EP Unidad de Negocio Bolívar disminuir las interrupciones de servicio eléctrico para mejorar los índices de calidad de la empresa.

Palabras clave: análisis termográfico, puntos calientes, anomalías, mantenimiento predictivo, interrupciones.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF APPLIED AND ENGINEERING SCIENCE

TOPIC: "DESIGN OF A MAINTENANCE PLAN BASED ON THE CHARGABILITY AND ANALYSIS OF PREDICTIVE THERMOGRAPHIC RESULTS FOR THE SUBSTATIONS AT BOLÍVAR BUSINESS UNIT".

Authors: Fabricio Ismael Mosquera Velásquez

Edwin Paúl Sánchez Gavilanes

ABSTRACT

This work research "DESIGN OF A MAINTENANCE PLAN BASED ON THE CHARGABILITY AND ANALYSIS OF PREDICTIVE THERMOGRAPHIC RESULTS FOR THE SUBSTATIONS AT BOLÍVAR BUSINESS UNIT" deals with the thermographic analysis in the Electric Substations of the EPC Unit Bolívar business with the purpose of determining hot spots, which serve for the evaluation of predictive maintenance and thus reduce the number of interruptions to users. Within the development of the current investigation, a technical sheet is designed for the collection and subsequent analysis of the thermographic images of the respective anomalies found, to describe in a timely manner each of the causes and their respective solutions in accordance with the ANSI / NETA standard ATS-2009, which will allow the proposal of a predictive maintenance plan based on the period evaluated. Finally, an economic analysis, conclusions and recommendations that allow the Cnel. EP Business Unit Bolívar decrease the interruptions of electric service to improve the quality indexes of the company

.Keywords: thermographic analysis, hot spots, anomalies, predictive maintenance, interruptions.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **Fabricio Ismael Mosquera Velásquez, Edwin Paul Sánchez Gavilanes**, cuyo título versa **“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CARGABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS TERMOGRÁFICOS PREDICTIVOS, PARA LAS SUBESTACIONES DE LA UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR.”** , lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, 02 febrero de 2018

Atentamente,

Msc. Carolina Cisneros
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.I.050276643-9



PROYECTO DE TITULACIÓN II

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título:

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, BASADO EN LA CARGABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS TERMOGRÁFICOS PREDICTIVOS, PARA LAS SUBESTACIONES DE LA UNIDAD DE NEGOCIO BOLIVAR.

Fecha de Inicio:

ABRIL 2017

Fecha de finalización:

FEBRERO 2018

Lugar de ejecución:

CENEL EP Unidad de Negocio Bolívar

FACULTAD que auspicia:

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

Carrera que auspicia:

CARRERA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

Equipo de Trabajo:**TUTOR:**

Nombres:	PhD. Iliana Antonia
Apellidos:	Gonzalez Palau
Teléfono Celular:	0984340820
Correo Electrónico:	iliana.gonzalez@utc.edu.ec

ESTUDIANTE 1

Nombres:	Fabricio Ismael
Apellidos:	Mosquera Velásquez

Lugar y fecha de nacimiento: Pillaro 19 de marzo de 1995

Estado civil: Soltero

Número de cedula: 0923663603

Dirección: Urb.Nueva Vida calle dapsama y principal.

Teléfono: 0982084388 /032386008

E-mail: fabricio.mosquera3@utc.edu.ec

Estudios realizados:

Primaria: Unidad educativa FAE n.-5

Secundaria: Unidad educativa FAE n.-5

ESTUDIANTE 2

Nombres: Edwin Paúl

Apellidos: Sánchez Gavilanes

Lugar y fecha de nacimiento: Píllaro, 05 de Julio de 1994

Estado civil: Soltero

Número de cedula: 1850018282

Dirección: Pillaro; Parroquia la Matriz; Barrio San Antonio.

Teléfono: 0982399812 - 0989253719

E-mail: edwin.sanchez2@utc.edu.ec

Estudios realizados:

Primaria: Escuela “Augusto Nicolás Martínez” - Píllaro

Secundaria: Colegio Nacional Mixto “Jorge Álvarez”

Área de Conocimiento: Operación de subestaciones

Línea de investigación: Gestión de la calidad y seguridad laboral

Sub líneas de investigación de la Carrera: Explotación y Diseño de Sistemas Eléctricos

2 RESUMEN DEL PROYECTO

En la presente investigación se diseñó un plan de mantenimiento basado en la cargabilidad del sistema y resultados termográficos tomados a los equipos del patio de maniobra a 69kV que componen las seis subestaciones de la CNEL-EP Unidad de Negocio Bolívar, con el cual podremos viabilizar un mantenimiento predictivo, plantear soluciones para garantizar su operación y asegurar la continuidad del servicio.

3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Debido a que la energía eléctrica es un servicio indispensable para las industrias, comercios y residencias, las empresas distribuidoras son las encargadas de garantizar la correcta operación de su sistema, minimizando la probabilidad de posibles interrupciones, que puedan afectar a su calidad y eficiencia.

Una parte muy importante dentro de un sistema eléctrico es la subestación, por lo que es necesario contar con un plan de mantenimiento, el cual nos permita llevar un control de los diferentes equipos existentes, para poder evitar problemas futuros, como el paro de una subestación produciendo pérdidas por energía no suministrada, el aumento de temperatura en terminales, conexiones con alta resistencia, reducción del rendimiento del sistema eléctrico por la disipación de energía mediante calor.

La CNEL – EP Unidad de Negocio Bolívar no cuenta con un plan de mantenimiento que permita predecir los problemas que puedan ocurrir en su sistema, resultado de esto en el presente trabajo se diseñara un plan adecuado, que nos permita llevar un control de los equipos que conforman las instalaciones, basado en la cargabilidad de su sistema y resultados termográficas utilizando una cámara FLUKE Ti450.

Esta cámara tiene la capacidad de mostrarnos en una imagen la radiación infrarroja emitida por los objetos, con su respectiva paleta de colores y valores de temperatura. Gracias a este termograma se observa e interpretar las anomalías que puedan presentar los equipos en estudio y realizar el análisis térmico respectivo, determinar la gravedad de la situación y priorizar el tiempo que se requiera para atender la anomalía.

Al momento de identificar los problemas que puedan existir en el sistema, la Unidad de Negocio Bolívar logrará cumplir con el principal objetivo del mantenimiento predictivo: el cual se basa en identificar la futura falla antes de que esta ocurra. Llegando así a reducir pérdidas técnicas y poder brindar un servicio confiable, eficiente y de calidad.

4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Directos:

Unidad de Negocio Bolívar

Indirectos:

Usuarios conectados al sistema.

5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La CNEL-EP Unidad de Negocio Bolívar es la encargada de la distribución y comercialización de energía eléctrica, esta empresa cuenta con seis subestaciones a nivel de 69 kV las cuales solo cuentan con mantenimientos correctivos.

La carencia de un plan de mantenimiento dentro de la Unidad y especialmente en el área de subestaciones, con el pasar del tiempo ha provocado la aparición de “anomalías térmicas”, que usualmente se originan por conexiones flojas, corrosión, suciedad o la degradación de los materiales aislantes.

Estas anomalías térmicas producen radiación infrarroja, que no son visibles para el ojo humano directamente, por lo que la ingeniería ha creado un equipo capaz de transformar dicha radiación en una imagen llamada termograma, donde observamos a través de una paleta de colores propia del equipo, las condiciones térmicas en las que se encuentra los objetos en estudio.

La termografía es una de las herramientas que nos ayuda a realizar planes de mantenimiento predictivo, en el cual se cumple con su principal objetivo, que es identificar la falla antes de que ocurra.

Gracias a esta tecnología se diseñara un plan de mantenimiento adecuado para los equipos que conforman el patio de maniobras a 69 kV, basado en la cargabilidad de su sistema y datos termográficos obtenidos con una cámara infrarroja FLUKE Ti450, permitiendo así predecir y corregir los problemas que puedan existir, afectando al óptimo funcionamiento de las subestaciones.

Planteamiento del problema

EL problema del presente trabajo se basa en la carencia de un plan de mantenimiento predictivo, que permita identificar la aparición de anomalías térmicas en los equipos del patio de maniobras a 69 kV de la CNEL – EP Unidad de Negocio Bolívar.

6 OBJETIVOS

General

Diseñar un plan de mantenimiento predictivo para las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar, basado en la cargabilidad de su sistema y resultados termográficos, que nos permita identificar anomalías térmicas en sus equipos.

Específicos

- ✓ Determinar las posibles anomalías térmicas en las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar a través de la toma de datos termográficos obtenido con una cámara FLUKE Ti450.
- ✓ Analizar el comportamiento térmico de los equipos basado en su cargabilidad y la toma de imágenes termográficas.
- ✓ Realizar un procedimiento adecuado del mantenimiento predictivo a través de un análisis económico.

7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS:

Tabla 1. Actividades en relación a los objetivos planteados

Objetivo	Actividad	Resultado	Instrumentos
Determinar las posibles anomalías térmicas en las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar a través de la toma de datos termográficos obtenido con una cámara FLUKE Ti450.	Inspección visual de los equipos donde pueden existir anomalías térmicas.	Estado actual de los equipos en estudio.	Cámara termográfica FLUKE Ti 450.
Analizar el comportamiento térmico de los equipos basado en su cargabilidad y la toma de imágenes termográficas.	Toma de imágenes termográficas durante la demanda máxima en el sistema.	Tablas de resultados térmicos obtenidos.	Cámara termográfica FLUKE Ti 450.
Realizar un procedimiento adecuado del mantenimiento predictivo a través de un análisis económico.	Analizar las condiciones técnicas – económicas actuales de las subestaciones.	Creación del plan de mantenimiento predictivo para la CNEL – EP Unidad de Negocio Bolívar.	Bibliografía adquirida.

Realizado por: Autores

8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

Calor

El movimiento de los átomos y moléculas crea una forma de energía llamada calor o energía térmica, que está presente en todo tipo de materia. La energía puede presentarse de muy diferentes formas y puede cambiar de una a otra. Muchos tipos de energía pueden convertirse en calor. La energía electromagnética (luz), la electrostática (o eléctrica), la mecánica, la química, la nuclear, el sonido y la térmica, pueden calentar una sustancia haciendo que se incremente la velocidad de sus moléculas. Si ponemos energía en un sistema éste se calienta, si quitamos energía se enfría. (Díaz, 2005, pág. 50)

Temperatura

La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Como lo que medimos en sus movimientos medio, la temperatura no depende del número de partículas en un objeto y por lo tanto no depende de su tamaño. Por ejemplo, la temperatura de un vaso de agua hirviendo es la misma que la temperatura de una olla de agua hirviendo, a pesar de que la olla sea mucho más grande y tenga millones y millones de moléculas de agua más que el vaso. (A.Müller, 2002, pág. 71)

Escalas de temperatura y unidades

Las escalas de medición de la temperatura se dividen fundamentalmente en dos tipos, las relativas y las absolutas.

Relativas

Grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$), para establecer una base de medida de la temperatura Celsius utilizó los puntos de fusión y ebullición del agua, dividió el intervalo de temperatura que existe entre éstos dos puntos en 100 partes iguales a las que llamó grados centígrados $^{\circ}\text{C}$.

Grado Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), toma divisiones entre el punto de congelación de una disolución de cloruro amónico (a la que le asigna valor cero) y la temperatura normal corporal humana (a la que le asigna valor 100). Esta escala divide la diferencia entre los puntos de fusión y de ebullición del agua en 180 intervalos iguales.

Absolutas

La escala absoluta de temperaturas parte de la existencia del 0 absoluto ($0^{\circ}\text{K} = -273,15^{\circ}\text{C}$) una temperatura hipotética caracterizada por una ausencia completa de energía calórica. La escala kelvin ($^{\circ}\text{K}$) absoluta es parte del cero absoluto y define la magnitud de sus unidades.

Mecanismos de transmisión de calor

“Es el movimiento neto de energía de una fuente de mayor temperatura hacia una de menor, producido por dicha diferencia.” (Hewitt, págs. 305-320)

Métodos de transferencia por calor

El calor puede transmitirse de varias formas, por conducción, convección y radiación, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Esquema de los mecanismos de transferencia de calor



Fuente: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Calor00102022200002.gif>

Conducción

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas. Los mejores conductores de calor son los metales. El aire es un mal conductor del calor. Los objetos malos conductores como el aire o plásticos se llaman aislantes. (Hewitt, págs. 305-320)

Convección

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en

líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio. (Hewitt, págs. 305-320)

Radiación

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio. (Hewitt, págs. 305-320)

Termografía

El término “termografía” se, deriva de raíces semánticas que significan “imagen de la temperatura”.

Termografía básica

La termodinámica es la ciencia que estudia cómo la energía térmica (calor) se mueve transforma y afecta a la materia. Para utilizar los equipos de infrarrojos actuales, es esencial comprender los principios básicos tanto de la transferencia de calor como de la física de la radiación.

La primera ley de la termodinámica es una ley física que dice que cuando el trabajo mecánico se transforma en calor, o cuando el calor se transforma en trabajo, la cantidad de trabajo y de calor son siempre iguales. También es llamada la Ley de la Conservación de la Energía.

La segunda ley de la termodinámica dice que cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos, la energía térmica se transfiere de las zonas más calientes (mayor energía) a las zonas frías (menor energía) hasta alcanzar el equilibrio térmico.

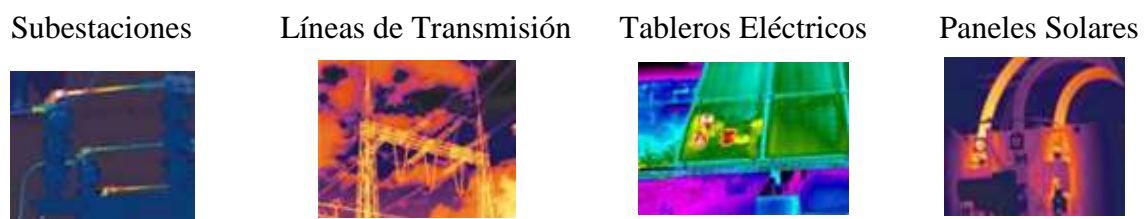
Termografía por infrarrojos

A nivel semántico, la palabra “infrarrojo” deriva de “infra” y “rojo”, es decir por debajo del rojo, refiriéndose al lugar que ocupa esta longitud de onda en el espectro de la radiación electromagnética. La termografía por infrarrojos es la ciencia que estudia el uso de dispositivo óptico-electrónico para detectar y medir la radiación a partir de la cual se obtiene la temperatura de las superficies bajo estudio. A mayor temperatura del cuerpo mayor radiación en el infrarrojo **Ley de Stefan – Boltzmann**. (Hewitt, págs. 305-320)

Aplicaciones de la termografía por infrarrojos

La Termografía por infrarrojos es una técnica que permite ver la temperatura de una superficie con precisión sin tener que tener ningún contacto con ella. Gracias a la Física podemos convertir las mediciones de la radiación infrarroja en mediciones de temperatura. Debido a lo general que resulta la termografía por infrarrojos, donde el campo de aplicación es amplio, solo se abarcará aplicaciones eléctricas. Algunos ejemplos en los que se pueden obtener importantes beneficios mediante el uso de la termografía por infrarrojos.

Figura 2. Algunas aplicaciones de la termografía por infrarrojos.



Fuente: <http://www.fluke.com/fluke/eses/soluciones/camaras-termograficas/termografia-en-sistemas-electricos-en-planta>

Aplicación de Termografía en Sistemas eléctricos

La termografía puede ser aplicada en un campo muy amplio, gracias a la facilidad de transporte del equipo y el poco riesgo que existe al momento de realizar las pruebas.

A continuación ponemos en consideración lugares frecuentes donde se realiza mantenimientos predictivos con termografía.

Alto voltaje

- Inspecciones de subestaciones eléctricas
- Oxidación de los seccionadores
- Conexiones mal fijadas
- Defectos en aisladores
- Conexiones sobrecalentadas
- Inspección en líneas de alta tensión
- Conexiones de alta tensión defectuosas
- Inspección en interruptores de potencia
- Verificación después de una reparación realizada

Bajo voltaje

- Conexión de alta resistencia
- Daños en fusibles internos
- Mala conexión y daños internos
- Corrosión en conexiones
- Fallos en ruptores internos
- Conexiones de cables sueltas
- Inspección de tableros de control y fuerza de maquinaria en general
- Inspecciones de motores eléctricos
- Inspección de acometidas
- Inspección en líneas de distribución rural y urbana

Subestación eléctrica

Una subestación eléctrica es el conjunto de equipos, ubicados en una zona estratégica de un sistema eléctrico que nos permite manejar, transmitir y comercializar energía eléctrica.

Las subestaciones eléctricas en el Ecuador se pueden clasificar de acuerdo a los niveles de voltaje existentes, como se muestra a continuación:

- Subestación de transmisión entre (230kV y 500kV).
- Subestación de subtransmisión entre (138kV y 69kV).
- Subestación de distribución primaria entre (69kV y 13,8kV).
- Subestación de distribución secundaria menor a (13,8kV).

Figura 3. Subestación Eléctrica Guaranda



Realizado por: Autores

Elementos de la subestaciones

Transformador

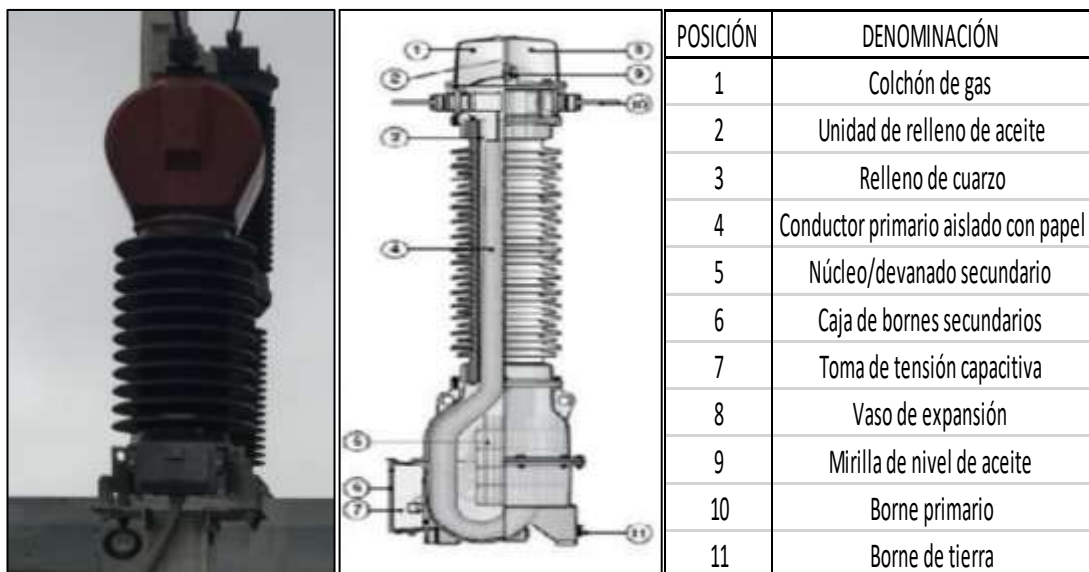
Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro al silicio. Las bobinas o devanados se denominan “primario y secundario” según correspondan a la tensión alta o baja, respectivamente.

Transformador para medida y protección

Transformador de corriente

Como podemos observar en la figura 4 los transformadores de corriente (TC's) son utilizados para medida y protección, tienen la función de convertir corrientes altas a valores bajos, a los que pueden conectarse los relés e instrumentos de medida.

Figura 4. Transformador de Corriente y sus partes

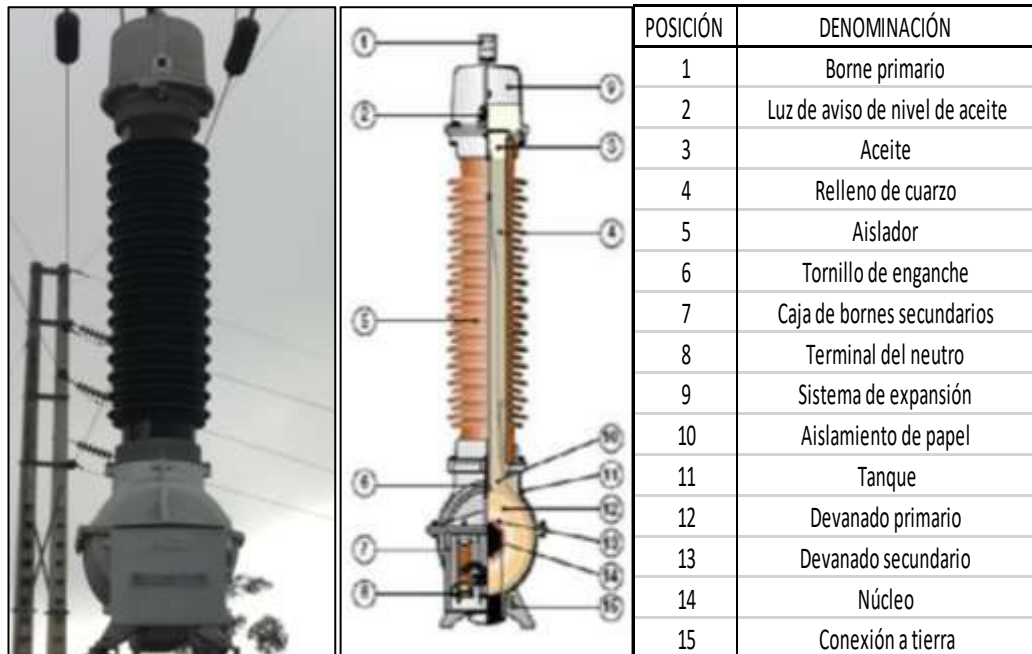


Realizado por: Autores

Transformador de potencial

En la figura 5 observamos a los transformadores de potencial (TP's), transforman el voltaje de un valor mayor a un valor menor y se encargan de aislar a los equipos de medición.

Figura 5. Transformador de potencial y sus partes



Realizado por: Autores

Pararrayos

El pararrayos es un dispositivo eléctrico formado por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalance de sistemas.

