



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**Análisis de puntos calientes del alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur de la subestación 01CV–El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.) mediante termografía infrarroja en un dron comercial Phantom 4 y establecer un plan de mantenimiento.**

Aleaga Ramírez, Rodrigo Sebastián y Meza Salazar, Bryan Alexander

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Msc. Iturralde Albán, Javier Hernán

20 de abril de 2023

Latacunga

## Reporte de verificación de contenido

### Document Information

|                   |  |
|-------------------|--|
| Analyzed document | TESIS AleagaS_MezaB.pdf (D167187083)   |
| Submitted         | 5/16/2023 6:44:00 PM                   |
| Submitted by      | Juan Carlos Altamirano                 |
| Submitter email   | jc.altamiranoc@uta.edu.ec              |
| Similarity        | 1%                                     |
| Analysis address  | jc.altamiranoc.uta@analysis.orkund.com |

### Sources included in the report

|           |  |   |
|-----------|--|---|
| <b>SA</b> | <b>TESIS Vique.docx</b><br>Document TESIS Vique.docx (D26893152)   |  3   |
| <b>W</b>  | URL: <a href="http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2623">http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2623</a><br>Fetched: 5/17/2023 12:16:00 AM   |  1   |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://visiontir.com/es/termografia-infrarroja-camaras-termografias-y-termometros-infrarrojos/">https://visiontir.com/es/termografia-infrarroja-camaras-termografias-y-termometros-infrarrojos/</a><br>Fetched: 5/17/2023 12:17:00 AM       |  2   |
| <b>SA</b> | <b>ttb21jrodriguez13.02.2022.pdf</b><br>Document ttb21jrodriguez13.02.2022.pdf (D127945014)  |  2   |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://www.fenf.edu.uy/wp-content/uploads/2020/12/14dediciembrede2020Etapasde-la-investigacion...">https://www.fenf.edu.uy/wp-content/uploads/2020/12/14dediciembrede2020Etapasde-la-investigacion...</a><br>Fetched: 5/17/2023 12:17:00 AM |  1 |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting_started/about/introduction.html#:~:text=Blender...">https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting_started/about/introduction.html#:~:text=Blender...</a><br>Fetched: 5/17/2023 12:16:00 AM   |  1 |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/07/espectro_electromagne...">https://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/07/espectro_electromagne...</a><br>Fetched: 5/17/2023 12:16:00 AM   |  1 |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://ineldec.com/producto/transformador-trifasico-convencional-de-15-kva-rymel-magnetron/">https://ineldec.com/producto/transformador-trifasico-convencional-de-15-kva-rymel-magnetron/</a><br>Fetched: 5/17/2023 12:17:00 AM             |  1 |
| <b>SA</b> | <b>vinueza_tesis_pdf.pdf</b><br>Document vinueza_tesis_pdf.pdf (D48239873)   |  1 |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Controls/Protecci%C3%B3n-...">https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Controls/Protecci%C3%B3n-...</a><br>Fetched: 5/17/2023 12:17:00 AM   |  1 |
| <b>SA</b> | <b>dreyes_tesis3_pdf.pdf</b><br>Document dreyes_tesis3_pdf.pdf (D48396237)   |  1 |

### Entire Document

<https://secure.orkund.com/view/159887535-798534-937281#/>

JAVIER HERNAN  
ITURRALDE  
ALBAN

Firmado digitalmente por  
JAVIER HERNAN ITURRALDE  
ALBAN  
Fecha: 2023.05.17 16:52:57  
-05'00'



**Departamento de Eléctrica y Electrónica**

**Carrera de Ingeniería en Electromecánica**

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación: **“Análisis de puntos calientes del alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur de la subestación 01CV–El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.) mediante termografía infrarroja en un drone comercial Phantom 4 y establecer un plan de mantenimiento”** fue realizado por los señores **Aleaga Ramírez, Rodrigo Sebastián y Meza Salazar, Bryan Alexander**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 29 de julio del 2022



Escaneado el establecimiento por:  
JAVIER HERNAN  
ITURRALDE ALBAN

---

Msc. Iturralde Albán, Javier Hernán

C.C.: 0501399190



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Aleaga Ramírez, Rodrigo Sebastián y Meza Salazar, Bryan Alexander**, con cédulas de ciudadanía n°1804899936 y n°1600734840, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis de puntos calientes del alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur de la subestación 01CV–El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.) mediante termografía infrarroja en un drone comercial Phantom 4 y establecer un plan de mantenimiento** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 29 de Julio de 2022

Aleaga Ramírez, Rodrigo Sebastián  
C.C.: 1804899936

Meza Salazar, Bryan Alexander  
C.C.: 1600734840



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

#### Autorización de publicación

Nosotros, **Aleaga Ramírez, Rodrigo Sebastián y Meza Salazar, Bryan Alexander**, con cédulas de ciudadanía n°1804899936 y n°1600734840 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis de puntos calientes del alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur de la subestación 01CV–El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.) mediante termografía infrarroja en un drone comercial Phantom 4 y establecer un plan de mantenimiento en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.**

Latacunga, 29 de Julio de 2022

Aleaga Ramírez, Rodrigo Sebastián  
C.C.: 1804899936

Meza Salazar, Bryan Alexander  
C.C.: 1600734840

### **Dedicatoria**

*El presente trabajo es dedicado con mucho cariño a mi familia, en especial a mi madre Mónica que durante todos estos años me estuvo apoyando incondicionalmente para poder culminar mis estudios universitarios.*

*A mis docentes que en todo el tiempo de formación como Ingeniero Electromecánico supieron enseñarme los conocimientos necesarios para ser un excelente profesional dentro y fuera de cualquier campo laboral.*

*Y finalmente a mis amigos y compañeros de clase, que durante todo este tiempo supieron demostrar su lealtad y amistad, de corazón espero que en poco tiempo podamos ser colegas.*

*Aleaga Ramírez S.*

*Le dedico el resultado de este trabajo de titulación a los futuros estudiantes y emprendedores que muestren interés en la hibridación de tecnologías con el fin de simplificar tareas o buscar soluciones a problemas de la industria de forma innovadora, especialmente en todas las ramas de la ingeniería.*

*A mis hermanas Liz y Ginna por ser una gran fuente de motivación, a mi padre, Henri quien me ha enseñado que todo se gana a base de esfuerzo y dedicación, y a mi madre, Jhanet quien es mi ejemplo de creatividad e innovación y quien me ha inculcado los principios y valores que me han llevado hasta aquí. "Los amo".*

*Finalmente, a mi pareja Thalía, quien me acompañó durante este proceso de principio a fin y a mis grandes amigos Sebastián, Andrés, Alex y demás compañeros que ayudaron a que este objetivo sea una realidad. "Gracias a ustedes creo en el amor y la amistad".*

*Meza Salazar B.*

## **Agradecimiento**

*Agradezco a la vida el poder culminar con éxito mis estudios de tercer nivel y convertirme en Ingeniero Electromecánico, no fue un camino nada fácil, pero estoy feliz de todo que lo que he vivido y aprendido durante el tiempo que cursé esta prestigiosa carrera.*

*Mi más sincera gratitud al Ing. Hernán Iturralde, que siempre nos ayudó y aconsejó durante el tiempo que fue nuestro profesor y como tutor de la tesis, los conocimientos que nos brindó nos permitieron completar con éxito este proyecto investigativo.*

*No me queda más que decir gracias a mis compañeros y amigos Bryan y Andrés, por su amistad y por ser un gran apoyo durante este camino que fue cursar la universidad, solo les deseo éxitos y que no dejen de crecer como personas y como profesionales.*

*Aleaga Ramírez S.*

*Le agradezco infinitamente a los ingenieros docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, quienes con sus conocimientos hicieron un gran trabajo educándome, gracias a quienes el método científico se convirtió en la herramienta más valiosa que dispongo. Especialmente al Ing. Hernán Iturralde, quien incentivó mi interés en la termografía, que para mí es una rama ciencia que permite “observar lo invisible” y para mí es simplemente fascinante.*

*Agradezco mucho a todo mi núcleo familiar empezando por mi abuelo Carlos quien a sus 92 años de edad sigue siendo fuente de sabiduría y amor para todos nosotros. A mis padres quienes para mí son símbolo de buena fe y son quienes hicieron posible mi carrera universitaria. “Este título es suyo”.*

*Meza Salazar B.*

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Carátula.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Reporte de verificación de contenido.....</b>               | <b>2</b>  |
| <b>Certificación .....</b>                                     | <b>3</b>  |
| <b>Responsabilidad de Autoría .....</b>                        | <b>4</b>  |
| <b>Autorización de publicación.....</b>                        | <b>5</b>  |
| <b>Dedicatoria.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Agradecimiento.....</b>                                     | <b>7</b>  |
| <b>Índice de Contenido.....</b>                                | <b>8</b>  |
| <b>Índice de Tablas.....</b>                                   | <b>15</b> |
| <b>Índice de Contenido.....</b>                                | <b>17</b> |
| <b>Resumen.....</b>  | <b>20</b> |
| <b>Abstract.....</b>   | <b>21</b> |
| <b>Capítulo I: Marco metodológico de la investigación.....</b> | <b>22</b> |
| <b>Planteamiento del problema.....</b>                         | <b>22</b> |
| <b>Antecedentes.....</b>                                       | <b>22</b> |
| <b>Justificación e importancia .....</b>                       | <b>23</b> |
| <b>Objetivos.....</b>  | <b>24</b> |
| <b><i>Objetivo General.....</i></b>                            | <b>24</b> |
| <b><i>Objetivos Específicos.....</i></b>                       | <b>24</b> |
| <b>Capítulo II: Marco teórico.....</b>                         | <b>26</b> |
| <b>Antecedentes Investigativos .....</b>                       | <b>26</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| Fundamentación teórica .....  | 27        |
| <b>Sistemas Eléctricos de Potencia.....</b>                                 | <b>27</b> |
| Clasificación por su función.....   | 28        |
| Clasificación por su nivel de voltaje.....                                  | 28        |
| <b>Transformador Trifásico.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>Transformador Monofásico.....</b>  | <b>30</b> |
| <b>Seccionador fusible.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>Fusible NH.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>Mantenimiento en Sistemas Eléctricos de Potencia.....</b>                | <b>31</b> |
| <b>Metodología de mantenimiento en Sistemas Eléctricos de Potencia.....</b> | <b>33</b> |
| <b>Ingeniería de mantenimiento.....</b>                                     | <b>33</b> |
| <b>Tipos de mantenimiento.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....</b>                | <b>34</b> |
| Funciones de un activo .....  | 35        |
| Fallas funcionales .....  | 35        |
| Modos de falla .....  | 36        |
| Efectos de falla .....  | 36        |
| <b>Ensayos no destructivos – END.....</b>                                   | <b>36</b> |
| <b>Transferencia de calor.....</b>  | <b>38</b> |
| <b>Transferencia de calor por conducción (Ley de Fourier).....</b>          | <b>38</b> |
| <b>Transferencia de calor por convección.....</b>                           | <b>39</b> |

|  |    |
|--|----|
| <i>Transferencia de calor por radiación (Ley de Stefan- Boltzmann)</i> ..... | 39 |
| <i>Termografía infrarroja</i> .....  | 40 |
| <i>Mediciones infrarrojas prácticas</i> .....                                | 41 |
| <i>Superficie objetivo</i> .....   | 41 |
| <b>Emisividad</b> .....  | 41 |
| <i>Cuerpo Negro</i> .....  | 42 |
| <i>Cuerpo Gris</i> .....   | 42 |
| <i>Cuerpo No Gris (Cuerpos espectrales o coloreados)</i> .....               | 42 |
| <i>Objetivo de alta emisividad</i> .....                                     | 42 |
| <i>Objetivo de baja emisividad</i> .....                                     | 42 |
| <b>Reflectividad</b> .....   | 43 |
| <b>Transmisividad</b> .....  | 43 |
| <b>Absortividad</b> .....  | 43 |
| <i>Ley de Kirchhoff</i> .....  | 43 |
| <i>Espectro electromagnético</i> .....                                       | 44 |
| <i>Cámara termográfica</i> .....   | 45 |
| <b>Funcionamiento de las cámaras termográficas</b> .....                     | 46 |
| <b>Componentes de las cámaras termográficas</b> .....                        | 46 |
| <i>Lentes</i> .....  | 47 |
| <i>Detector y circuito de procesamiento de datos</i> .....                   | 47 |
| <i>Pantalla</i> .....  | 47 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Drone (RPA/UAV)</i> .....   | 47 |
| <i>Marco Regulatorio y Normativas Ecuatorianas e Internacionales</i> ..... | 49 |
| <i>Práctica recomendada SNT-TC-1A edición 2020</i> .....                   | 49 |
| <i>Regulación N° ARCERNNR – 002/20</i> .....                               | 50 |
| <i>Normativa ANSI/NETA MTS-2011</i> .....                                  | 51 |
| <i>Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R de (RPAs)</i> .....               | 51 |
| Fundamentación teórica .....   | 53 |
| Fundamentación conceptual .....  | 53 |
| Hipótesis .....  | 54 |
| Variables de investigación.....  | 54 |
| <i>Variable dependiente</i> .....  | 54 |
| <i>Variable independiente</i> .....  | 54 |
| Capítulo III: Metodología:.....  | 55 |
| Modalidad de investigación.....  | 56 |
| Tipos de investigación.....  | 57 |
| <i>Investigación aplicada</i> .....  | 57 |
| <i>Investigación descriptiva</i> .....                                     | 57 |
| Diseño de la investigación.....  | 57 |
| <i>Investigación bibliográfica</i> .....                                   | 58 |
| <i>Investigación de campo</i> .....  | 58 |
| <i>Investigación Descriptiva</i> .....                                     | 58 |

|  |    |
|--|----|
| Niveles de investigación .....                                     | 59 |
| <i>Exploratorio</i> .....  | 59 |
| <i>Predictivo</i> .....  | 59 |
| <i>Descriptivo</i> .....   | 59 |
| Muestra .....  | 59 |
| Técnicas de Recolección de Datos .....                             | 61 |
| Técnicas de Análisis de Datos .....                                | 62 |
| Técnicas de Comprobación de Hipótesis.....                         | 63 |
| Selección del Alimentador según indicadores FMIK y TTIK .....      | 66 |
| Registro y clasificación de interrupciones en el Alimentador ..... | 69 |
| Elementos analizados en el Alimentador.....                        | 71 |
| Recorrido del Alimentador.....                                     | 72 |
| Capítulo IV: Propuesta.....  | 74 |
| Introducción.....  | 74 |
| Datos informativos.....  | 74 |
| Objetivos.....   | 75 |
| <i>Objetivo General</i> .....                                      | 75 |
| <i>Objetivos Específicos</i> .....                                 | 75 |
| Alimentador N° 4–Latacunga sur de la subestación El Calvario.....  | 75 |
| Zonas Geo.....   | 76 |
| <i>Zonas Geo en Cotopaxi – Latacunga</i> .....                     | 77 |

|  |           |
|--|-----------|
| Selección de equipos.....  | 78        |
| <i>Selección del Drone.....</i>  | <i>78</i> |
| <i>Selección de la cámara termográfica.....</i>  | <i>79</i> |
| Caracterización de los equipo.....   | 79        |
| <i>Drone DJI - Phantom 4 Advanced.....</i>   | <i>79</i> |
| <i>Cámara Termográfica Flir - Duo ProR.....</i>  | <i>81</i> |
| <i>Emisor Flysky - FS-T6.....</i>  | <i>83</i> |
| <i>Receptor Flysky - FS-R6B.....</i>   | <i>84</i> |
| <i>Gafas de video EACHINE - EV800DM.....</i>   | <i>85</i> |
| <i>VTX – Transmisor de video BETAFPV - M02 25-350mW 5,8GHz.....</i>                      | <i>86</i> |
| <i>IMU - Placa controladora de vuelo - BETAFPV Toothpick F4 2-4S 12<sup>a</sup>.....</i> | <i>87</i> |
| <i>Batería Lipo - TATTU 450mAh 2S 95C.....</i>   | <i>88</i> |
| <i>Cargador de baterías Lipo ISDT - Q6 Nano BattGo 200W 8A.....</i>                      | <i>89</i> |
| Diseño y construcción del soporte para la cámara termográfica.....                       | 90        |
| Control a distancia de la cámara termográfica.....                                       | 93        |
| <i>Control de funciones de la cámara mediante señales PWM.....</i>                       | <i>94</i> |
| <i>Transmisión de video mediante el VTX.....</i>   | <i>94</i> |
| <i>Conexión de elementos a la placa controladora IMU.....</i>                            | <i>96</i> |
| <i>Vinculación mediante la App Flir Uas.....</i>   | <i>97</i> |
| Test de Vuelo.....   | 99        |
| Análisis de Curva de Demanda diaria de Potencia Activa.....                              | 101       |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Análisis de tiempo de inspección termográfica de ELEPCO S.A.....</b>                 | <b>101</b> |
| <b>Capítulo V: Análisis de resultados.....</b>  | <b>102</b> |
| <b>Diagramas unifilares de los sistemas de transformación y distribución .....</b>      | <b>102</b> |
| <i>Diagrama unifilar de un Sistema de Transformación y Distribución Monofásico....</i>  | <i>102</i> |
| <i>Diagrama unifilar de un Sistema de Transformación y Distribución Trifásico.....</i>  | <i>102</i> |
| <b>Interpretación de resultados en el alimentador.....</b>                              | <b>105</b> |
| <b>Interpretación de severidad de acuerdo a las consideraciones de ELEPCO S.A. ....</b> | <b>106</b> |
| <i>Análisis en Sistemas de Transformación y Distribución Monofásicos... ..</i>          | <i>107</i> |
| <i>Análisis en Sistemas de Transformación y Distribución Trifásicos.....</i>            | <i>109</i> |
| <b>Clasificación de fallos de acuerdo al Nivel de Voltaje .....</b>                     | <b>111</b> |
| <b>Clasificación de fallos por Tipo de Elemento .....</b>                               | <b>112</b> |
| <b>Interpretación de tiempo de inspección termográfica .....</b>                        | <b>114</b> |
| <b>Elaboración de plan de mantenimiento .....</b>                                       | <b>116</b> |
| <b>Capítulo VI:Conclusiones y Recomendaciones.....</b>                                  | <b>123</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>  | <b>123</b> |
| <b>Recomendaciones.....</b>   | <b>125</b> |
| <b>Bibliografía.....</b>  | <b>125</b> |
| <b>Anexos.....</b>  | <b>130</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Niveles de voltaje según ARCERNNR</i> .....                                | <b>51</b> |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Trasformadores del Alimentador 4 perteneciente a ELEPCO S.A</i> .....      | <b>60</b> |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Nivel de confianza S.A</i> .....   | <b>61</b> |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Instrumentos para recolección de datos del trabajo de titulación</i> ..... | <b>62</b> |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Acciones frente al aumento de temperatura (ANSI/NETA)</i> .....            | <b>64</b> |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Acciones frente al aumento de temperatura (ELEPCO S.A.)</i> .....          | <b>65</b> |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Indicadores de calidad de servicio técnico FMIK y TTIK</i> .....           | <b>66</b> |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Índices Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur (2021)</i> .....           | <b>67</b> |
| <b>Tabla 9.</b> <i>Índices Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur (2022)</i> .....           | <b>68</b> |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Interrupciones en el Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur</i> .....    | <b>69</b> |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Resumen de sanciones año móvil a mayo 2019</i> .....                      | <b>70</b> |
| <b>Tabla 12.</b> <i>Listado de las rutas de termografía aérea</i> .....                       | <b>76</b> |
| <b>Tabla 13.</b> <i>Tabla comparativa para selección del drone</i> .....                      | <b>78</b> |
| <b>Tabla 14.</b> <i>Tabla comparativa para selección de la cámara termográfica</i> .....      | <b>79</b> |
| <b>Tabla 15.</b> <i>Características DJI - Phantom 4 Advanced</i> .....                        | <b>80</b> |
| <b>Tabla 16.</b> <i>Características de la cámara térmica Flir Pro Duo Pro</i> .....           | <b>81</b> |
| <b>Tabla 17.</b> <i>Características del emisor Flysky - FS-T6</i> .....                       | <b>83</b> |
| <b>Tabla 18.</b> <i>Características del receptor Flysky - FS-R6B</i> .....                    | <b>84</b> |
| <b>Tabla 19.</b> <i>Características de las gafas de video EACHINE - EV800DM</i> .....         | <b>85</b> |
| <b>Tabla 20.</b> <i>Características del VTX</i> .....   | <b>86</b> |
| <b>Tabla 21.</b> <i>Características de la IMU</i> .....                                       | <b>87</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Tabla 22.</b> <i>Características de la batería Lipo TATTU 450mAh 2S 95C.....</i>         | <b>88</b>  |
| <b>Tabla 23.</b> <i>Características del cargador de baterías Lipo ISDT .....</i>            | <b>89</b>  |
| <b>Tabla 24.</b> <i>Tabla comparativa para selección del diseño.....</i>                    | <b>91</b>  |
| <b>Tabla 25.</b> <i>Puerto de accesorios de la cámara termográfica Flir Duo Pro R .....</i> | <b>94</b>  |
| <b>Tabla 26.</b> <i>Funciones y estados de las señales PWM.....</i>                         | <b>98</b>  |
| <b>Tabla 27.</b> <i>Elementos analizados en el Alimentador 4 – Latacunga .....</i>          | <b>105</b> |
| <b>Tabla 28.</b> <i>Clasificación de severidad de acuerdo a ELEPCO S.A. ....</i>            | <b>106</b> |
| <b>Tabla 29.</b> <i>Informe termográfico en Sistemas Monofásicos.....</i>                   | <b>107</b> |
| <b>Tabla 30.</b> <i>Clasificación de severidad en sistemas monofásicos.....</i>             | <b>108</b> |
| <b>Tabla 31.</b> <i>Informe termográfico en Sistemas Trifásicos.....</i>                    | <b>109</b> |
| <b>Tabla 32.</b> <i>Clasificación de severidad en sistemas trifásicos.....</i>              | <b>110</b> |
| <b>Tabla 33.</b> <i>Clasificación de fallos por Nivel de Voltaje .....</i>                  | <b>111</b> |
| <b>Tabla 34.</b> <i>Clasificación de fallos por Tipo de Elemento.....</i>                   | <b>112</b> |
| <b>Tabla 35.</b> <i>Plan de mantenimiento – Memoria técnica.....</i>                        | <b>116</b> |
| <b>Tabla 36.</b> <i>Plan de mantenimiento – Hoja de información RCM .....</i>               | <b>118</b> |
| <b>Tabla 37.</b> <i>Plan de mantenimiento – Hoja de decisión.....</i>                       | <b>121</b> |
| <b>Tabla 38.</b> <i>Plan de mantenimiento – Calendario.....</i>                             | <b>122</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 1.</b> <i>Esquema de un S.E.P.</i> .....                                   | <b>27</b> |
| <b>Figura 2.</b> <i>Transformador trifásico</i> .....                                | <b>29</b> |
| <b>Figura 3.</b> <i>Transformador monofásico</i> .....                               | <b>30</b> |
| <b>Figura 4.</b> <i>Seccionador fusible</i> .....                                    | <b>30</b> |
| <b>Figura 5.</b> <i>Fusible NH</i> .....   | <b>31</b> |
| <b>Figura 6.</b> <i>Mantenimiento en líneas de transmisión</i> .....                 | <b>32</b> |
| <b>Figura 7.</b> <i>Tipos de mantenimiento</i> .....                                 | <b>33</b> |
| <b>Figura 8.</b> <i>Estado general de una falla funcional</i> .....                  | <b>35</b> |
| <b>Figura 9.</b> <i>Métodos de ensayos no destructivos</i> .....                     | <b>37</b> |
| <b>Figura 10.</b> <i>Inspección termográfica de conexión eléctricas</i> .....        | <b>40</b> |
| <b>Figura 11.</b> <i>Comparativa de emisividad</i> .....                             | <b>42</b> |
| <b>Figura 12.</b> <i>Ley de Kirchhoff</i> .....                                      | <b>44</b> |
| <b>Figura 13.</b> <i>Espectro electromagnético</i> .....                             | <b>44</b> |
| <b>Figura 14.</b> <i>Cámara Flir i7</i> .....  | <b>45</b> |
| <b>Figura 15.</b> <i>Componentes de una cámara termográfica</i> .....                | <b>46</b> |
| <b>Figura 16.</b> <i>Drone DJI Phantom 4 Advanced</i> .....                          | <b>47</b> |
| <b>Figura 17.</b> <i>Práctica recomendada SNT-TC-1A edición 2020</i> .....           | <b>50</b> |
| <b>Figura 18.</b> <i>Normativa ANSI/NETA MTS-2011</i> .....                          | <b>52</b> |
| <b>Figura 19.</b> <i>Diagrama de metodología</i> .....                               | <b>55</b> |
| <b>Figura 20.</b> <i>Geoportal de ELEPCO S.A.</i> .....                              | <b>71</b> |
| <b>Figura 21.</b> <i>Recorrido del Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur</i> ..... | <b>72</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figura 22.</b> <i>Recorrido del Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur</i> .....            | <b>73</b>  |
| <b>Figura 23.</b> <i>Elementos del Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur</i> .....            | <b>73</b>  |
| <b>Figura 24.</b> <i>Zonas Geo</i> .....  | <b>77</b>  |
| <b>Figura 25.</b> <i>Zonas Geo en Cotopaxi - Latacunga</i> .....                                | <b>77</b>  |
| <b>Figura 26.</b> <i>Interfaz gráfica de Blender versión 3.6</i> .....                          | <b>90</b>  |
| <b>Figura 27.</b> <i>Interfaz gráfica de Blender versión 3.6</i> .....                          | <b>92</b>  |
| <b>Figura 28.</b> <i>Cable de integración</i> .....   | <b>93</b>  |
| <b>Figura 29.</b> <i>Configuración del puerto UART para el VTX</i> .....                        | <b>95</b>  |
| <b>Figura 30.</b> <i>Configuración de potencia de transmisión del VTX</i> .....                 | <b>95</b>  |
| <b>Figura 31.</b> <i>Conexión de elementos a la placa controladora IMU</i> .....                | <b>96</b>  |
| <b>Figura 32.</b> <i>Panel principal de la App Flir Uas 2</i> .....                             | <b>97</b>  |
| <b>Figura 33.</b> <i>Configuración de las entradas PWM</i> .....                                | <b>98</b>  |
| <b>Figura 34.</b> <i>Test de vuelo enfocado en el peso máximo</i> .....                         | <b>99</b>  |
| <b>Figura 35.</b> <i>Test de vuelo enfocado en al sistema de control a distancia</i> .....      | <b>99</b>  |
| <b>Figura 36.</b> <i>Test de vuelo enfocado a la distancia de inspección termográfica</i> ..... | <b>100</b> |
| <b>Figura 37.</b> <i>Curva de Demanda diaria de Potencia Activa</i> .....                       | <b>101</b> |
| <b>Figura 38.</b> <i>Diagrama unifilar de sistemas monofásicos</i> .....                        | <b>103</b> |
| <b>Figura 39.</b> <i>Diagrama unifilar de sistemas trifásicos</i> .....                         | <b>104</b> |
| <b>Figura 40.</b> <i>Elementos totales analizados por medio de termografía aérea</i> .....      | <b>105</b> |
| <b>Figura 41.</b> <i>Severidad de los elementos de acuerdo a ELEPCO S.A</i> .....               | <b>106</b> |
| <b>Figura 42.</b> <i>Clasificación de severidad en sistemas monofásicos</i> .....               | <b>108</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Figura 43.</b> <i>Clasificación de severidad en sistemas trifásicos</i> .....               | <b>110</b> |
| <b>Figura 44.</b> <i>Clasificación de fallos por Nivel de Voltaje</i> .....                    | <b>111</b> |
| <b>Figura 45.</b> <i>Análisis termográfico correspondiente al Informe N°.24</i> .....          | <b>112</b> |
| <b>Figura 46.</b> <i>Tabulación de fallos en sistemas monofásicos</i> .....                    | <b>113</b> |
| <b>Figura 47.</b> <i>Tabulación de fallos en sistemas trifásicos</i> .....                     | <b>113</b> |
| <b>Figura 48.</b> <i>Tabulación de sistemas diarios realizados con termografía aérea</i> ..... | <b>114</b> |