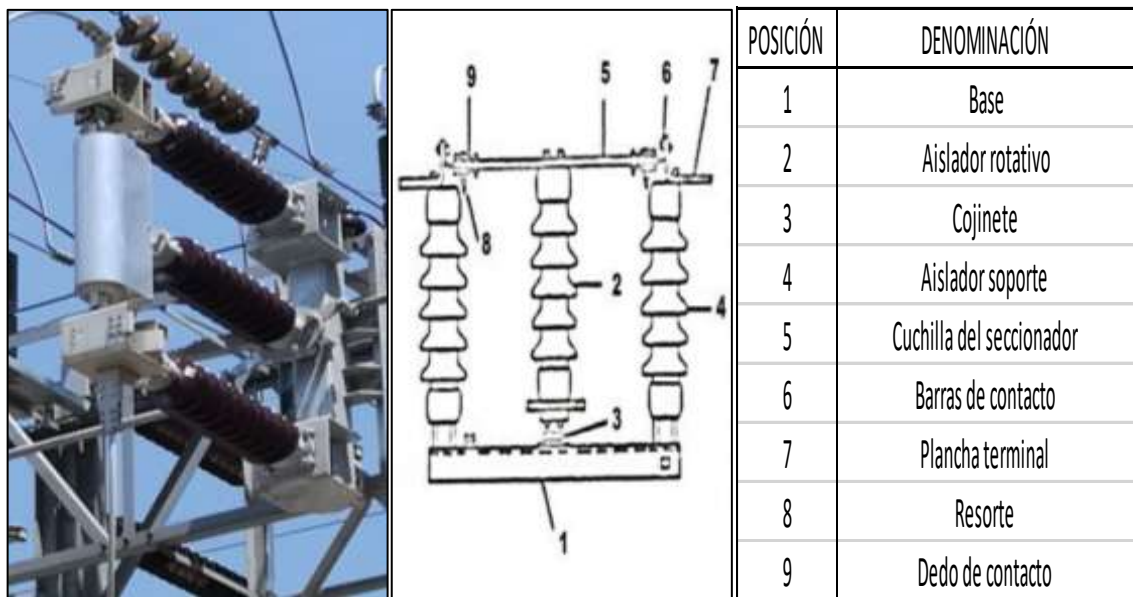
Figura 6. Pararrayos



Fuente: http://images.teinteresa.es/catalunya/barcelona/Endesa-subestacion-Sant-Mateu-Barcelona_TINIMA20130806_0161_5.jpg

Seccionador

Figura 7. Seccionador de columnas giratorias y sus partes

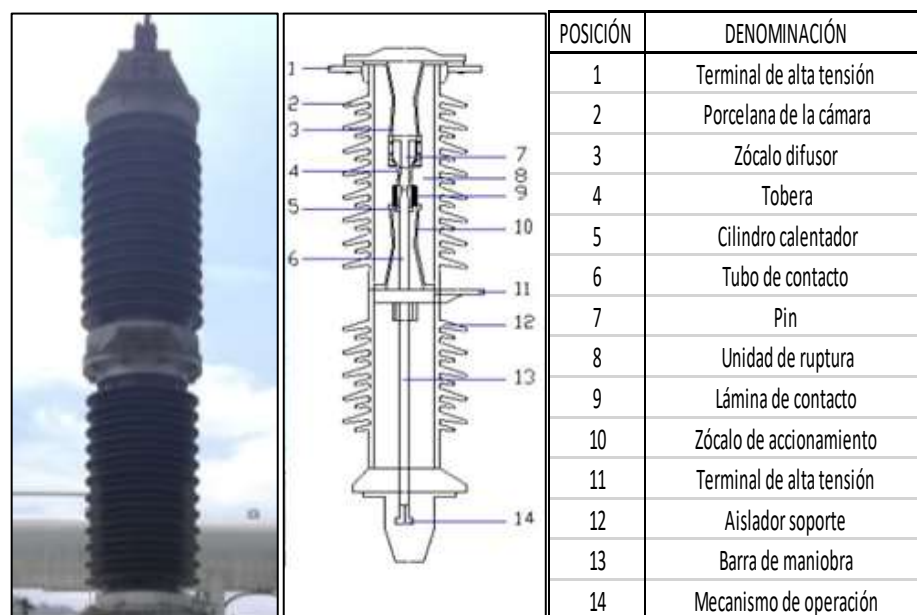


Realizado por: Autores

Los seccionadores o cuchillas son dispositivos que permite conectar y desconectar los circuitos en maniobras de operación y de mantenimiento. Su operación se realiza con circuitos energizados pero sin carga.

Disyuntor o Interruptor

Figura 8. Disyuntor y sus partes



Realizado por: Autores

Un disyuntor o interruptor de potencia es un dispositivo de maniobra cuya función consiste en interrumpir la conducción de corriente en un circuito eléctrico bajo carga, en condiciones normales, así como, bajo condiciones de cortocircuito.

Barras colectoras

En forma genérica se designa al nodo que se utiliza para hacer las derivaciones y/o conexión entre los diferentes elementos que componen la subestación eléctrica.

Figura 9. Barras tubulares de una subestación



Realizado por: Autores

Aisladores

Es una pieza o estructura de material aislante, que tiene por objeto dar soporte rígido o flexible a los conductores de la subestación eléctrica y proporcionan el nivel de aislamiento requerido por el sistema. Deben soportar los diferentes esfuerzos eléctricos y/o mecánicos a los que será sometida la subestación en condiciones normales de operación (sobretensiones atmosféricas, vientos, cortocircuitos, tracción mecánica, etc.).

Figura 10. Aisladores utilizados en una subestación

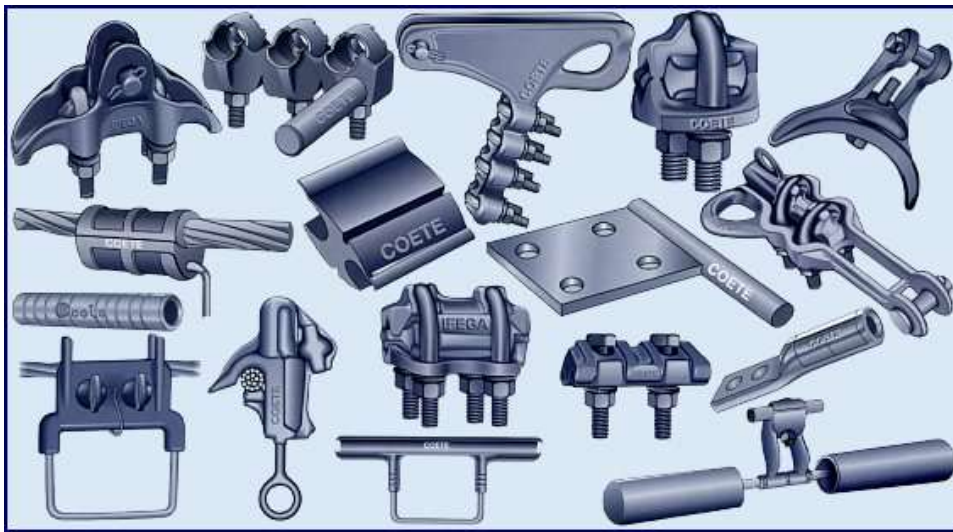


Fuente: <https://es.slideshare.net/jorgemunozv/transformadores-parte-iii>

Conectores

Dispositivos que sirven para mantener la continuidad eléctrica entre dos conductores. Los conectores emplean medios mecánicos para crear puntos de contacto y mantener la integridad de la conexión, requieren de mantenimiento frecuente para evitar la formación de “puntos calientes” en la figura 11 se mencionan algunos conectores más comunes en subestaciones.

Figura 11. Conectores utilizados en subestaciones



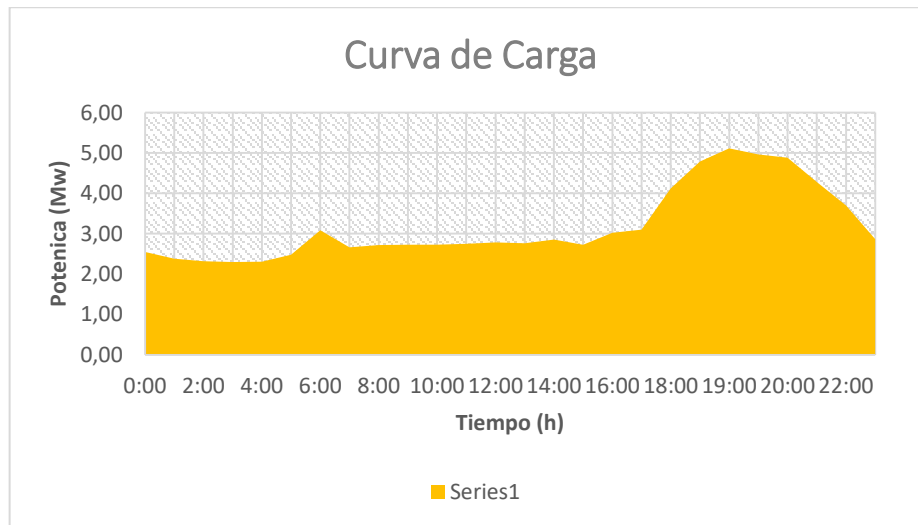
Fuente: <http://www.ven-export.com/comp/gen/4625.html>

Demanda eléctrica

Es la suma de potencias conectadas a un sistema que funcionan durante un tiempo determinado. Existen tres tipos de potencia que son muy importantes para poder establecer nuestra demanda, como la potencia activa expresada en (kW), la potencia reactiva expresada en (kVAr) y por último la potencia aparente expresada en (kVA).

Curva de carga o demanda

Es la variación de la demanda en un determinado periodo de tiempo, que puede ser diario, semanal, mensual, anual, y se la representa gráficamente. A continuación en la figura 12 se muestra como ejemplo la curva de demanda diaria de la subestación Guaranda.

Figura 12. Curva de demanda diaria de la Subestación Guaranda

Realizado por: Autores

Demanda promedio

Se define como “La relación entre el consumo de energía del usuario durante un intervalo dado y el mismo intervalo”(Campoverde & Sánchez, 2012).

Demanda máxima

Es el máximo consumo registrado en un periodo de tiempo de potencia eléctrica, “es esta demanda máxima la que ofrece mayor interés ya que aquí es donde se presenta la máxima caída de voltaje en el sistema y por lo tanto cuando se presenta las mayores pérdidas de energía y potencia”

Mantenimiento de subestaciones

Para el mantenimiento en subestaciones, se puede orientar el mantenimiento hacia la disponibilidad de equipos la cual es la más ajustable a los requerimientos y características en Sistemas de Potencia. Esta orientación debe estar basada, en la filosofía del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y del Mantenimiento basado en la Confiabilidad (RCM). El TPM es una filosofía de mantenimiento que exige calidad total en el trabajo de mantenimiento, lo cual no es difícil de obtener, pero en consecuencia exige que en los sistemas en los que se aplica esta filosofía, llegar al nivel de “cero fallas”, sabiendo que en sistemas de potencia la mayor parte de las fallas se deben a factores externos, no será posible llegar al nivel de “cero fallas”, sin elevar considerablemente los costos de operación. (Rocha, 2014)

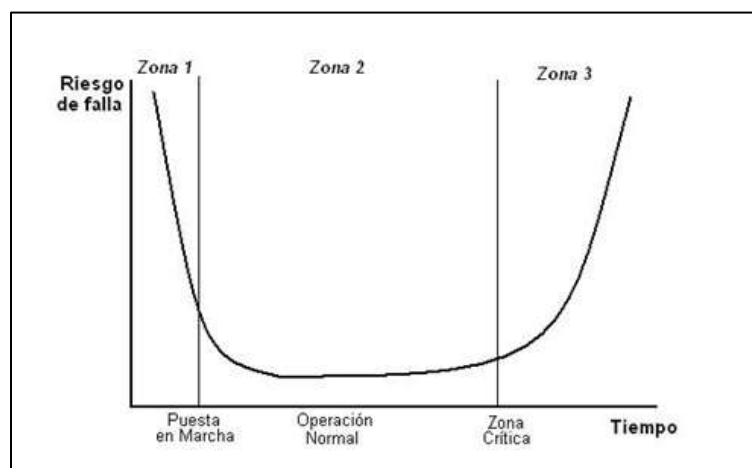
Por otro lado, el RCM es un sistema de mantenimiento que se basa en la Confiabilidad, es decir que el sistema en el que se aplica el RCM debe continuar con su trabajo normal a pesar del surgimiento de alguna falla de la falencia de algún componente del sistema, y esto se logra mediante el reemplazo de dicho componente en el sistema, el punto es que el sistema se mantenga sin desconexiones. En una subestación cada componente cumple funciones únicas relativas a ese equipo, por tanto, en caso de ausencia de uno de estos, sin importar la causa, no será posible reemplazar u obviar tal componente para que la transmisión de energía continúe porque esto podría llevar a fallas mayores, o paradas del sistema, que pudieron haberse evitado si el componente en cuestión hubiera estado cumpliendo sus funciones.

Esto lleva a buscar la Confiabilidad en una subestación, según lo antes mencionado, para lograr esto se debe buscar la disponibilidad de los equipos en la subestación, con ello los equipos disponibles cumplen su función, y por tanto el sistema será confiable.

Tipos de mantenimiento

Existen cuatro tipos de mantenimiento, los cuales se aplican en distintas etapas de la vida útil de un equipo. Para poder determinar con algo de lógica el período donde es más factible aplicar cada tipo de mantenimiento, teóricamente existe la llamada "curva de falla" figura 13, la cual indica la probabilidad de la ocurrencia de fallas y averías para determinadas etapas de operación de la planta en función del factor tiempo.

Figura 13. Curva de falla de un equipo



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/muestam/muestam>

La curva anterior se la puede explicar de la siguiente manera:

Zona 1: Riesgo elevado en la etapa de implementación de la planta y puesta en marcha de los equipos.

Zona 2: Riesgo bajo en la etapa de operación de la planta (siempre que los equipos reciban los cuidados y reparaciones adecuadas)

Zona 3: Riesgo elevado en la etapa de operación de la planta luego que ha cumplido el ciclo de vida de los equipos (los cuales si reciben un óptimo mantenimiento podrían operar sin la presencia de fallas).

Mantenimiento predictivo

Interviene cuando al efectuar las pruebas al equipo, se llega a conocer su estado actual y es posible entonces, conocer el estado futuro o anticiparse a las posibles fallas.

Ventajas del mantenimiento predictivo

La implantación de un plan de mantenimiento predictivo en la empresa tiene múltiples ventajas. Tres son los campos donde estas ventajas se hacen más significativas:

Reducción de los costes de Mantenimiento.

- Identificando y corrigiendo los problemas en las maquinas, antes de que estos sean más serios y más costosos de reparar.
- Incrementando la eficiencia para la detección de fallos en los equipos.
- Reducción del número de intervenciones así como el de partes de mantenimiento en curso.
- Identifica y reemplaza prácticas pobres de mantenimiento.
- Reduce el coste de horas de trabajo del personal de mantenimiento.
- Reduce el mantenimiento preventivo programado, que puede ser innecesario y costoso.

Incremento de la Producción.

- Reduce los tiempos muertos inesperados por fallos en el equipo.
- Extiende la vida del equipo.
- Reduce los peligros y accidentes generados al fallar el equipo.
- Incrementa la velocidad del proceso y la velocidad de producción.
- Aumenta el valor de cada máquina, por el incremento anual de producción.

- Aumenta el grado de fiabilidad de la maquinaria, permitiendo cumplir a tiempo
- con las órdenes de producción.

Incremento de la Eficiencia Total de la Planta.

- Las ganancias derivadas por la reducción de costos de mantenimiento e incremento de producción, superan varias veces la inversión hecha en la aplicación de estas técnicas.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo a subestaciones se divide en dos componentes: Inspección visual. Este tipo de mantenimiento se efectúa en forma mensual, sin desenergizar la línea, no utiliza herramientas ni instrumentos en la mayor parte de los casos, y como su nombre lo indica consiste sólo en inspecciones visuales. Tiene la finalidad de revisar visualmente el estado exterior de los equipos. Mantenimiento preventivo programado o sistemático. Consiste en una serie de pruebas a realizar en los equipos para verificar su estado. El trabajo tiene carácter preventivo, pero también engloba al mantenimiento predictivo, y en algunos casos al correctivo. (WordPress, 2015)

Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo puede considerarse dividido en dos partes:

Mantenimiento correctivo programado es una actividad correctiva que implica reparación y reemplazo de piezas que tiene carácter preventivo, ya que en función de las condiciones del equipo o de ciertos parámetros se efectúan las reparaciones con la intención de anticiparse y prevenir datos mayores que afecten a la disponibilidad del equipo. (WordPress, 2015)

Mantenimiento correctivo por avería se presenta cuando existe una falla o avería grave de algún o algunos equipos de la subestación, estas averías se presentan por causas ajenas a la voluntad de los responsables de la subestación, y se deben a factores externos: condiciones climáticas, datos de terceros, problemas en la línea de transmisión o distribución. (WordPress, 2015)

Mantenimiento proactivo

Consiste en el estudio de fallas y análisis de la actividad de mantenimiento, para poder obtener conclusiones y dar sugerencias para mejorar la función de mantenimiento. El estudio de incidencias y análisis de fallas es una actividad relacionada con la subestación en general.

La programación de esta actividad y su realización dependerá del criterio de la empresa, en función de los problemas que se deseen analizar. (WordPress, 2015)

Equipo termógrafo

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite medir y visualizar, a distancia y sin ningún contacto, temperaturas de una superficie con precisión.

El ojo humano no puede observar la radiación infrarroja emitida por un objeto cuando se encuentra a cierta temperatura, por esta razón se hace necesario utilizar cámaras termográficas, que son capaces de medir esta energía por medio de sensores infrarrojos. El cual permite determinar la energía radiante emitida por objetos y establecer la temperatura de la superficie a una cierta distancia, en tiempo real.

La mayoría de los problemas y averías eléctricas, están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de la temperatura mediante Cámaras Termográficas. Resulta útil tener una comprensión general cómo funcionan las Cámaras Termográficas porque es muy importante que el termógrafo trabaje dentro de las limitaciones del equipo. Esto permite detectar y analizar los problemas potenciales con mayor precisión.

Cámara termográfica

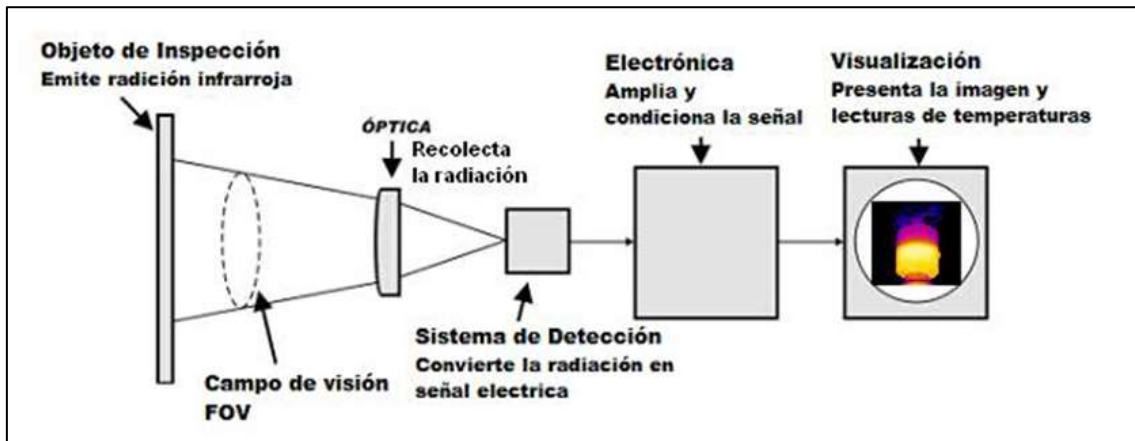
“Las cámaras termográficas utilizan tecnología de infrarrojos para medir la temperatura de la superficie de los objetos, sin necesidad de tocar el objeto con seguridad a altas temperaturas y de difícil acceso sin contaminar o dañar el objeto”. (Itajubá, 2014)

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, como se muestra en la figura 14. (Itajubá, 2014)

La elección correcta de la cámara termográfica para inspeccionar las subestaciones depende del conocimiento de ciertas características técnicas de la cámara termográfica, el medio ambiente donde se utiliza y el tipo de componente para ser inspeccionado. Por ejemplo:

La temperatura del objeto a inspeccionar define el rango de temperatura y la mejor gama de longitud de onda que la cámara termográfica que debe tener.

Figura 14. Esquema simplificado de una cámara termográfica



Fuente: <http://www.fluke.com/fluke/eces/support/manuals/default.htm>

La distancia y el tamaño del objeto a inspeccionar definen la resolución, espacio y medida. (Itajubá, 2014)

La temperatura ambiente establece el rango de temperatura de funcionamiento de la cámara termográfica. (Itajubá, 2014)

Termograma

Un termograma es una imagen de un blanco electrónicamente procesado y mostrado en la pantalla en donde los distintos tonos de colores corresponden con la distribución de la radiación infrarroja que emite la superficie del blanco. Con este proceso, el termógrafo es capaz de ver la temperatura del blanco mediante el termograma, que corresponde con la energía radiada procedente de la superficie del blanco.

El blanco es el objeto que va a ser inspeccionado con una cámara termográfica.

Componentes de la cámara termográfica

La cámara termográfica típica consta de varios componentes incluyendo la lente, tapa de la lente, pantalla, detector de infrarrojos, electrónica de procesamiento, controles, dispositivos de almacenamiento de datos y software de procesamiento de datos para crear informes. Estos componentes pueden variar dependiendo del tipo y modelo de la cámara termográfica.