## Resumen

Las empresas eléctricas de distribución tienen como misión garantizar la calidad y continuidad en la distribución del servicio eléctrico, su interrupción genera molestias en los usuarios y sobre todo pérdidas económicas que pueden escalar, para cumplir con esta responsabilidad se emplean diferentes técnicas de mantenimiento que tiene como objetivo salvaguardar la vida útil de los distintos activos de la red. Estos métodos son muy importantes y su uso está ligado a métodos convencionales o a técnicas de mantenimiento tradicionales, pero hay que tener presente que la tecnología avanza constantemente, y trae consigo grandes beneficios a las empresas distribuidoras sobre todo en el sector de mantenimiento predictivo por medio de ensayos no destructivos, como lo es, la termografía infrarroja. Por lo que el presente trabajo pretende implementar una cámara termográfica en un dron comercial Phantom 4 Advanced, para de esta forma realizar un estudio termográfico que permita identificar y analizar puntos calientes del alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur de la subestación 01CV–El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.). Esto ayudará a reducir considerablemente el tiempo que conlleva realizar este estudio por métodos tradicionales, es decir interviniendo físicamente por medio de trabajos en alturas que conllevan riesgos hacia el personal de mantenimiento, además que representa una reducción de costos significativa como una inversión a largo plazo. Es importante señalar que toda la información recopilada va a servir como base para la elaboración e implementación de un plan de mantenimiento a condición basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

*Palabras clave:* termografía, ensayos no destructivos, mantenimiento predictivo, sistema de distribución, RCM.

## Abstract

The electrical distribution companies have the mission of guaranteeing the quality and continuity in the distribution of the electrical service, its interruption generates inconvenience in the users and above all the economic losses that can escalate, to fulfill this responsibility, different maintenance techniques are used that have with the objective of saving the useful life of the different assets of the network. These methods are very important and their use is linked to conventional methods or traditional maintenance techniques, but it must be borne in mind that technology is constantly advancing and brings great benefits to distribution companies, especially in the predictive maintenance sector through tests. non-destructive, as it is, infrared thermography. Therefore, the present work intends to implement a thermographic camera in a Phantom 4 Advanced commercial drone, in order to carry out a thermographic study that allows the identification and analysis of hot spots of the feeder No. 01CV13B1S4-Latacunga south of the substation 01CV-El Calvario de the Cotopaxi Provincial Electric Company (ELEPCO S.A.). This will help to reduce the time it takes to carry out this study by traditional methods, that is, physically intervening through work at heights that entail risks for maintenance personnel, in addition to representing a significant cost reduction as a long-term investment. It is important to note that all the information collected will serve as the basis for the development and implementation of a maintenance plan based on reliability-centered maintenance (RCM).

*Key words:* thermography, non-destructive testing, predictive maintenance, distribution system, RCM.

## Capítulo I

### Marco metodológico de la investigación

#### Planteamiento del problema

Para garantizar la eficacia en el servicio se llevan a cabo tareas de mantenimiento, las cuales permiten alargar la vida útil de los diferentes elementos que conforman la red. Una de las herramientas utilizadas es el análisis termográfico el cual permite la identificación de puntos calientes.

En años recientes para realizar estas actividades se ha implementado drones que brindan grandes beneficios a los encargados de mantenimiento debido a la reducción de tiempo en las inspecciones, además que los datos recolectados brindan la información necesaria para establecer un plan de mantenimiento.

El uso de esta técnica de mantenimiento permitirá mejorar los tiempos de inspección, esto es muy importante ya que entre los principales objetivos del uso de drones en distintas áreas industriales es la reducción del tiempo y recursos en ejecución de las actividades, un mayor control, precisión y prevención de riesgos para el personal de mantenimiento.

Hay que tener presente que la falta de un plan de mantenimiento adecuado ocasiona que no se tomen las acciones necesarias para prevenir fallas, provocando que el activo sufra un deterioro llegando incluso a ser desechado, esto representa pérdidas económicas para las empresas eléctricas y además para los usuarios debido a que el servicio eléctrico fue interrumpido.

#### Antecedentes

De acuerdo a la regulación N° ARCERNNR – 002/20 las diferentes empresas eléctricas de distribución del país deben asegurar la calidad en el suministro de electricidad, debido a que se ha convertido en un recurso indispensable para el desarrollo de las actividades diarias en los hogares, comercios e industrias.

Para cumplir con esta actividad se utilizan diferentes técnicas de mantenimiento que permiten alargar la vida útil de los diferentes componentes de la red, uno de estos métodos es el uso de la termografía, la cual permite censar la temperatura de diferentes objetos a una distancia segura para el operario, con el objetivo de identificar posibles fallas potenciales como puntos calientes y de esta manera diagnosticar si una máquina o elemento corre el riesgo de sufrir alguna avería.

En la actualidad se utilizan cámaras termográficas para realizar este estudio, las cuales se pueden adecuar a las necesidades del usuario, pero también se han empezado a utilizar drones para esta actividad, son una tecnología innovadora que permite al personal técnico reducir el tiempo y garantiza la seguridad del personal de mantenimiento.

Con la información que se puede recolectar es posible establecer un plan de mantenimiento, que es el conjunto de tareas predictivas que ayudan a que un activo aumente su vida útil, a través de la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una posible falla antes de que ocurra.

### **Justificación e importancia**

Las fallas que pueden presentarse dentro de las diferentes etapas de los Sistemas Eléctricos de Potencia como son la generación, transmisión, subtransmisión y distribución, muchas veces son causadas por la falta de planificación por parte de los organismos encargados de su administración.

Además de no contar con las herramientas necesarias para poder realizar un mantenimiento predictivo, ya que las herramientas usadas en ensayos no destructivos generalmente representan costos que las empresas eléctricas no consideran como inversión futura.

Uno de los síntomas de la falla de algún componente es la presencia de puntos calientes, los cuales son causados por la presencia de sobrecargas que provocan el aumento de temperatura debido al Efecto Joule, esto a la larga puede ocasionar el deterioro del activo.

En la actualidad el uso de drones termográficos se ha convertido en una herramienta innovadora al momento de realizar tareas de mantenimiento debido a los grandes beneficios que conlleva sobre todo en la disminución de tiempo, ya que según manifiesta el Director del Departamento de Mantenimiento de la EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A (ELEPCO S.A.) Ing. Iván Mena, el tiempo promedio que toma realizar estudios termográficos de forma tradicional en el ALIMENTADOR N° 01CV13B1S4 – LATAKUNGA SUR DE LA SUBESTACIÓN 01CV – EL CALVARIO, es elevado.

Motivo por el cual el mantenimiento predictivo por medio de termografía es realizado en periodos muy largos entre sí, específicamente de 2 veces al año, siendo prácticamente un tipo de mantenimiento que lleva mucho tiempo de realizarse, gracias al uso de drones termográficos, este tiempo se reducirá significativamente.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Analizar puntos calientes en el alimentador N° 01CV13B1S4 – LATAKUNGA SUR DE LA SUBESTACIÓN 01CV – EL CALVARIO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI (ELEPCO S.A.), mediante termografía infrarroja en un dron comercial Phantom 4 y establecer un plan de mantenimiento.

### ***Objetivos Específicos***

- Seleccionar una cámara termográfica que cumpla los requerimientos necesarios para ser instalada en un dron comercial.
- Diseñar un soporte para la cámara termográfica mediante el diseño asistido por computadora (CAD) y tecnología de Impresión 3D.
- Desarrollar un sistema de telecomunicaciones entre la cámara termográfica y el usuario, adquisición de datos, control remoto, telemetría y visualización de la imagen térmica y visual en tiempo real.

- Analizar la información recopilada para la identificación del diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ) presente en los activos en relación con las normativas aceptadas Internacionalmente por la ASNT y por ELEPCO S.A. para la elaboración de informes termográficos de acuerdo a su nivel de severidad.
- Analizar el tiempo empleado para la inspección termográfica aérea en comparación a los datos entregados por el personal de mantenimiento de ELEPCO S.A. sobre los métodos tradicionales de inspección termográfica.
- Realizar un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Antecedentes Investigativos

En la tesis “Inspección termográfica de líneas eléctricas y torres de telecomunicaciones implementado en DRON dentro de la ciudad de Guayaquil” (2018). Previo a la obtención del título de Ingeniero en Networking y Telecomunicaciones, los autores Javier Iván Guacho Remache y Enzo Fernando Carrera Espinoza, manifiestan que la implementación del prototipo Dron ayuda de manera positiva a la inspección para mantenimiento predictivo de torres eléctricas y de telecomunicaciones reduciendo costo y tiempo. Remache & Guacho (2018)

En la tesis “Diagnóstico termográfico de transformadores eléctricos suspendidos en postes utilizando una aeronave no tripulada” (2018). Previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico, los autores Gabriel Eduardo Molina Barriga y Marco Alejandro Ramos, manifiestan que luego de utilizar una nave no tripulada para inspeccionar postes que los transformadores situados en Quitumbe y El Beaterio tienen funcionan con normalidad y no requiere mantenimiento constante. Molina & Ramos (2018)

En la tesis “Análisis Termográfico del Alimentador N° 1 en media tensión de la Subestación Eléctrica San Rafael” (2018). Previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia, los autores Andrés Leonardo Farias Pullaguari y Brayan Eduardo Fernández Atiaja, manifiestan que con la aplicación de la técnica de la termografía desarrollada en los elementos del Alimentador N°1 perteneciente a ELEPCO S.A de la S/E San Rafael, se ha encontrado puntos calientes, siendo los elementos más afectados los Transformadores con un 40,22 % y Seccionadores con un valor del 21,74 %. Farias & Fernández (2021)

## Fundamentación teórica

### Sistemas Eléctricos de Potencia

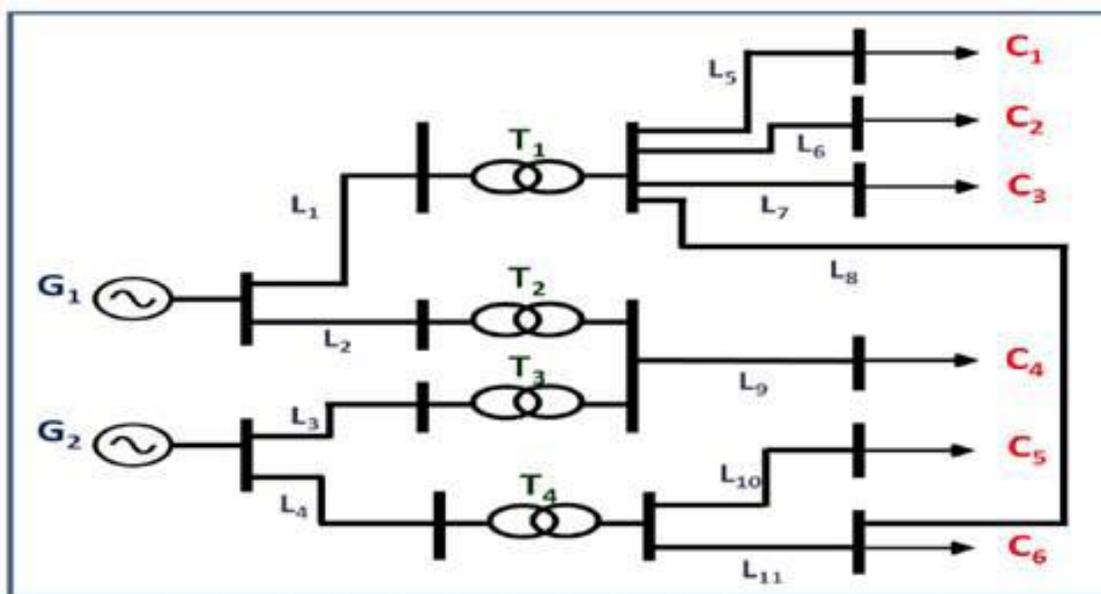
Los sistemas eléctricos de potencia (S.E.P) son una herramienta de conversión y transporte de la energía, forman redes que generan, transportan y distribuyen la energía eléctrica manteniendo condiciones óptimas de voltaje, frecuencia y disponibilidad.

Un S.E.P está compuesto por:

- Unidades de generación.
- Sistemas de transmisión.
- Sistemas de Distribución de energía eléctrica.
- Consumos: residenciales, comerciales o industriales.

**Figura 1.**

*Esquema de un S.E.P*



*Nota.* Tomado de Brea (2020)

Los S.E.P se pueden clasificar, por su función y por su nivel de voltaje.

**Clasificación por su función.** La red de componentes eléctricos que conforman un S.E.P para generar, transformar, transmitir y usar la energía eléctrica se puede dividir según el propósito para el cual son instalados, entre los sistemas más importantes se tiene a:

- **Sistemas de Transmisión:** son los sistemas por los que se transporta gran cantidad de energía desde la central de generación, hasta las subestaciones de transformación, ocupan grandes extensiones geográficas y están en el orden de 220 kV a 765 kV.
- **Sistemas de Subtransmisión:** son aquellos circuitos que se encargan de diversificar la energía eléctrica que llega a las subestaciones de distribución, los voltajes comunes incluyen desde 34,5 a 138 kV.
- **Sistemas de distribución:** sistemas encargados de entregar energía eléctrica a las redes que alimentan y dan consumo a los consumidores o usuarios finales, la potencia de los alimentadores depende del voltaje de distribución, entre 2,4 a 34,5 kV. Juárez (1995)

**Clasificación por su nivel de voltaje.** De acuerdo con la regulación “No. ARCONEL 005/18” ARCONEL (2018) se definen los siguientes niveles de voltaje:

- **Alto voltaje:** utilizado en los sistemas de transmisión de potencia, generalmente a elevados voltajes en el rango de los 40 kV a 500 kV, se dividen en dos grandes grupos:
  - **40 kV a 138 kV:** se utilizan en los sistemas de subtransmisión, en Ecuador el más utilizado es de 69 kV.
  - **Mayores a 138 kV:** se utilizan en sistemas de transmisión de potencia, generalmente para grandes tramos de redes de transmisión, en Ecuador se utilizan los valores de 230 kV y 500 kV.

- **Medio voltaje:** mayor a 0,6 kV y menor o igual a 40 kV, se divide en tres rangos de voltaje:
  - **5 kV a 6 kV:** para gran parte del sector industrial
  - **10 kV a 15 kV:** valores comerciales e industriales, el más común en Ecuador es 13,8 kV.
  - **20 kV a 40 kV:** se utiliza en redes de distribución eléctrica, en Ecuador el más común es de 22 kV.
- **Bajo voltaje:** menor igual a 0,6 kV, es la red que alimenta a los usuarios finales y gran parte del sector industrial, en Ecuador se maneja en el rango de 127 V a 600 V entre fases y a 220 V fase neutro.

### ***Transformador Trifásico***

Según Vega (2011), un transformador trifásico constituye una máquina eléctrica estática que permite elevar o disminuir el voltaje, está conformada por un grupo de tres devanados para el lado primario y otras tres para el secundario.

### **Figura 2.**

*Transformador trifásico*



*Nota.* Tomado de INELDEC (2020)

### ***Transformador Monofásico***

El transformador monofásico es una máquina eléctrica que tiene como finalidad disminuir o aumentar el voltaje en los sistemas eléctricos, está formado por un devanado en el lado primario y otro devanado en el secundario. GSL Industrias (2021)

#### **Figura 3.**

*Transformador monofásico*



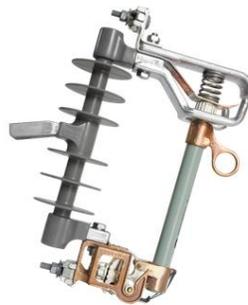
*Nota.* Tomado de Prototrans (2021)

### ***Seccionador fusible***

Un seccionador fusible es un elemento mecánico de maniobra sin carga, que al ser accionado y colocarse en posición de abierto permite aislar un elemento o una sección de la red eléctrica, esto con la finalidad de colocarlos fuera de servicio para realizar trabajos de mantenimiento. Xunta de Galicia (2012)

#### **Figura 4.**

*Seccionador fusible*



*Nota.* Tomado de Luminotecnia (2023)

### ***Fusible NH***

Los fusibles NH son elementos de protección de la red eléctrica contra corrientes elevadas de cortocircuito. Su funcionamiento permite evitar la aparición de fallas electromecánicas y térmicas en el resto componentes del sistema. Editores SRL (2014)

### **Figura 5.**

*Fusible NH*



*Nota.* Tomado de WEG (2021)

### ***Mantenimiento en Sistemas Eléctricos de Potencia***

Según Gonzales (2015) la continuidad y confiabilidad del sistema depende de las variables del mantenimiento que realiza a las etapas que lo conforman, por lo que el mantenimiento predictivo es de suma importancia en los S.E.P.

En el mantenimiento predictivo de los S.E.P se utilizan entre otras técnicas, las siguientes:

- Termografía infrarroja (Imágenes IR).
- Ultrasonido (Formación de arcos y corona).
- Coronografía (Efecto Corona).
- Análisis de aceites y gases (Equipos primarios).
- Análisis de Vibraciones (Equipos eléctricos).
- Monitoreo de descargas parciales (Barras y subestaciones)

Estas se complementan con otras mediciones, como: Resistencia de Puesta a Tierra, Asilamiento, Armónicos, Pruebas Hi-Pot, Calidad de energía, Variables eléctricas. Y se utilizan instrumentos y técnicas de análisis a distancia.

**Figura 6.**

*Mantenimiento en sistemas eléctricos de potencia*



*Nota.* Tomado de SercePerú (2018)

El hecho de interrumpir el suministro de energía eléctrica significa pérdidas en los ingresos de las empresas de generación, transporte y distribución, y pérdidas de continuidad para los usuarios, las interrupciones pueden ser de dos tipos:

- Interrupciones recurrentes
- Interrupciones aleatorias

Las unidades de mantenimiento son las encargadas de establecer planes de mantenimiento y tomar acciones predictivas y/o preventivas en el caso de ser interrupciones recurrentes, y realizar mantenimiento correctivo de ser el caso.

### **Metodología de mantenimiento en Sistemas Eléctricos de Potencia**

La industria en general está dedicando una gran atención a realizar trabajos de mantenimiento correctos, mediante herramientas como el plan de mantenimiento, siendo posible mejorar el rendimiento de los activos reduciendo costos y tiempos de mantenimiento, estos son realizados con tareas programadas, que se establecen mediante análisis de modos de falla y efectos que producen en los activos.

La metodología de cada empresa transportadora o distribuidora depende del tipo de mantenimiento que establezcan en sus planes, así como del personal, de la capacitación del mismo y de los equipos que estén a disposición.

### **Ingeniería de mantenimiento**

La ingeniería de mantenimiento se basa en el desarrollo de técnicas para mejorar las actividades de mantenimiento de las instalaciones, en función de cuatro objetivos básicos que son: la disponibilidad, fiabilidad, vida útil y costo de explotación.

### **Tipos de mantenimiento**

**Figura 7.**

*Tipos de mantenimiento*



*Nota.* La Figura muestra la clasificación y tipos de mantenimiento

### ***Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)***

Es un procedimiento en el que se establece lo que se debe realizar para que un activo físico continúe haciendo lo que el usuario desea que haga en su contexto operativo. El procedimiento formula siete preguntas sobre el activo que se desea analizar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer sus funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?
- ¿De qué manera importa cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir/prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Los resultados de un análisis detallado RCM da tres resultados tangibles:

- Planes de mantenimiento que serán puestos en práctica por el departamento de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados, para los operadores.
- Listas de cambios que deben hacerse al diseño del activo o a la manera en que es operado.