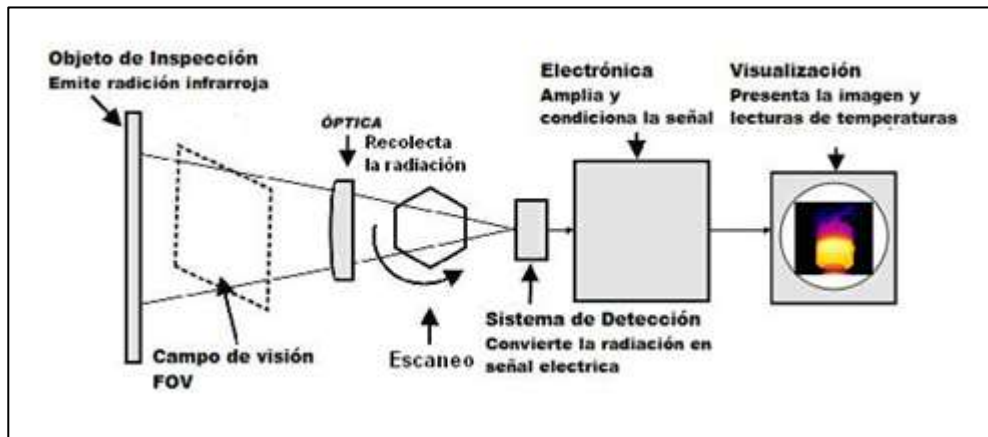
Tecnologías de detección de calor

Las cámaras termográficas utilizan básicamente dos tipos de tecnologías de detección:

- Sistema de detección por escáner (Scanning system).
- Sistema de detección Focal Plane Array - FPA (Staring system).

El sistema de detección por escáner hace uso de un conjunto de espejos electromecánicos y/o prismas de rotación con la que explora el blanco. La ventaja de esta configuración es por usar un sólo detector o una matriz lineal de detectores figura 15. Por otro lado, afecta negativamente a la calidad de imagen.

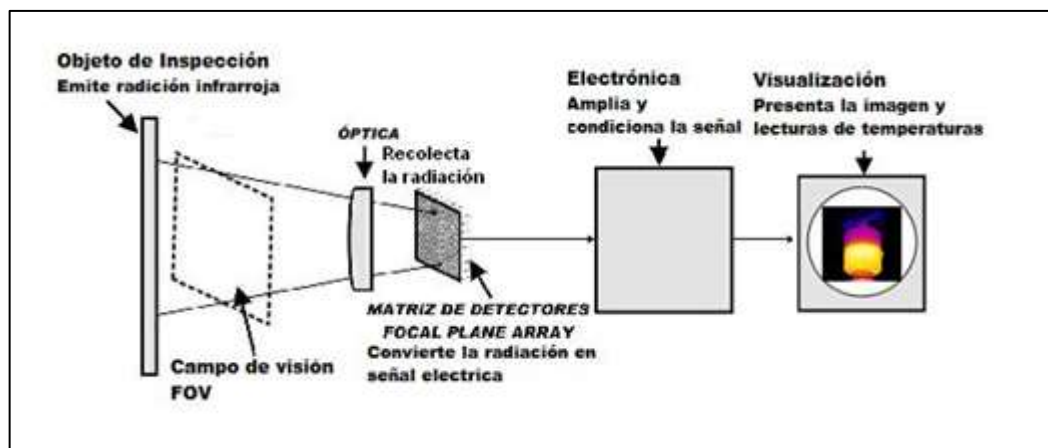
Figura 15. Cámara termográfica con un sistema de detección por escáner



Fuente: <http://www.fluke.com/fluke/eces/support/manuals/default.htm>

El sistema conocido como Matriz de Plano Focal (Focal Plane Array - FPA) se utiliza una matriz bidimensional de detectores sensibles al infrarrojo situado en la lente. El uso de este sistema aumenta la calidad de la imagen y de la resolución espacial del objeto bajo inspección. La figura 16 muestra el esquema simplificado de una cámara térmica con un sistema de detección (FPA).

Figura 16. Cámara termográfica con un sistema de detección (FPA)



Fuente: <http://www.fluke.com/fluke/eces/support/manuals/default.htm>

De los componentes que conforman la cámara termográfica, el detector infrarrojo es el factor limitante más importante para el desempeño de la cámara termográfica.

Los detectores se pueden dividir en dos categorías:

Detectores de calor

Responden a un cambio de temperatura con una variación de algunas propiedades físicas. Tiene una baja sensibilidad y tiempo de respuesta (en el orden de milisegundos). Los detectores térmicos más comunes son bolómetros y las termopilas. (Itajubá, 2014, pág. 56)

Detectores de fotones o fotodetectores

Responden directamente a la incidencia de la radiación. Normalmente funcionan a temperaturas por debajo de cero para mejorar su rendimiento. Para ello, requieren de refrigeración criogénica o procesos de enfriamiento eléctrico. Tienen una respuesta espectral limitada, alta sensibilidad y un rápido tiempo de respuesta (en el orden de microsegundos). El detector de mercurio-cadmio-telurio (HgCdTe) es un ejemplo de una célula fotoeléctrica.

Rangos de temperatura

Es el rango de medición de la temperatura de la cámara termográfica. En el caso de las subestaciones eléctricas, la temperatura más baja en el equipo y las conexiones deben estar cerca de la temperatura ambiente y se puede llegar más alto, en casos extremos, temperatura de fusión de los metales utilizados (por ejemplo, aluminio = 657.7 °C). Sin embargo, el rango de -20 °C a 500 °C, por lo general es suficiente para inspecciones en las subestaciones eléctricas. (Itajubá, 2014, pág. 56)

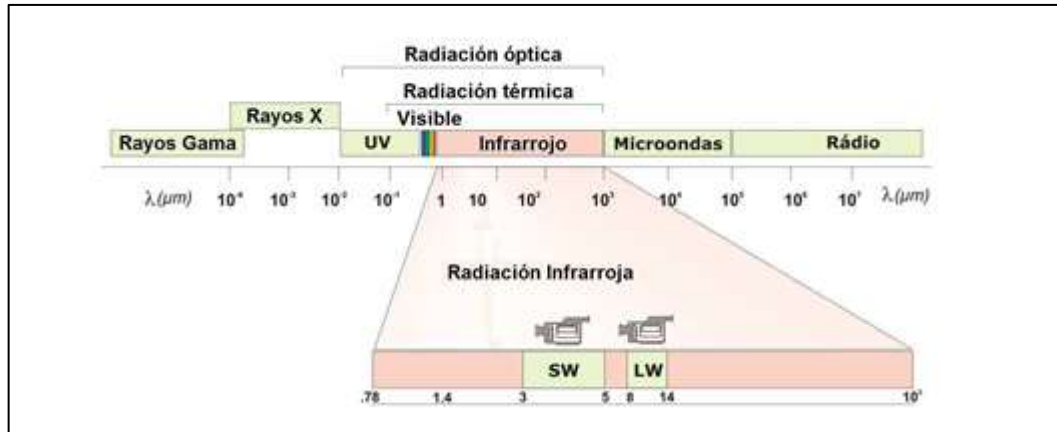
Rango espectral

La longitud de onda es uno de los campos que se utiliza para la fabricación de las cámaras termográficas que son aplicables en sistemas eléctricos, que va desde 3 a 5 μm y de 8 a 14 μm como se muestra en la figura 17. (Itajubá, 2014, pág. 59)

Resolución espacial

Define el más mínimo detalle de la imagen que se percibe además indica el tamaño del detector y del sistema óptico. La mayoría de las veces se especifica en radianes y se define como Campo de Visión Instantáneo (Instantaneous Field of View-IFOV).

Figura 17. Espectro electromagnético y las bandas espectrales utilizadas en la fabricación de cámaras termográficas



Fuente: <http://www.fluke.com/fluke/eces/support/manuals/default.htm>

Calibración de una cámara termográfica

Cuando se adquiere una cámara termográfica, ésta se entrega perfectamente calibrada y preparada para la inspección. De no ser así, se deberá devolver al fabricante para su reparación, siempre en garantía. Es recomendable calibrar la cámara una vez al año si su uso es muy habitual. Este proceso se realiza en laboratorios acreditados, en condiciones controladas de temperatura y humedad y con lo que se llaman, simuladores de cuerpo negro.

Cada cámara tiene en su electrónica una curva en la que se relaciona la radiación recibida con una temperatura dada. Si esta curva se desajusta, es necesario reparar el equipo.

Factores técnicos necesarios para operar la cámara FLUKE

Al momento de realizar inspecciones termográficas se deben considerar las características técnicas para realizar un buen análisis y obtener datos reales.

Enfoque

Los problemas más comunes con la mayoría de imágenes son debidas a la captura de una imagen desenfocada. Esto hace que el análisis y la evaluación sea cada vez más difícil porque una imagen termográfica desenfocada puede generar una disminución de la temperatura real sobre todo si se está midiendo puntos muy calientes.

Factores que limitan e inciden en un análisis termográfico

Atenuación atmosférica

La atmósfera no es completamente transparente a la radiación infrarroja, información que puede ser atenuada al pasar a través de ella y la cual también puede emitir radiación. Para ello existen

unos factores de corrección que dependerán de una serie de parámetros, tales como la distancia al objeto, humedad relativa (H₂O), temperatura del aire en grados centígrados, Fahrenheit o kelvin dependiendo del tipo de equipo.

Emisividad

Como no todos los cuerpos cuando aumentan su temperatura pueden radiar energía de la misma forma, esta dependerá del tipo de material. Muchos elementos tienen buena capacidad de reflexión como son las superficies de material brillante, y se pueden reflejar brillos que seguramente se mostrarían como puntos calientes. Un cuerpo con diferentes emisividades puede lucir como si estuviese sobre-calentado en varios puntos, a este efecto debe tenerse cuidado porque mientras la emisividad sea menor la reflectividad aumenta, a menudo es muy obvio donde el objeto ha sido pulido o limpiado últimamente, estos brillos también pueden ser producidos por el sol, bombillos u otros elementos calientes que se encuentren en los alrededores, a estos engañosos puntos se les mira desde diferentes ángulos y alturas con el equipo para certificar si son producidos por algún reflejo.

Velocidad del viento

El efecto refrigerante producido por la velocidad del viento, es uno de los factores a tener en cuenta en un análisis termográfico. Un sobrecalentamiento medido con una velocidad del viento de 5 m/s será aproximadamente dos veces tan alta como a 1 m/s. No es recomendable realizar inspecciones termográficas a más de 8 m/s de velocidad del viento.

Figura 18. a) Termografía tomada con un viento de 14 Km/h; b) Termografía tomada sin viento



Fuente: Ivan Bohman C. A.

Campos magnéticos

Las corrientes eléctricas pesadas causan fuertes campos magnéticos, los cuales pueden causar una distorsión considerable en la imagen térmica.

Lluvia

La lluvia tiene un efecto enfriante superficialmente en un equipo. Las mediciones termográficas se pueden realizar con resultados satisfactorios durante una caída de lluvia ligera, las lluvias pesadas disminuyen la calidad de la imagen considerablemente y las mediciones no son posibles.

Fundamentos de mantenimiento predictivo a través de la termografía infrarroja

Mediante el empleo de termografía infrarroja, técnica que permite medir una temperatura de superficie con precisión, se pueden identificar componentes eléctricos y mecánicos más calientes de lo que deberían estar, ó detectar pérdidas excesivas de calor: indicios de aislaciones deficientes o inadecuadas. Asimismo se logra una reducción de los tiempos de parada de un equipo, al minimizar la probabilidad de detenciones imprevistas o no programadas. Es decir basándose en la predicción del estado del equipo, de las instalaciones, etc. realizar el mantenimiento preventivo de manera programada.

Esta técnica de mantenimiento permite un estudio detallado del estado de los diferentes dispositivos o mecanismos que intervienen en un determinado proceso de producción, o en el caso de una subestación eléctrica, los distintos elementos que hacen posible la elevación, reducción o distribución de la energía. Ya que, por medio de las imágenes térmicas se puede apreciar cambios de temperaturas que sería el indicio de una falla o mal funcionamiento.

En los últimos años la termografía infrarroja viene jugando un rol cada vez más importante en el mantenimiento, convirtiéndose en una de las técnicas más populares y con mayores índices de aceptación, ya que, y como se ha mencionado en varias ocasiones, la implementación o ejecución de esta se hace sin la necesidad de desenergizar o detener una máquina, puesto que esta tecnología hace el estudio del estado térmico del dispositivo sin contacto físico alguno y en operación normal.

En cuanto a la reducción de costos, el empleo de esta tecnología consigue ahorro en energía eléctrica, una protección adecuada de equipos valiosos, velocidad de inspección y diagnóstico, y lo más importante: evita las pérdidas de producción ocasionadas por paradas imprevistas, lo

cual se traduce también en un ahorro significativo de dinero para las industrias o empresas que no se limiten solo a implementar mantenimientos de tipo preventivo, o en el peor de los casos, correctivos. (Amador, 2013)

9 HIPÓTESIS

Si se realiza un plan de mantenimiento basado en la cargabilidad y análisis de datos termográficos, se lograra determinar anomalías térmicas que pueden provocar salidas inesperadas del sistema en la CNEL – EP Unidad de Negocio Bolívar.

10 METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Métodos de investigación

Método Inductivo – Deductivo

Permitirá un análisis individual de cada uno de los equipos que conforman el patio primario a nivel de 69kV de las subestaciones, cuyos resultados permitirán aportar conclusiones y recomendaciones del problema investigado.

Método Analítico y Sintético

Se realizará un análisis y síntesis de las mediciones realizadas con la cámara termográfica FLUKE Ti450 en los equipos del patio de maniobras de las subestaciones, los que nos permitieron obtener los valores de temperaturas correspondientes, a través de un reporte realizado en el software SmartView 4.2.

El termograma de los equipos que conforman el patio principal de las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar, nos generó resultados que indican las zonas en donde puede presentarse una posible falla y permitiendo tomar las acciones adecuadas para solucionar el problema.

Tipos de investigación.

Investigación Bibliográfica

El presente diagnóstico se realizó mediante una búsqueda bibliográfica, en libros, revistas científicas, páginas web, resoluciones, etc. Las cuales aportaron conocimiento valioso para presentar posibles soluciones a los problemas encontrados en las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar.

Investigación Descriptiva

Esta técnica detalla las alteraciones que se produce en los equipos del patio de maniobras de las subestaciones y que afectan al correcto desempeño del fluido eléctrico en la provincia, mediante la recolección y evaluación de datos sobre las variables del objeto a diagnosticar para determinar alternativas de solución.

Investigación Exploratoria

Este método nos permitió conocer las partes del patio de maniobras a nivel de 69kV de la Unidad de Negocio Bolívar, verificando de manera exploratoria si estas se encuentran funcionando de manera adecuada.

Tipos de investigación.

Investigación de Campo

Esta investigación nos permitió tener un contacto directo con los equipos de las subestaciones, verificando directamente el comportamiento de los escenarios que afectan al sistema adquiriendo un amplio análisis de su funcionamiento.

Técnicas de Investigación

Observación directa

Está técnica nos permitió tener el contacto directo con los equipos que forman parte del sistema de las subestaciones, identificando los lugares adecuados para la ejecución del diagnóstico.

Medición

Mediante la toma de imágenes termográficas con una cámara FLUKE Ti450, logramos identificar las anomalías térmicas en los equipos de las subestaciones.

Análisis

Una vez realizada las mediciones, se logró realizar el análisis correspondiente para poder plantear soluciones correctivas a los problemas.

Resultados

Como resultados obtuvimos que mediante un plan de mantenimiento predictivo se pudo identificar las anomalías en las subestaciones Caluma e Echeandía, logrando así disminuir la probabilidad de una posible salida del sistema.

11 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Descripción General del sistema

La Unidad de Negocio Bolívar cuenta en la actualidad con seis subestaciones de distribución a nivel de 69kV, mismas que están ubicadas en puntos estratégicos de la provincia Bolívar con el objetivo de brindar la cobertura necesaria con el suministro eléctrico en su área de concesión, las subestaciones son Caluma, Echeandía, Sicoto, Guanujo, Cochabamba y Guaranda, siendo esta última un punto neurálgico para nuestro sistema de Subtransmisión debido a que en esta subestación se encuentra la posición Riobamba que es la única fuente de alimentación a nivel de 69kV desde la subestación Riobamba de Transelectric.

Actualmente se tiene una capacidad instalada es de 65 MW con una demanda máxima de todo el sistema que oscila entre los 18 y 18,5MW, la Unidad de Negocio brinda servicio con 24 alimentadores a nivel de 13,8kV, el 80% de los clientes son de tipo residencial.

Diagrama eléctrico unifilar de las subestaciones

En esta etapa para realizar nuestra investigación de una manera adecuada, se procedió a realizar la actualización de los diagramas unificables de cada subestación de la Unidad de Negocio Bolívar.

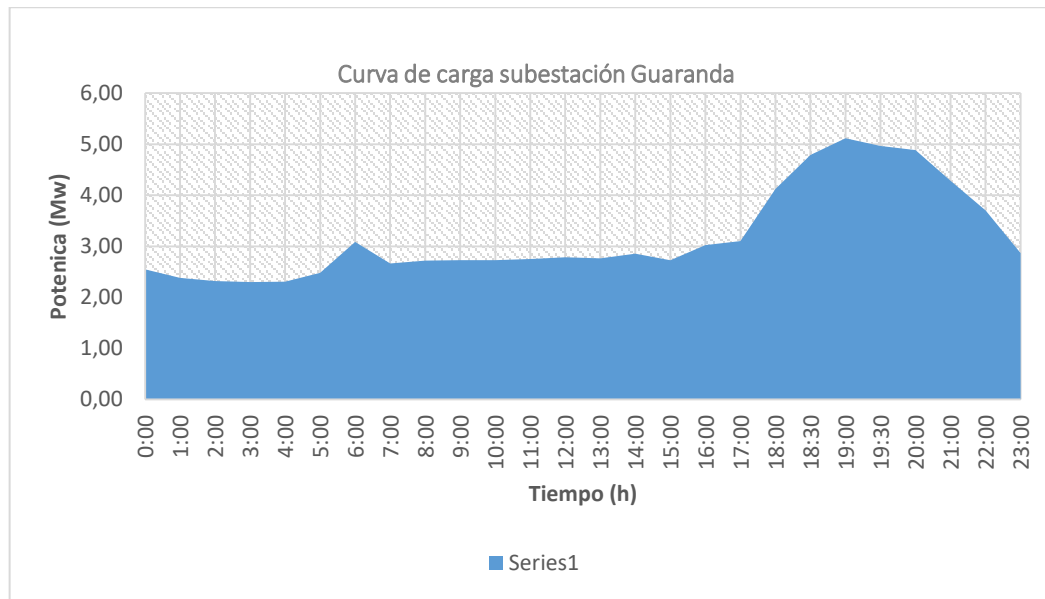
En los anexos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se muestra los diagramas unificables correspondientes a las subestaciones en estudio.

Cargabilidad de las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar

En los gráficos que se muestra a continuación representamos la cargabilidad del sistema en cada una de las seis subestaciones eléctricas de la CNEL – EP Unidad de Negocio Bolívar.

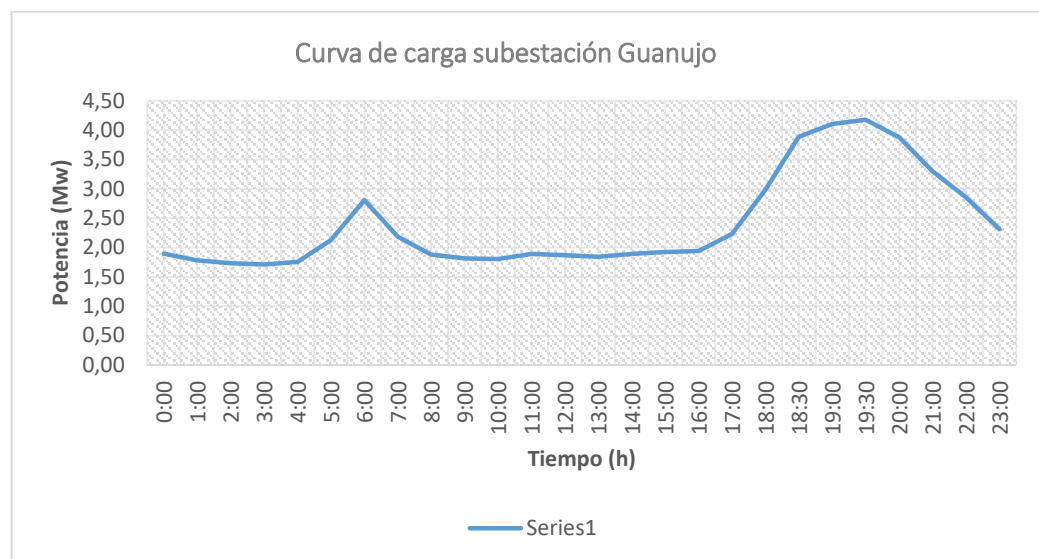
Subestación Guaranda

En el gráfico 1 se muestra la cargabilidad del transformador SHENDA de 10/12.5 MVA que se encuentra ubicado en la bahía de la subestación Guaranda, en la cual observamos una potencia activa máxima de 5,12 MW a las 19h00 horas, siendo esta su demanda pico. La tabla de las demandas diarias de la subestación Guaranda se adjunta en el Anexo 7.

Gráfico 1. Curva de carga diaria de la subestación Guaranda

Realizado por: Autores

Subestación Guanujo

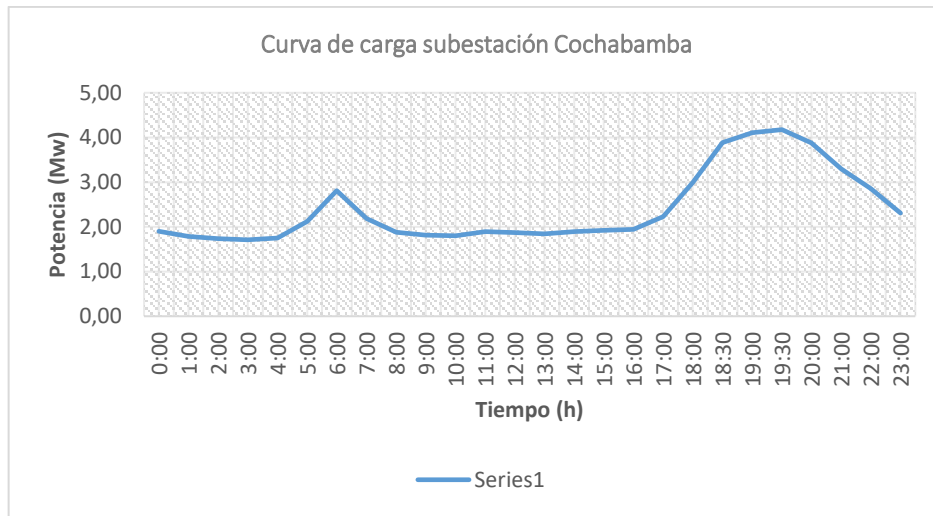
Gráfico 2. Curva de carga diaria de la subestación Guanujo

Realizado por: Autores

En el gráfico 2 se muestra la cargabilidad del transformador SIEMENS de 10/12.5 MVA que se encuentra ubicado en la bahía de la subestación Guanujo, en la cual observamos una potencia activa máxima de 4,18 MW a las 19h30 horas, siendo esta su demanda pico. La tabla de las demandas diarias de la subestación Guanujo se adjunta en el Anexo 8.

Subestación Cochabamba

Gráfico 3. Curva de carga diaria de la subestación Cochabamba

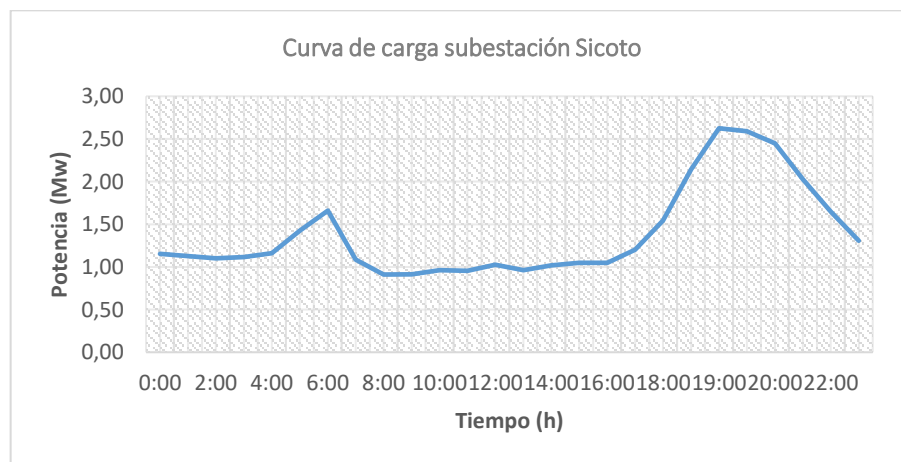


Realizado por: Autores

En el gráfico 3 se muestra la cargabilidad del transformador SHENDA de 10/12.5 MVA que se encuentra ubicado en la bahía de la subestación Cochabamba, en la cual observamos una potencia activa máxima de 2.24 MW a las 19h00 horas, siendo esta su demanda pico. La tabla de las demandas diarias de la subestación Cochabamba se adjunta en el Anexo 9.

Subestación Sicoto

Gráfico 4. Curva de carga diaria de la subestación Sicoto

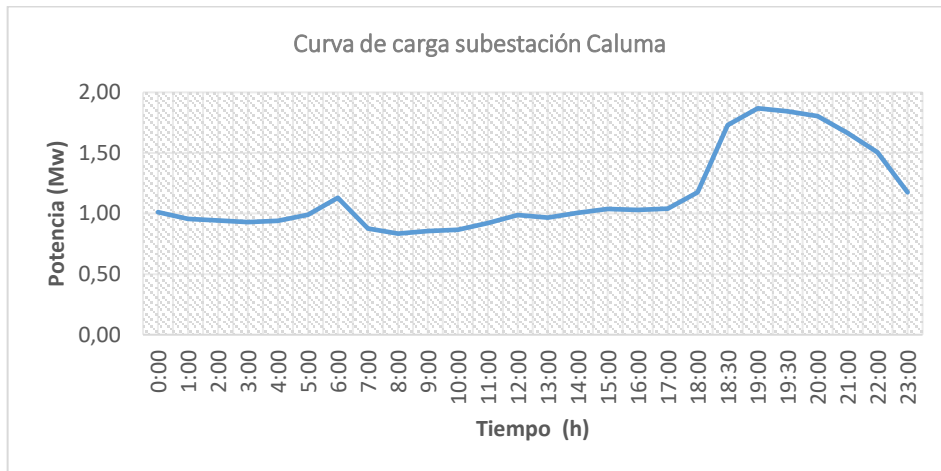


Realizado por: Autores

En el gráfico 4 se muestra la cargabilidad del transformador SHENDA de 10/12.5 MVA que se encuentra ubicado en la bahía de la subestación Sicoto, en la cual observamos una potencia activa máxima de 2.62 MW a las 19h00 horas, siendo esta su demanda pico. La tabla de las demandas diarias de la subestación Sicoto se adjunta en el Anexo 10.

Subestación Caluma

Gráfico 5. Curva de carga diaria de la subestación Caluma

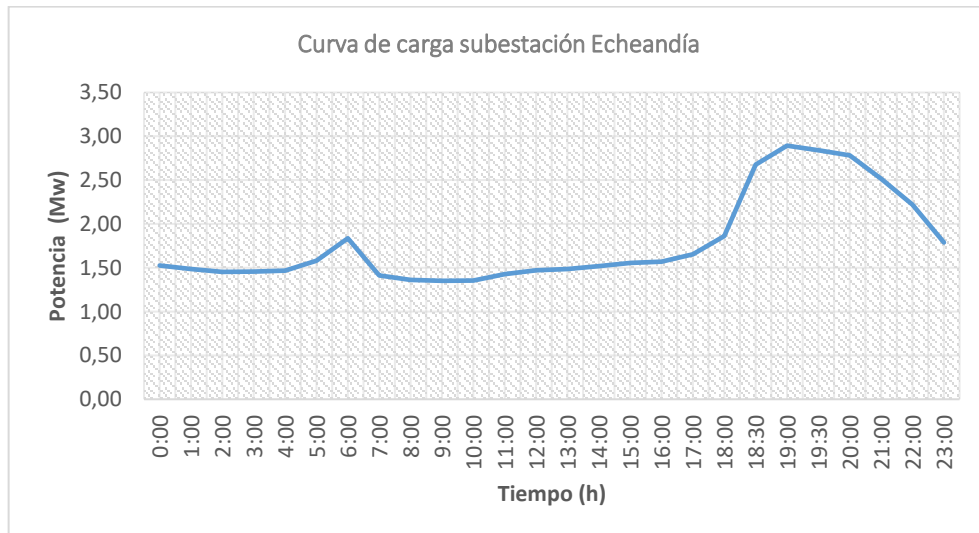


Realizado por: Autores

En el gráfico 5 se muestra la cargabilidad del transformador PAUWELS de 5/6.25 MVA que se encuentra ubicado en la bahía de la subestación Caluma, en la cual observamos una potencia activa máxima de 1.87 MW a las 19h00 horas, siendo esta su demanda pico. La tabla de las demandas diarias de la subestación Caluma se adjunta en el Anexo 11.

Subestación Echeandía

Gráfico 6. Curva de carga diaria de la subestación Echeandía



Realizado por: Autores

En el gráfico 6 se muestra la cargabilidad del transformador SHENDA de 10/12.5 MVA que se encuentra ubicado en la bahía de la subestación Echeandía, en la cual observamos una potencia activa máxima de 2.89 MW a las 19h00 horas, siendo esta su demanda pico. La tabla de las demandas diarias de la subestación Echeandía se adjunta en el Anexo12.

Clasificación de las demandas

En el anexo 13 se presenta los valores de las demandas mínimas, medias y máximas de cada subestación delimitado por alimentadores, con las cuales se determina el momento ideal para realizar la termografía.

Cargabilidad de los transformadores de las subestaciones

La cargabilidad de los transformadores es muy importante al momento de realizar un mantenimiento predictivo, ya que con estos valores podremos establecer el momento ideal para realizar la toma de imágenes termográficas, la hora ideal en nuestro caso está entre las 19:00 hasta las 19 h30 . A continuación se muestra la tabla con la cargabilidad de los transformadores en la Unidad de Negocio Bolívar.

Tabla 2. Cargabilidad de los transformadores en la Unidad de Negocio Bolívar

No.	SUBESTACION	[MVA] OA	[MVA] FOA	DEMANDA MAX REGISTRADA MES (MW)	FACTOR DE POTENCIA	CARGABILIDAD OA %	CARGABILIDAD FOA %	Fecha y hora de la Dmax del Sistema
								27/09/2017 19:30:00
								DEMANDA COINCIDENTE DEL SISTEMA (MW)
1	GUARANDA	10,00	12,50	5,12	0,99	51,51%	41,21%	5,03
2	GUANUJO	10,00	12,50	4,18	1,00	41,84%	19,10%	4,18
3	COCHABAMBA	10,00	12,50	2,24	0,99	22,67%	34,86%	2,06
4	SICOTO	10,00	12,50	2,62	0,99	26,46%	29,93%	2,56
5	ECHEANDÍA	10,00	12,50	2,89	0,96	30,14%	25,46%	2,87
6	CALUMA	5,00	6,25	1,87	0,97	38,44%	40,50%	1,84
	TOTAL GENERAL	65,00	81,25	21,10		0,00	0,00	

Fuente: CNEL – EP Unidad de Negocio Bolívar

Descripción de los equipos analizarse.

Dentro de la construcción de una subestación por lo general tenemos una secuencia de equipos, que nos permite recibir, proteger, medir y transformar la energía para que esta sea comercializada a los usuarios, a continuación mostramos los principales equipos que se sometieron al análisis termográfico.

En la figura 19 podemos observar los seccionadores de línea de las subestaciones Cochabamba y Sicoto.

Figura 19. Seccionador de línea (89L)



Realizado por: Autores

En la figura 20 se muestra los seccionadores de barra de la subestación Guaranda.

Figura 20. Seccionador de barra (89B)



Realizado por: Autores

En la figura 21 se muestra los disyuntores de las subestaciones Cochabamba y Guanujo.

Figura 21. Disyuntor (52)



Realizado por: Autores

Como logramos observar en la figura 22, se muestra los seccionadores del transformador de las subestaciones Sicoto y Cochabamba respectivamente.

Figura 22. Seccionador del Transformador (89A)



Realizado por: Autores

Dentro de nuestro proyecto también se procedió analizar los seccionadores By pass, en la figura 23 mostramos como ejemplo el By pass de la subestación Sicoto.

Figura 23. By pass (89Y)



Realizado por: Autores

Otros de los equipos importantes que se sometieron a las pruebas termográficas fueron los transformadores de corriente, en la figura 24 se muestra los TC's de las subestaciones Echeandía y Guanujo.

Figura 24. Transformadores de corriente



Realizado por: Autores

En la figura 25 se muestra os transformadores de potencial (TP's) de las subestaciones Guanujo y Echeandía.

Figura 25. Transformadores de potencial



Realizado por: Autores

Parte fundamental de una subestación son los transformadores de potencia, quienes son los encargados de reducir los niveles de voltaje para su distribución, en la figura 26 se muestra los transformadores de las subestaciones Cochabamba y Guanajujo.

Figura 26. Transformador



Realizado por: Autores

Descripción del equipo termográfico FLUKE Ti450 utilizado para las inspecciones

Para el desarrollo del proyecto de investigación se utilizó una cámara termográfica FLUKE Ti450, la cual para su correcta utilización se requiere de capacitación previa, que fue obtenida mediante la práctica con el equipo y la instrucción de un termógrafo nivel 1 de la Unidad de Negocio Bolívar.

Partes de la cámara termográfica FLUKE Ti450

En el anexo 14 se muestra las partes que constituye la cámara termográfica a utilizarse.

A continuación se detalla los requerimientos para su calibración.

Encendido del equipo

Primero se verifica que la cámara termográfica se encuentre en buen estado y con todos sus componentes bien instalados, los cuales son: batería, lente óptico y tarjeta de memoria. Una vez verificado que todo esté en correcto orden se procede con el encendido del equipo.

Control de la imagen

En este paso es muy importante calibrar los tres parámetros fundamentales como son la: emisividad 0.95; rango de temperatura a medir que no exceda el valor mín. -20°C y máx. 600°C el delta de temperatura no debe sobrepasar con 5°C la temperatura del objeto a medir con la finalidad de no saturar el detector infrarrojo; y por último la humedad a la que se trabaja.

Capturado de la imagen

Al momento de capturar una imagen se tiene que tener muy en cuenta tres puntos muy fundamentales.

- 1) Calibrar la cámara con los valores adecuados que rodean el medio de trabajo.
- 2) Utilizar un trípode de preferencia para estabilizar la imagen.
- 3) La posición de la persona que va a tomar la fotografía, no debe estar a contra luz.

Después de haber realizado los pasos anteriores, mantenemos firmemente cámara sin que exista el más mínimo movimiento, presionamos el botón de enfoque automático, verificamos que la imagen sea la adecuada y procedemos a presionar el botón de captura de imagen.

La imagen es guardada en la micro SD del equipo, para posteriormente transferirla al ordenador mediante un cable usb – micro usb al software SmartView y generar el reporte correspondiente.

Software que se presenta a continuación.

Software de medición termográfica SmartView 4.2

Después de la recolección de datos con la cámara termográfica, se procede a realizar los reportes y análisis respectivo de las anomalías térmicas encontradas, que son visualizadas gracias a esta herramienta informática.

Manual del Software de medición termográfica SmartView 4.2 realizado por los estudiantes

Para realizar el análisis respectivo de anomalías térmicas se realizó un pequeño manual de la utilización del software que se muestra en el Anexo 15.

Metodología del mantenimiento predictivo

Un estricto y constante seguimiento de los parámetros de condición de las máquinas (vibraciones, temperatura,...) proporciona como se ha visto, un aviso previo a un fallo que, de no detectarse, puede obligar a su paro repentino, junto a todas las consecuencias que esto puede llevar desde el punto de vista de producción. A la vez, este tipo de mantenimiento puede disminuir costes en los cambios de elementos programados y que todavía pueden continuar trabajando por más tiempo. (Amador, 2013)

Para nuestra investigación se tomó como base la siguiente metodología:

Reconocimiento de la planta.

En primer lugar, antes de la implantación del mantenimiento predictivo es preciso decidir la necesidad y eficacia en una empresa. Esta decisión estará en función del tipo de máquinas, de la cantidad y de su importancia en el proceso.

Selección de las máquinas.

Dentro de una planta (generadora, subestación) se hará un estudio de los parámetros a controlar de acuerdo a un calendario establecido de aquellos equipos que forman parte del proceso de producción de una forma esencial, es decir, de aquellos cuyo fallo provocaría pérdidas importantes desde el punto de vista de producción, por pérdidas económicas, dificultad y cantidad de tiempo en volver a arrancar. De igual modo, se seguirá de forma constante la parte de la maquinaria que por su tamaño o valor económico, productivo sean importantes para la empresa.

Elección de técnicas óptimas para verificar.

Forma de efectuar la verificación, decidir qué, cómo, cuándo, dónde se han de realizar las mediciones.

Implantación del predictivo.

El programa de implantación del predictivo debe contener:

Máquinas a estudiar y sistemas de medición, toma de datos y análisis.

Fijación y revisión de datos y límites de condición aceptable.

Para fijar un límite según valores que pueden llamarse normales es esencial contar con un histórico de datos obtenido en repetidas mediciones. Un valor medio de los datos obtenidos dará el nivel aceptable de cada uno de los puntos medidos. Los límites que marcan que un valor sea aceptable serán fijados según este histórico de datos y de la experiencia. Así por ejemplo en el cese de las mediciones de vibraciones, al principio, cuando no se tiene un conjunto de valores que permitan estimar si una vibración está dentro de los límites que marcan su normalidad, la aceptación de un valor se hará mediante las instrucciones del fabricante y con las gráficas de severidad.

Mediciones de referencia.

Siempre se tendrá una medida de referencia con la que se compararán cada una de los datos que se tomen para ver si está entre los límites de aceptabilidad.

Recopilación, registro y análisis de las tendencias.

Aquí se tratará de detectar un posible defecto en la máquina.

Análisis de la condición de la máquina.

En este paso se confirmará si existe realmente un fallo y se determinarán sus causas y la evolución que pueden sufrir.

Corrección de fallos.

Clasificación de temperaturas

Tabla 3. Clasificación de las fallas según las diferencias de temperatura

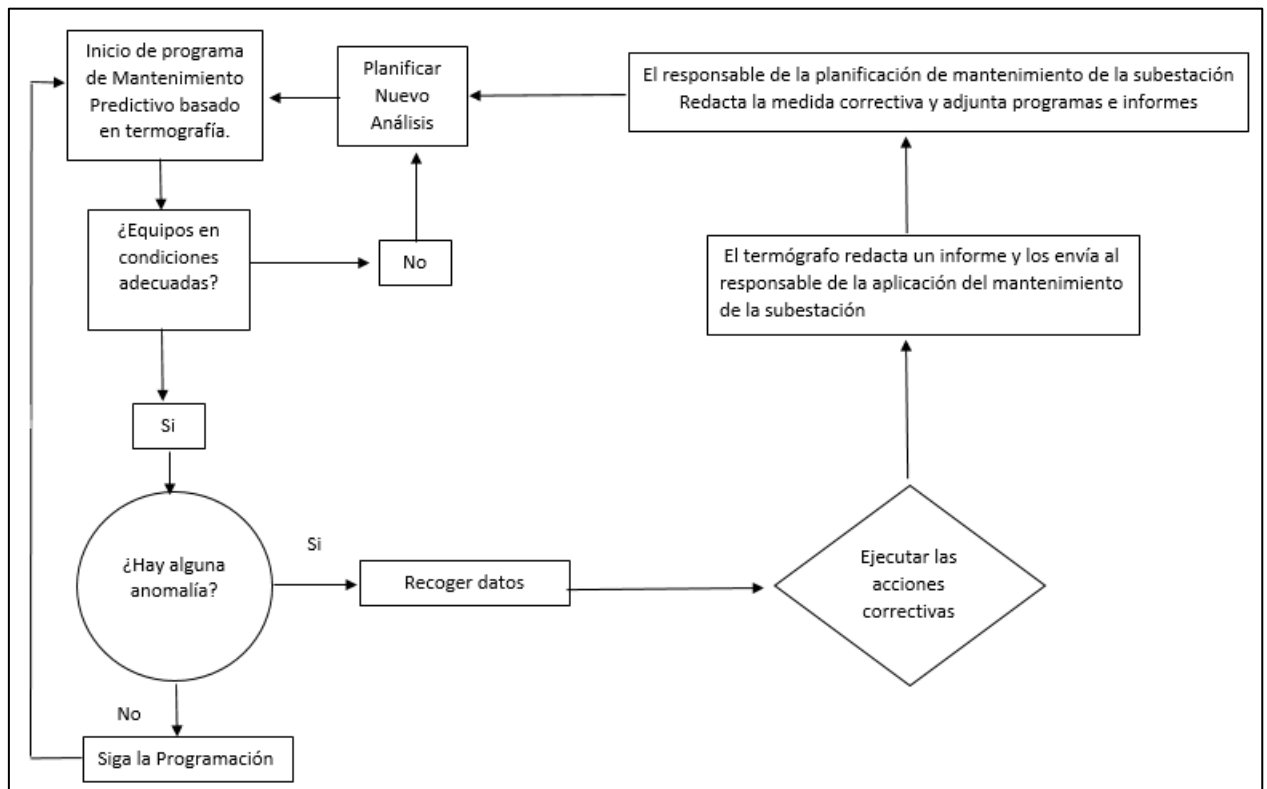
Nivel	Diferencias de Temperatura	Clasificación	Acción
1	1°C - 10°C O/A, ó 1°C a 3°C O/S	Posible	Se requiere más información
2	11°C–20°C O/A, ó 4°C a 15°C O/S	Probable	Reparar en la próxima parada
3	21°C–40°C O/A, ó > 15°C O/S	Deficiencia	Repara tan pronto como sea posible
4	>40°C O/A, ó >15°C O/S	Deficiencia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

Fuente: ANSI/NETA ATS-2009; TABLA 100.18. Thermographic Survey Suggested Actions Based Temperature Rise.

La clasificación de los puntos de conexión con calentamiento anormal observados en la inspección, se determina de acuerdo a la norma ANSI/NETA ATS – 2009, que con base en el valor de temperatura evaluado en condiciones de mayor transferencia, al tipo de conexión y la ubicación del punto afectado.

Diagrama de flujo del plan de mantenimiento basado en termografía

Figura 27. Diagrama de flujo del plan de mantenimiento basado en termografía



Realizado por: Autores

Según la norma ANSI/NETA ATS – 2009 con respecto a termografía nos dice que: la frecuencia de las inspecciones se basa en diversos factores, como son la seguridad y la importancia crítica del equipo así como también el costo y la frecuencia con que los problemas impactan en la producción o el mantenimiento. Este último punto es suficientemente importante como para dedicar tiempo a investigar fallos anteriores, establecer discusiones con colaboradores y revisar los registros de fábrica anteriores.

La corporación FLUKE en su manual nos presenta un programa de mantenimiento basado en termografía, que tomaremos como base para nuestro proyecto de investigación y el desarrollo del plan de mantenimiento a diseñarse.

Tabla 4. Frecuencia de las inspecciones termográficas

Mantenimiento en:	Frecuencia de las inspecciones
Subestaciones de alta tensión	De 1 a 3 años
Transformadores	Anualmente
Motores de 400V de centros de control, refrigerados.	De 6 a 12 meses
Sin refrigeración o con cierta antigüedad	De 4 a 6 meses
Equipos de distribución eléctrica	De 4 a 6 meses
Motores grandes*	Anualmente
Motores más pequeños	De 4 a 6 meses
*Se supone que también se están realizando análisis de vibraciones, MCA y análisis de aceites.	

Fuente: Programa de mantenimiento con termografía por infrarrojos de Fluke corporation.

Resultados de las mediciones termográficas

La termografía realizada en las seis subestaciones de la CNEL – EP Unidad de Negocio Bolívar, se la realizó cerca de la demanda máxima, ya que por motivo de horarios de trabajo no nos permitieron ingresar sin supervisión.

A continuación mostraremos las tablas de resultados de la termografía realizada a cada subestación.