Los resultados menos tangibles se dan a través conocimiento adquirido por los participantes del proceso, aprenden más sobre el funcionamiento del activo y tienden a funcionar mejor como equipo.

**Funciones de un activo.** Según Mourbray (2004) la función consiste en un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.

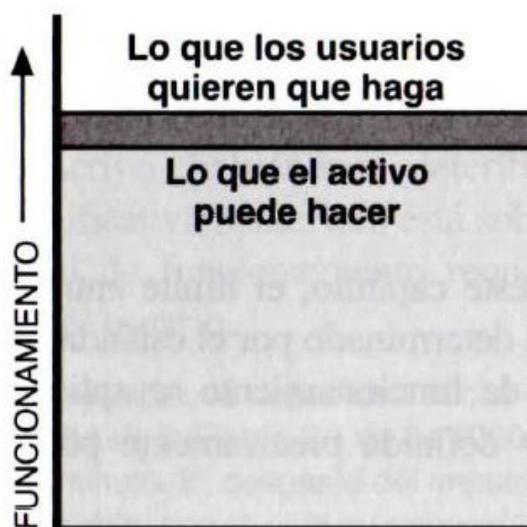
Tomando el caso de una bomba de agua, un ejemplo de su función es el siguiente: “Bombear agua del depósito A al depósito B a no menos de 500 litros por minuto”, nótese el uso del verbo, objeto y estándar de funcionamiento.

Los estándares de funcionamiento pueden ser cuantitativos, cualitativos, absolutos o variables, por lo que la ausencia de un estándar de funcionamiento sugiere que el sistema es totalmente cerrado o en otras palabras, que no existen pérdidas.

**Fallas funcionales.** En RCM los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, estas ocurren cuando el activo el activo no puede cumplir una función en su contexto operacional, es decir que el activo deje de hacer lo que el usuario quiere que haga.

#### Figura 8.

*Estado general de una falla funcional*



*Nota.* Tomado de Mourbray (2004)

En el ejemplo anterior, si la bomba es incapaz de bombear 500 litros por minuto, no le será posible mantener el depósito lleno, por ende, se considera que la bomba “falló”

**Modos de falla.** Una vez identificada la falla funcional, el siguiente paso es identificar los hechos que pueden haber causado cada estado de falla, estos hechos son denominados modos de falla.

Se incluyen todos los modos de falla posibles que se han suscitado en el equipo o en equipos iguales, así como las fallas que aún no han ocurrido, pero existe la posibilidad de que suceda, los modos de falla comunes se deben al desgaste o deterioro, pero se deben incluir los errores humanos, errores de diseño y errores administrativos.

**Efectos de falla.** Describir que pasa cuando ocurre un modo de falla, se conoce como efecto de falla, responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, este debe describir la información suficiente para la evaluación de sus consecuencias. Se deben constatar cinco puntos:

- La evidencia de que se produjo la falla (si la hubiera)
- Las maneras en que la falla representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si las hubiera)
- Las maneras en que la falla afecta a la producción
- Los daños físicos causados por la falla
- Que se debe hacer para reparar la falla

Los efectos de falla serán descritos de tal forma para que el personal evidencia la pérdida de la función causada por ese modo de falla, e indicar si la falla va acompañada de efectos físicos obvios como fugas, ruidos fuertes u olores extraños.

### ***Ensayos no destructivos – END***

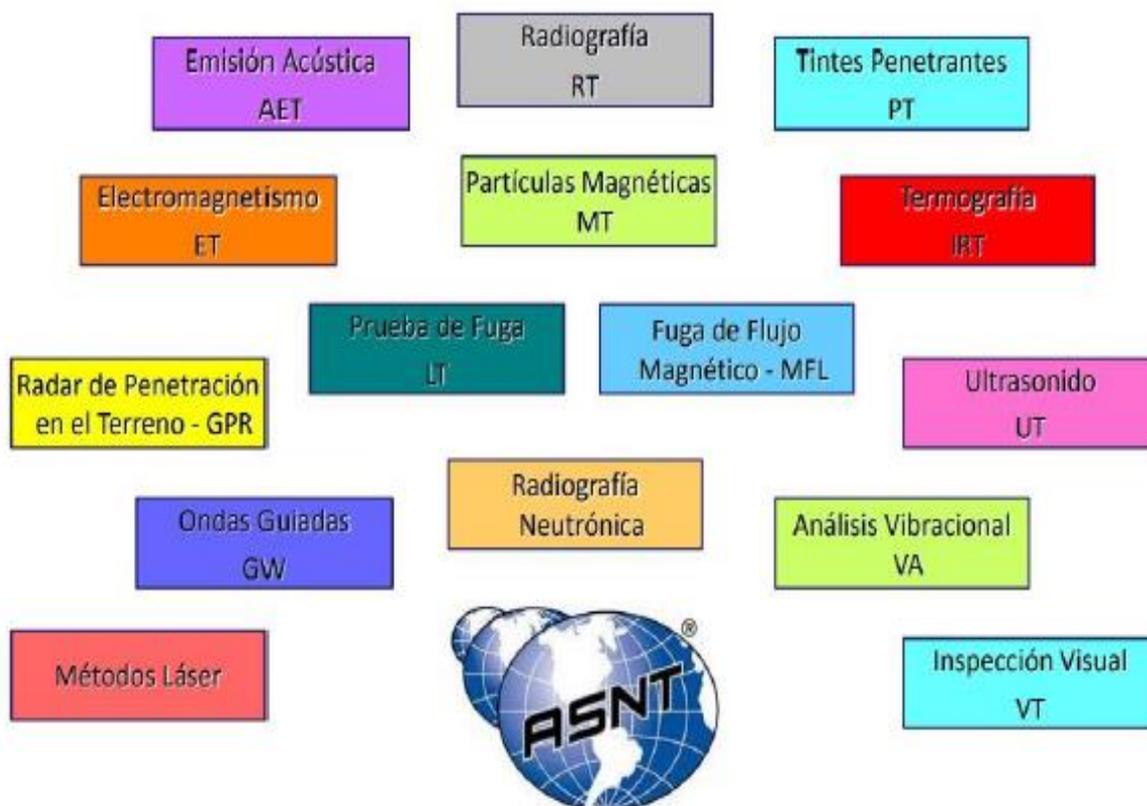
Los ensayos no destructivos, conocidos como END o NDT (Non Destructive Testing) son una serie de procesos que involucra la inspección, prueba o evaluación de materiales componentes y ensamblajes para detectar discontinuidades de materiales, propiedades y problemas de máquinas sin afectar o destruir más la capacidad de servicio de las piezas. ASNT (2020)

Permiten también determinar la integridad de las piezas mecánicas y equipos sin afectar sus propiedades: físicas, químicas, mecánicas y dimensionales. La clasificación se basa en la posición donde se ubican las discontinuidades que pueden ser detectadas:

- Superficiales
- Volumétricas
- Hermeticidad

**Figura 9.**

*Métodos de ensayos no destructivos*



*Nota.* Tomado de ASNT (2020)

### **Transferencia de calor**

La transferencia de calor es la energía en tránsito debido a la diferencia de temperaturas de uno o varios cuerpos diferentes. Existe un incremento o disminución de temperaturas hasta alcanzar el equilibrio térmico. La condición de “estado estable de flujo de calor” implica un suministro continuo de energía ( $\Delta T$  y  $Q$  serán constantes).

#### **Transferencia de calor por conducción (Ley de Fourier)**

Fluye dentro de los sólidos (vibraciones atómicas) y en líquidos (colisiones moleculares), fluye de una zona de mayor temperatura a una zona de menor temperatura.

$$\frac{Q}{A} = \frac{K(T_1 - T_2)}{L} \quad (1)$$

Donde:

$\frac{Q}{A}$ : Razón de transferencia de calor a través de una barra por unidad de área (BTU/h-pie<sup>2</sup>

ó w/m<sup>2</sup>)

L: Longitud de la barra (pies o metros)

T<sub>1</sub>: Temperatura más alta (°F ó °C)

T<sub>2</sub>: Temperatura más baja (°F ó °C)

K: Conductividad térmica del material de la barra (BTU/h-pie °F ó w/m-°k)

La conductividad térmica es más alta para los metales (Aluminio, cobre, etc) y más baja para los materiales porosos (ladrillo). La conductividad térmica es inversamente proporcional a la resistencia térmica (R<sub>t</sub>).

$$k = \frac{L}{R_t} \quad (2)$$

### ***Transferencia de calor por convección***

Toma lugar en un medio en movimiento y asociado a la transferencia de calor entre un sólido y un fluido en movimiento (aire, agua, etc.), existen dos tipos de convección: convección libre o natural (en función de la densidad del fluido) y convección forzada (inducida por un agente forzante: bomba, ventilador, etc.)

$$k = \frac{L}{R_t} \quad (3)$$

Donde:

h: Coeficiente convectivo de transferencia de calor (BTU/h-pie<sup>2</sup>-°F ó w/m<sup>2</sup>-°k)

T<sub>s</sub>: Temperatura superficial

T<sup>∞</sup>: Temperatura de fluido libre

### ***Transferencia de calor por radiación (Ley de Stefan- Boltzmann)***

La radiación térmica puede transportar el calor a través de un fluido o del vacío, en forma de ondas electromagnéticas o fotones como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, estos se propagan a la velocidad de la luz. Entre sus características se tiene:

- Se propaga a la velocidad de la luz y en línea recta.
- La energía de calor transferida es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura del objeto y esta se propaga en el vacío (óptimo).

$$E = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (4)$$

Donde:

σ: Constante de Stefan – Boltzmann, la cual tiene el valor de

5.673x10<sup>-12</sup> W/cm<sup>2</sup>k<sup>4</sup> ó 5.673x10<sup>-8</sup>W/m<sup>2</sup>k<sup>4</sup>

ε: Emisividad

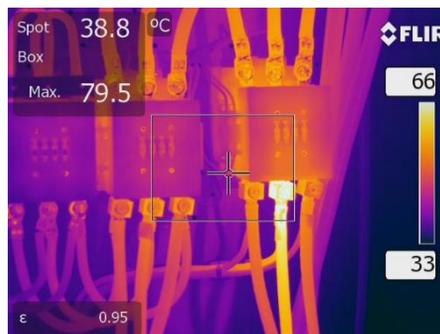
T: Temperatura (°k)

## **Termografía infrarroja**

La termografía infrarroja es una técnica que nos permite obtener una imagen que representa la temperatura superficial de un objeto VisionTir (2017). Permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto, utilizando cámaras termográficas que convierten la energía radiada, invisible al ojo humano, en una imagen visible formada a partir de la temperatura superficial de los objetos.

### **Figura 10.**

*Inspección termográfica de conexión eléctricas*



*Nota.* Tomado de Predictiva (2021)

Entre sus principales características se encuentran:

- No destructiva
- No invasiva
- Mapeo de no contacto de patrones térmicos superficiales (termogramas)

#### **Instrumentos de contacto**

- Termómetro
- Termocuplas
- Recubrimientos térmicos

#### **Instrumentos de no contacto**

- Radiación infrarroja
- Termómetros de no contacto

Juega un rol importante en las actividades de mantenimiento, permitiendo producir imágenes a partir de radiación térmica invisible que emiten los objetos, por lo que sin contacto alguno se identifica si algún componente se encuentra a una temperatura mayor a la que opera normalmente, indicando así áreas de falla inminentes o áreas con pérdidas de calor que usualmente son síntomas de fallas.

### ***Mediciones infrarrojas prácticas***

Entre la superficie objetivo y el instrumento de medición existe un “medio de transmisión”. Al realizar mediciones infrarrojas, se consideran tres características básicas: superficie objetivo, medio de transmisión e instrumento de medición.

### ***Superficie objetivo***

La medición se realiza sobre un objetivo, el cual será afectado por diferentes variables que causan errores en la detección de anomalías térmicas, debido a que se involucra radiación del entorno, por lo que las variables más importantes a tener en cuenta para efectuar un plan de mantenimiento predictivo son las siguientes:

**Emisividad.** Es la relación de la energía radiante emitida desde la superficie de un cuerpo real a la energía radiante emitida por una superficie de cuerpo negro a la misma temperatura y longitud de onda.

$$\varepsilon = \frac{W_{CR}}{W_{CN}} \quad (5)$$

Donde:

$\varepsilon$ : Emisividad

$W_{CR}$  : Radiación Cuerpo Real

$W_{CN}$  : Radiación Cuerpo Negro

**Cuerpo Negro.** Son radiadores perfectos y son superficies teóricas con emisividad igual a 1 y que absorben toda la radiación que inciden sobre ella.

**Cuerpo Gris.** Superficies con alta emisividad que no varían sustancialmente con la longitud de onda.

**Cuerpo No Gris (Cuerpos espectrales o coloreados).** Cuerpos cuyas emisividades varían con su longitud de onda, no tienen una distribución espectral de radiación similar al cuerpo negro y pueden ser parcialmente transparentes a la energía infrarroja (vidrio, plásticos, etc).

**Objetivo de alta emisividad.** La temperatura aparente del objetivo será cercada a su temperatura real. Se puede confiar en lo que se ve.

**Objetivo de baja emisividad.** La temperatura aparente del objetivo será cercana a la temperatura aparente de los cuerpos de alrededor, no se puede confiar en lo que se ve.

**Figura 11.**

*Comparativa de emisividad*



*Nota.* Tomado de Corfopym (2021)

Es una variable que se obtiene de tablas, además tiene un valor limitado para el termógrafo, es razonable para los No Metales (emisividad elevada) y son poco fiables para los Metales.

**Reflectividad.** Por lo general la reflectividad crece, cuando la emisividad decrece, en superficies opacas, la emisividad más la reflectividad es igual a 1. Esta variable corresponde a superficies especulares como los espejos.

**Transmisividad.** Se aplica a cuerpos “No Grises”, es decir a materiales con transparencia parcial que permiten el paso de la radiación infrarroja, por lo tanto, la radiación que llega al instrumento de medición causará errores, en estos casos los materiales tienen una transmisividad mayor a “cero”.

**Absortividad.** Para un “Cuerpo Negro” la absortividad será igual a 1, es un cuerpo teórico llamado absorbente perfecto, entonces la absortividad es la fracción de energía que es absorbida por la superficie objetivo.

### ***Ley de Kirchhoff***

Para un cuerpo que emite y absorbe radiación térmica en equilibrio termodinámico, la emisividad será de igual valor que la capacidad de absorción, por lo que la suma de los componentes de emisividad, reflectividad y transmisividad será 1.

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (6)$$

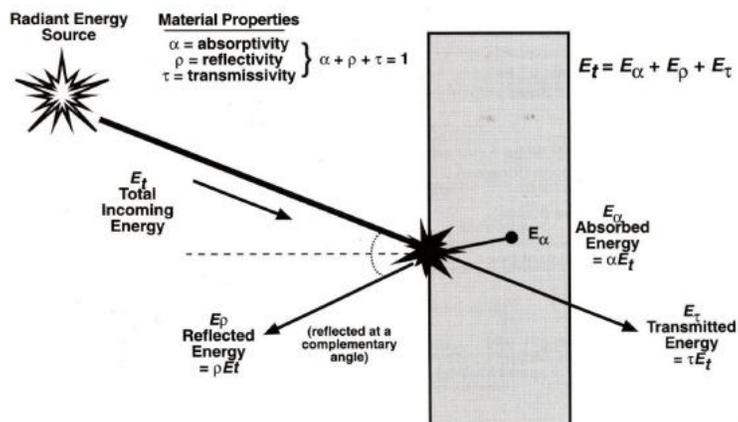
Donde:

$\alpha$ : Absortividad

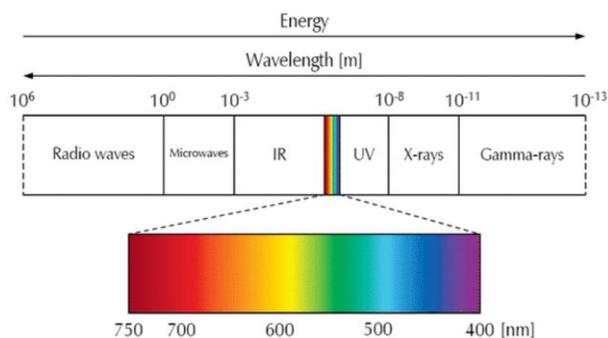
$\rho$ : Reflectividad

$\tau$ : Transmisividad

La radiación infrarroja emitida por la superficie objetivo debe pasar a través de un medio de transmisión, en distancias cortas será la atmósfera donde muchos gases absorben y emiten poca energía, si el medio es el “vacío” no existirán pérdidas.

**Figura 12.***Ley de Kirchhoff**Nota.* Tomado de Chong (2015)**Espectro electromagnético**

La distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas, entre ellas luz y radiación se denomina espectro electromagnético, no tiene límite inferior ni superior y se divide en distintas regiones las cuales no tienen fronteras sólidas entre regiones Fontal (2005).

**Figura 13.***Espectro electromagnético**Nota:* Tomado de Luisyp (2020)

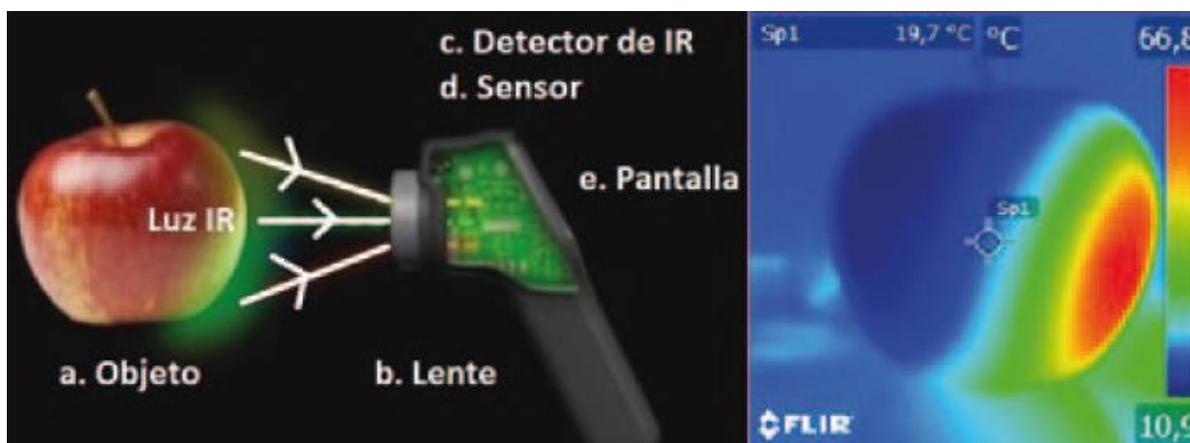
Las variables que involucra son la frecuencia y la longitud de onda, se extiende de menor longitud de onda, como los rayos gamma y rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta llegar a las de mayor longitud de onda como son las microondas y las ondas de radio.

### **Cámara termográfica**

Una cámara termográfica es una herramienta que permite visualizar y comprender fenómenos relacionados con la materia, la temperatura y la energía térmica. Es un recurso tecnológico que permite censar la temperatura sin necesidad de contacto, y también permite obtener una escena en el rango infrarrojo del espectro electromagnético De Prada (2021).

#### **Figura 14.**

*Cámara Flir i7*



Nota: El gráfico muestra la imagen térmica de una manzana calentada por una lámpara incandescente: la zona roja, indica la temperatura máxima de (66,8 °C) y la zona azul, la temperatura mínima (10,9 °C). Tomado de De Prada (2021).

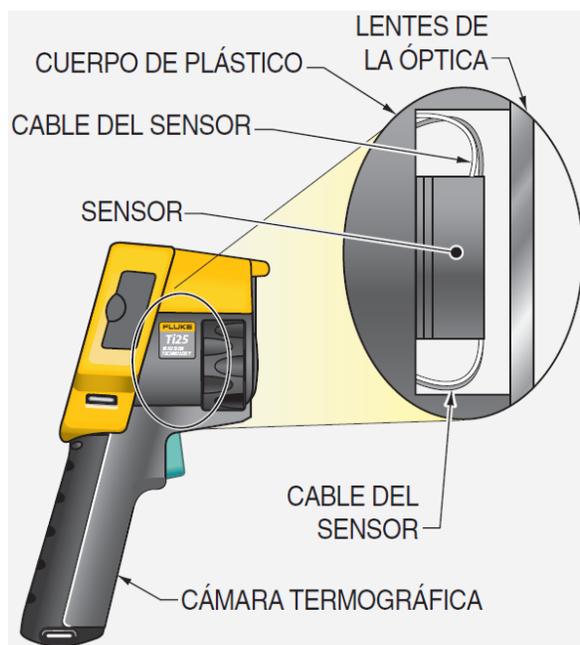
Las cámaras termográficas muestran imágenes con distintas gamas de color, donde cada pixel está asociado a un tono determinado, la resolución de la cámara es un factor que indica la calidad de la cámara, existen cámaras económicas para conectar por puerto USB a smartphones (Flir One) y las compactas de bolsillo (Seek Thermal – Shot Pro). Y por otra parte se encuentran las cámaras termográficas de uso profesional que se utilizan para distintas aplicaciones industriales (Flir Zenmuse Xt2).

**Funcionamiento de las cámaras termográficas.** El uso de cámaras termográficas en la industria resulta ser una herramienta de diagnóstico predictivo cuyo uso ha incrementado en los últimos años, la comprensión de su funcionamiento resulta en mejoras en la precisión y la toma de decisiones, la radiación infrarroja converge en el sensor de la cámara produciendo una respuesta, esta normalmente es un cambio de tensión o de resistencia, que es interpretada por la cámara convirtiéndola en una imagen electrónica o termograma. Por lo que de esta manera puede observar la energía infrarroja de la superficie objetivo. FLUKE (2009)

**Componentes de las cámaras termográficas.** Básicamente una cámara termográfica básica consta de: lentes, filtro, detector, circuito de procesamiento de imagen e interfaz de usuario (pantalla, salida de vídeo, memoria, etc), estos componentes varían dependiendo el tipo de cámara y la aplicación que se le dará a la misma. FLUKE (2009)

### Figura 15.

*Componentes de una cámara termográfica*



*Nota.* Tomado de FLUKE (2009)

**Lentes.** Una cámara termográfica tiene como mínimo una lente que detecta la radiación infrarroja de la superficie objetivo y la enfoca en el detector, la mayoría de lentes se fabrican de germanio (Ge) con finas capas de revestimiento antirreflejante.

**Detector y circuito de procesamiento de datos.** El detector y la electrónica de procesamiento son utilizados para procesar la radiación infrarroja y adquirir información “útil”, el detector por lo general se fabrica de materiales semiconductores para que se pueda obtener una respuesta medible que se procesará y generará una imagen térmica confiable.

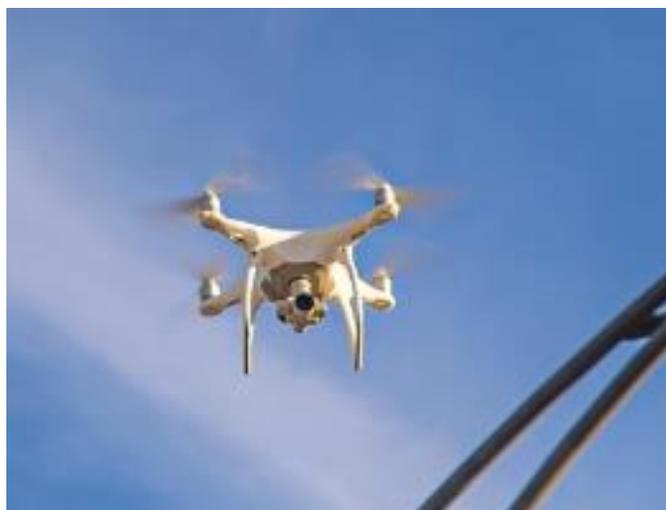
**Pantalla.** La pantalla que por lo general es de cristal líquido (LCD) muestra las imágenes térmicas al usuario, deberán tener parámetros mínimos de tamaño e iluminación para la correcta visualización de las imágenes en entornos cambiantes. Suele mostrar telemetría útil como la fecha, escala de temperatura, paleta de colores, etc.