Subestación Guaranda

Tabla 5. Resultados del barrido termográfico

SUBESTACIÓN GUARANDA (69kV)						
POSICIONES	CODIFICACIONES	TEMPERATURA (°C)			ACCIÓN	SEVERIDAD
		A	B	c		
RIOBAMBA						
Seccionador de Línea	89L0L	6,8	6,6	6,7	Se requiere mas información	1
Interruptor	52L0	6,2	6,4	6,7	Se requiere mas información	1
Seccionador de Barra	89L0B	4,5	4,7	4,9	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89L0Y	1,7	1,9	2,1	Se requiere mas información	1
Transformador de Corriente	-	8,5	8,6	8,9	Se requiere mas información	1
COCHABAMBA						
Seccionador de Línea	52L1	6,9	7,0	7,1	Se requiere mas información	1
Interruptor	89L1B	6,5	6,2	6,5	Se requiere mas información	1
Seccionador de Barra	89L1Y	4,8	4,9	4,8	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89L1Y	2,0	2,3	1,9	Se requiere mas información	1
TRANSFORMADOR DE POTENCIA						
Seccionador de Barra	89A2B	4,8	5,0	4,9	Se requiere mas información	1
Interruptor	52A2	6,5	6,3	6,3	Se requiere mas información	1
Seccionador de Transformador	89A2T	4,9	4,6	4,5	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89A2Y	2,2	2,1	2,0	Se requiere mas información	1
Transformador de Potencial	-	6,4	6	6,2	Se requiere mas información	1
Transformador de Potencia	-	2,2	2,5	2,4	Se requiere mas información	1

Realizado por: Autores

En la subestación Guaranda se realizó el barrido termográfico en horas de demanda máxima, de 19h00 a 19h30 ya que se encuentra ubicada dentro de la provincia y nos otorgaron lo permisos correspondientes para el ingreso.

Subestación Guanujo

De igual manera como se muestra en la tabla 6, para la subestación Guanujo que se encuentra en una zona cercana, el barrido termográfico se lo realizo en horario de demanda máxima de 19h00 a 19h30.

Tabla 6. Resultados del barrido termográfico

SUBESTACIÓN GUANUJO (69kV)						
POSICIONES	CODIFICACIONES	TEMPERATURA (°C)			ACCIÓN	SEVERIDAD
		A	B	c		
GUARANDA						
Seccionador By Pass	89L0Y	1,4	1,5	1,3	Se requiere mas información	1
Transformador de Potencial	-	6,6	6,8	6,9	Se requiere mas información	1
ECHEANDÍA						
Interruptor	52A1	6,2	6,1	5,9	Se requiere mas información	1
Seccionador de Barra	89A1B	4,8	4,9	4,8	Se requiere mas información	1
Transformador de Corriente	-	6,8	6,7	6,4	Se requiere mas información	1
TRANSFORMADOR DE POTENCIA						
Seccionador de Barra	89L1B	4,8	5,0	4,9	Se requiere mas información	1
Interruptor	52L1	6,5	6,4	6,3	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89L1Y	2,1	2,22	2,0	Se requiere mas información	1
Transformador de Potencia	-	2,1	2,2	2,1	Se requiere mas información	1

Realizado por: Autores

Subestación Cochabamba

Tabla 7. Resultados del barrido termográfico

SUBESTACIÓN COCHABAMBA (69kV)						
POSICIONES	CODIFICACIONES	TEMPERATURA (°C)			ACCIÓN	SEVERIDAD
		A	B	c		
SICOTO						
Seccionador de Línea	89L1L	6,9	6,8	6,7	Se requiere mas información	1
Interruptor	52L1	6,2	6,4	6,7	Se requiere mas información	1
Seccionador de Barra	89L1B	4,5	4,7	4,9	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89L1Y	1,7	1,9	2,1	Se requiere mas información	1
CALUMA						
Seccionador de Línea	89L2L	7,1	7,0	7,1	Se requiere mas información	1
Interruptor	52L2	6,5	6,2	6,5	Se requiere mas información	1
Seccionador de Barra	89L2B	4,8	4,9	4,8	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89L2Y	1,8	1,6	1,5	Se requiere mas información	1
GUARANDA						
Seccionador de Barra	89L0L	4,8	5,0	5,2	Se requiere mas información	1
Interruptor	52L0	6,5	6,4	6,2	Se requiere mas información	1
Seccionador de Transformador	89L0B	4,7	4,4	4,5	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89L0Y	1,4	1,5	1,4	Se requiere mas información	1
TRANSFORMADOR DE POTENCIA						
Seccionador de Barra	89A1B	6,9	7,0	7,1	Se requiere mas información	1
Interruptor	52A1	6,5	6,3	6,4	Se requiere mas información	1
Seccionador de Barra	89A1T	4,8	4,6	4,7	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89A1Y	2,0	2,3	1,9	Se requiere mas información	1
Transformador de Potencia	-	2,3	2,2	2,1	Se requiere mas información	1

Realizado por: Autores

En la tabla 7 se representa a la subestación Cochabamba se encuentra ubicada a 2 horas del Cantón Guaranda, por tal motivo el barrido termográfico se realizó en horario de 16h00 a 17h00.

Subestación Sicoto

Tabla 8. Resultados del barrido termográfico

SUBESTACIÓN SICOTO (69kV)						
POSICIONES	CODIFICACIONES	TEMPERATURA (°C)			ACCIÓN	SEVERIDAD
		A	B	c		
TRANSFORMADOR						
Seccionador de Línea	89A1B	6,4	6,5	6,7	Se requiere mas información	1
Interruptor	52A1	6,1	6,3	6,2	Se requiere mas información	1
Seccionador de Barra	89A1T	4,3	4,4	4,6	Se requiere mas información	1
Transformador de Potencia	-	2,2	2,3	2,1	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89A1Y	1,8	1,9	2,2	Se requiere mas información	1

Realizado por: Autores

En la tabla 8 se representa a la subestación Sicoto se encuentra ubicada a 3 horas del Cantón Guaranda, por tal motivo el barrido termográfico se realizó en horario de 16h00 a 17h00.

Subestación Echeandía

Tabla 9. Resultados del barrido termográfico

SUBESTACIÓN ECHEANDÍA (69kV)									
POSICIONES	CODIFICACIONES	TEMPERATURA (°C)						ACCIÓN	SEVERIDAD
		PRIMERA MEDICION 17:00 p.m. a 17:30 p.m.			SEGUNDA MEDICION 19:00 p.m. a 19:30 p.m.				
		A	B	C	A	B	C		
GUANUJO									
Interruptor	52L0	27,5	27,6	27,2	6,2	6,3	6,5	Se requiere mas información	1
Seccionador de Barra	89LOB	24,6	24,9	24,9	4,8	4,8	5,01	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89LOY	26,1	26,4	26,5	2,2	2,3	1,8	Se requiere mas información	1
CALUMA									
Seccionador de Línea	89L1L	17,8	17,9	45,6	8,8	7,0	34,6	Reparar tan pronto como sea posible	3
Interruptor	52L1	27,6	27,8	27,5	6,5	6,6	6,5	Se requiere mas información	1
Seccionador de Barra	89L1B	22,4	22,0	22,7	4,8	4,9	4,8	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89L1Y	26,5	26,4	26,9	2,0	2,3	2,1	Se requiere mas información	1
TRANSFORMADOR DE POTENCIA									
Seccionador de Barra	89A1B	21,9	21,8	21,7	4,8	5,0	4,9	Se requiere mas información	1
Interruptor	52A1	27,6	26,9	27,5	6,5	6,6	6,5	Se requiere mas información	1
Transformador de Potencia	-	25,2	25,5	25,3	2,3	2,4	2,5	Se requiere mas información	1

Realizado por: Autores

La subestación Echeandía se encuentra ubicada en la provincia de los Ríos, a 4 horas del cantón Guaranda, el barrido termográfico se lo realizó en dos horarios de 17h00 a 17h30 y en demanda máxima de 19h00 a 19h30.

Subestación Caluma

La subestación Caluma se encuentra ubicada en la provincia de los Ríos, a 3 horas del cantón Guaranda, el barrido termográfico se lo realizó en dos horarios de 17h00 a 17h30 y en demanda máxima de 19h00 a 19h30.

Tabla 10. Resultados del barrido termográfico

SUBESTACIÓN CALUMA (69kV)									
POSICIONES	CODIFICACIONES	TEMPERATURA (°C)						ACCIÓN	SEVERIDAD
		PRIMERA MEDICION 17:00 p.m. a 17:30 p.m.			SEGUNDA MEDICION 19:00 p.m. a 19:30 p.m.				
		A	B	C	A	B	C		
BABAHUJO									
Seccionador de Barra	89L1B	25,3	25,6	25,8	4,5	4,7	4,9	Se requiere mas información	1
COCHABAMBA									
Seccionador de Línea	89L0L	45,2	38,5	20,2	30,1	23,4	7,1	Reparar tan pronto como sea posible	3
Seccionador de Barra	89LOB	22,4	22,5	22,8	4,8	4,9	4,8	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89LOY	26,5	26,4	26,7	2,0	2,3	1,9	Se requiere mas información	1
TRANSFORMADOR DE POTENCIA									
Seccionador de Barra	89A1B	22,1	22,5	22,3	4,8	5,0	4,9	Se requiere mas información	1
Interruptor	52A1	28,6	28,8	28,5	6,5	6,6	6,5	Se requiere mas información	1
Seccionador de Transformador	89A1T	22,4	22,0	22,3	4,9	4,6	4,5	Se requiere mas información	1
Seccionador By Pass	89A1Y	26,2	26,4	26,5	2,2	2,1	2,0	Se requiere mas información	1
Transformador de Potencia	-	25,6	25,8	25,9	2,2	2,5	2,4	Se requiere mas información	1

Realizado por: Autores

Anomalías térmicas en las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar

Después del levantamiento y análisis minucioso de la información de cada uno de los equipos que fueron objeto de estudio mediante el análisis termográfico, se procede a la tabulación de las anomalías encontradas mediante una tabla con el resumen de los resultados a fin de cuantificar y calificar las diferentes anomalías detectadas en los reportes.

Tabla 11. Anomalías encontradas en la Unidad de Negocio Bolívar

UBICACIÓN	INSTALACIÓN	EQUIPO CON ANOMALÍA	POSIBLES CAUSAS	T. MÁX	ACCIÓN	GRADO DE SEVERIDAD
<i>Subestación Caluma</i>	Patio de Maniobra a 69kV	Seccionadores de línea	- Conexión floja. - Corrosión. - Suciedad. - Degradación de los materiales aislantes.	45,2°C	Reparar tan pronto como sea posible.	3
<i>Subestación Ehendía</i>	Patio de Maniobra a 69kV	Seccionadores de línea	- Conexión floja. - Corrosión. - Suciedad. - Degradación de los materiales aislantes.	45,6°C	Reparar tan pronto como sea posible	3

Realizado por: Autores

En el anexo 16 se adjunta un modelo de reporte termográfico por equipo realizado por los autores, para que de una manera adecuada y sintetizada observar los datos más relevantes de los reportes generados.

De esta manera se logra la identificación, cuantificación, localización y clasificación de las anomalías para acelerar procesos de solución de las mismas, control estadístico y comparativo, permitiendo así establecer un plan de mantenimiento que permita alcanzar los objetivos de calidad requeridos en la forma más eficiente por parte de la Corporación Nacional de electricidad CNEL – EP Unidad de Negocio Bolívar, fomentando la priorización del mantenimiento preventivo por sobre el mantenimiento correctivo.

La recolección de datos para nuestro proyecto de investigación se realizó en hora de demanda máxima, la cual en la Unidad de Negocio Bolívar oscila entre las 19h00 y 20h00 horas.

Plan de mantenimiento predictivo para equipos de la subestación

En la Unidad de Negocio Bolívar específicamente en sus seis Subestaciones se desarrolló un plan de mantenimiento predictivo, mediante el análisis de reportes termográficos obtenidos a

máxima demanda, con la finalidad de minimizar el riesgo de una falla en los quipos y componentes, garantizando la confiabilidad y un suministro continuo de la energía eléctrica los usuarios.

En los equipos de una subestación y líneas de distribución eléctrica normalmente se producen problemas relacionados con alta resistencia eléctrica, cortocircuitos, circuitos abiertos, calentamiento por inducción, armónicos, desequilibrio de la carga, sobrecarga y mal ajuste en los contactos de los seccionadores, los cuales son generalmente detectados por la termografía.

Existen tres razones principales que hacen de la termografía infrarroja una herramienta de utilidad fundamental:

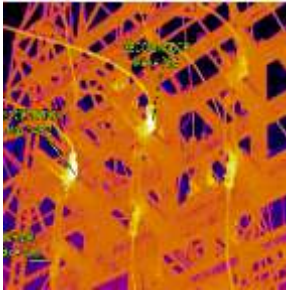

- Es sin contacto
- Es bidimensional
- Se realiza en tiempo real

Reporte 1

Con la cámara termográfica FLUKE Ti450, se realizó un estudio predictivo en los equipos del patio de maniobras a nivel de 69 kV, de las seis subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar, con el objetivo de determinar las anomalías térmicas que pueden existir, provocadas principalmente por conexiones flojas, conexiones afectadas por corrosión, suciedad en conexiones y/o contactos y la degradación de los materiales aislantes.

Como se puede observar en la tabla 12 se muestra los resultados termográficos realizados en la subestación Caluma, se presenta la imagen térmica e imagen visual de los seccionadores de línea, los cuales presentan anomalías térmicas en los puntos de conexión, una vez observado el problema se puede determinar el tipo de anomalía en ese punto, al mismo tiempo se genera un reporte que fue realizado por los autores del trabajo, donde se establece el análisis térmico, condiciones de trabajo y parámetros técnicos, condiciones de trabajo y parámetros de a imagen, que facilita la información necesaria para las posibles causas y recomendaciones según sea el caso analizado, siendo esta información de vital importancia para la subestación ya que nos permite tomar las medidas correctivas adecuadas.

Tabla 12. Reporte termográfico de la subestación Caluma

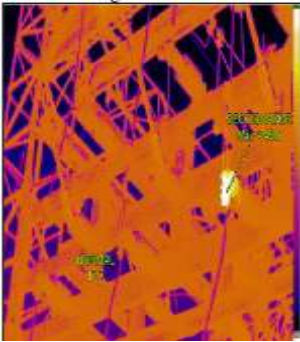

UBICACIÓN		LUGAR	EQUIPO CON ANOMALÍA	DESCRIPCIÓN DE LA ANOMALÍA	SEVERIDAD
PROVINCIA DE LOS RÍOS		SUBESTACIÓN CALUMA	SECCIONADOR DE LÍNEA	DIFERENCIA DE TEMPERATURA	GRADO 3
IMAGEN TÉRMICA			IMAGEN VISUAL		
					
ANÁLISIS TÉRMICO					
PARÁMETROS TÉRMICOS		CONDICIONES DE TRABAJO		PARÁMETROS DE IMAGEN	
T MAX °C	45,2 °C	FASE A	PARTE SUPERIOR	EMISIDAD	0,95
T REFERENCIA °C	20,2 °C	FASE B	PARTE SUPERIOR	HUMEDAD RELATIVA %	65%
T MAX °C	25 °C	FASE C		T AMBIENTE °C	25 °C
OBSERVACIONES		MEDIDA CORRECTIVA REQUERIDA			
POSIBLES CAUSAS		FALSO CONTACTO ENTRE TERMINAL DEL SECCIONADOR Y CONDUCTOR; CONDUCTOR FLOJO O SULFATADO			
RECOMENDACIONES		LIMPIAR SUPERFICIE DE UNIÓN Y REAJUSTAR CONTACTO ENTRE LOS TERMINALES DEL SECCONADOR Y CONDUCTOR			
FECHA DE ACCIÓN CORRECTIVA					
RESPONSABLE DE LA CORRECIÓN					

Realizado por: Autores

Reporte 2

En la tabla numero 13 presentamos los resultados de la termografía realizada en la subestación Echeandía.

Tabla 13. Reporte termográfico de la subestación Echeandía

UBICACIÓN		LUGAR	EQUIPO CON ANOMALÍA	DESCRIPCIÓN DE LA ANAMOLÍA	SEVERIDAD
PROVINCIA DE LOS RÍOS		SUBESTACIÓN ECHEANDÍA	SECCIONADOR DE LÍNEA	DIFERENCIA DE TEMPERATURA	GRADO 3
IMAGEN TÉRMICA			IMAGÉN VISUAL		
					
ANÁLISIS TÉRMICO					
PARÁMETROS TÉRMICOS		CONDICIONES DE TRABAJO		PARÁMETROS DE IMAGEN	
T MAX °C	45,6 °C	FASE A		EMISIDAD	0,95
T REFERENCIA °C	17,7 °C	FASE B		HUMEDAD RELATIVA %	65%
T MAX °C	27,9 °C	FASE C	PARTE INFERIOR	T AMBIENTE °C	25 °C
OBSERVACIONES		MEDIDA CORRECTIVA REQUERIDA			
POSIBLES CAUSAS		FALSO CONTACTO ENTRE TERMINAL DEL SECCIONADOR Y CONDUCTOR; CONDUCTOR FLOJO O SULFATADO			
RECOMENDACIONES		LIMPIAR SUPERFICIE DE UNIÓN Y REAJUSTAR CONTACTO ENTRE LOS TERMINALES DEL SECCONADOR Y CONDUCTOR			
FECHA DE ACCIÓN CORRECTIVA					
RESPONSABLE DE LA CORRECIÓN					

Realizado por: Autores

Plan de mantenimiento correctivo realizado

Anteriormente apreciamos el reporte generado con los resultados del barrido termográfico realizado a las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar, donde localizamos anomalías térmicas en el seccionador de línea (fase C) de la subestación Echeandía y en los seccionadores de línea (fase A y fase B) de la subestación Caluma.

Transelectric realizó mantenimientos programados en la subestación Riobamba que es la única fuente de energía de la provincia de Bolívar, como se muestra en la certificación de trabajos realizados en el anexo 17 aprovechando estos mantenimientos y conjuntamente con las personas encargadas de las subestaciones, se realizaron los trabajos correctivos correspondientes a las anomalías térmicas localizadas gracias al proyecto de investigación realizado, durante los días 17 de Septiembre y 17 de Diciembre de 2017 de 02h00 am a 06h00 am.

Descripción del plan de mantenimiento predictivo mediante termografía

Teniendo en cuenta el análisis de resultados obtenidos dentro del proyecto de investigación, se recomienda a la CENEL – EP Unidad de Negocio Bolívar la implementación de un plan de mantenimiento predictivo, basado en la cargabilidad y resultados termográficos.

Tomando como referencia el programa de mantenimiento de Fluke corporation, las necesidades de la empresa y la vida útil de los equipos, se recomienda realizar la toma de imágenes termográficas de acuerdo a la tabla 14.

Tabla 14. Frecuencia de mantenimientos predictivos, basados en termografía

MANTENIMIENTO EN:	FRECUENCIA DE LA PRUEBA
Pararrayos	Anualmente
Seccionadores de Línea	Cada 4 meses
Disyuntores	Cada 4 meses
Seccionadores de barra	Cada 4 meses
Seccionador By Pass	Anualmente
Seccionadores del transformador	Cada 4 meses
Transformadores de corriente	Cada 4 meses
Transformadores de potencial	Cada 4 meses
Transformador de potencia	Anualmente

Realizado por: Autores

De acuerdo a la tabla 14 establecida, planteamos un procedimiento de mantenimiento predictivo basado en la cargabilidad y resultados termográficos para los equipos del patio de maniobras a nivel de 69 kV, de las subestaciones pertenecientes a la Unidad de Negocio Bolívar.

Procedimiento planteado por los autores

1. Conformar un equipo de dos personas, el termógrafo y el operario de la subestación para que conjuntamente con el centro de operaciones se realice las maniobras correspondientes durante la toma de imágenes.
2. Utilizar el siguiente equipo de protección personal:
 - Casco de seguridad dieléctrico (norma ANSI Z. 89.1)
 - Guantes de seguridad
 - Gafas de protección claras
 - Camisa manga larga y pantalón jean
 - Calzado dieléctrico (norma ANSI – Z 41)
3. No portar elementos metálicos como: relojes, anillos cadenas, celulares entre otros.
4. Tener a mano una linterna para inspecciones nocturnas
5. Mantener una distancia prudencial de seguridad como se detalla a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 15. Distancias de seguridad para realizar termografía

TENSIÓN	DISTANCIA MÍNIMA DE SEGURIDAD
300V – 750V	1 m
750V – 2kV	1,2m
2kV – 15kV	5 m
15kV – 36kV	5,8m

Fuente: ANSI/NETA ATS-2009; TABLA 100.18. Thermographic Survey Suggested Actions Based Temperature Rise.

6. Verificar que los equipos a inspeccionar estén operando por lo menos al 50% de su carga nominal. Se recomienda hacer la toma de imágenes en hora de demanda máxima.

7. Antes de efectuar una medición de temperatura, calibrar la cámara con los siguientes parámetros:

- Emisividad = 0.95

Para llevar a cabo una inspección termográfica se debe de tener una rutina de actividades en donde se especifiquen los equipos a los cuales se les procederá a realizar el análisis termográfico, es así que se estableció la siguiente rutina de inspecciones termográficas:

Para determinar si existe un punto caliente en 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 determinar la variación de temperatura mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\text{promedio}}$$

12 IMPACTOS

Los impactos del presente proyecto de investigación se verán reflejados de la siguiente manera:

Impacto técnico

Con la realización de termografía en horas de máxima demanda se pudo establecer las anomalías térmicas mostradas anteriormente, por lo que gracias este plan logramos corregir el problema antes de que ocurra, cumpliendo así el principal objetivo del mantenimiento predictivo.

Impacto social

Socialmente se logra identificar una posible salida del sistema eléctrico, que afecta directamente a nuestros usuarios.

Impacto ambiental

Los equipos de las subestaciones constantemente producen calor debido al paso de la corriente eléctrica, ambientalmente nuestra investigación nos ayuda a determinar el grado de temperatura a la que estos se encuentran, permitiendo así identificar una posible explosión o avería descontrolada, que pueden provocar daños a nuestro medio ambiente.

Impacto económico

Este impacto se lo refleja en un análisis económico que se presenta a continuación.

13 PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

Análisis costo - beneficio

El mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar.

Gestión

Mano de obra

La mano de obra es el esfuerzo físico y mental que emplea un técnico para fabricar, mantener o reparar un bien, en particular una máquina. El concepto también se utiliza para nombrar al costo de este trabajo, es decir, el precio que se le paga al técnico.

Costos

La gestión de costo se basa en estimar la optimización del uso de la mano de obra, cantidad de materiales, contratos y minimizar tiempos de paro; establecido objetivos desde el punto de vista de un beneficio potencial y el costo de mantenimiento.

Costo de termografía en mantenimiento predictivo

Para el tiempo de inspección de una subestación promedio se tomó 3 horas incluido transporte y realización del respectivo informe termográfico. Los costos por hora del termógrafo, electromecánico 1 y de movilización se obtuvieron del Sistema de Gestión de Mantenimiento.

Tabla 16. Costo por hora de personal y movilización

Personal	Costo [\$/hora]
Termógrafo	4,38

Transporte	Costo [\$/hora]
Camioneta	14,9

Realizado por: Autores

Tabla 17. Costo de un barrido termográfico en 6 subestaciones

Personal	Horas pico 18:00 -21:00	Costo [\$/hora]	Total [\$]
Termógrafo	25	4,38	109,5

Transporte	Tiempo [h]	Costo [\$/hora]	Total [\$]
Camioneta	20	14,9	298

Total	407,5
-------	-------

Realizado por: Autores

Costo de mantenimiento correctivo

Subestación Echeandía

Costo de reajuste de conectores en la subestación, se indica en la tabla 18.

Debe señalarse que este trabajo se lo realizo en un mantenimiento programado.

Tabla 18. Costo reajuste de conectores en la Subestación Echeandía

Personal	Tiempo [h]	Costo [\$/hora]	Total [\$]
Técnico 2 de subestaciones	3,3	8,16	26,928
Liñero	3,3	7,62	25,146
Auxiliar Liñero	3,3	4,5	14,85
Chofer	3,3	4,27	14,091

Transporte	Tiempo [h]	Costo [\$/hora]	Total [\$]
Camioneta doble cabina	3,3	15	49,5
Canasta	3,3	24,58	81,114

Total	211,629
-------	---------

Realizado por: Autores

Tabla 19. Costo de Energía no Suministrada

Potencia Desconectada [kW]	Tiempo de Interrupción [h]	Costo [kWh]
1484,51	1,3	0,08

Energía No Suministrada [kWh]	1929,863
Costo de Energía No Suministrada [\$]	154,39

Realizado por: Autores

Tabla 20. Costo total de Mantenimiento no programado en subestación Echeandía

Costo Total [\$]	
Mantenimiento Programado	366,02

Realizado por: Autores

Subestación caluma

Costo de reajuste de conectores en la subestación, se indica en la tabla 21.

Debe señalarse que este trabajo se lo realizo en un mantenimiento programado.

Tabla 21. Costo reajuste de conectores en la Subestación caluma

Personal	Tiempo [h]	Costo [\$hora]	Total [\$]
Técnico 2 de subestaciones	3	8,16	24,48
Liñero	3	7,62	22,86
Auxiliar Liñero	3	4,5	13,5
Chofer	3	4,27	12,81

Transporte	Tiempo [h]	Costo [\$hora]	Total [\$]
Camioneta doble cabina	3	15	45
Canasta	3	24,58	73,74

Total	192,39
-------	--------

Realizado por: Autores

Tabla 22. Costo de Energía no Suministrada

Potencia Desconectada [kW]	Tiempo de Interrupción [h]	Costo [kWh]
955,99	1,4	0,08

Energía No Suministrada [kWh]	1338,386
Costo de Energía No Suministrada [\$]	107,07

Realizado por: Autores

Tabla 23. Costo total de Mantenimiento no programado en subestación Caluma

Costo Total [\$]	
Mantenimiento Programado	299,46

Realizado por: Autores

Costo-Beneficio

El análisis de costo-beneficio es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión , en la tabla 24 se puede observar las potencias estimadas en caso de que ocurra una desconexión no programada.

Tabla 24. Potencia desconectada las subestaciones con anomalías térmicas.

	Potencia Desconectada [kW]		
	Demanda Mínima	Demanda Media	Demanda Máxima
Subestación Caluma	802	1059,55	1774,77
Subestación Echeandía	1281,68	1812,94	2893,04

Realizado por: Autores

En la tabla 25 se estimó el tiempo que les tomará a los técnicos identificaran el punto de falla.

Tabla 25. Tiempo estimado en detectar la falla

	Tiempo de viaje [h]	Tiempo para encontrar la falla [h]	Tiempo Total [h]
Subestación Caluma	3	1	4
Subestación Echeandía	3	1	4

Realizado por: Autores

Los beneficios económicos para la Unidad de Negocio Bolívar dentro de las actividades realizadas en nuestro proyecto se muestran a continuación en la tabla 26, donde se representa los costos que puede generar una desconexión no programada durante los horarios del día, si no se realiza un mantenimiento predictivo.

Tabla 26. Costos de energía no suministrada por desconexión no programada

	Tiempo de Interrupción [h]	Costo [kWh]	Energía No Suministrada [kWh]			Costo Total de Mantenimiento No Programado [€]		
			Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima
			Subestación Caluma	4	0,08	3208,00	4238,20	7099,08
Subestación Echeandía	4	5126,72	7251,76	11572,16		410,14	580,14	925,77

Realizado por: Autores

Ya que se realizó los trabajos necesarios para corregir las anomalías térmicas encontradas en las subestaciones Echeandía y Caluma, podemos decir que los costos mostrados anteriormente se los ahorró a la empresa.

El beneficio social que tendrá la Unidad se verá reflejada en la continuidad del suministro de energía a los usuarios.

Finalmente en la tabla 27 se muestra el costo total de nuestro proyecto de investigación.

Tabla 27. Costo del Proyecto de investigación

Mantenimiento Programado	Total [€]
Barrido termográfico	407,5
Subestación Caluma	299,46
Subestación Echeandía	366,02

Total	1072,98
-------	---------

Realizado por: Autores

14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se realizó un barrido termográfico en las 6 subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar, donde se encontró anomalías térmicas que se los clasifica de grado 3 posteriormente.
- Se logró el reajuste, en un mantenimiento programado a nivel provincial programado por CELEC en la subestación Riobamba por mantenimiento de transformador en dicha subestación la cual alimenta a toda la provincia de Bolívar.
- La cargabilidad de los transformadores con operación normal con aire natural (ONAN) en las diferentes subestaciones son: Subestación Guaranda 51,51% Subestación Guanujo 41,84%, Subestación Cochabamba 22,67%, Subestación Sicoto 26,46%, Subestación Echeandía 30,14%, Subestación Caluma 38,44%, se encuentran en óptimas condiciones a demanda máxima.
- Las anomalías térmicas presentadas en las Subestaciones Caluma y Echeandía con una temperatura máxima de 45,2 °C y 45,5 °C respectivamente las posibles causas serían conexiones flojas, corrosión, suciedad o degradación de materiales aislantes.
- La toma de las imágenes termográficas se la realizó a demanda máxima en las diferentes subestaciones de CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar a las 19h00, también a las 17h00 por cuestiones de movilidad lo cual afectó la emisividad.

Recomendaciones

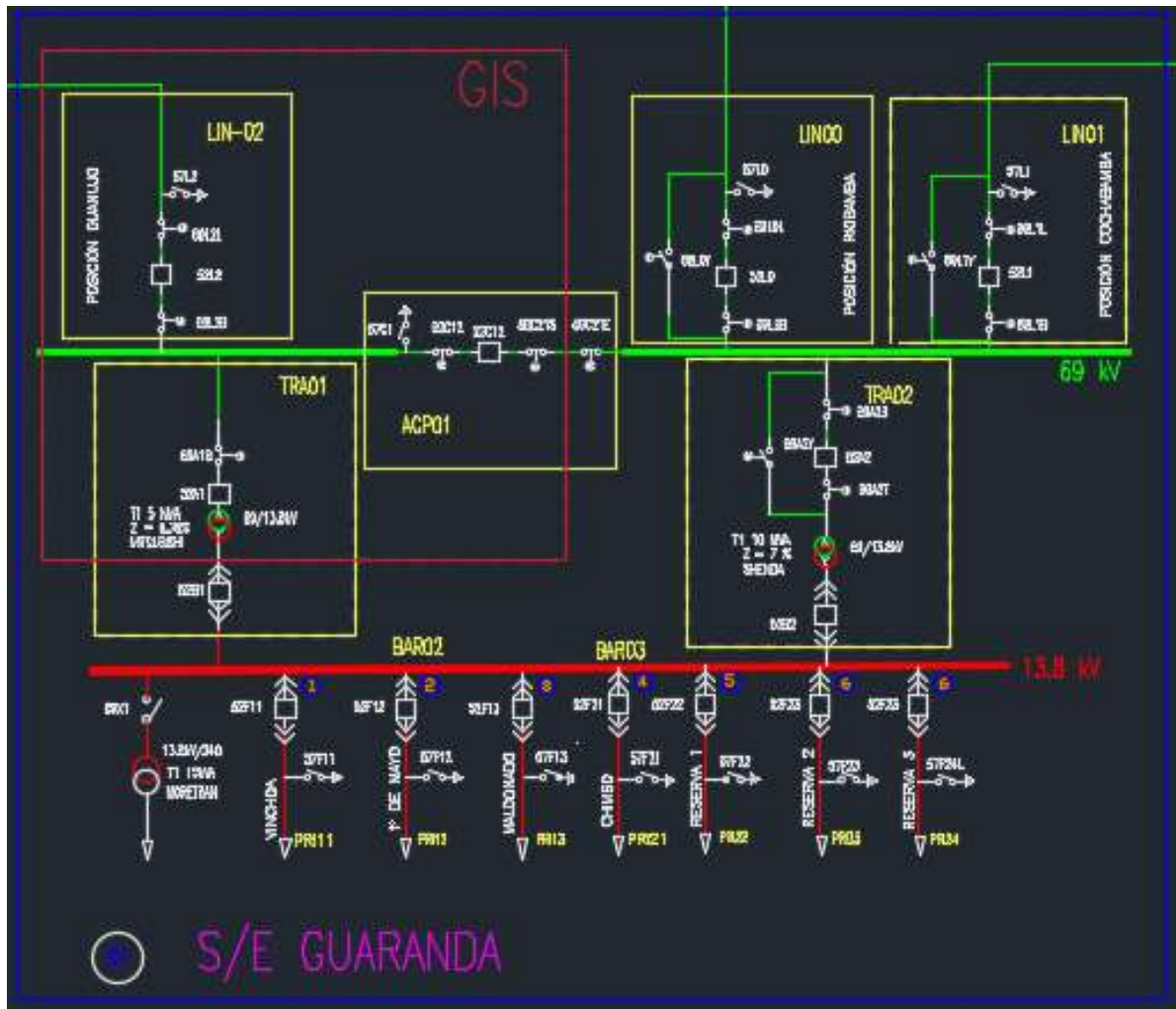
- Tomar en cuenta los factores que se encuentran inmerso al realizar termografía los cuales son: emisividad, distancia, humedad relativa, temperatura ambiente, en lo posible evitar los días de lluvia para una correcta inspección. Se recomienda un buen cierre en los contactos de los seccionadores para minimizar la aparición de puntos calientes.
- Llevar un registro anual de las diferentes inspecciones de termografía para delimitar el tiempo de vida de los equipos.
- Al detectar una posible anomalía térmica esta debe ser revisada por varios días para descartar lecturas erróneas.
- Manejar las distancias adecuadas con el elemento a ser inspeccionado durante el barrido termográfico.

15 REFERENCIAS

- A.Müller, E. (2002). Temperatura. En E. A.Müller, *Termodinámica Básica* (pág. 71). España: Kemiteknik C.A.
- Amador, E. B. (Septiembre de 2013). Obtenido de http://www.aloj.us.es/optico/notas_tecnicas/Introduccion_a_las_Tecnic
- Burndy. (2014). *Connectors for Substation, Distribution and Industrial Applications*. Framatone Connections International.
- Díaz, L. F. (2005). Calor. En L. F. Díaz, *Procesos de transferencia de calor* (pág. 50).
- FLUKE. (2017). Obtenido de FLUKE: <http://www.fluke.com/fluke/eses/soluciones/camaras-termograficas/termografia-en-sistemas-electricos-en-planta>
- Hewitt, P. G. (s.f.). Transmisión de Calor. En P. G. Hewitt, *Física Conceptual Transferencia de Calor* (págs. 305-320).
- INFRATER. (s.f.). *Termografía aplicada al mantenimiento de instalaciones eléctricas y mecánicas*. Barranquilla – Colombia.
- Itajubá. (2014). *TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA em Subestações de Alta Tensão Desabrigadas*. LAERTE DOS SANTOS.
- Radu Pullido, S. (1999). *Mantenimiento Predictivo: Termografía*. Person Education.
- Rocha, G. M. (2014). Obtenido de [10] http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_electronica_y_electronica/mantenimientosubestacionelectrica/default6.asp.
- U., M. R. (7 de MARZO de 2012). *wordpress*. Obtenido de wordpress: <https://metodologiasdelainvestigacion.wordpress.com/2012/03/07/introduccion-general-a-la-metodologia-de-la-investigacion/>
- WordPress. (01 de Septiembre de 2015). *WordPress*. Obtenido de WordPress: <https://subestacion.wordpress.com/mantenimiento/>