### **Drone (RPA/UAV)**

Un drone es una aeronave pilotada a distancia (Remotely Piloted Aircraft – RPA - UAV), el “piloto remoto” es quien monitorea la aeronave en todo momento y tiene responsabilidad directa de la conducción segura de la aeronave durante el vuelo.

### **Figura 16.**

*Drone DJI Phantom 4 Advanced*



*Nota.* La Figura muestra el Drone comercial DJI Phantom 4 Advanced durante el vuelo

Dentro del campo de aplicaciones se tienen:

- Filmaciones audiovisuales y fotografías aéreas.
- Topografía y fotogrametría.
- Reconocimiento de daños.
- Operaciones de emergencia.
- Control de incendios forestales.
- Inspecciones industriales y de torres.
- Vigilancia y Supervisión.
- Agricultura de precisión.
- Arqueología.
- Apoyo para inspección de materiales nocivos.
- Carreras y recreación.

La manera más práctica de clasificarlos es por el tipo de ala:

- Ala fija.
- Ala rotatoria.
- Híbrido.

Otras formas de clasificarlos son:

Por el tipo de misión:

- Filmación.
- Fotogrametría.
- Agricultura, salvamento.
- Vigilancia.
- Inspección.
- Por su masa (micro, mini, pequeños, medianos).

Por el tipo de propulsión:

- Eléctrico.
- Pistón.
- Turbina.

Por su forma de despegue:

- Vertical o VTOL
- Desde pista
- Lanzados a mano, etc.

### ***Marco Regulatorio y Normativas Ecuatorianas e Internacionales***

La ASNT (American Society For Nondestructive Testing) administra programas para la calificación y certificación del personal que realiza los ensayos no destructivos, aceptados a escala internacional.

Estos programas son:

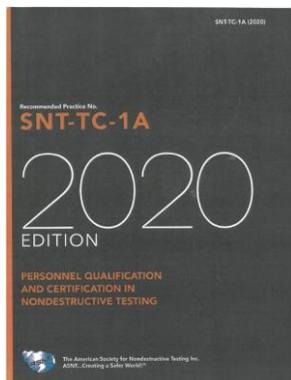
- SNT-TC-1A editada por la ASNT
- ISO-9712 editada por la ISO
- ASNT CP 189
- ATA 105
- MIL-STD 410 E
- NAS 410

### ***Práctica recomendada SNT-TC-1A edición 2020***

El sistema de certificación que se usa actualmente en Estados Unidos y todo América es conocido como “SNT-TC-1A”, la cual es una práctica recomendada que provee guías para asistir al empleador en el desarrollo de su propio procedimiento o “práctica escrita”.

**Figura 17.**

*Práctica recomendada SNT-TC-1A edición 2020*



*Nota.* Tomado de SNTTC1A (2020)

Este estándar solicita a cada identidad planificadora los siguientes requisitos:

- El empleador debe confeccionar la “práctica escrita” para el control y administración del entrenamiento, examen y certificación del personal.
- Se requiere del examen visual de cerca Jaeger #2 a no menos de 12” de distancia.
- La práctica escrita se convierte en un sistema para calificar y certificar al personal de END de cada empleador individualmente.

**Regulación N° ARCERNNR – 002/20**

La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, por sus siglas (ARCERNNR) se enfoca en el análisis de la influencia de las condiciones técnicas y operativas en la infraestructura del sistema eléctrico y su relación con los límites que se establece en la regulación. ACERNNR (2020)

Resuelve que la regulación denominada “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” tiene el objetivo de establecer indicadores, índices y límites de calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica, y, definir los procedimientos de medición, registro y evaluación a ser cumplidas por las empresas de distribución y consumidores, según corresponda. Se definen los siguientes valores de niveles de voltaje

**Tabla 1.**

*Niveles de voltaje según ARCERNNR*

| <b>Nivel de Voltaje</b> | <b>Descripción</b>                     |
|-------------------------|--|
| Bajo voltaje:           | Menor o igual a 0,6 kV                 |
| Medio Voltaje:          | Mayor a 0,6 kV y menor o igual a 40 kV |
| Alto voltaje Grupo 1:   | Mayor a 40 kV y menor o igual a 138 kV |
| Alto voltaje Grupo 2:   | Mayor a 138 kV                         |

*Nota.* La Tabla muestra los niveles de voltaje definidos por la Regulación N° ARCERNNR – 002/20. Tomado de ACERNNR (2020)

### ***Normativa ANSI/NETA MTS-2011***

Por sus siglas ANSI/NETA MTS-2011 (American National Standards Institute / International Electrical Testing Association & Maintenance Testing Specifications), analiza la diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) basada en comparaciones entre componentes similares bajo cargas similares y cambios con respecto a la temperatura ambiente.

Existen variaciones en la temperatura en los equipos, incluso tratándose del mismo equipo, pero de diferente fabricante debido al paso de corriente, por lo que, en ausencia de estándares de consenso para la temperatura, proporciona pautas razonables de análisis. ANSI (2011)

### ***Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R Reglamento de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)***

La dirección General de Aviación (DGAC) creó un reglamento que trata sobre la “Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)” en donde se detallan los requisitos y aplicabilidad de operaciones recreativas e industriales.

Las operaciones de (RPAs) aplican a aeronaves usadas en actividades civiles cuyo peso máximo de despegue sea superior a 0,25 kg y menor o igual a 150 kg.

Quedando prohibida la operación de aeronaves que excedan los 150 kg de peso máximo de despegue. DGAC (2020)

**Figura 18.**

*Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R*



*Nota.* Tomado de DGAC (2020)

La responsabilidad de operación corresponde al piloto de la aeronave, el cual es el encargado de resguardar la integridad física de las personas, animales, otras aeronaves y bienes, en caso de pérdida de control de la aeronave por cualquier motivo.

La altura máxima de operación será de 122 metros, la cual no se excederá en ningún momento y queda prohibido el transporte de armas, dispositivos laser, mercancía peligrosa o cualquier material que represente peligro biológico o de otro tipo, así como su operación desde un vehículo en movimiento.

El piloto deberá contar con una licencia de operador de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) donde se demuestre el haber aprobado satisfactoriamente un curso teórico/práctico de operador, dentro de los últimos 24 meses.

Ninguna persona operará un RPA si:

- Se encuentra fatigado, o considera que podría sufrir fatiga
- Se encuentra bajo el consumo de bebidas alcohólicas, de cualquier sustancia psicotrópica u otra que altere sus facultades de operación
- Tiene una condición física o mental que podría interferir con la operación segura del RPA

### **Fundamentación teórica**

- **Práctica recomendada SNT-TC-1A:** Práctica recomendada sobre calificación y certificación de ensayos no destructivos.
- **Regulación ARCERNNR 002/20:** Normativa regulatoria sobre la calidad y comercialización de la energía eléctrica, establece indicadores, índices y límites a ser cumplidas por las empresas de distribución y los consumidores.
- **ANSI/NETA MTS-2011:** Estándar para la especificación de pruebas de mantenimiento para sistemas y equipo eléctrico.

### **Fundamentación conceptual**

- **ARCERNNR:** Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables.
- **ARCONEL:** Agencia de Regulación y Control de Electricidad.
- **ELEPCO S.A:** Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi Sociedad Anónima.
- **ASNT:** Compañía sin fines de lucro que administra y opera programas de certificación y acreditación basada en el empleador para prácticas avanzadas de ensayos no destructivos.
- **DGAC:** Dirección General de Aviación Civil.

**Hipótesis**

¿El estudio termográfico aéreo en el “¿ALIMENTADOR N° 01CV13B1S4 DE LA SUBESTACIÓN 01CV” mediante el análisis del diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ), permitirá reducir el tiempo de las inspecciones termográficas y esto facilitará a la empresa (ELEPCO S.A.) efectuar trabajos en el área de mantenimiento a condición en sus sistemas de distribución y subtransmisión?

**Variables de investigación*****Variable dependiente***

Evaluación del diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ) en el sistema de distribución de (ELEPCO S.A).

***Variable independiente***

Implementar análisis termográficos aéreos en el sistema de distribución de la Empresa (ELEPCO S.A), realizando los ensayos no destructivos cumpliendo con la práctica recomendada SNT-TC-1A.

## Capítulo III

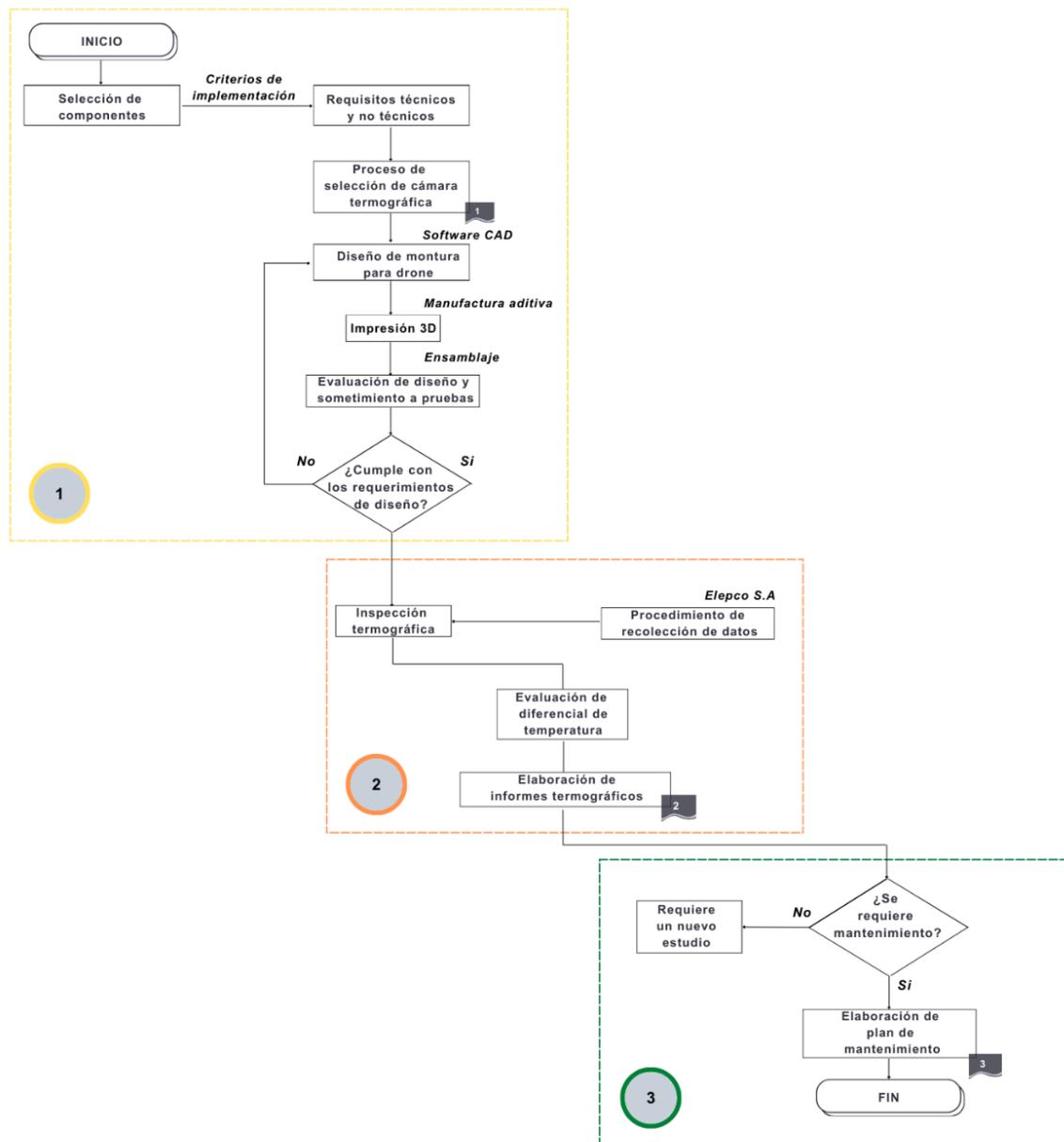
### Metodología

#### Modalidad de Investigación

En este capítulo se detalla la metodología de investigación utilizada en este trabajo de investigación. La metodología se compone por tres etapas como se muestra en la Figura 19.

**Figura 19.**

*Diagrama de metodología*



El enfoque utilizado se determina mediante observación y la evaluación de fenómenos, estableciendo supuestos como consecuencia de la observación y evaluación de las suposiciones con fundamento, en este caso se lleva a cabo la investigación desde un enfoque cuantitativo donde se traza un plan de comprobación de la hipótesis y se desarrolla una serie de conclusiones. Hernandez (2014)

El estudio en su primera etapa tiene como finalidad realizar la selección de componentes que se ajusten a los requerimientos de diseño, procurando que la toma de datos se realice adecuadamente, al tratarse de una aeronave pilotada remotamente, es necesario resolver el problema de la comunicación a distancia. El uso de sistemas y métodos de control por señales PWM, Bluetooth o Wifi es uno de los grandes retos que supone la investigación, dado el nivel de precisión de las medidas de temperatura en tiempo real, motivo por el cual se consideran aspectos como la manufactura aditiva (Impresión 3D) y la resolución del sensor para la cámara térmica (radiométrica), esto permite la modificación de parámetros para compensar el efecto del ambiente y del medio de transmisión que en este caso será la atmósfera. Obteniendo de esta manera mediciones infrarrojas prácticas que tendrán como condiciones iniciales (Temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento, emisividad, entre otros) los cuales servirán como método de calibración del instrumento de medición.

La segunda etapa de la metodología consiste en obtener información de la caracterización del sistema de distribución del alimentador N° 01CV13B1S4 – Latacunga sur de la subestación 01CV – El Calvario de ELEPCO S.A. en el cual se toma en cuenta parámetros eléctricos y operativos en el año 2021 y 2022. En el siguiente paso se pretende evaluar los puntos calientes en diferentes elementos de los transformadores de distribución para distintos tramos del alimentador, a través de la aplicación de la práctica recomendada “SNT-TC-1A” y una vez realizado este proceso, se analizará el diferencial de temperatura  $\Delta T$  en función de una temperatura de referencia dada por la normativa ANSI/NETA MTS-2011.

Dando así una acción recomendada según la gravedad en la cual se clasificará el problema. Por lo que la hipótesis será comprobada a través de las herramientas de recolección de datos “entrevista” que se realizarán al personal de planificación de ELEPCO S.A y será validada mediante el método experimental según la metodología propuesta.

La tercera y última etapa se desarrolla la implementación de un plan de mantenimiento que hace referencia a los resultados obtenidos en la etapa II, donde estos datos son tabulados mediante el uso de criterios de aceptación o rechazo, por lo que se clasificarán por tareas proactivas o tareas de mantenimiento de acuerdo al mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. Esta etapa se basa en el método inductivo según la metodología de la investigación.

### **Tipos de investigación**

#### ***Investigación aplicada***

La investigación aplicada permite resolver problemas que se den en la red de distribución de 13.8 kV de ELEPCO S.A. a través de la aplicación del método científico desde un punto de vista de mejora en sus planes de mantenimiento.

#### ***Investigación descriptiva***

La investigación cuenta con la caracterización de los elementos eléctricos presentes en el alimentador, por lo que, basado en datos reales de la red se pretende la actualización de los ensayos no destructivos existentes.

### **Diseño de la investigación**

Basado en Palella & Martins (2012) el diseño de investigación es la estrategia que utiliza el investigador para la resolución del problema planteado, mismo que define el método para cumplir con los objetivos planteados.

El objetivo de la investigación es “Analizar puntos calientes en el alimentador N° 01CV13B1S4 – Latacunga sur de la subestación 01CV – El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.) mediante Termografía Infrarroja en un dron comercial Phantom 4 y establecer un plan de mantenimiento”.

El trabajo de se realiza en base a la investigación no experimental, con la ayuda de datos obtenidos sin manipular la variable temperatura, siendo así objetivos con la información recopilada

### ***Investigación bibliográfica***

La investigación bibliográfica implica un conjunto de actividades destinadas a localizar documentos que se relacionan con un tema o un autor en específico, brinda la información sobre trabajos investigativos realizados con anterioridad. Udelar (2020)

Para el desarrollo de este proyecto fue necesario el apoyo de fuentes bibliográficas como: libros, catálogos, artículos y trabajos de titulación, los cuales brindaron la información necesaria para la selección de los equipos, además de servir de guía para la inspección de los quipos y la elaboración del plan de mantenimiento mediante el uso de la inspección termográfica como técnica de mantenimiento.

### ***Investigación de campo***

El propósito de la investigación de campo es recolectar datos de fuentes, mediante una observación estructurada y el uso de diversas herramientas, como: encuestas, estudios de caso, prácticas de campo y entrevistas. Guzmán (2019)

La investigación se desarrolló en el alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur de la subestación 01CV–El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.), lugar en donde se recolectará datos y evidencia fotográfica del estado de los elementos de la red, mediante el uso de una cámara termográfica.

### ***Investigación Descriptiva***

La investigación descriptiva es utilizada en la ciencia para describir las características del fenómeno o población a estudiar, este caso de estudio va a permitir identificar las posibles fallas en los elementos de la red, lo cual será descrito más a profundidad en el plan de mantenimiento.

## **Niveles de investigación**

### ***Exploratorio***

Este nivel de investigación inicia con la identificación de puntos calientes en los diferentes elementos del alimentador N° 01CV13B1S4 – Latacunga sur de la subestación 01CV – El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.), los cuales son síntomas de posibles fallas en la red.

### ***Predictivo***

Con los datos recolectados mediante el uso del drone modificado se puede identificar el diferencial de temperatura, que será la variable a considerar al momento de realizar el mantenimiento o reemplazo de los activos del sistema.

### ***Descriptivo***

Con los datos recolectados mediante el uso del drone modificado se puede tener la información necesaria, para poder establecer un plan de mantenimiento predictivo, en el que tendrá constancia los protocolos que deben seguir al momento de realizar inspecciones en el sistema.

### **Muestra**

Para determinar la muestra fue necesario realizar un levantamiento del total de los elementos de la red, en este caso se consideró a los transformadores debido a que son los activos que más problemas pueden presentar al momento de su funcionamiento. Con la información recolectada se han contabilizado 297 Sistemas de Transformación y Distribución, que se dividen según lo indicado en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

*Sistemas de Transformación y Distribución del Alimentador 4 perteneciente a ELEPCO S.A*

| <b>Tipo</b>                     | <b>Cantidad</b> |
|---------------------------------|-----------------|
| Trifásico en Poste              | 66              |
| Monofásico en Poste             | 218             |
| Padmounted Trifásico Exterior   | 4               |
| Padmounted Monofásico Exterior  | 1               |
| Padmounted Trifásico en Cabina  | 5               |
| Padmounted Monofásico en Cabina | 3               |
| <b>TOTAL</b>                    | <b>297</b>      |

*Nota.* Del total de transformadores contabilizados se considerarán únicamente los trifásicos y monofásicos en poste, siendo un total serían 284 transformadores. Se aplica la fórmula para determinar el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q} \quad (7)$$

Donde:

$n$ : Tamaño de la muestra

$N$ : Tamaño de la población

$Z$ : Nivel de confianza

$e$ : Error de estimación máximo aceptado

$p$ : Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

$q = (1 - p)$ : Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Para obtener el nivel de confianza se empleará la Tabla 3, la cual permite determinar el parámetro estadístico que se debe utilizar dependiendo de porcentaje certeza del evento estudiado, la mayoría de los investigadores utilizan el nivel de confianza del 95%.

**Tabla 3.**

*Nivel de confianza*

| Nivel de confianza | Z    |
|--------------------|------|
| 99,7 %             | 3    |
| 99 %               | 2,58 |
| 96 %               | 2,05 |
| 95 %               | 1,96 |
| 90 %               | 1,64 |
| 80 %               | 1,28 |

*Nota.* Tomado de Perez (2005)

Para el cálculo del tamaño de la muestra, se consideró una probabilidad del 50%.

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q}$$

$$n = \frac{284 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.1^2 * (284 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 71,96 \approx 72 \text{ Transformadores}$$

### **Técnicas de Recolección de Datos**

Gran parte de la investigación es posible gracias a la información otorgada por el Departamento de Mantenimiento y por el Dirección De Planificación de ELEPCO S.A., mismos que se centran en el sistema de distribución de la ciudad de Latacunga, donde se pone a disposición de datos históricos de inspecciones termográficas de los años 2021 y 2022; así como de las operaciones que se llevan a cabo en el alimentador.

El Centro de Información para Estudios Técnicos (CIETEC) en conjunto con el Centro de Control Local de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.) proporcionarán datos de demandas de potencia del alimentador por mes y caracterización de los elementos a inspeccionar, otros datos se obtendrán de manera externa mediante investigación de campo, en la Tabla 4 se detallan los instrumentos de recolección de datos utilizados.

**Tabla 4.**

*Instrumentos para la recolección de datos*

| <b>Técnicas</b>                | <b>Instrumentos</b>  |
|--------------------------------|--|
| Análisis Documental:           | Fuentes Bibliográficas<br>Normativa Eléctrica<br>Manual de Equipos<br>Datos operativos del alimentador |
| Observación de campo:          | Observación directa<br>Material fotográfico  |
| Entrevista:                    | Guion de entrevista  |
| Análisis de inspección visual: | Cámara DJI Phantom 4 Advanced  |
| Análisis Termográfico:         | Cámara FLIR Duo Pro R  |

### **Técnicas de Análisis de Datos**

Para el análisis de datos se tomó en cuenta el diferencial de temperatura  $\Delta T$  de cada activo del alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur de la subestación 01CV–El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.), cuyo valor será comparado con la referencia de niveles de severidad en vigencia.

Esto va a permitir clasificar el problema y tomar las decisiones necesarias que pueden ir desde acciones de mantenimiento o incluso el reemplazo del equipo afectado. Además, que la información recolectada va a permitir establecer un plan de mantenimiento.

### **Técnicas de Comprobación de Hipótesis**

Para la comprobación de la hipótesis se utilizará la herramienta de recolección de datos denominada “entrevista”, que se realizarán al personal de mantenimiento de (ELEPCO S.A.), la cual se validará mediante la metodología propuesta.

El análisis de puntos calientes será realizado en función de procedimientos y criterios de operación de equipos eléctricos, la norma que establece estos criterios es la norma ANSI/NETA MTS-2011 en función de las acciones sugeridas de (ELEPCO S.A.), la cual determina el diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ) existente en el elemento analizado, y se determina de la siguiente forma:

$$\Delta T = T_{max} - T_{ref} \quad (8)$$

Donde:

$T_{max}$ : Temperatura máxima medida en el elemento

$T_{ref}$ : Temperatura de referencia 0

La “temperatura de referencia” es la temperatura otorgada por el fabricante, autores reconocidos o por datos históricos presentes en el activo, en los sistemas eléctricos, los fallos que producen anomalías térmicas se clasifican en función de gravedad, las cuales conllevan a establecer acciones de acuerdo al nivel de variación en la medición térmica, como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5.**

*Acciones sugeridas basadas en el aumento de temperatura según I ANSI/NETA MTS-2011*

| Diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) basado en comparaciones entre componentes similares bajo carga similar | Diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) basado en comparaciones entre componente y temperaturas del aire ambiente | Acción recomendada   |
|---|--|--|
| 1°C – 3°C   | 1°C – 3°C  | Posible deficiencia; garantiza investigación                 |
| 4°C – 15°C  | 11°C – 20°C  | Indica probable deficiencia; reparar si el tiempo lo permite |
| -----   | 21°C – 40°C  | Supervisar hasta que se puedan tomar medidas correctivas     |
| >15°C   | >40°C  | Gran discrepancia; reparar inmediatamente                    |

*Nota.* La Tabla muestra las acciones a tomar de acuerdo al aumento de temperatura según ANSI/NETA MTS-2011, las especificaciones de temperatura varían según el tipo exacto de equipo, en ausencia de estándares de consenso para la temperatura, los valores de esta tabla proporcionan valores razonables. Tomado de ANSI (2011)

Sin embargo, ELEPCO S.A. dispone de sus propios criterios de acciones sugeridas para estudios termográficos los cuales son los más utilizados por el personal de mantenimiento de la empresa y son una adaptación de los criterios descritos por ANSI/NETA a sus propios sistemas eléctricos de distribución, además de clasificarse por niveles de voltaje, como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.**

*Acciones sugeridas basadas en el aumento de temperatura según ELEPCO S.A.*

| Diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) |               | Tipo de problema | Acción recomendada |
|--|---------------|------------------|--------------------|
| Bajo Voltaje                             | Medio Voltaje |                  |                    |
| 1°C – 9°C                                | 1°C – 5°C     | Leve             | Observación        |
| 10°C – 29°C                              | 6°C – 14°C    | Medio            | Programable        |
| 30°C – 49°C                              | 15°C – 29°C   | Severo           | Lo antes posible   |
| 50°C – 69°C                              | 30°C – 59°C   | Crítico          | Urgente            |
| 70°C – o más                             | 60°C – o más  | Extremo          | Muy urgente        |

*Nota.* La Tabla muestra las acciones a tomar de acuerdo al aumento de temperatura según ELEPCO S.A. Datos entregados por el Departamento de Mantenimiento de ELEPCO S.A.

Una vez valorado el factor temperatura se toma en cuenta que siempre deberá ser comparado con elementos formados por el mismo material para la toma de decisión o acción que se debe llevar a cargo y las cuales se enumeran de menor a mayor urgencia a continuación:

- **Observación:** No es necesaria ninguna acción hasta el próximo estudio predictivo.
- **Programable:** Realizar un seguimiento para ver la evolución del punto caliente.
- **Lo antes posible:** Actuar lo antes posible teniendo en cuenta la dinámica de cada empresa y sus turnos de trabajo, se aprovechará el paro más inmediato para corregir el problema.
- **Urgente:** Estudiar la posibilidad de interrumpir el suministro de energía para corregir el problema.
- **Muy urgente:** Interrumpir el suministro de energía inmediatamente para corregir el problema.

El tiempo empleado en la realización del mantenimiento predictivo es variable, pero cuantificable, según el Departamento de Mantenimiento de ELEPCO S.A. las termografías se requieren de movilización de personal calificado tanto por la mañana (hora de máxima demanda en el sector comercial e industrial) como por la noche (hora de máxima demanda en el sector residencial).

### **Criterios de selección del Alimentador según indicadores de calidad de servicio técnico**

#### **FMIK y TTIK**

Según la Regulación Nro. ARCERNNR 002/20 se establecen límites de los parámetros FMIK (Frecuencia Media de Interrupción por kVA Nominal instalado) y TTIK (Tiempo Total de Interrupción por kVA Nominal instalado). ACERNNR (2020)

**Tabla 7.**

*Indicadores de calidad de servicio técnico FMIK y TTIK*

| Índice | Red | Alimentador   |               |
|--------|-----|---------------|---------------|
|        |     | Alta densidad | Baja densidad |
| FMIK   | 6.0 | 7.0           | 9.5           |
| TTIK   | 8.0 | 10.0          | 16.0          |

*Nota.* La tabla muestra los índices de cumplimiento de calidad del servicio técnico a nivel de alimentadores, el tipo de alimentador será para Baja densidad (Tipo de Alimentador < 50 kVA/km) y para Alta densidad (Tipo de Alimentador  $\geq$  50 kVA/km). Tomado de ACERNNR (2020).

El tipo de alimentador estudiado corresponde a un alimentador de alta densidad, los índices proporcionados por el departamento de mantenimiento de ELEPCO S.A. son los siguientes:

**Tabla 8.**

*Cumplimiento de índices Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur, año móvil enero 2021 a diciembre 2021*

| MES | KVA INSTALADO | TOTAL ÍNDICE  |               |
|-----|---------------|---------------|---------------|
|     | TOTAL         | FMIK TOTAL    | TTIK TOTAL    |
| Ene | -             | 0             | 0             |
| Feb | 9.207,5       | 0,8585        | 1,3490        |
| Mar | 9.207,5       | 0,0054        | 0,0198        |
| Abr | 9.207,5       | 0,0904        | 0,3472        |
| May | -             | 0             | 0             |
| Jun | -             | 0             | 0             |
| Jul | 9.262,5       | 0,0202        | 0,0557        |
| Ago | 9.382,5       | 0,0549        | 0,0412        |
| Sep | 9.432,5       | 0,3514        | 0,5157        |
| Oct | 9.432,5       | 0,8582        | 0,1268        |
| Nov | 9.507,5       | 0,2362        | 0,5236        |
| Dic | 9.607,5       | 4,1972        | 4,7486        |
|     | <b>TOTAL</b>  | <b>6,6724</b> | <b>7,7276</b> |

*Nota.* La tabla muestra el cumplimiento del alimentador seleccionado en el periodo enero 2021 – diciembre 2021, se denota que en este periodo ELEPCO S.A. cumplió con los índices mínimos de FMIK y TTIK. Datos entregados por el Centro de Información para Estudios Técnicos de ELEPCO S.A.

**Tabla 9.**

*Cumplimiento de índices Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur, año móvil enero 2022 a diciembre 2022*

| MES          | KVA INSTALADO<br>TOTAL | TOTAL ÍNDICE  |               |
|--------------|------------------------|---------------|---------------|
|              |                        | FMIK TOTAL    | TTIK TOTAL    |
| Ene          | 9.607,5                | 1,1347        | 0,2625        |
| Feb          | 9.622,5                | 1,7901        | 0,5455        |
| Mar          | 9.622,5                | 0,0083        | 0,0529        |
| Abr          | 9.622,5                | 0,0083        | 0,0156        |
| May          | -                      | 0             | 0             |
| Jun          | 9.622,5                | 0,0405        | 0,0562        |
| Jul          | 9.725,5                | 1,1498        | 0,9083        |
| Ago          | 9.875,5                | 0,0038        | 0,0020        |
| Sep          | 9.865,5                | 2,0182        | 1,4563        |
| Oct          | 9.865,5                | 0,0015        | 0,0026        |
| Nov          | 9.905,5                | 0,8889        | 0,0594        |
| Dic          | -                      | 0             | 0             |
| <b>TOTAL</b> |                        | <b>7,0441</b> | <b>3,3613</b> |

*Nota.* La tabla muestra el cumplimiento del alimentador seleccionado en el periodo enero 2022 – diciembre 2022, donde cabe recalcar que en el año 2022 los límites FMIK no se cumplen y la empresa se ve sancionada económicamente. Datos entregados por el Centro de Información para Estudios Técnicos de ELEPCO S.A.

## Registro y clasificación de interrupciones en el Alimentador

Las interrupciones deben ser registradas y clasificadas por la Empresa Distribuidora, teniendo en cuenta atributos como la duración, su origen y causas. Los indicadores de calidad de servicio son calculados considerando solamente las interrupciones de larga duración, y se tienen ciertas excepciones como los son interrupciones generales o de causa mayor.

**Tabla 10.**

*Cantidad de interrupciones en Medio Voltaje para el Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur, años móviles de enero 2021 a diciembre 2022*

| Catálogo Interrupción                          | Protección  |           |         | Total |
|--|-------------|-----------|---------|-------|
|  | Tirafusible | Disyuntor | Ninguna |       |
| Choques de vehículos                           | 4           | 1         | 1       |       |
| Descargas atmosféricas (Rayos)                 | 2           | -         | -       |       |
| Estabil.Sist.Propio.Distrib.Con.Alt.Tec        | 2           | 4         | -       |       |
| Falla de equipamiento, material y acces        | 1           | 1         | 1       |       |
| Daño o interferencia accidental por trabajos   | -           | 1         | -       |       |
| Viento fuerte (Materiales llevados por viento) | 1           | 1         | -       |       |
| Fauna  | 4           | 2         | -       |       |
| Neblina / Lluvia / Granizo                     | -           | -         | -       | 43    |
| Programadas (Ampliaciones / Mejoras)           | -           | -         | -       |       |
| Falla humana                                   | -           | -         | -       |       |
| Vegetación (sin incluir desbroce)              | -           | -         | -       |       |
| Hurto / Vandalismo                             | -           | -         | -       |       |
| Programadas mantenimiento Prev/ Pred           | -           | -         | -       |       |
| Otros  | 4           | 12        | 1       |       |

*Nota.* La tabla muestra la cantidad de interrupciones producidas en el alimentador durante el año móvil noviembre 2021 – diciembre 2022. Datos entregados por el Centro de Información para Estudios Técnicos de ELEPCO S.A.

La Regulación Nro. ARCONEL 005/18 establece procesos de sanciones económicas que aplica ARCONEL a las Empresas Distribuidoras, debido al incumplimiento de los límites de calidad o por no entrega de información y/o entrega de información inexacta o distorsionada, la Tabla 10 muestra el resumen de sanciones aplicadas a las empresas distribuidoras en para el año móvil a mayo 2019. ARCONEL (2018)

**Tabla 11.**

*Resumen de sanciones año móvil a mayo 2019 – Calidad de Servicio Técnico*

| Distribuidora         | Sanciones por incumplimiento de índices de calidad de red (USD) | Sanciones por incumplimiento de índices de calidad de red (USD) | TOTAL (USD)      |
|-----------------------|---|---|------------------|
| CNEL-Bolívar          | 15.760  | 189.120   | 204.880          |
| CNEL-EI Oro           | 15.760  | 622.520   | 638.280          |
| CNEL-Esmeraldas       | 15.760  | 748.600   | 764.360          |
| CNEL-Guayaquil        | -   | 63.040  | 63.040           |
| CNEL-Gua. Los Ríos    | 15.760  | 1.048.040   | 1.063.800        |
| CNEL-Los Ríos         | 15.760  | 598.880   | 614.640          |
| CNEL-Manabí           | 7.880   | 386.120   | 394.000          |
| CNEL-Milagro          | 15.760  | 693.440   | 709.200          |
| CNEL-Sta. Elena       | 15.760  | 780.120   | 795.880          |
| CNEL-Sto. Domingo     | -   | 7.880   | 7.880            |
| CNEL-Sucumbíos        | 15.760  | 354.600   | 370.360          |
| <b>Total CNEL EP</b>  | <b>133.960</b>  | <b>5.492.360</b>  | <b>5.626.320</b> |
| EE. Ambato            | -   | 204.880   | 204.880          |
| EE. Azogues           | -   | -   | -                |
| EE. Centro Sur        | 7.880   | 220.640   | 228.520          |
| <b>EE. Cotopaxi</b>   | <b>7.880</b>  | <b>157.600</b>  | <b>165.480</b>   |
| EE. Galápagos         | 15.760  | 189.120   | 204.880          |
| EE. Norte             | 15.760  | 488.560   | 504.320          |
| EE. Quito             | -   | 63.040  | 63.040           |
| EE. Riobamba          | 15.760  | 457.040   | 472.800          |
| EE. Sur               | -   | 141.840   | 141.840          |
| <b>Total Nacional</b> | <b>197.000</b>  | <b>7.415.080</b>  | <b>7.612.080</b> |

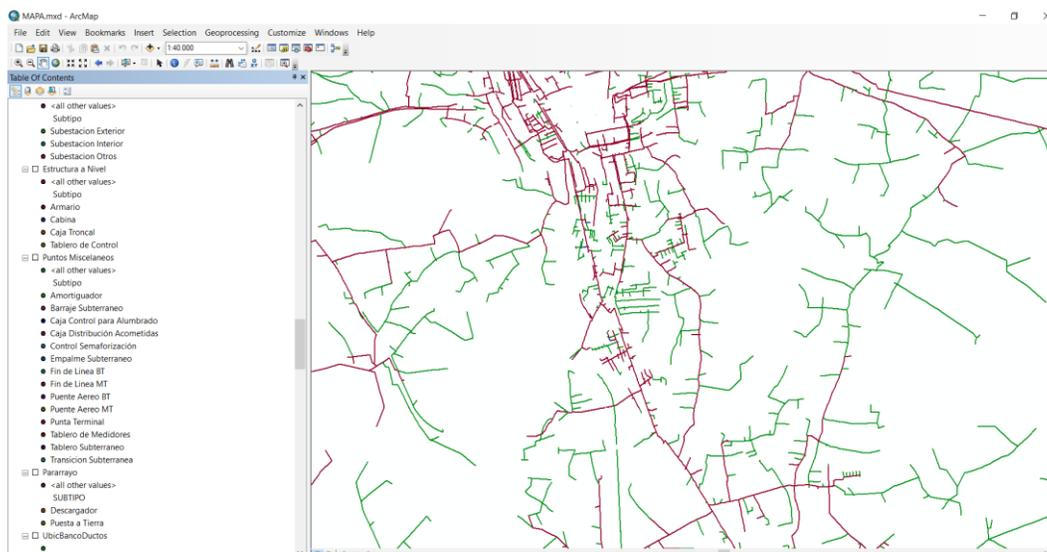
*Nota.* La tabla muestra las sanciones el año móvil a mayo 2019, donde se observa que gran cantidad de sanciones se debe al incumplimiento de índices de calidad en alimentadores de ELEPCO S.A, con un valor total de \$165.480. Datos entregados por el Centro de Información para Estudios Técnicos de ELEPCO S.A.





**Figura 22.**

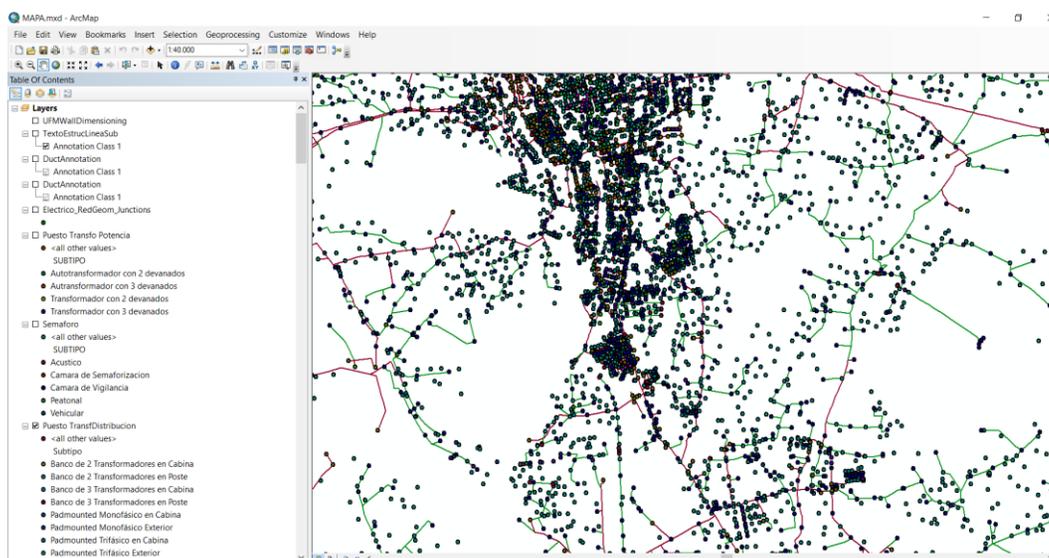
*Recorrido del Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur en el software ArcMap 10.5*



*Nota.* El gráfico muestra el recorrido del Alimentador con el tramo de MV Aéreo visible. Datos entregados por el Centro de Información para Estudios Técnicos de ELEPCO S.A.

**Figura 23.**

*Ubicación de los elementos del Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur.*



*Nota.* El gráfico muestra la ubicación de los elementos eléctricos presentados en la Tabla 9.

Datos entregados por el Centro de Información para Estudios Técnicos de ELEPCO S.A.

## Capítulo IV

### Propuesta

#### Introducción

En este capítulo se procederá al montaje de la cámara térmica en el dron, para lo cual fue necesaria la selección de los equipos buscando que cumplan con todas características que requeridas para el desarrollo del proyecto. Se procede con el diseño y, mediante tecnología de manufactura (impresión 3D) se imprime el prototipo de soporte que tiene el fin de sujetar los componentes del sistema, luego de realizar las respectivas pruebas de vuelo y funcionamiento se procede al reconocimiento de la salida alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur de la subestación 01CV–El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.), para de esta forma identificar los puntos que tengan mayor probabilidad de tener puntos calientes debido a la carga que manejan y a los índices de calidad de servicio.

Una vez verificada la funcionalidad del equipo se procederá a recolectar información fotográfica de campo y térmica de los diferentes elementos que conforman la red, para luego realizar un análisis e identificar la existencia de puntos calientes que puedan poner en riesgo al activo para esto se utilizará la práctica recomendada SNT-TC-1A, y para finalizar se establecerá un plan de mantenimiento.

#### Datos informativos

**Institución:**

Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

**Beneficiarios:**

Tesistas

Sistema Eléctrico de Distribución 13,8 kV

Subestación “El Calvario”

**Ubicación:**

Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga. Parroquia Latacunga

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Implementar una cámara termográfica en un dron comercial Phantom 4 para el estudio de puntos calientes en el alimentador N° 01CV13B1S4 – LATACUNGA SUR DE LA SUBESTACIÓN 01CV – EL CALVARIO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI (ELEPCO S.A.).

### ***Objetivos Específicos***

- Realizar el montaje de la cámara térmica en el dron comercial Phantom 4 mediante el uso de un soporte manufacturado con tecnología de impresión 3D.
- Realizar ensayos de vuelo y de telemetría.
- Identificar los transformadores que posean mayor cargabilidad dentro del alimentador N° 01CV13B1S4 – LATACUNGA SUR por medio de investigación de campo y a través de datos proporcionados por el Centro de Información para Estudios Técnicos de ELEPCO S.A.
- Validar la información a través de un plan de mantenimiento mediante el uso de la información levantada en el estudio termográfico.

### **Alimentador N° 01CV13B1S4–Latacunga sur de la subestación 01CV–El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.)**

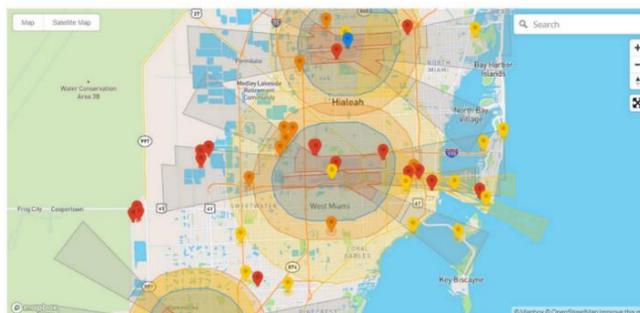
Para continuar con la propuesta fue necesario determinar las rutas que debe seguir el dron, para esto fue importante considerar las zonas que poseen mayor cargabilidad y las regiones que han presentado fallas previas, se ha utilizado los datos otorgados por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.).

**Tabla 12.***Listado de las rutas de termografía aérea*

| Ruta         | Ubicación               | Transformadores |             | Total |
|--------------|-------------------------|-----------------|-------------|-------|
|              |                         | Trifásicos      | Monofásicos |       |
| 1            | ESPE                    | 2               | 3           | 5     |
| 2            | La Laguna               | 6               | 1           | 7     |
| 3            | Aserradero Nelly        | 4               | 0           | 4     |
| 4            | Ciudadela "San Carlos " | 0               | 6           | 6     |
| 5            | AKÍ Sur                 | 4               | 1           | 5     |
| 6            | Servientrega Sur        | 0               | 5           | 5     |
| 7            | Ciudadela "El Bosque "  | 0               | 7           | 7     |
| 8            | Prodicereal             | 4               | 2           | 6     |
| 9            | Niagara mirador         | 0               | 4           | 4     |
| 10           | Sayani                  | 0               | 4           | 4     |
| 11           | Bethlemitas             | 4               | 3           | 7     |
| 12           | UPC Bethlemitas         | 0               | 4           | 4     |
| 13           | Registro Civil          | 0               | 8           | 8     |
| <b>Total</b> |                         | 24              | 48          | 72    |

**Zonas Geo**

Según BMP (2021), las Zonas Geo son límites virtuales que presentan restricciones en los drones para sobrepasarla, son zonas que se detentan automáticamente por las aeronaves no tripuladas mediante su sistema de posicionamiento (GNSS), además mediante el radio control y un mapa cartográfico se muestra al usuario los sectores donde existe prohibición o no de vuelo.

**Figura 24.***Zonas Geo*

*Nota.* Tomado de BMP (2021)

### ***Zonas Geo en Cotopaxi - Latacunga***

El presente proyecto se desarrollará en la ciudad de Latacunga, por tal motivo hay que tener presente las zonas donde se restringe el vuelo de las aeronaves no tripuladas, debido a que el aeropuerto se encuentra cerca del alimentador se puede apreciar que existe un sector en el que se prohíbe pilotear drones.

Es necesario solicitar un permiso de Desbloqueo de Zona Geo a la empresa DJI que es la fabricante de los equipos, esta autorización llega de inmediato y tiene una vigencia de tres días

**Figura 25.***Zonas Geo en Cotopaxi - Latacunga*

*Nota.* La figura muestra las Zonas Geo en la ciudad de Latacunga. Tomado de DJIFLYSAFE (2023)

## Selección de equipos

### Selección del Drone

Para el desarrollo del proyecto es necesario el uso de aeronaves no tripuladas, el equipo seleccionado debe cumplir con las características necesarias de robustez para que pueda permanecer en vuelo y llevar el peso adicional de la cámara térmica.

**Tabla 13.**

*Tabla comparativa para selección del drone*

| Detalles                             | Phantom 3<br>Standard | Phantom 4<br>Advanced | DJI Matrice<br>600 | DJI Matrice<br>100 | DJI Mavic 2 |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| <b>Peso</b>                          | 1,2 kg ✓              | 1,3 g ✓               | 9,1 kg ✓           | 2,3 kg ✓           | 0,9 kg ✓    |
| <b>Carga Útil</b>                    | 0,3 kg ✗              | 0,5 kg ✓              | 6 kg ✓             | 1,3 kg ✓           | 82 g ✗      |
| <b>Autonomía de vuelo</b>            | 25 min ✓              | 30 min ✓              | 38 min ✓           | 40 min ✓           | 29 min ✓    |
| <b>Distancia Max. de Transmisión</b> | 1 km ✓                | 7 km ✓                | 5 km ✓             | 3,5 km ✓           | 18 km ✓     |
| <b>Resistencia al Viento Max.</b>    | 36 km/h ✗             | 36 km/h ✓             | 36 km/h ✓          | 36 km/h ✓          | 36 km/h ✗   |
| <b>Sistema anticolidión</b>          | Si ✓                  | Si ✓                  | Si ✓               | Si ✓               | Si ✓        |
| <b>Precio</b>                        | \$ 800 ✓              | \$1200 ✓              | \$ 6400 ✗          | \$ 3000 ✗          | \$ 2600 ✗   |

*Nota.* En la tabla se puede observar que el drone más óptimo para realizar el estudio es el Phantom 4 Advanced de la empresa DJI, este dispositivo permite al usuario realizar las modificaciones necesarias para implementar una cámara térmica y a su vez conservar una buena autonomía de vuelo

### Selección de la cámara termográfica

La correcta selección de la cámara es fundamental debido a que se debe escoger un dispositivo que cumpla con las características de resolución del sensor, FOV y control a distancia, además esta deberá ser radiométrica.