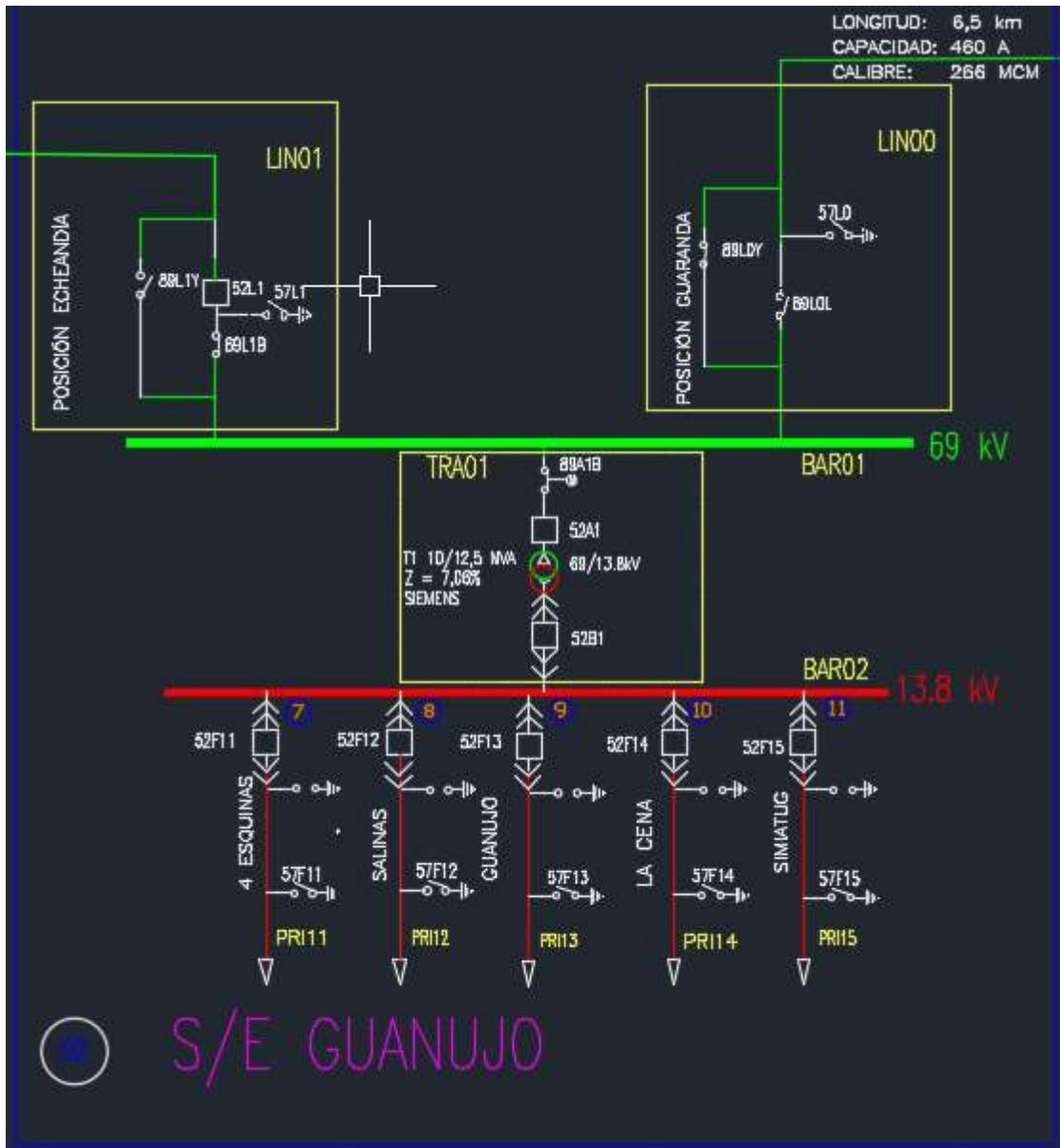
ANEXOS

Anexo 1: Diagrama Unifilar de la Subestación Guaranda



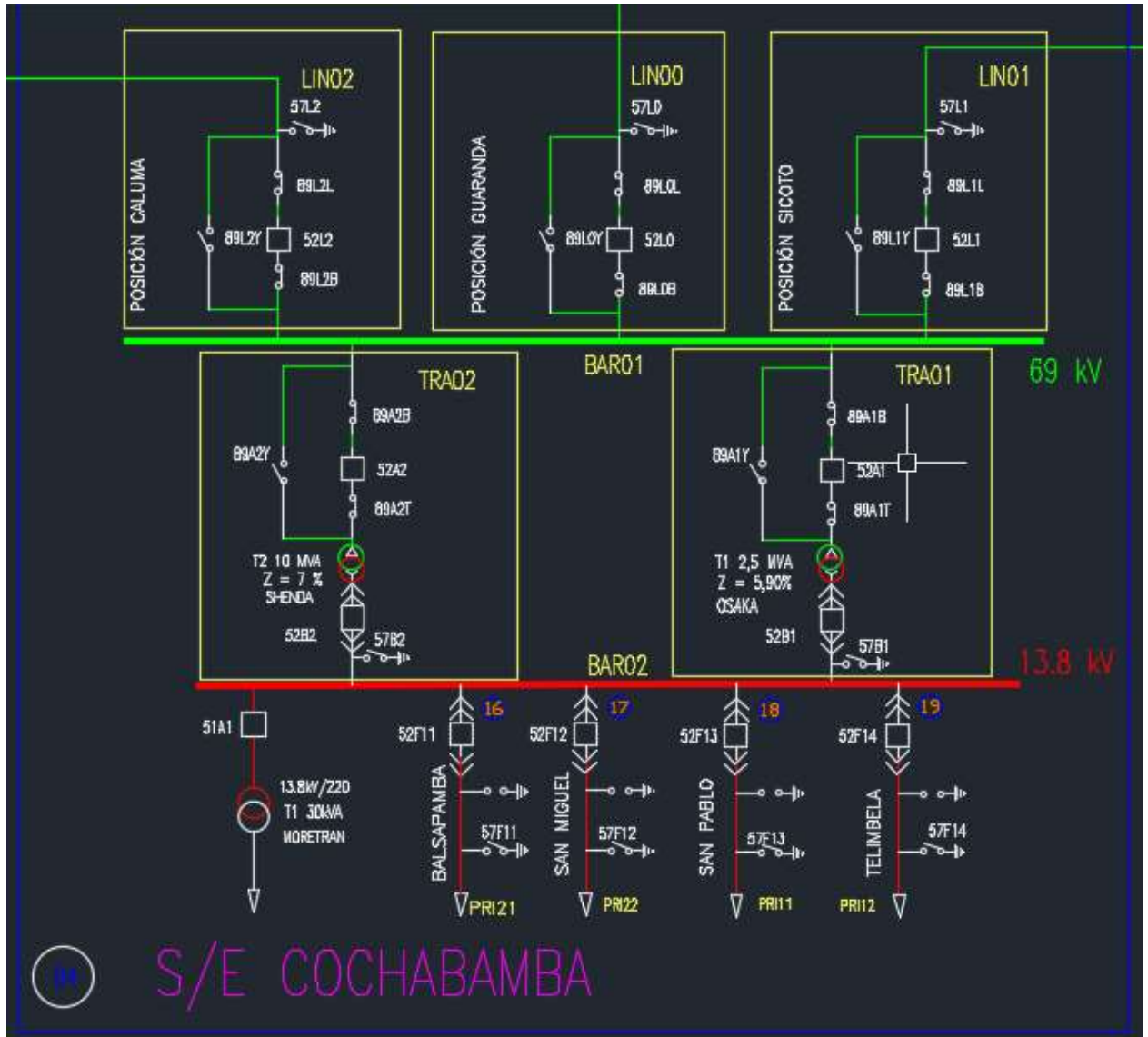
Realizado por: Autores

Anexo 2: Diagrama Unifilar de la Subestación Guanujo



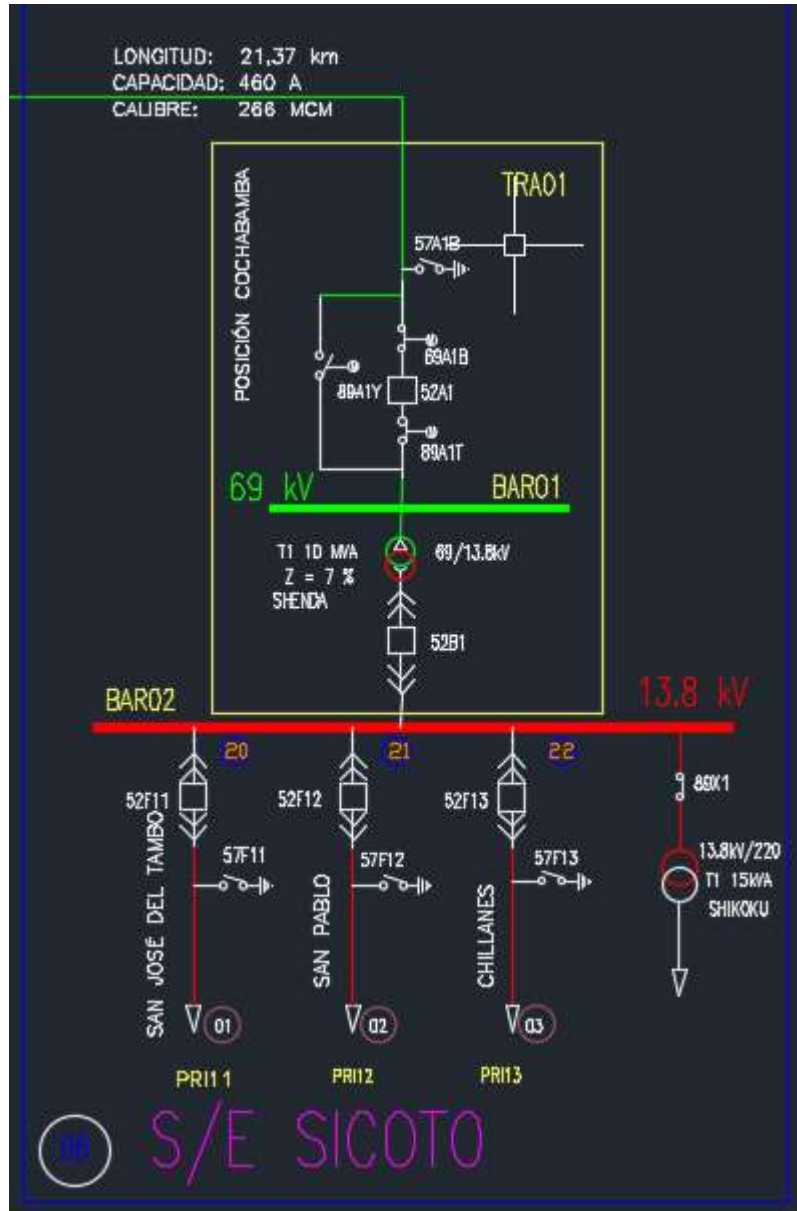
Realizado por: Autores

Anexo 3: Diagrama Unifilar de la Subestación Cochabamba



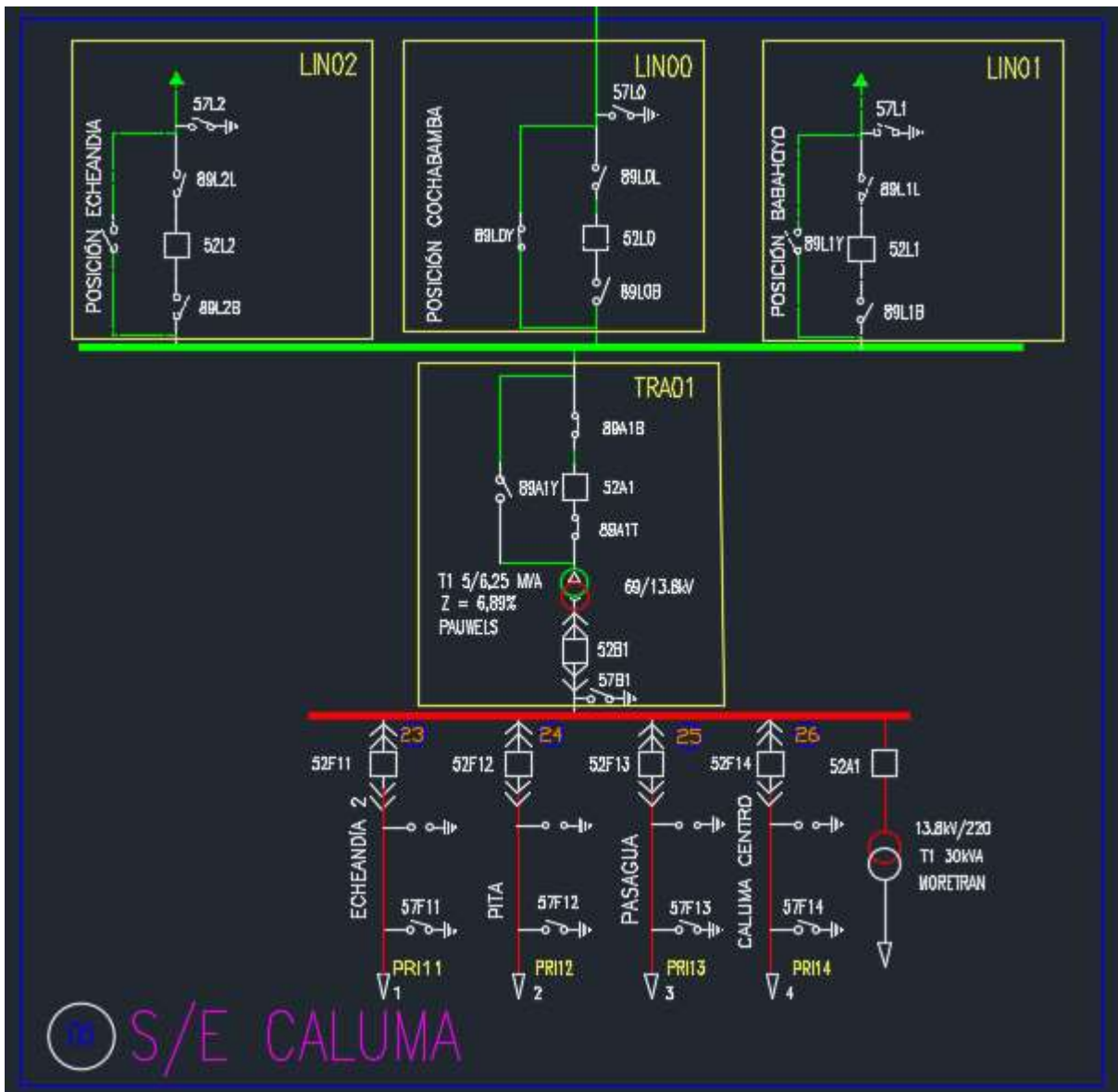
Realizado por: Autores

Anexo 4: Diagrama Unifilar de la Subestación Sicoto



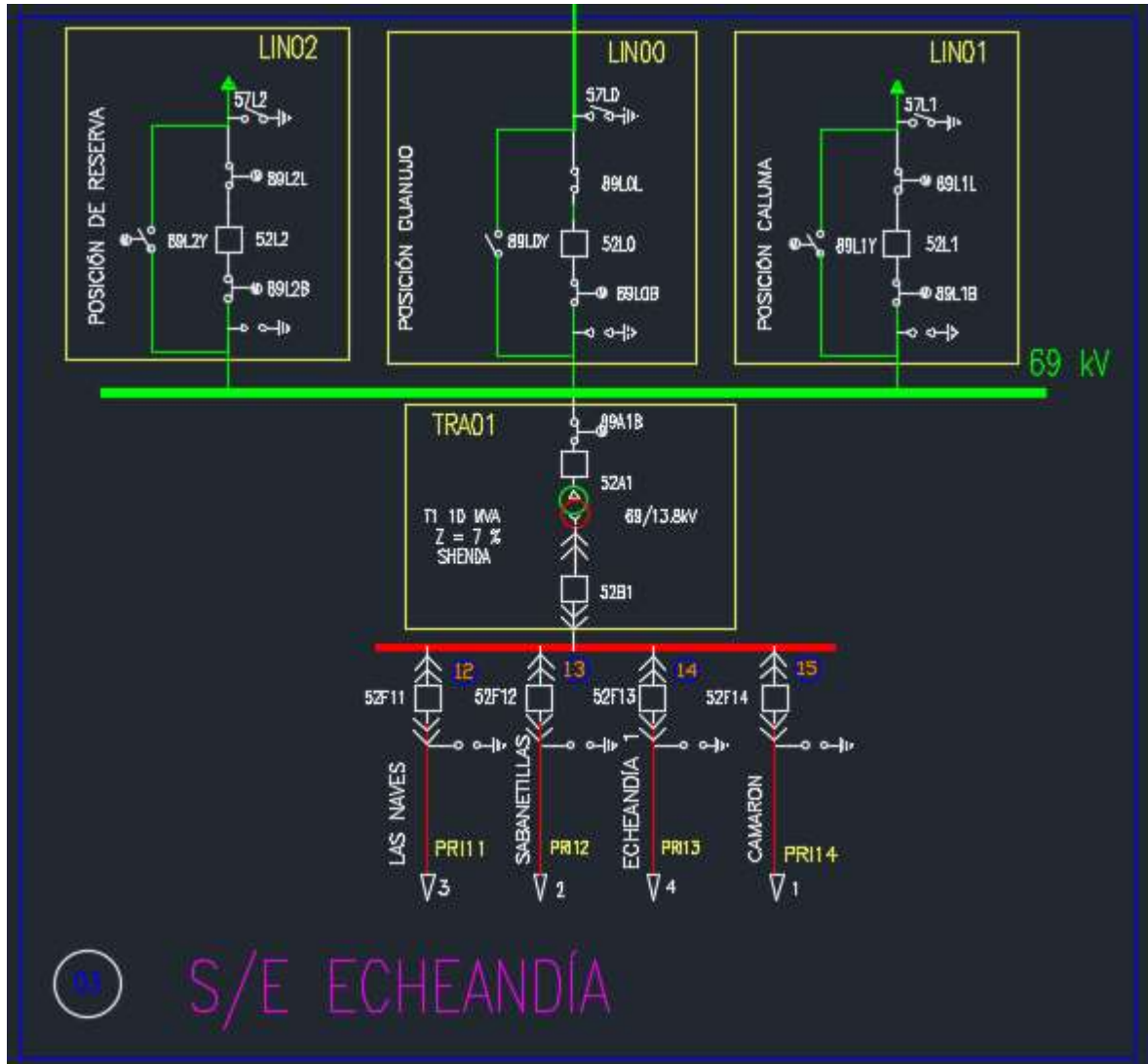
Realizado por: Autores

Anexo 5: Diagrama Unifilar de la Subestación Caluma



Realizado por: Autores

Anexo 6: Diagrama Unifilar de la Subestación Echeandía



Realizado por: Autores

Anexo 7: Demanda diaria de la subestación Guaranda

HORAS	TRANSFORMADOR 10 MVA GUARANDA							
	VOLTAJE	INTENSIDADES			POTENCIA			F.P.
		A	B	C	MW	MVAR	MVA	
0:00	13,7	101	118	115	2,55	0,60	2,62	0,973
1:00	13,7	93	111	108	2,38	0,61	2,46	0,9688
2:00	13,8	92	109	103	2,32	0,60	2,40	0,9679
3:00	13,8	90	109	103	2,30	0,60	2,38	0,9672
4:00	13,8	90	108	103	2,31	0,59	2,38	0,9687
5:00	13,7	95	116	112	2,48	0,58	2,55	0,9737
6:00	13,6	120	143	138	3,09	0,56	3,14	0,9841
7:00	13,8	100	121	121	2,66	0,47	2,70	0,985
8:00	13,7	102	123	126	2,72	0,57	2,78	0,978
9:00	13,6	104	126	127	2,73	0,66	2,81	0,972
10:00	13,6	108	128	125	2,73	0,72	2,82	0,967
11:00	13,6	108	127	128	2,75	0,70	2,84	0,969
12:00	13,6	110	128	128	2,79	0,69	2,87	0,971
13:00	13,6	109	127	127	2,76	0,69	2,85	0,970
14:00	13,6	112	132	130	2,86	0,71	2,94	0,971
15:00	13,7	109	121	125	2,73	0,62	2,80	0,9751
16:00	13,6	121	139	136	3,02	0,68	3,10	0,9749
17:00	13,6	121	142	141	3,10	0,59	3,16	0,9821
18:00	13,5	166	189	188	4,12	0,77	4,20	0,9828
18:30	13,5	189	220	217	4,79	0,76	4,85	0,9878
19:00	13,5	196	237	234	5,12	0,71	5,17	0,9904
19:30	13,5	187	229	228	4,97	0,71	5,02	0,9898
20:00	13,6	187	226	220	4,88	0,71	4,94	0,9895
21:00	13,7	160	196	195	4,28	0,70	4,34	0,9869
22:00	13,5	145	170	167	3,70	0,63	3,76	0,9858
23:00	13,5	111	136	131	2,87	0,58	2,93	0,9801

Fuente: CNEL –EP

Anexo 8: Demanda diaria de la subestación Guanujo

HORAS	TRANSFORMADOR 10 MVA GUANUJO							
	VOLTAJE	INTENSIDADES			POTENCIA			F.P.
		A	B	C	MW	MVAR	MVA	
0:00	13,9	92	74	73	1,90	0,10	1,90	0,999
1:00	14,0	87	70	68	1,78	0,10	1,79	0,998
2:00	14,0	84	68	66	1,73	0,11	1,74	0,998
3:00	14,0	84	67	65	1,71	0,09	1,71	0,999
4:00	14,0	85	70	67	1,75	0,10	1,76	0,998
5:00	14,0	99	86	82	2,13	0,10	2,13	0,999
6:00	13,8	129	118	108	2,81	0,10	2,81	0,999
7:00	14,0	105	84	84	2,19	0,14	2,19	0,998
8:00	14,0	91	73	71	1,88	0,24	1,89	0,992
9:00	13,9	87	73	71	1,81	0,28	1,84	0,988
10:00	13,9	82	72	75	1,80	0,33	1,83	0,983
11:00	13,9	91	73	77	1,89	0,36	1,93	0,983
12:00	13,9	88	74	77	1,87	0,35	1,90	0,983
13:00	13,9	88	70	76	1,84	0,32	1,87	0,986
14:00	14,0	90	74	76	1,89	0,33	1,92	0,985
15:00	13,9	92	77	77	1,92	0,35	1,96	0,984
16:00	13,9	92	77	79	1,94	0,31	1,97	0,987
17:00	13,9	100	91	90	2,23	0,26	2,24	0,993
18:00	13,9	137	122	119	2,99	0,27	3,00	0,996
18:30	13,8	180	157	155	3,89	0,17	3,89	0,999
19:00	13,8	191	170	160	4,10	0,16	4,11	0,999
19:30	13,8	195	171	164	4,18	0,14	4,18	0,999
20:00	13,8	183	156	152	3,87	0,12	3,88	1,000
21:00	14,0	156	129	128	3,30	0,14	3,30	0,999
22:00	14,0	134	111	114	2,86	0,13	2,86	0,999
23:00	14,2	110	87	90	2,31	0,16	2,32	0,998

Fuente: CNEL –EP

Anexo 9: Demanda diaria de la subestación Cochabamba

HORAS	TRANSFORMADOR 10 MVA COCHABAMBA							
	VOLTAJE	INTENSIDADES			POTENCIA			F.P.
		A	B	C	MW	MVAR	MVA	
0:00	13,7	53	51	48	1,17	0,27	1,20	0,975
1:00	13,7	47	45	46	1,05	0,25	1,08	0,972
2:00	13,7	45	44	45	1,02	0,26	1,05	0,970
3:00	13,8	44	42	44	1,00	0,25	1,03	0,971
4:00	13,7	45	42	44	1,00	0,25	1,03	0,970
5:00	13,6	53	46	49	1,13	0,23	1,15	0,980
6:00	13,5	60	52	53	1,26	0,20	1,28	0,987
7:00	13,7	41	38	39	0,92	0,13	0,93	0,990
8:00	13,6	45	42	45	1,02	0,16	1,04	0,989
9:00	13,7	48	46	46	1,07	0,21	1,10	0,981
10:00	13,6	47	46	44	1,05	0,23	1,07	0,977
11:00	13,6	47	43	40	0,98	0,25	1,01	0,969
12:00	13,7	44	43	42	0,97	0,25	1,01	0,967
13:00	13,7	44	47	44	1,03	0,25	1,06	0,972
14:00	13,7	48	50	45	1,09	0,24	1,12	0,977
15:00	13,7	47	49	44	1,08	0,21	1,10	0,981
16:00	13,7	53	52	47	1,17	0,23	1,19	0,981
17:00	13,7	54	53	51	1,22	0,22	1,24	0,984
18:00	13,5	66	65	62	1,48	0,24	1,50	0,988
18:30	13,4	99	94	87	2,11	0,35	2,14	0,986
19:00	13,4	106	98	91	2,24	0,35	2,27	0,988
19:30	13,5	98	92	86	2,09	0,29	2,11	0,990
20:00	13,5	93	86	84	2,01	0,30	2,03	0,989
21:00	13,7	78	76	75	1,76	0,28	1,78	0,988
22:00	13,8	73	69	67	1,62	0,28	1,64	0,985
23:00	13,6	63	60	59	1,38	0,25	1,41	0,984

Fuente: CNEL –EP

Anexo 10: Demanda diaria de la subestación Sicoto

HORAS	TRANSFORMADOR 10 MVA SICOTO							
	VOLTAJE	INTENSIDADES			POTENCIA			F.P.
		A	B	C	MW	MVAR	MVA	
0:00	14,0	52	51	47	1,15	0,29	1,19	0,970
1:00	14,0	51	50	46	1,13	0,30	1,16	0,967
2:00	14,0	49	49	45	1,10	0,28	1,14	0,969
3:00	14,0	50	48	47	1,12	0,29	1,15	0,969
4:00	14,1	51	51	48	1,16	0,29	1,20	0,969
5:00	14,0	63	61	58	1,42	0,25	1,44	0,985
6:00	13,8	72	71	70	1,66	0,23	1,68	0,990
7:00	14,1	44	48	46	1,09	0,19	1,10	0,984
8:00	14,0	38	44	36	0,91	0,21	0,94	0,974
9:00	13,9	39	43	37	0,91	0,24	0,94	0,967
10:00	13,9	42	45	39	0,96	0,27	1,00	0,964
11:00	13,8	42	46	38	0,95	0,28	0,99	0,960
12:00	14,1	42	50	43	1,02	0,35	1,08	0,947
13:00	14,1	40	48	40	0,96	0,34	1,02	0,944
14:00	14,1	42	49	43	1,02	0,35	1,08	0,946
15:00	14,1	43	52	44	1,05	0,37	1,11	0,942
16:00	14,1	43	48	46	1,05	0,35	1,10	0,950
17:00	14,1	49	54	52	1,20	0,35	1,25	0,960
18:00	14,1	64	68	64	1,54	0,34	1,58	0,976
18:30	13,7	93	93	91	2,14	0,41	2,18	0,982
19:00	13,6	113	115	113	2,62	0,38	2,65	0,990
19:30	13,6	111	113	112	2,59	0,35	2,62	0,991
20:00	13,7	104	106	105	2,45	0,33	2,47	0,991
21:00	13,8	90	88	82	2,03	0,34	2,05	0,987
22:00	14,1	72	71	67	1,65	0,33	1,68	0,981
23:00	14,0	59	58	53	1,31	0,32	1,35	0,971

Fuente: CNEL –EP

Anexo 11: Demanda diaria de la subestación Caluma

HORAS	TRANSFORMADOR 5MVA CALUMA							
	VOLTAJE	INTENSIDADES			POTENCIA			F.P.
		A	B	C	MW	MVAR	MVA	
0:00	13,6	53	41	47	1,01	0,42	1,09	0,924
1:00	13,6	50	39	44	0,96	0,42	1,04	0,916
2:00	13,6	49	38	44	0,94	0,42	1,03	0,914
3:00	13,6	48	39	43	0,93	0,41	1,01	0,916
4:00	13,7	49	38	44	0,94	0,41	1,03	0,915
5:00	13,6	51	40	45	0,99	0,39	1,06	0,929
6:00	13,5	59	44	52	1,13	0,38	1,19	0,949
7:00	13,7	41	36	41	0,88	0,29	0,92	0,949
8:00	13,6	39	35	41	0,83	0,34	0,90	0,927
9:00	13,5	40	37	43	0,85	0,38	0,93	0,915
10:00	13,5	42	36	44	0,87	0,38	0,95	0,915
11:00	13,5	44	40	44	0,92	0,39	1,00	0,921
12:00	13,5	50	41	47	0,99	0,40	1,07	0,926
13:00	13,5	49	39	45	0,97	0,39	1,04	0,929
14:00	13,5	49	42	49	1,01	0,42	1,09	0,922
15:00	13,5	50	44	50	1,04	0,43	1,12	0,922
16:00	13,5	51	45	49	1,03	0,44	1,12	0,919
17:00	13,5	53	44	49	1,04	0,44	1,13	0,922
18:00	13,3	58	48	57	1,17	0,41	1,24	0,944
18:30	13,3	87	69	80	1,73	0,48	1,80	0,964
19:00	13,3	94	72	87	1,87	0,45	1,92	0,973
19:30	13,4	92	71	86	1,84	0,44	1,90	0,973
20:00	13,4	90	70	84	1,80	0,45	1,86	0,970
21:00	13,6	82	65	75	1,66	0,44	1,72	0,966
22:00	13,4	75	61	69	1,51	0,43	1,56	0,962
23:00	13,4	60	48	55	1,18	0,42	1,25	0,941

Fuente: CNEL –EP

Anexo 12: Demanda diaria de la subestación Echeandía

HORAS	TRANSFORMADOR 10 MVA ECHENDIA							
	VOLTAJE	INTENSIDADES			POTENCIA			F.P.
		A	B	C	MW	MVAR	MVA	
0:00	13,6	62	67	87	1,53	0,71	1,69	0,906
1:00	13,6	61	65	85	1,48	0,73	1,65	0,898
2:00	13,6	60	64	84	1,45	0,72	1,63	0,895
3:00	13,6	60	64	84	1,46	0,71	1,62	0,898
4:00	13,7	59	65	83	1,47	0,70	1,63	0,902
5:00	13,6	63	69	88	1,58	0,68	1,72	0,918
6:00	13,5	73	80	99	1,84	0,66	1,95	0,941
7:00	13,6	53	59	78	1,41	0,47	1,49	0,948
8:00	13,6	51	57	77	1,36	0,52	1,46	0,935
9:00	13,5	51	59	78	1,35	0,56	1,46	0,923
10:00	13,5	49	59	81	1,35	0,56	1,47	0,924
11:00	13,4	52	63	86	1,43	0,60	1,55	0,921
12:00	13,5	52	64	90	1,47	0,61	1,59	0,923
13:00	13,5	54	64	90	1,49	0,63	1,61	0,921
14:00	13,5	55	65	92	1,52	0,63	1,65	0,923
15:00	13,5	57	70	92	1,56	0,67	1,69	0,919
16:00	13,5	57	68	95	1,57	0,68	1,71	0,919
17:00	13,4	64	72	96	1,65	0,72	1,80	0,917
18:00	13,4	74	79	104	1,86	0,64	1,97	0,946
18:30	13,3	108	118	144	2,68	0,90	2,82	0,948
19:00	13,3	114	127	155	2,89	0,86	3,02	0,959
19:30	13,3	113	123	152	2,84	0,85	2,97	0,958
20:00	13,4	110	119	150	2,78	0,85	2,91	0,956
21:00	13,5	101	108	133	2,51	0,83	2,65	0,949
22:00	13,4	90	96	121	2,22	0,77	2,35	0,945
23:00	13,4	74	79	100	1,79	0,74	1,94	0,924

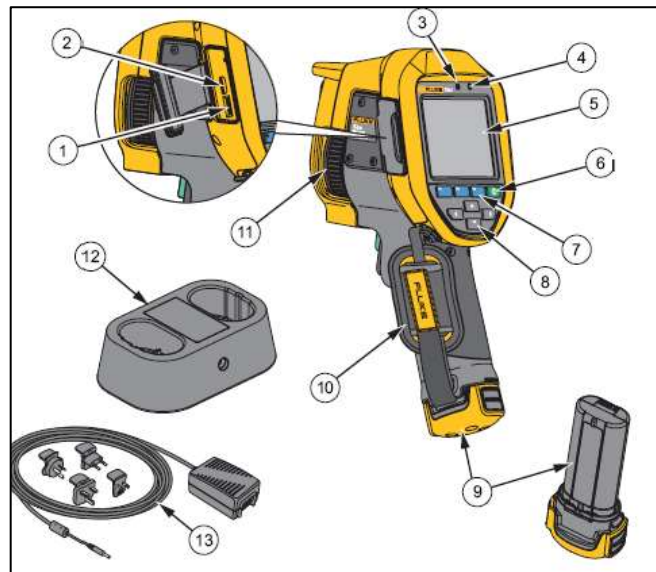
Fuente: CNEL –EP

Anexo 13: Demandas mínimas, medias y máximas de las subestaciones de la Unidad de Negocio Bolívar.