**Tabla 14.**

*Tabla comparativa para selección de la cámara termográfica*

| Detalles                  | FLIR Vue  |   | FLIR One  |   | FLIR Duo  |   | FLIR C5   |   | Seek Thermal |   |
|---------------------------|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|---|--------------|---|
|                           | Pro R     |   | Pro       |   | Pro R     |   |           |   |              |   |
| <b>Peso</b>               | 113.3 g   | ✓ | 36,5 g    | ✓ | 330 g     | ✓ | 190 g     | ✓ | 205 g        | ✓ |
| <b>Control Remoto</b>     | Si        | ✓ | No        | ✗ | Si        | ✓ | No        | ✗ | No           | ✗ |
| <b>Telemetría</b>         | Si        | ✓ | No        | ✗ | Si        | ✓ | No        | ✗ | No           | ✗ |
| <b>Resolución Térmica</b> | 640 * 512 | ✓ | 160 * 120 | ✗ | 336 * 256 | ✓ | 160 * 120 | ✗ | 320 * 256    | ✓ |
| <b>Radiometría</b>        | Si        | ✓ | No        | ✗ | Si        | ✓ | No        | ✗ | No           | ✓ |
| <b>Precio</b>             | \$ 4000   | ✗ | \$ 500    | ✓ | \$ 2400   | ✓ | \$ 750    | ✓ | \$ 550       | ✓ |

*Nota.* En la tabla se puede observar que la cámara termográfica más adecuada para el trabajo es la FLIR Duo Pro R, debido a que tiene una resolución del sensor infrarrojo de gama media - alta y posee las características de telemetría y radiometría necesarias para realizar un correcto análisis térmico

### Caracterización de los equipos

#### **Drone DJI - Phantom 4 Advanced**

El DJI Phantom 4 Advanced es un dispositivo aéreo que es capaz de evitar de manera inteligente colisiones durante el vuelo, su cámara ofrece una gran calidad de fotografía y vídeo, tiene un alcance de hasta 7 km y una autonomía de 25 minutos.

Tabla 15.

*Características Drone DJI - Phantom 4 Advanced*

| AERONAVE                                      |                        | CÁMARA                              |  |
|---|------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>Peso Total</b>                             | 1368 g                 | <b>Sensor</b>                       | 1" CMOS                                  |
| <b>Tamaño diagonal</b>                        | 350 mm                 | <b>Lente</b>                        | FOV 84°<br>8,8 mm/24 mm                  |
| <b>Máxima velocidad</b>                       | S: 72 kph              | <b>Tasa de bits de video máxima</b> | 100Mbps                                  |
| <b>Resistencia máx. vel viento</b>            | 10 m/s (36 km/h)       | <b>Foto</b>                         | JPEG, DNG (RAW),<br>JPEG + DNG           |
| <b>Tiempo máximo de vuelo</b>                 | 20 - 30 min            | <b>Video</b>                        | MP4/MOV<br>4k                            |
| <b>Rango de temperatura de funcionamiento</b> | 32°-104°F (0°-40°C)    | <b>Tarjetas SD compatibles</b>      | Micro SD: 128 GB                         |
| SISTEMA ANTICOLISIÓN                          |                        | CONTROL REMOTO                      |  |
| <b>Sistema de visión</b>                      | Hacia adelante y abajo | <b>Frecuencia de operación</b>      | 2.400 - 2.483 GHz<br>(sin obstrucciones) |
| <b>Rango de altitud</b>                       | 0 - 33 ft (0 - 10 m)   | <b>Distancia máxima</b>             | 7 km (sin obstrucciones)                 |

### **Cámara Termográfica Flir - Duo Pro R**

La cámara Térmica Flir - Duo Pro R es un dispositivo que permite generar imágenes térmicas y de luz visible mediante un doble sensor, tiene una amplia gama de aplicaciones comerciales e industriales de alto rendimiento.

Según FLIR (2017), la cámara está diseñada para ser montada en drones, ofreciendo a los operadores la capacidad de capturar imágenes en alta calidad, además de datos térmicos en un solo vuelo.

#### **Tabla 16.**

*Características de la cámara térmica Flir Pro Duo Pro R*



#### **Especificaciones Generales**

|                                |                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Sensor Infrarrojo</b>       | Microbolómetro VOx no refrigerado |
| <b>Banda Espectral</b>         | 7,5 – 13,5 micras                 |
| <b>Sensibilidad Térmica</b>    | < 50 mK                           |
| <b>Resolución Térmica</b>      | 336 x 256                         |
| <b>Velocidad de fotogramas</b> | 30 Hz                             |
| <b>Sensor Térmico / FOV</b>    | 13mm: 25°x 19°                    |
| <b>Resolución Visible</b>      | 4000 x 3000                       |
| <b>FOV Sensor Visible</b>      | 56° x 45°                         |

| <b>Especificaciones Generales</b>                             |  |
|---|--|
| <b>Radiometría</b>  |  |
| <b>Precisión de la medición</b>                               | +/- 5 C o 5 % en el rango de -25 °C a +135 °C<br>+/- 20 C o 20 % en el rango de -40 °C a +550 °C |
| <b>Atributos físicos</b>                                      |  |
| <b>Tamaño</b>   | 85 x 81,3 x 68,5 mm  |
| <b>Peso</b>   | 330 g  |
| <b>Procesamiento de imágenes y controles de visualización</b> |  |
| <b>Modos de imagen</b>  | Solo IR, Solo Visible, Imagen en Imagen (IR en Vis)  |
| <b>Paletas de colores múltiples</b>                           | Artic, Black Hot, Cool, Gray, Iron, Lava, Rainbow, Warm, De Imagen. Ajustable por PWM            |
| <b>Mejora de Imagen por MSX</b>                               | Sí   |
| <b>Sensor IMU</b>   |  |
| <b>GPS</b>  | Sí (GPS, GLONASS)  |
| <b>Otros sensores</b>   | Acelerómetro, Giroscopio, Magnetómetro, Barómetro  |
| <b>Interfaces</b>   |  |
| <b>USB 3.0</b>  | Entrada de alimentación, almacenamiento masivo USB   |
| <b>Puerto de accesorios (10 pines)</b>                        | Entrada de alimentación, salida de vídeo analógico, PWM, MAVLink                                 |
| <b>micro-HDMI</b>   | Salida de vídeo digital  |
| <b>Voltaje de alimentación</b>                                | 5,5 - 26,0 V DC  |
| <b>Control Remoto</b>   | Sí (PWM – 3 canales)   |

Nota. La tabla muestra la caracterización de la cámara termográfica seleccionada, se resalta la característica de ser controlada remotamente por señales PWM.

### **Emisor Flysky - FS-T6**

El emisor seleccionado es de la marca Flysky modelo FS-T6, el cual es un dispositivo que genera señales de pulso moduladas (PWM), el cual permitirá controlar las funciones que tiene la cámara mientras el drone se encuentre en vuelo.

#### **Tabla 17.**

#### *Características del emisor Flysky - FS-T6*



#### **Especificaciones Generales**

|                                    |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| <b>Canales</b>                     | 6                 |
| <b>Rango de radiofrecuencia</b>    | 2,4055-2,475 GHz  |
| <b>Potencia de radiofrecuencia</b> | Menos de 20 dBm   |
| <b>Protocolo</b>                   | AFHDS             |
| <b>Alarma de Alto Voltaje</b>      | Inferior a 9v     |
| <b>PS2/USB Port</b>                | PS/2 port PWM     |
| <b>Longitud de antena</b>          | 26 mm             |
| <b>Voltaje de alimentación</b>     | 12V DC - 1.5A     |
| <b>Peso</b>                        | 590 g             |
| <b>Tamaño</b>                      | 191 x 93 x 302 mm |
| <b>Color</b>                       | Plata             |
| <b>Certificado</b>                 | CE, FCC           |

### Receptor Flysky - FS-R6B

Para realizar la comunicación entre el emisor y la cámara se utilizó el receptor Flysky modelo FS-R6B.

**Tabla 18.**

*Características del receptor Flysky - FS-R6B*



#### Especificaciones Generales

|                                |                    |
|--------------------------------|--------------------|
| <b>Canales</b>                 | 6                  |
| <b>Radiofrecuencia</b>         | 2,4 GHz            |
| <b>Protocolo</b>               | AFHDS              |
| <b>Distancia</b>               | >150m              |
| <b>Tipo de Antena</b>          | Antena Incorporada |
| <b>Voltaje de alimentación</b> | 4 – 6,5 VCC        |
| <b>RSSI</b>                    | No                 |
| <b>Temperatura</b>             | 0°C – 60 °C        |
| <b>Humedad</b>                 | 20% - 95%          |
| <b>Actualizar línea</b>        | No                 |
| <b>Tamaño</b>                  | 45 x 23 x 13 mm    |
| <b>Peso</b>                    | 13 g               |
| <b>Certificado</b>             | CE, FCC            |

**Gafas de video EACHINE - EV800DM****Tabla 19.***Características de las gafas de video EACHINE - EV800DM*

| <b>Pantalla</b>                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>Tamaño</b>                   | 5 pulgadas  |
| <b>Resolución</b>               | 800*480   |
| <b>Brillo de la pantalla</b>    | 600cd/m2 con luz de fondo especial de alto brillo<br>LED para FPV al aire libre |
| <b>Ángulo de visión</b>         | 140/120 grados (Horizontal/Vertical)  |
| <b>Batería</b>                  |   |
| <b>Batería</b>                  | 200W  |
| <b>Potencia de carga</b>        | 10W   |
| <b>Baterías complementarias</b> | 0,5 A/celda máx.  |
| <b>Cuerpo</b>                   |   |
| <b>Dimensiones</b>              | 180x145x82mm  |
| <b>Peso</b>                     | 349g con batería de 2000mAh   |
| <b>Cinturón</b>                 | cinturón ajustable de tres vías   |

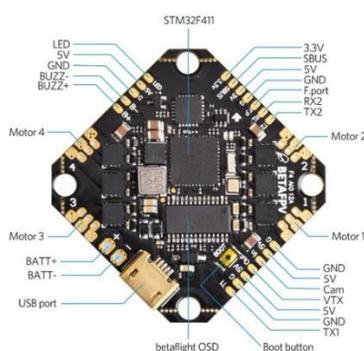


### **IMU - Placa controladora de vuelo - BETAFPV Toothpick F4 2-4S 12A**

La placa controladora es la encargada de coordinar todas las funciones del sistema de comunicación remota, permite la transmisión de video del VTX gracias a sus puertos UART, además de contar con filtros de corriente para alimentar al receptor y a la propia cámara termográfica

#### **Tabla 21.**

#### *Características de la IMU - BETAFPV Toothpick F4 2-4S 12A*



### **Especificaciones Generales**

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Versión de Firmware</b>     | Betaflight MATEKF411 (MK41)                  |
| <b>OSD</b>                     | BetaFlight OSD integrado                     |
| <b>Soporte de receptores</b>   | Frsky XM/XM +, Futaba, Flysky, TBS Crossfire |
| <b>Corriente de entrada</b>    | 12 A   |
| <b>Voltaje de alimentación</b> | 2S – 4S Lipo                                 |
| <b>Pico de Corriente</b>       | 15 A   |
| <b>Peso Neto</b>               | 6,2 g  |
| <b>Conector</b>                | XT30   |
| <b>Dimensiones</b>             | 32,5 x 32,5 mm                               |

### **Batería Lipo - TATTU 450mAh 2S 95C**

La batería seleccionada para alimentar todo el sistema (cámara termográfica, receptor, IMU, VTX) es una de tipo Lipo TATTU 450mAh 2S 95C, la cual cuenta con la capacidad suficiente para aproximarse a la autonomía del dron.

#### **Tabla 22.**

*Características de la batería Lipo TATTU 450mAh 2S 95C*



#### **Especificaciones Generales**

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Tipo</b>                                | Lipo (Litio - Polímero) |
| <b>Celdas</b>                              | 2S (Dos celdas)         |
| <b>Capacidad</b>                           | 450 mAh                 |
| <b>Capacidad de potencia</b>               | 3,42 Wh                 |
| <b>Voltaje</b>                             | 7,6 V                   |
| <b>Índice de descarga</b>                  | 95 C (Cargas)           |
| <b>Peso Neto</b>                           | 29 g                    |
| <b>Conector</b>                            | XT30                    |
| <b>Dimensiones</b>                         | 65 x 16,2 x 14,7 mm     |
| <b>Estándar Internacional de Seguridad</b> | Sí (ISO9001 y ISO14001) |

## Cargador de baterías Lipo ISDT - Q6 Nano BattGo 200W 8A

Tabla 23.

Características del cargador de baterías Lipo ISDT - Q6 Nano BattGo 200W 8A



### Especificaciones Generales

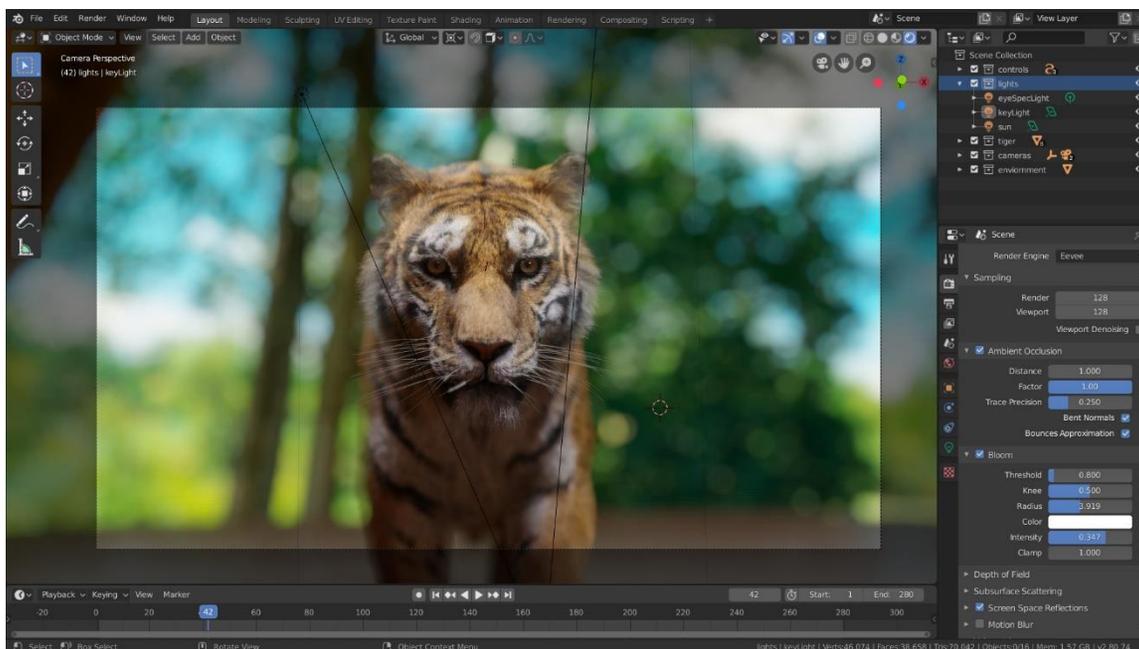
|                                     |                              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| <b>Voltaje de alimentación</b>      | CC 10-30V                    |
| <b>Corriente de entrada máxima</b>  | 9 A                          |
| <b>Voltaje de salida</b>            | CC 1-30V                     |
| <b>Corriente de carga</b>           | 0.1A-8.0A                    |
| <b>Corriente de descarga</b>        | 0.1A-1.0A                    |
| <b>Capacidad máxima de carga</b>    | 200W                         |
| <b>Capacidad máxima de descarga</b> | 10W                          |
| <b>Corriente de equilibrio</b>      | 0,5 A/celda máx.             |
| <b>Células de equilibrio</b>        | 2-6S                         |
| <b>Baterías compatibles</b>         | LiFe, León, LiPo, LiHV: 1-6S |
| <b>Pantalla</b>                     | LCD IPS de 1.5" 240X240      |
| <b>Tamaño</b>                       | 72x72x32 mm                  |
| <b>Peso Neto</b>                    | 120 g                        |

## Diseño y construcción del soporte para la cámara termográfica

El software de diseño CAD empleado para el diseño es Blender, este software es una suite de creación 3D gratuita y de código abierto, ofrece una amplia gama de herramientas las cuales son Modelado, Renderizado, Animación, Edición de Video, VFX, Composición, Texturizado y muchos tipos de Simulaciones (Blender, 2023).

### Figura 26.

Interfaz gráfica de Blender versión 3.6



*Nota.* Tomado de (Blender, 2023)

El soporte para la cámara termográfica deberá ser lo más ligero posible y contar con la robustez necesaria para albergar a todos los elementos mencionados en la caracterización de equipos.

El procedimiento se reduce a ensayo y error, teniendo un total de 9 prototipos con distintas características como peso, refrigeración y reducción de vibraciones, e incluso tren de aterrizaje, mediante su posterior impresión en 3D en PLA, las piezas son sometidas a ensayos de vuelo donde se verifica su funcionalidad y se procede su impresión en PETG. La selección del diseño se detalla a continuación:

Tabla 24.

Tabla comparativa para selección del diseño

| Tabla comparativa para selección del diseño   |   |      |                       |    |                          |    |                 |    |
|---|---|------|-----------------------|----|--------------------------|----|-----------------|----|
| Detalles  | Peso Neto   |      | Refrigeración natural |    | Reducción de vibraciones |    | Ángulo variable |    |
|   | <b>Prototipo 1</b><br> | 168g | X                     | Si | ✓                        | No | X               | No |
| <b>Prototipo 2</b><br>  | 91 g  | X    | Si                    | ✓  | No                       | X  | No              | X  |
| <b>Prototipo 3</b><br> | 81 g  | X    | Si                    | ✓  | No                       | X  | No              | X  |
| <b>Prototipo 4</b><br> | 74 g  | X    | Si                    | ✓  | Si                       | ✓  | Si              | ✓  |
| <b>Prototipo 5</b><br> | 68 g  | X    | Si                    | ✓  | Si                       | ✓  | Si              | ✓  |

| Tabla comparativa para selección del diseño   |      |   |    |   |    |   |    |   |
|---|------|---|----|---|----|---|----|---|
| <b>Prototipo 6</b><br> | 46 g | ✗ | Si | ✓ | Si | ✓ | Si | ✓ |
| <b>Prototipo 7</b><br> | 39 g | ✓ | Si | ✓ | Si | ✓ | Si | ✓ |
| <b>Prototipo 8</b><br> | 28 g | ✓ | Si | ✓ | Si | ✓ | Si | ✓ |

*Nota.* En la tabla se puede observar que se selecciona el diseño de menor peso, debido al peso extra que represente la cámara y el sistema de control a distancia, el Drone necesitará una base de despegue

El diseño final se presenta a continuación:

### Figura 27.

*Interfaz gráfica de Blender versión 3.6*



## Control a distancia de la cámara termográfica

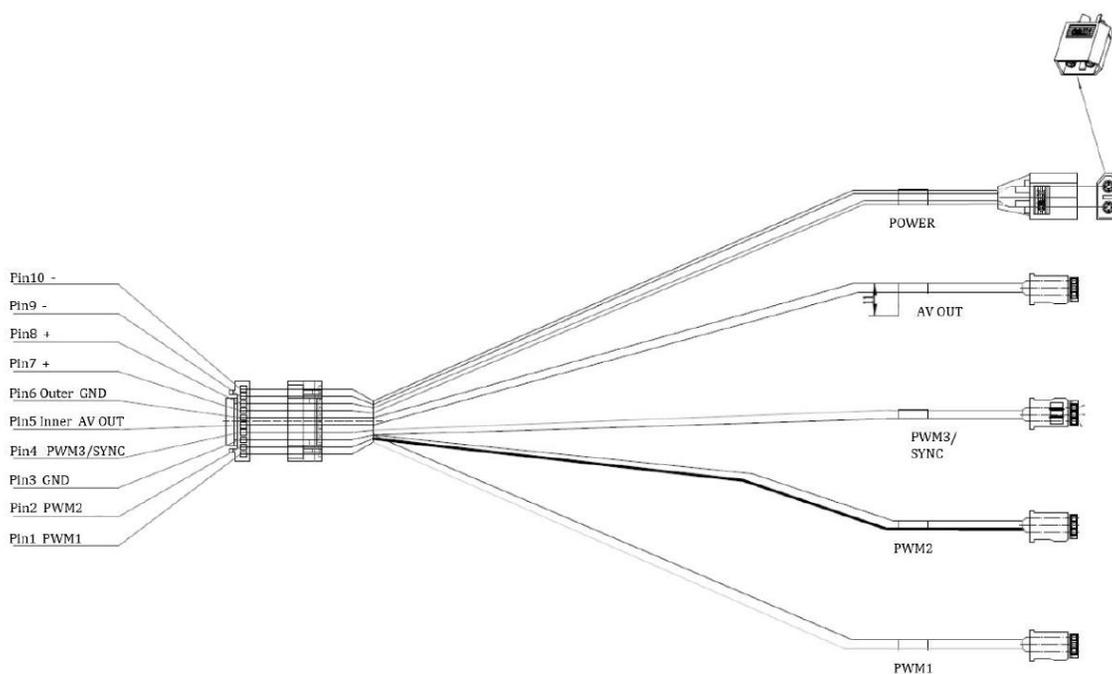
El control a distancia de la cámara termográfica depende de 4 aspectos generales:

1. El control de sus funciones principales por señales PWM
2. La transmisión de video a través del VTX
3. El uso de una placa controladora IMU como filtro de línea de alimentación y soporte UART para la transmisión de video, entre otras funciones.
4. Vinculación del sistema mediante el uso de la App Flir Uas 2

Este sistema desempeña su meta gracias al cable de integración proveniente de fábrica con la cámara Flir Duo Pro R, este cable se alimenta con un voltaje de 5,5 – 26 VDC mediante el conector XT-30.

### Figura 28.

*Cable de integración*



*Nota.* La figura muestra el cable de integración, encargado de transmitir señales hacia el puerto de accesorios de la cámara Flir Duo Pro R. Tomado de FLIR (2017)

### **Control de funciones de la cámara mediante señales PWM**

Se realiza con el empleo del emisor y receptor de la marca Flysky, el receptor se conecta a la cámara termográfica (mediante el puerto de accesorios que cuenta con 3 entradas de señales PWM) y el emisor se mantiene en tierra.

**Tabla 25.**

*Puerto de accesorios de la cámara termográfica Flir Duo Pro R*

| <u>DF13-7S-1.25C</u> | <u>Signal</u>       | <u>Wire Color</u> | <u>Length</u>  | <u>Construction</u>    |
|----------------------|---------------------|-------------------|----------------|------------------------|
| Pin 1                | PWM_1               | GRN               | 750mm<br>(30") | 30AWG<br>Twisted Pair  |
| Pin 2                | PWM_2               | WHT               |                | 30 AWG<br>Twisted Pair |
| Pin 3                | GND                 | BLK               |                |                        |
| Pin 4                | PWM_3 /<br>Sync     | ORG               |                | 30AWG<br>Twisted Pair  |
| Pin 5                | Analog<br>Video Out | BLU               |                | 28AWG<br>CoAxial       |
| Pin 6                | Analog<br>Video GND | GREY              |                |                        |
| Pin 7                | Power (+)           | RED               |                | 28 AWG                 |
| Pin 8                | Power (+)           | RED               |                | 28 AWG                 |
| Pin 9                | Power (-)           | BLK               |                | 28 AWG                 |
| Pin 10               | Power (-)           | BLK               |                | 28 AWG                 |

*Nota.* La Tabla muestra el puerto de accesorios de la cámara Fli Duo Pro R donde se denota que esta dispone de 10 pines con los que se controla la mayoría de funciones de la cámara.

Tomado de FLIR (2017)

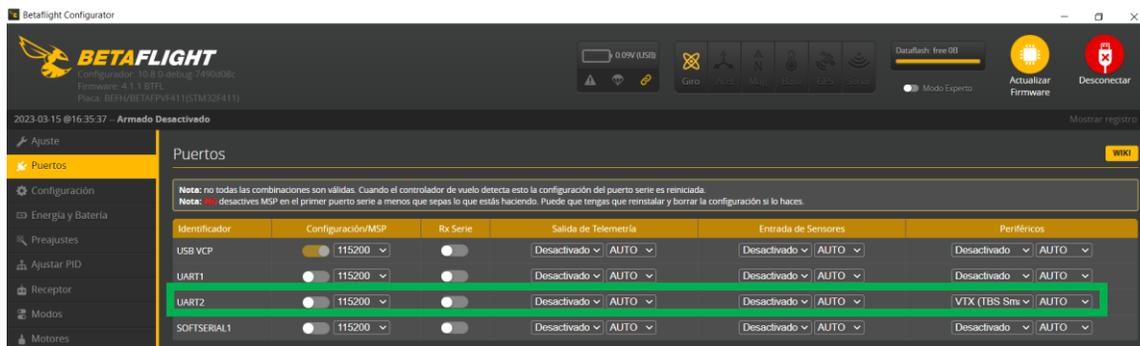
### **Transmisión de video mediante el VTX**

El transmisor de video o VTX de la marca BETAFPV es el encargado de emitir la señal analógica a una potencia de (25, 100, 200 o 350 mW) a una frecuencia de 5,8 GHz hacia las gafas Eachine EV800DM.

Su configuración se la realiza mediante la conexión de la placa controladora IMU al software Betaflight Configurator, donde se deberá seleccionar su puerto UART 2 como periférico con protocolo Smart Audio como se muestra a continuación:

Figura 29.

Configuración del puerto UART para el VTX en el software Betaflight Configurator

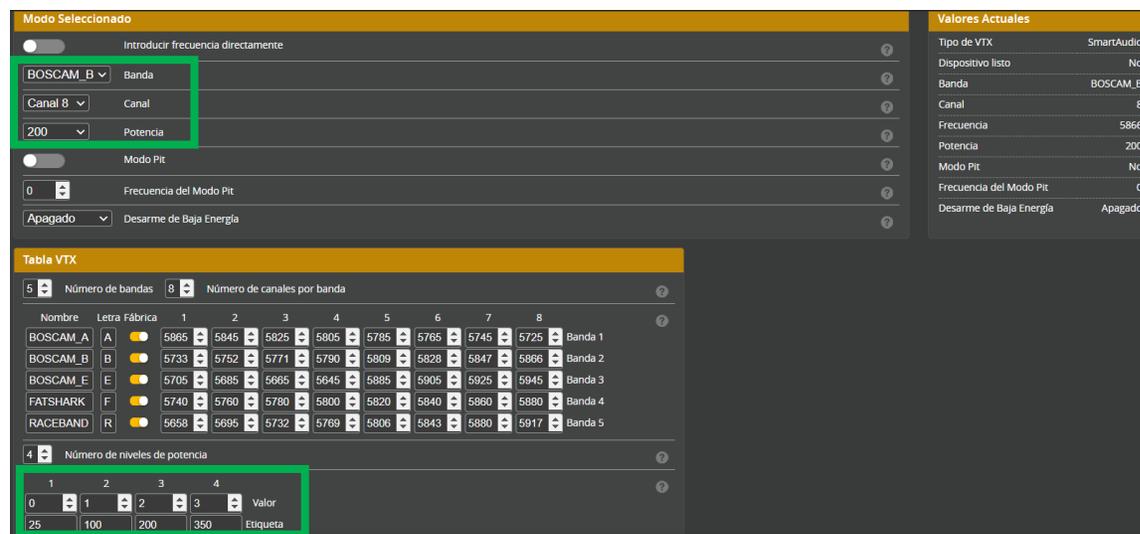


Nota. La Figura muestra la interfaz del software Betaflight Configurator

En el software se selecciona la potencia de transmisión, la cual será de 200 mW la cual ofrece un radio de hasta 600 m de transmisión analógica, reduciendo así el consumo de potencia. También se seleccionará una banda Boscam\_B en el Canal 8, por lo que la frecuencia de transmisión de video es de 5866 Hz.

Figura 30.

Configuración de potencia de transmisión del VTX en el software Betaflight Configurator



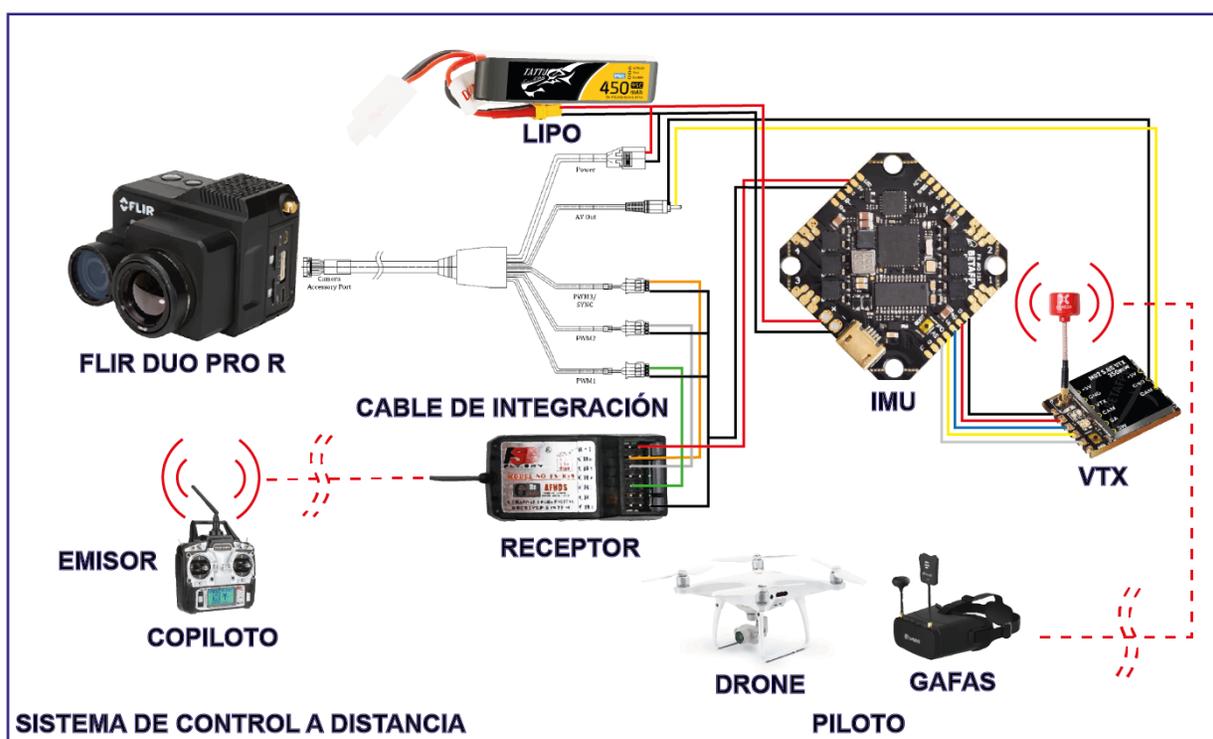
Nota. La figura muestra la tabla con el número de bandas y número de canales por cada banda, el rango de canales es de 5705 – 5917 Hz

### Conexión de elementos a la placa controladora IMU

La placa controladora es el elemento que recibe las señales del resto de elementos, la misma dispone de filtros de corriente que serán necesarios para una correcta alimentación al trabajar con corrientes elevadas, en la siguiente figura se observa la conexión de la misma.

**Figura 31.**

*Conexión de elementos a la placa controladora IMU*



*Nota.* La figura muestra la conexión de todos los elementos involucrados en el control a distancia de la cámara termográfica

El proceso de inspección termográfica involucra a dos usuarios los cuales son:

- **Piloto:** Encargado del manejo del dron, deberá contar con una licencia que avale el uso de drones de más de 250 gramos especialmente si se trata de aplicaciones en la industria.
- **Copiloto:** Encargado del apoyo logístico en el proceso de inspección.

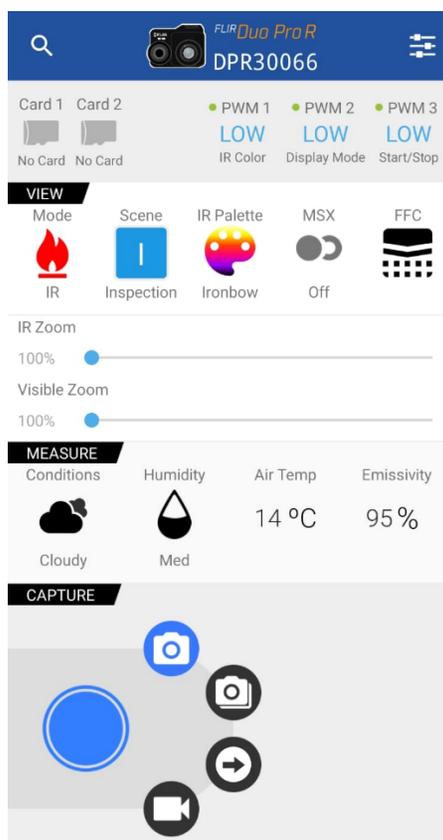
## Vinculación mediante la App Flir Uas 2

La aplicación Flir Uas 2 es la interfaz de control principal que dispone la cámara Duo Pro R, es compatible con dispositivos móviles equipados con Bluetooth, mediante la aplicación se realizará la configuración de las funciones de la cámara.

En el panel principal se encuentra la configuración de parámetros radiométricos y la configuración de grabación y fotografía, e incluso muestra la capacidad de las tarjetas Micro SD y las opciones de zoom óptico.

### Figura 32.

Panel principal de la App Flir Uas 2



Entre otras opciones se tiene el formato de imagen y video, inversión de la imagen para vuelos con la cámara del revés como es el caso y modo de conexión por PWM, Bluetooth y Usb.

Para la configuración de las entradas PWM se deberá colocar la función perteneciente a cada una de las entradas y elegir entre cuantos estados tendrá esta (2 o 3 estados, High – Middle – Low) dependiendo del Switch del emisor que será pulsado. Las variables radiométricas de humedad relativa, temperatura ambiente y velocidad del viento se obtienen gracias a la App UAV Forecast.

**Figura 33.**

*Configuración de las entradas PWM*



*Nota.* La figura muestra la conexión de todos los elementos involucrados en el control a distancia de la cámara termográfica y las variables de condiciones ambientales.

A continuación, se muestra las entradas en función de las acciones e interruptores que corresponden en la emisora FS-T6.

**Tabla 26.**

*Funciones y estados de las señales PWM*

| Entrada PWM  | Función         | Estados | Switch en emisor   |
|--------------|-----------------|---------|--------------------|
| <b>PWM 1</b> | Zoom Infrarrojo | 3       | Joystick izquierdo |
| <b>PWM 2</b> | Modo de visión  | 2       | SWB                |
| <b>PWM 3</b> | Capturar imagen | 2       | SWA                |

## Test de Vuelo

Los primeros test de vuelos están enfocados a la variable del peso que puede levantar el drone, por medio de una réplica de la cámara impresa en 3D (por motivos de seguridad de los equipos) y probetas previamente pesadas se realiza la prueba del peso máximo el cual podría levantar sin perder estabilidad, dando como resultado un peso máximo de hasta 450 gramos extras.

### Figura 34.

*Test de vuelo enfocado en el peso máximo*



En función de estos resultados se optimiza aún más el diseño del soporte y del sistema de control a distancia (mismo que consta de un peso neto de 420 gramos), también se retira la cámara del drone y los sensores inferiores para obtener ganancia de peso (con lo que se reducen 200 gramos) siendo de tan solo 220 gramos extras al peso normal que experimentaría el drone en condiciones normales.

El siguiente test consiste en pruebas de distancia de transmisión y comportamiento del drone ante ráfagas de viento moderadas, teniendo resultados positivos de hasta 600 metros de transmisión sin pérdida de señal.

### Figura 35.

*Test de vuelo enfocado en al sistema de control a distancia*



*Nota.* La figura muestra el sistema de control a distancia instalado en el morro del Drone

El test final consiste en un análisis termográfico completo en la hora pico de demanda, así como identificación de la distancia adecuada de inspección (la cual es entre 2 a 10 metros).

**Figura 36.**

*Test de vuelo enfocado a la distancia de inspección termográfica*



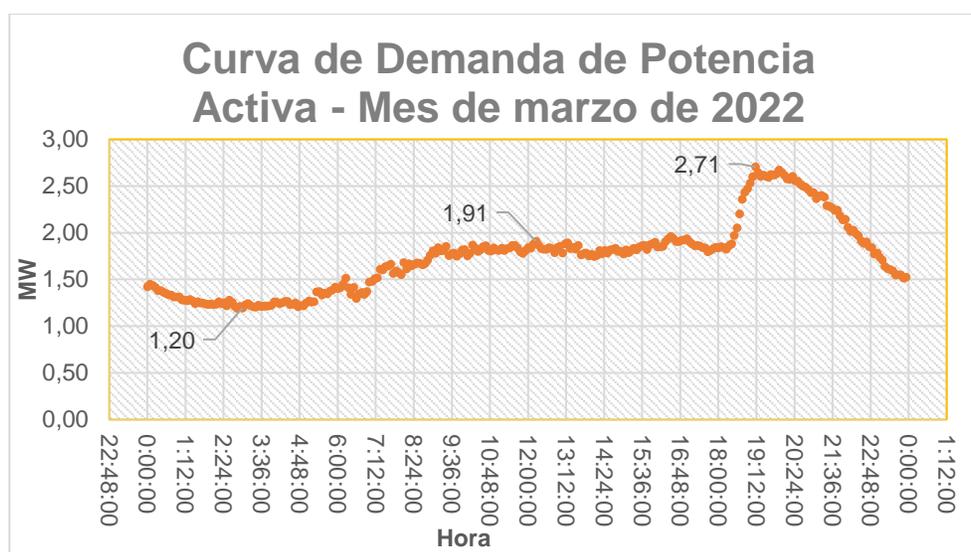
*Nota.* La figura muestra el correcto uso de los equipos de protección personal EPP por parte de los analistas

### Análisis de Curva de Demanda diaria de Potencia Activa

El recorrido de las rutas de vuelo y la inspección termográfica se planificará de acuerdo a las horas pico de demanda de potencia en el Alimentador 4 – Latacunga Sur, siendo así, 1,91 MW la potencia máxima en el horario de la mañana (09:00 am – 17:00 pm), es decir, la demanda correspondiente al sector comercial e industrial; El sector residencial con una demanda máxima de 2,71 MW se planifica para el horario nocturno (18:30 pm – 20:30 pm).

#### Figura 37.

*Curva de Demanda diaria de Potencia Activa – mes de marzo de 2022*



*Nota.* La figura muestra las horas máximas de demanda de potencia activa en el Alimentador 4 – Latacunga Sur en el mes de marzo de 2022. Datos entregados por el Centro de Información para Estudios Técnicos de ELEPCO S.A.

### Análisis de tiempo de inspección termográfica de ELEPCO S.A.

Las inspecciones termográficas tradicionales desde el nivel del suelo se realizan dos veces por año, específicamente en los meses de enero y Julio en la red de MV, según la información proporcionada por el Departamento de Mantenimiento de ELEPCO S.A. el estudio termográfico para Sistemas de Transformación y Distribución está previsto para ser realizado en un tiempo promedio de 10 minutos por cada sistema.

## Capítulo V

### Análisis de resultados

En el presente capítulo se muestran los resultados de la metodología aplicada en la propuesta.

#### **Interpretación de diagramas unifilares de los sistemas de transformación y distribución**

Los activos que pueden presentar puntos calientes en un sistema de transformación y distribución son varios, entre los cuales se clasifican en dos niveles de voltaje (MV y BV), para un análisis termográfico eficaz se debe conocer los parámetros de los mismos, parámetros obtenidos mediante investigación bibliográfica, geográfica y de campo, dando una descripción amplia de los activos principales, elementos utilizados para validar el diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ).

#### ***Diagrama unifilar de un Sistema de Transformación y Distribución Monofásico***

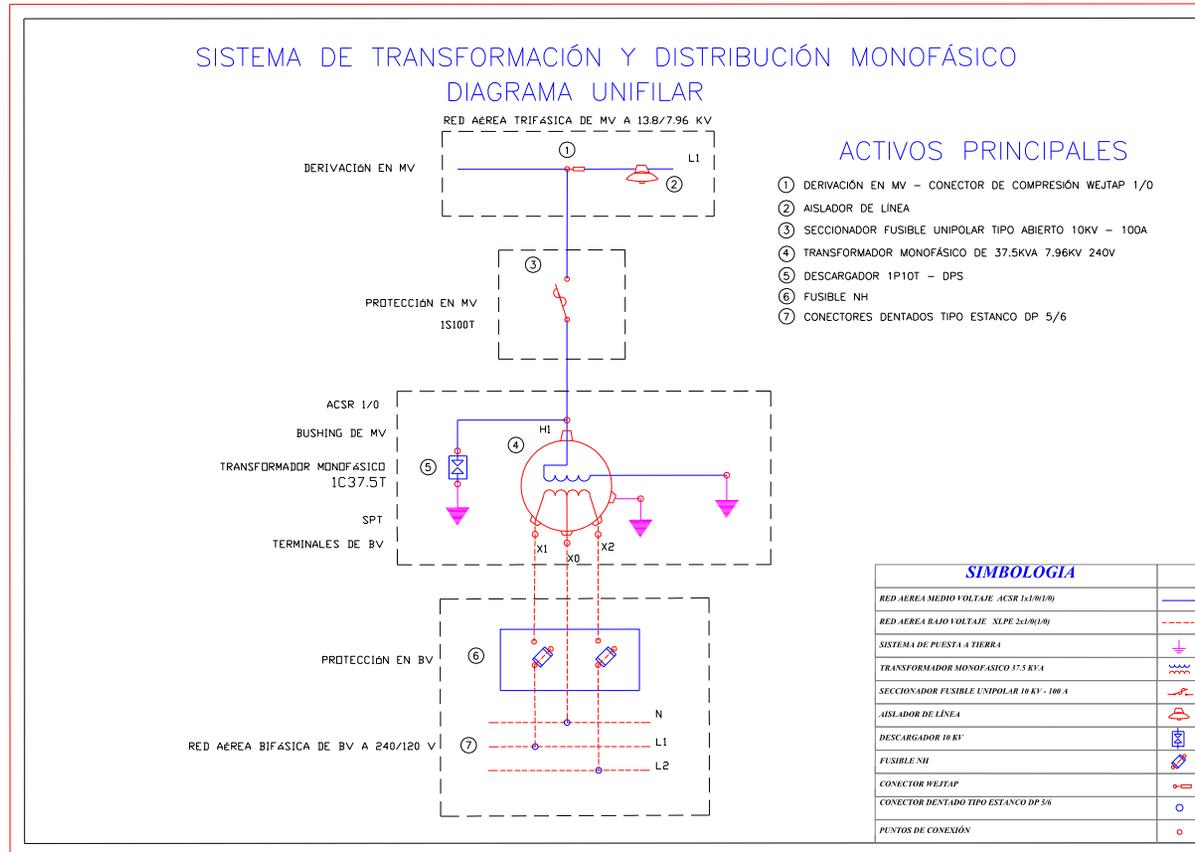
Para los sistemas monofásicos se tiene un diagrama unifilar que muestra la conexión a la red de MV en este caso a 7,97 kV, pasando por la protección en MV unipolar que alimenta al transformador en sí y se muestra los elementos presentes para la conexión a la red de BV, los activos principales se detallan en la Figura 37.

#### ***Diagrama unifilar de un Sistema de Transformación y Distribución Trifásico***

Los sistemas trifásicos son más complejos, estos tienen un diagrama unifilar que muestra la conexión a la red de MV en este caso a 13,8 kV, pasando por las protecciones en MV que alimentan al transformador, el mismo consta de más elementos tanto en MV como en BV debido a la presencia de 3 fases, los activos principales se detallan en la Figura 38.

**Figura 38.**

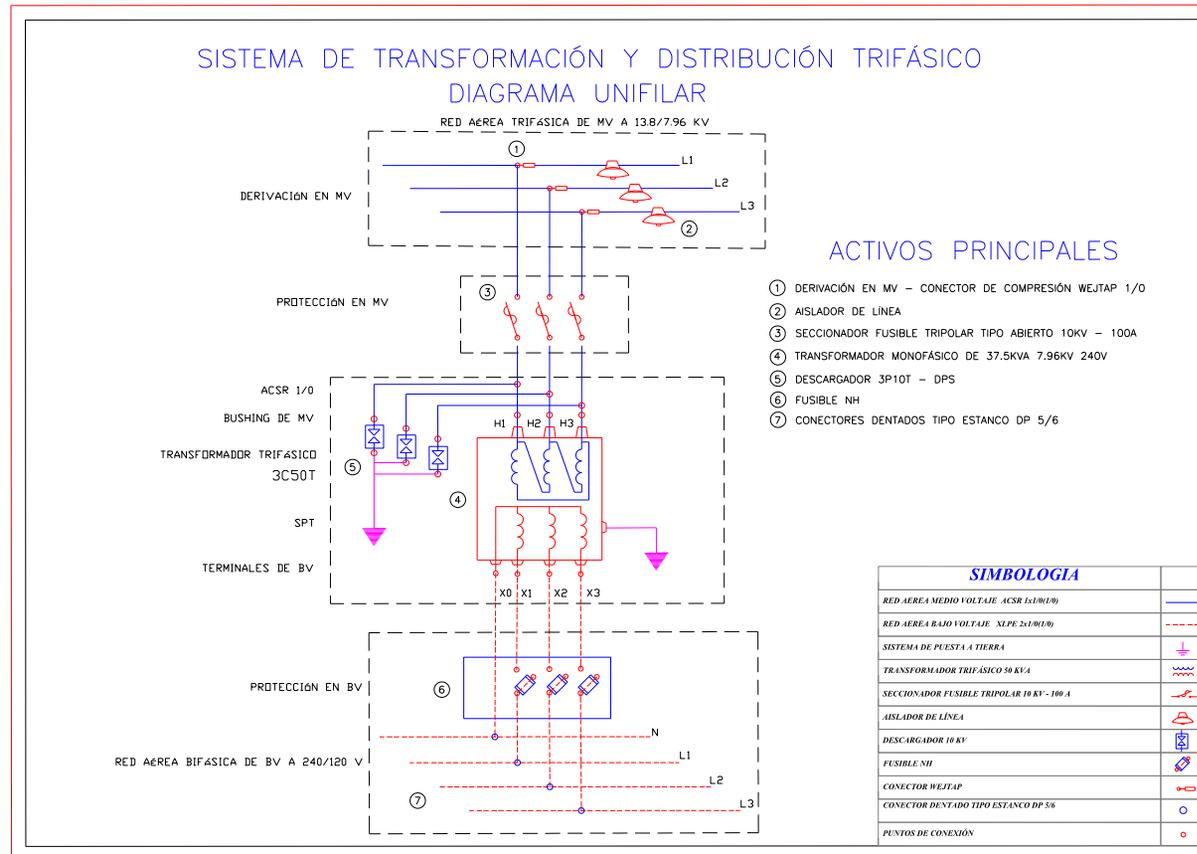
*Diagrama unifilar de sistemas de transformación y distribución monofásicos*



*Nota.* La figura muestra los activos principales a analizarse por medio de termografía infrarroja en un sistema de transformación monofásico

**Figura 39.**

*Diagrama unifilar de sistemas de transformación y distribución trifásicos*



*Nota.* La figura muestra los activos principales a analizarse por medio de termografía infrarroja en un sistema de transformación trifásico

### Interpretación de resultados en el alimentador

Conforme a la finalización de las inspecciones termográficas aéreas el número de equipos con anomalías en el alimentador es considerable en función del nivel de severidad, la interpretación de resultados se debe dividir por tipo de sistema de transformación y distribución, tal como se detalla en la tabla 27

**Tabla 27.**

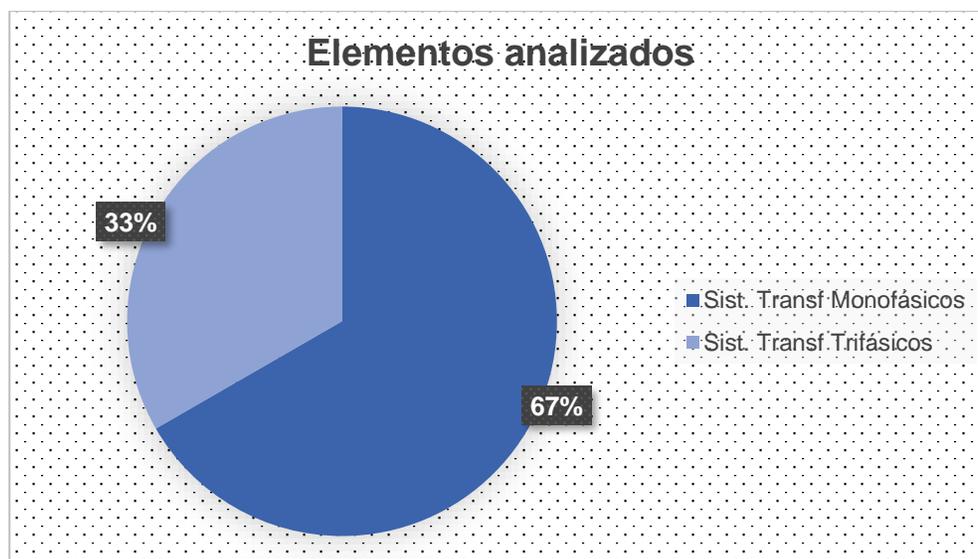
*Elementos analizados en el Alimentador 4 – Latacunga Sur*

| Detalle  | Cantidad | Porcentaje |
|--|----------|------------|
| <b>Sistemas de transformación y distribución monofásicos</b> | 48       | 66,67 %    |
| <b>Sistemas de transformación y distribución trifásicos</b>  | 24       | 33,33 %    |
| <b>Total de elementos</b>                                    | 72       | 100 %      |

Los sistemas de transformación monofásicos denotan la mayor parte de elementos analizados

**Figura 40.**

*Elementos totales analizados por medio de termografía aérea*



### Interpretación de severidad de acuerdo a las consideraciones de ELEPCO S.A.

La Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi – ELEPCO S.A. dispone de estándares propios de clasificación de severidad de fallos por aumento de temperatura, la clasificación de severidad de los sistemas analizados se detalla en la Tabla 28.