No	UNIDAD DE NEGOCIO	SUBESTACIÓN	NOMBRE DEL ALIMENTADOR	Demanda Mínima [MW]	Demanda Media [MW]	Demanda Máxima [MW]	Factor De Potencia
1	BOLÍVAR	GUARANDA	VINCHOA	0,25	0,43	0,78	0,997
2			CDLA. 1° DE MAYO	0,60	1,02	1,39	0,993
3			MALDONADO	0,35	0,54	0,80	0,983
4			CHIMBO	0,85	1,21	2,20	0,987
5	BOLÍVAR	GUANUJO	GUANUJO CENTRAL	0,69	0,96	1,57	0,996
6			LA CENA	0,15	0,26	0,54	0,999
7			SALINAS	0,07	0,17	0,41	0,995
8			CUATRO ESQUINAS	0,48	0,65	1,11	0,999
9			SIMIATUG	0,26	0,41	0,82	0,997
10	BOLÍVAR	COCHABAMBA	SAN MIGUEL	0,50	0,78	1,23	0,987
11			BALSAPAMBA	0,32	0,55	1,20	0,974
12			TELIBELA	0,00	0,00	0,01	0,965
13			COCHABAMBA - SAN PABLO 2	0,01	0,01	0,02	0,940
14	BOLÍVAR	SICOTO	CHILLANES	0,34	0,50	0,96	0,992
15			SAN PABLO	0,40	0,61	1,26	0,996
16			SAN JOSE DEL TAMBO	0,20	0,27	0,45	0,958
17	BOLÍVAR	ECHEANDÍA	LAS NAVES	0,63	0,88	1,45	0,953
18			ECHEANDÍA	0,34	0,45	0,69	0,961
19			SABANETILLAS	0,25	0,36	0,71	0,990
20			CAMARÓN	0,07	0,12	0,21	0,986
21	BOLÍVAR	CALUMA	CALUMA ECHEANDIA	0,01	0,02	0,03	0,998
22			PITA	0,23	0,29	0,49	0,970
23			PASAGUA	0,04	0,06	0,11	0,998
24			CALUMA CENTRO	0,53	0,70	1,14	0,966

Fuente: CNEL –EP

Anexo 14: Partes de la cámara termográfica FLUKE Ti450



Elemento	Descripción
①	Conexión HDMI
②	Cable de conexión USB
③	Micrófono
④	Altavoz
⑤	Pantalla LCD
⑥	ⓘ Encendido/Apagado
⑦	Botones de función (F1, F2 y F3)
⑧	Botones de flecha
⑨	Batería inteligente de ión-litio
⑩	Correa para la mano
⑪	Control de enfoque manual
⑫	Base de carga de baterías con 2 bahías
⑬	Alimentación de CA con adaptadores de la red principal

Realizado por: Autores

Anexo 15: Manual del Software de medición termográfica SmartView 4.2.



Realizado por: Autores

Para efectuar el análisis de las imágenes obtenidas a través de la cámara Termográfica FLUKE Ti450 se procede a tomar como referencia los siguientes pasos:

- a) Abrimos el programa SmartView 4.2 en nuestro ordenador



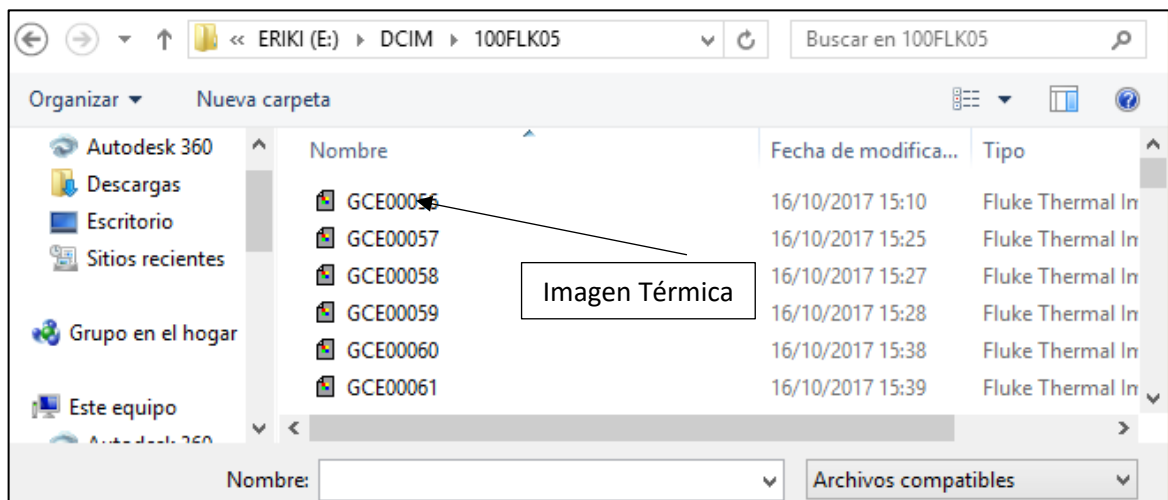
Realizado por: Autores

- b) Una vez abierto el programa en la ventana principal, observamos algunas opciones entre las cuales para abrir un archivo de termografía, nos debemos ubicar en el ícono Abrir fichero de imagen; y al hacer clic, se despliega la ventana Abrir.



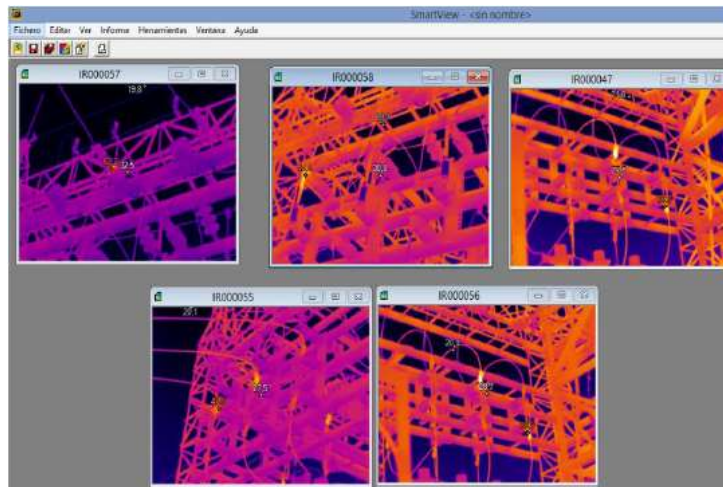
Realizado por: Autores

- c) A continuación ubica la carpeta de archivos donde se encuentran las imágenes térmicas tomadas con la cámara como se muestra en la figura 29.



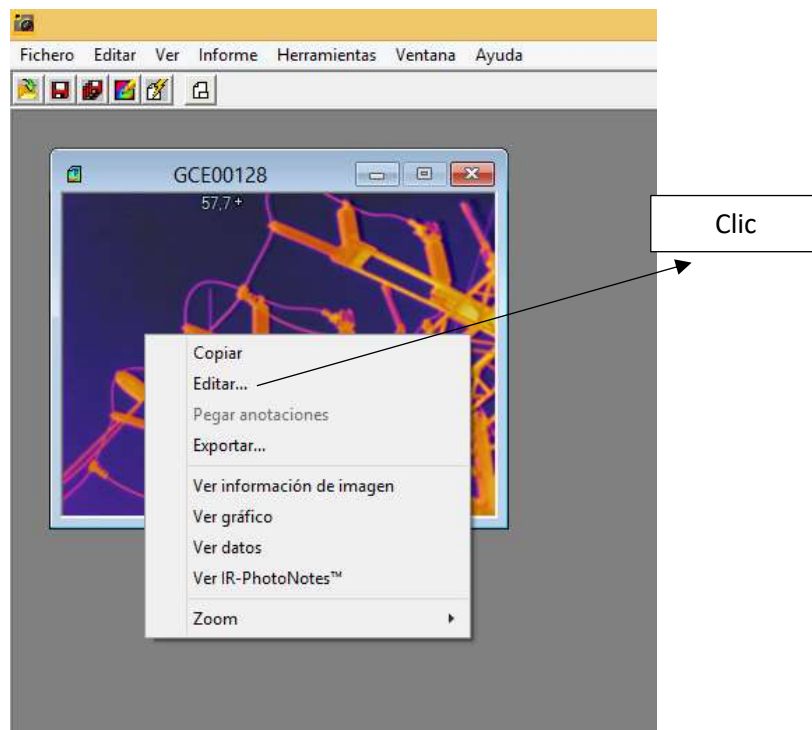
Realizado por: Autores

- d) Una vez hecho clic en los phat se nos despliegan las imágenes termográficas seleccionadas en el panel frontal del programa.



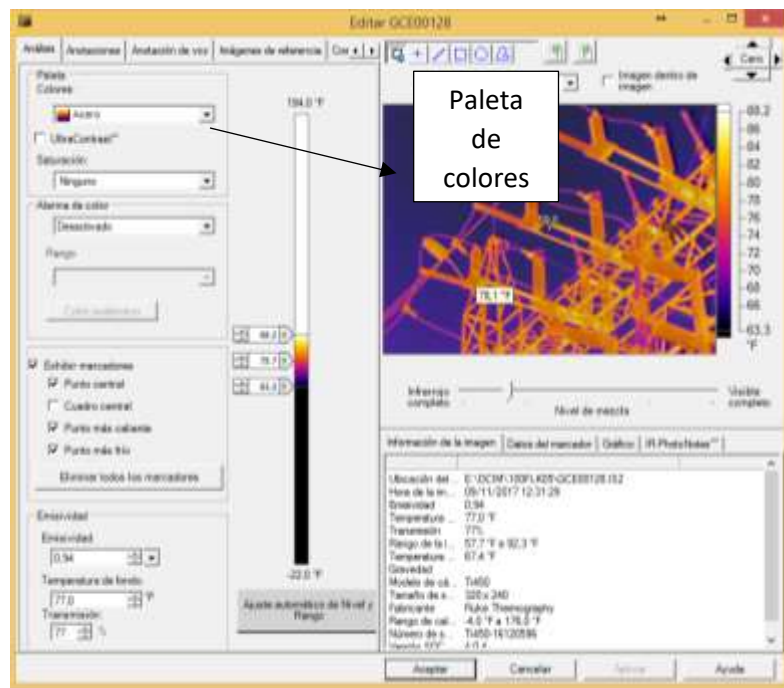
Realizado por: Autores

- e) Se escoge la imagen en la cual se va a trabajar, hacemos clic derecho sobre la misma y seleccionamos editar. De modo que se nos despliegan las múltiples opciones para modificar la imagen.



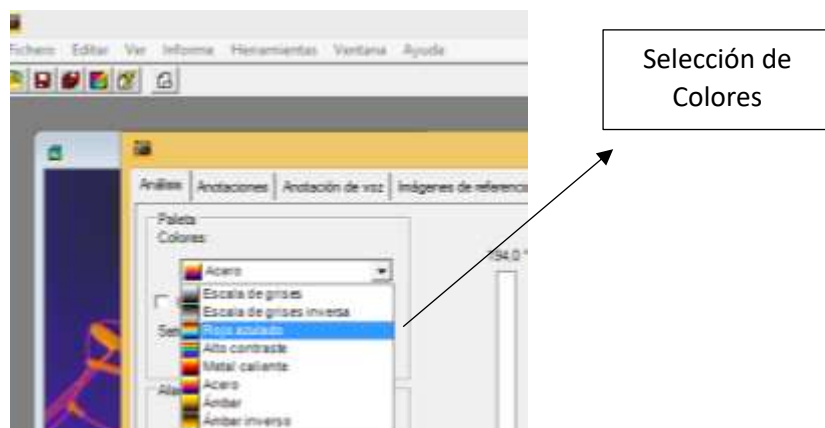
Realizado por: Autores

- f) Una vez realizado el anterior paso la imagen de trabajo se visualiza de la siguiente manera:



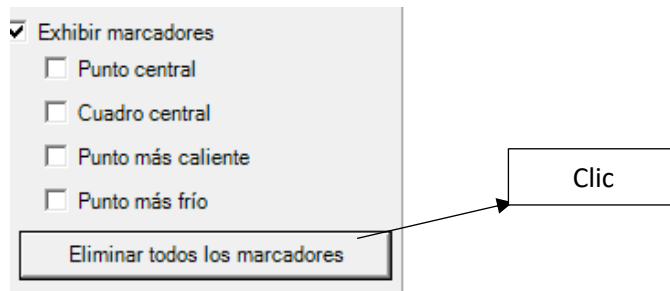
Realizado por: Autores

- g) Para modificar la imagen se escoge la paleta de colores y se selecciona el color de preferencia al que más nos acomodememos o el color al que podamos apreciar de mejor manera el punto caliente.



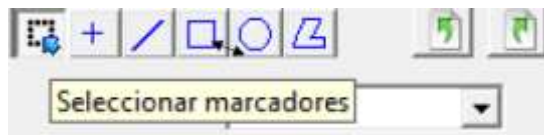
Realizado por: Autores

- h) Se eliminan todos los marcadores de las opciones para que sobre la imagen no aparezca ninguna referencia de temperatura.



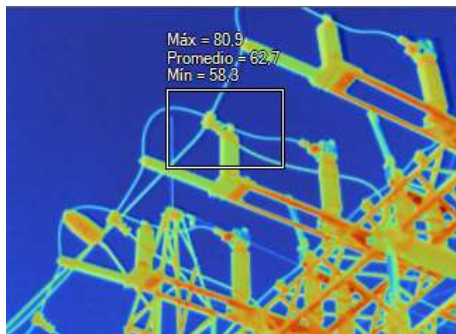
Realizado por: Autores

- i) Seleccionar marcadores en donde se encuentran las opciones para dibujar rectángulos, elipse, polígonos, líneas sobre el punto caliente, dentro de la misma barra de marcadores se tienen las flechas de retroceder y adelantar los cambios efectuados. Para este ejemplo se escogió la opción de rectángulo.



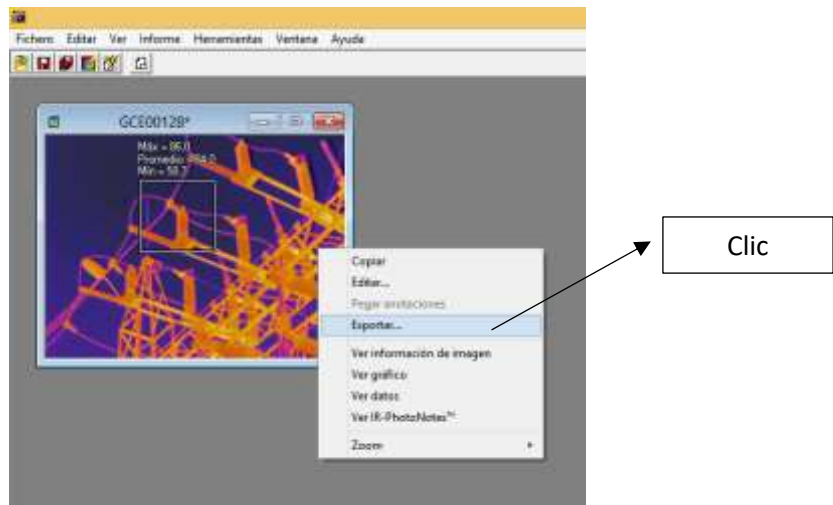
Realizado por: Autores

- j) Una vez seleccionado la opción rectángulo se hace clic derecho sobre el mismo para editar: la temperatura promedio, máxima, y punto más frío y color; así como también colocar el nombre al punto caliente sobre el rectángulo.



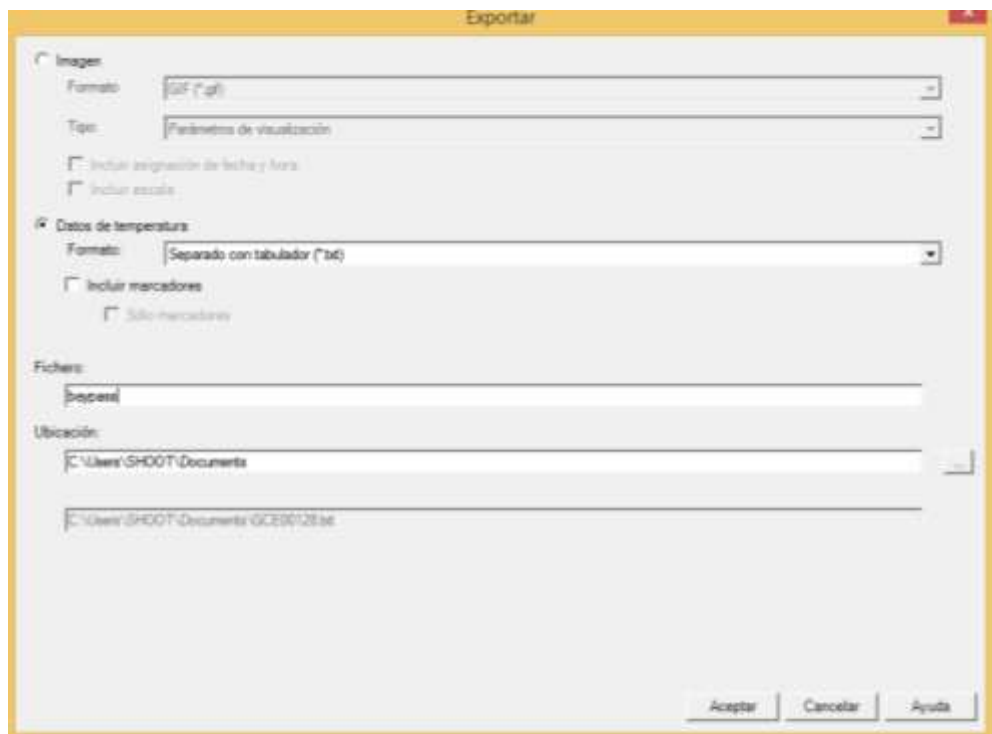
Realizado por: Autores

- k) A continuación aprenderemos a exportar la imagen, damos clic derecho y escogimos la opción exportar como se muestra en la imagen 38.



Realizado por: Autores

- l) Se despliega esta ventana, donde podremos escoger las siguientes opciones:



Realizado por: Autores

Se selecciona la opción Imagen Formato “GIF (*.gif)”


Incluir escala

En Fichero: se coloca el nombre con que vamos a guardar la imagen

Ubicación: se escoge el lugar de nuestro ordenador en el cual queremos guardar la imagen para este ejemplo se escogió el escritorio, luego de aquello aceptar.

Cabe mencionar que la imagen térmica modificada con todos sus parámetros va acompañada en la ficha técnica con la imagen visible del equipo y se determina el ΔT para determinar el grado de severidad.

Anexo 16: Modelo de reporte termográfico por equipo

CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD CNEL-EP UNIDAD DE NEGOCIO BOLIVAR				
LUGAR:			Fecha:	
REALIZADO POR :			Hora:	
UBICACIÓN	LUGAR	EQUIPO CON ANOMALÍA	DESCRIPCIÓN DE LA ANOMALÍA	SEVERIDAD
IMAGEN TÉRMICA			IMAGEN VISUAL	

ANÁLISIS TÉRMICO

PARÁMETROS TÉRMICOS		CONDICIONES DE TRABAJO		PARÁMETROS DE IMAGEN	
T MAX °C		FASE A		EMISIDAD	
T REFERENCIA		FASE B		HUMEDAD RELATIVA %	
T MAX °C		FASE C		T AMBIENTE °C	

OBSERVACIONES	
POSIBLES CAUSAS	
RECOMENDACIONES	

FECHA DE ACCIÓN CORRECTIVA	
RESPONSABLE DE LA CORRECCIÓN	

Anexo 17: Certificación de trabajos realizados



CERTIFICACIÓN DE TRABAJOS REALIZADOS

En calidad de Técnico del área de subestaciones de la CNELEP Unidad de Negocio Bolívar, certifico que los señores Mosquera Velásquez Fabricio Ismael con cedula de ciudadanía No. 092366360-3 y Sánchez Gavilanes Edwin Paúl con cedula de ciudadanía No. 185001828-2, conjuntamente con las personas encargadas del mantenimiento de las subestaciones, **realizaron los trabajos correctivos correspondientes a las anomalías térmicas encontradas en las subestaciones Caluma e Echeandía con respecto a su proyecto de investigación**, durante los mantenimientos programados del 17 de Septiembre y 17 de Diciembre de 2017 realizados por Transelectric a nivel provincial de 02h00 am a 06h00 am.

Guaranda, 08 de Febrero de 2018


Ing. Galo Núñez
TÉCNICO DEL ÁREA DE SUBESTACIONES
C.C. 020181282-3


Ing. Cesar Vélez
LÍDER DE MANTENIMIENTO
C.C. 130821999-5