**Tabla 28.**

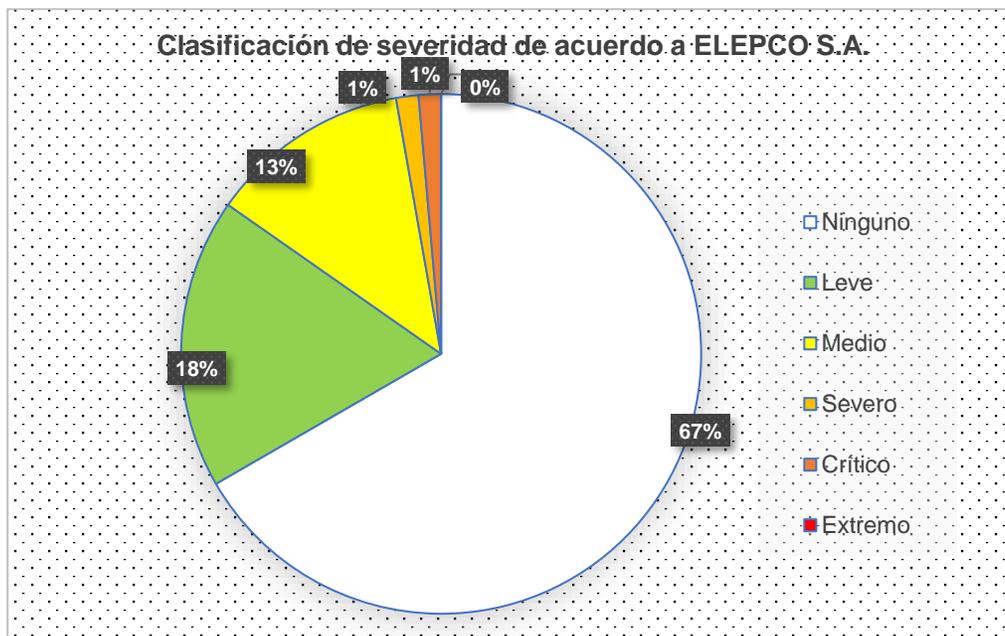
*Clasificación de severidad de acuerdo a ELEPCO S.A.*

| Tipo de problema          | Acción recomendada | Cantidad  | Porcentaje   |
|---------------------------|--------------------|-----------|--------------|
| Ninguno                   | No aplica          | 48        | 66,67 %      |
| Leve                      | Observación        | 13        | 18,06 %      |
| Medio                     | Programación       | 9         | 12,50 %      |
| Severo                    | Lo antes posible   | 1         | 1,39 %       |
| Crítico                   | Urgente            | 1         | 1,39 %       |
| Extremo                   | Muy urgente        | 0         | 0 %          |
| <b>Total de elementos</b> |                    | <b>72</b> | <b>100 %</b> |

Se tiene una cifra de 24 elementos con problemas (33,34 %) y 48 elementos (66,67 %) trabajando en buenas condiciones de carga.

**Figura 41.**

*Elementos totales Clasificación de severidad de acuerdo a ELEPCO S.A.*



## Análisis en Sistemas de Transformación y Distribución Monofásicos

En la Tabla 29 se presenta el Informe de termografía correspondiente a Transformadores Monofásicos de la red de MV, el cual presenta las posibles causas y acciones recomendadas conforme a los criterios de ELEPCO S.A.

**Tabla 29.**

*Informe termográfico en Sistema de Transformación y Distribución Monofásicos*

| INFORME DE TERMOGRAFÍA CORRESPONDIENTE AL MES DE MARZO DEL 2023 – ALIMENTADOR 01CV13B1S4 - LATACUNGA SUR  |  |  |                        |  |   |                                |
|---|--|--|------------------------|--|---|--------------------------------|
| <b>Fecha de inspección:</b> 09/03/2023<br><b>Hora de inspección:</b> 10:31<br><b>Reporte termográfico N°:</b> 5<br><b>Entidad evaluadora:</b> ESPE<br><b>Nombre empresa:</b> ELEPCO |  | <b>Salida:</b> 4 Latacunga Sur – S/E El Calvario<br><b>Operador Drone:</b> Bryan Meza<br><b>Operador Cámara:</b> Sebastián Aleaga<br><b>Equipo Drone:</b> Phantom 4 Advanced<br><b>Equipo cámara:</b> Flir Duo Pro R (336 x 256) |                        |  | <b>Ubicación:</b> Av. Rumiñahui y Av. Roosevelt<br><b>Coordenadas UTM</b><br><b>X:</b> 766.027,461<br><b>Y:</b> 9.896.242,747 |                                |
| <b>Sistema / Nivel voltaje (kV)</b>   | <b>Descripción del equipo con anomalía</b> | <b>Número de transformador</b>   | <b>Capacidad (kVA)</b> | <b>Código estructura</b>   | <b>Número de Poste</b>  | <b>Componente con anomalía</b> |
| Distribución / 7,97   | Transformador monofásico                   | 8148   | 15                     | 1C15T  | 51942   | Descargador DPS                |
|   |  |   |                        |  |   |                                |
| Imagen infrarroja   |  | Imagen de campo  |                        |  |   |                                |
| <b>Humedad relativa (%)</b>   |  | Baja < 30  |                        | <b>Grado de severidad</b>  |   | Severo (Grado 3)               |
| <b>Distancia de medición (m)</b>  |  | 3,0  |                        |  |   |                                |
| <b>Emisividad</b>   |  | 0,95   |                        |  |   |                                |
| <b>Temperatura máxima °C</b>  |  | 32,8   |                        | <b>Descripción:</b> El área R1 presenta un incremento de temperatura considerable con respecto a la temperatura ambiente   |   |                                |
| <b>Temperatura ambiente °C</b>  |  | 15,7   |                        | <b>Posible causa de la anomalía:</b> Contacto deficiente entre conductor, conector y descargador por causas varias   |   |                                |
| <b>Temperatura de referencia °C</b>   |  | 15,7   |                        | <b>Recomendación o acción a seguir:</b> Limpiar superficies de unión y asegurar un buen contacto entre el conductor, conector y descargador – Reemplazo de elementos defectuosos |   |                                |
| <b>ΔT °C</b>  |  | 15,3   |                        | <b>Acciones:</b> Realizar las medidas correctivas requeridas de acuerdo al plan de mantenimiento   |   |                                |
| <b>Elaborado por:</b><br>Bryan Meza<br>  |  |  |                        | <b>Revisado por:</b><br>Ing. Iván Mena<br>   |   |                                |

*Nota.* La Tabla muestra un resumen detallado de los parámetros del activo, el diferencial de temperatura y las posibles causas con sus respectivas acciones a seguir

El total de Sistemas de Transformación y Distribución Monofásicos es representado en la Tabla 30, donde existe una cantidad de 68,75 % de elementos trabajando en condiciones normales, seguido por un 31,24 % de elementos con problemas, de los cuales el 2,08 % de elementos con problemas severos.

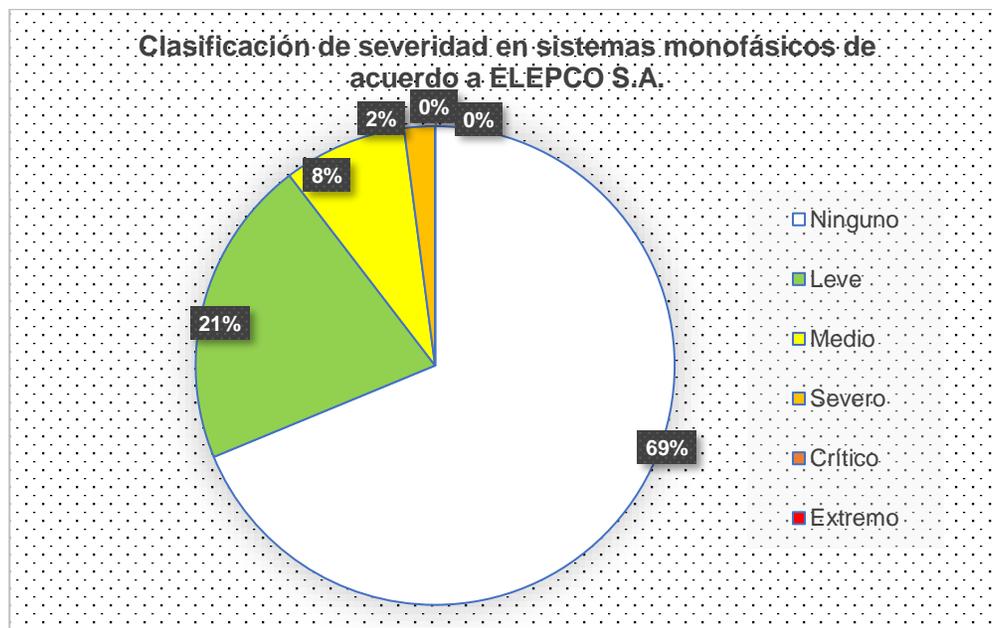
**Tabla 30.**

*Clasificación de severidad en sistemas monofásicos de acuerdo a ELEPCO S.A.*

| Tipo de problema          | Acción recomendada | Cantidad  | Porcentaje   |
|---------------------------|--------------------|-----------|--------------|
| Ninguno                   | No aplica          | 33        | 68,76 %      |
| Leve                      | Observación        | 10        | 20,83 %      |
| Medio                     | Programación       | 4         | 8,33 %       |
| Severo                    | Lo antes posible   | 1         | 2,08 %       |
| Crítico                   | Urgente            | 0         | 0 %          |
| Extremo                   | Muy urgente        | 0         | 0 %          |
| <b>Total de elementos</b> |                    | <b>48</b> | <b>100 %</b> |

**Figura 42.**

*Elementos totales Clasificación de severidad en sistemas monofásicos de acuerdo a ELEPCO S.A.*



## Análisis en Sistemas de Transformación y Distribución Trifásicos

En la Tabla 30 se presenta el Informe de termografía correspondiente a Transformadores Trifásicos de la red de MV, el cual presenta las posibles causas y acciones recomendadas conforme a los criterios de ELEPCO S.A.

**Tabla 31.**

### Informe termográfico en Sistema de Transformación y Distribución Trifásicos

| INFORME DE TERMOGRAFÍA CORRESPONDIENTE AL MES DE MARZO DEL 2023 – ALIMENTADOR 01CV13B1S4 - LATACUNGA SUR   |  |  |                        |  |                        |                                |
|--|--|--|------------------------|--|------------------------|--------------------------------|
| <b>Fecha de inspección:</b> 10/03/2023<br><b>Hora de inspección:</b> 10:40<br><b>Reporte termográfico N°:</b> 14<br><b>Entidad evaluadora:</b> ESPE<br><b>Nombre empresa:</b> ELEPCO |  | <b>Salida:</b> 4 Latacunga Sur – S/E El Calvario<br><b>Operador Drone:</b> Bryan Meza<br><b>Operador Cámara:</b> Sebastián Aleaga<br><b>Equipo Drone:</b> Phantom 4 Advanced<br><b>Equipo cámara:</b> Flir Duo Pro R (336 x 256) |                        | <b>Ubicación:</b> Av. Roosevelt Y C. Pichincha<br><b>Coordenadas UTM</b><br><b>X:</b> 765.988,019<br><b>Y:</b> 9.896.120,610 |                        |                                |
| <b>Sistema / Nivel voltaje (kV)</b>  | <b>Descripción del equipo con anomalía</b> | <b>Número de transformador</b>   | <b>Capacidad (kVA)</b> | <b>Código estructura</b>   | <b>Número de Poste</b> | <b>Componente con anomalía</b> |
| Distribución / 13,8  | Transformador trifásico                    | 1390   | 75                     | 3C75T  | 52011                  | Fusible NH – Fase A            |
|  <p>Imagen infrarroja</p>  |  |  <p>Imagen de campo</p>   |                        |  |                        |                                |
| <b>Humedad relativa (%)</b>  | Bajo < 30                                  | <b>Grado de severidad</b>  |                        | Crítico (Grado 4)  |                        |                                |
| <b>Distancia de medición (m)</b>   | 4,5  |  |                        |  |                        |                                |
| <b>Emisividad</b>  | 0,95                                       |  |                        |  |                        |                                |
| <b>Temperatura máxima °C</b>   | 74,7                                       | <b>Descripción:</b> El área R1 presenta un incremento de temperatura significativo con respecto a P1   |                        |  |                        |                                |
| <b>Temperatura ambiente °C</b>   | 17,5                                       | <b>Posible causa de la anomalía:</b> Contacto deficiente entre el conductor y base del fusible NH por causas varias  |                        |  |                        |                                |
| <b>Temperatura de referencia °C</b>  | 24,0                                       | <b>Recomendación o acción a seguir:</b> Limpiar superficies de unión y asegurar un buen contacto entre el conductor la base del fusible NH – Reemplazo de elementos defectuosos  |                        |  |                        |                                |
| <b>ΔT °C</b>   | 50,6                                       | <b>Acciones:</b> Realizar las medidas correctivas requeridas de acuerdo al plan de mantenimiento – Estudiar la posibilidad de detener el suministro de energía para corregir el problema   |                        |  |                        |                                |
| <b>Elaborado por:</b><br>Bryan Meza<br>   |  | <b>Revisado por:</b><br>Ing. Iván Mena<br>   |                        |  |                        |                                |

*Nota.* La Tabla muestra un resumen detallado de los parámetros del activo, el diferencial de temperatura y las posibles causas con sus respectivas acciones a seguir

El total de Sistemas de Transformación y Distribución Trifásicos es representado en la Tabla 32, aquí se tiene un porcentaje de 62,50 % de elementos trabajando en condiciones normales, similar a los sistemas monofásicos, seguido por un 37,5 % de elementos con problemas, de los cuales un 4,17 % son críticos.

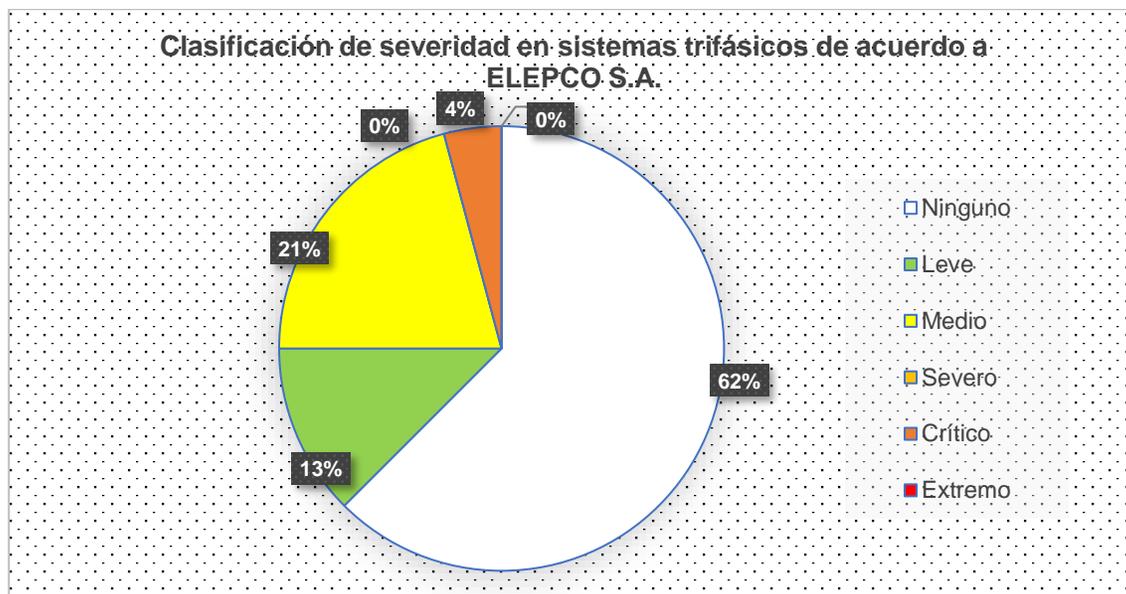
**Tabla 32.**

*Clasificación de severidad en sistemas trifásicos de acuerdo a ELEPCO S.A.*

| Tipo de problema          | Acción recomendada | Cantidad  | Porcentaje   |
|---------------------------|--------------------|-----------|--------------|
| Ninguno                   | No aplica          | 15        | 62,50 %      |
| Leve                      | Observación        | 3         | 12,50 %      |
| Medio                     | Programación       | 5         | 20,83 %      |
| Severo                    | Lo antes posible   | 0         | 0 %          |
| Crítico                   | Urgente            | 1         | 4,17 %       |
| Extremo                   | Muy urgente        | 0         | 0 %          |
| <b>Total de elementos</b> |                    | <b>24</b> | <b>100 %</b> |

**Figura 43.**

*Elementos totales Clasificación de severidad en sistemas trifásicos de acuerdo a ELEPCO S.A.*



### Clasificación de fallos de acuerdo al Nivel de Voltaje

Los fallos en la red presentan diferencias significativas de acuerdo su nivel de voltaje, un fallo en MV representa una amenaza a la continuidad del suministro de energía en un tramo completo del alimentador, es decir a 13,8/7,97 kV.

Los fallos en BV representan un menor nivel de criticidad, estos afectan a la red aérea a 240/120V que alimenta las acometidas de los hogares, sectores comerciales y en menor medida al sector industrial. Las acciones a tomar en caso de interrupción del suministro en BV toman menos tiempo de corrección por parte del personal de mantenimiento de las empresas eléctricas.

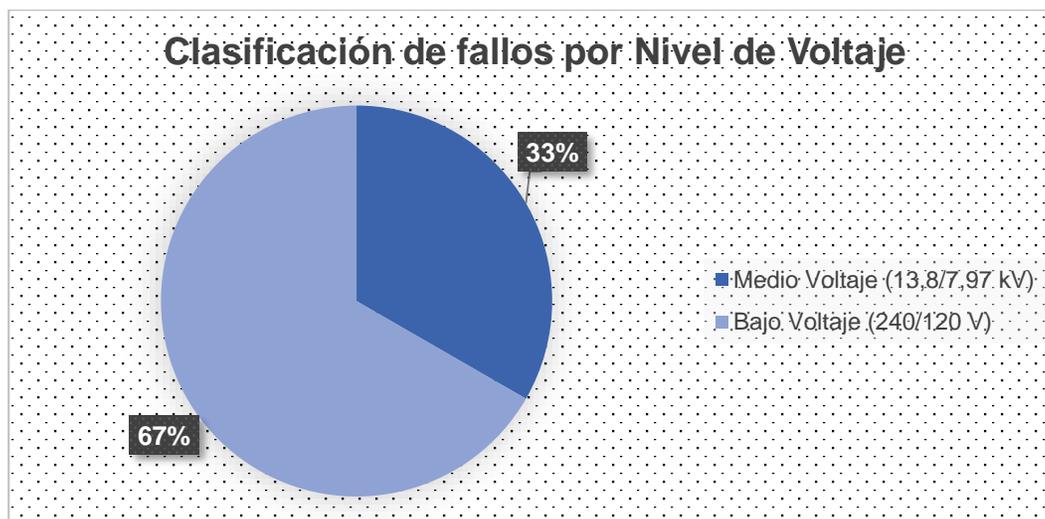
**Tabla 33.**

*Clasificación de fallos por Nivel de Voltaje*

| Detalle                      | Cantidad  | Porcentaje   |
|------------------------------|-----------|--------------|
| Medio Voltaje (13,8/7,97 kV) | 10        | 33,33 %      |
| Bajo Voltaje (240/120 V)     | 20        | 66,67 %      |
| <b>Total de elementos</b>    | <b>30</b> | <b>100 %</b> |

**Figura 44.**

*Clasificación de fallos por Nivel de Voltaje*



Se tiene un total de 24 Sistemas de Transformación y Distribución que presentan problemas, existe un elemento que tiene problemas tanto en MV como en BV, analizado en el informe termográfico N°.24, ver Anexo E2 el cual se detalla en la figura 45.

### Figura 45.

#### Análisis de informe termográfico N°.24



Este transformador se clasifica como fallo en MV, por jerarquía de nivel de criticidad, presenta un punto caliente en el Bushing de MV correspondiente a la Fase B con un  $\Delta T$  de 11,9 °C, y otros tres problemas en BV correspondientes al fusible NH, conector dentado y conductor de la Fase B.

### Clasificación de fallos por Tipo de Elemento

Los activos principales de los Sistemas de Transformación y Distribución Monofásicos y Trifásicos presentan puntos calientes en el activo principal y en sus terminales o puntos de conexión, es importante aclarar que en la Tabla 34 se muestra el número total de elementos con falla divididos por niveles de voltaje.

La cuba de los transformadores se clasifica como elemento de MV, por lo que las consideraciones de BV se realizan a partir de los Terminales de BV aguas hacia abajo.

### Tabla 34.

#### Clasificación de fallos por Tipo de Elemento

|               | Sistemas de Transformación y<br>Distribución | Cantidad    |            | Total |
|---------------|--|-------------|------------|-------|
|               |  | Monofásicos | Trifásicos |       |
| Medio Voltaje | Conector de compresión WejTap                | 0           | 0          | 10    |
|               | Aislador de línea                            | 1           | 0          |       |
|               | Seccionador fusible                          | 0           | 0          |       |
|               | Descargador DPS                              | 1           | 0          |       |
|               | Bushing de MV                                | 0           | 1          |       |
|               | Cuba   | 5           | 2          |       |
| Bajo Voltaje  | Terminal de BV                               | 2           | 1          | 20    |
|               | Fusible NH                                   | 5           | 6          |       |
|               | Conector dentado                             | 1           | 2          |       |
|               | Conductor de BV                              | 1           | 2          |       |

Figura 46.

Tabulación de fallos por Tipo de Elemento en sistemas monofásicos

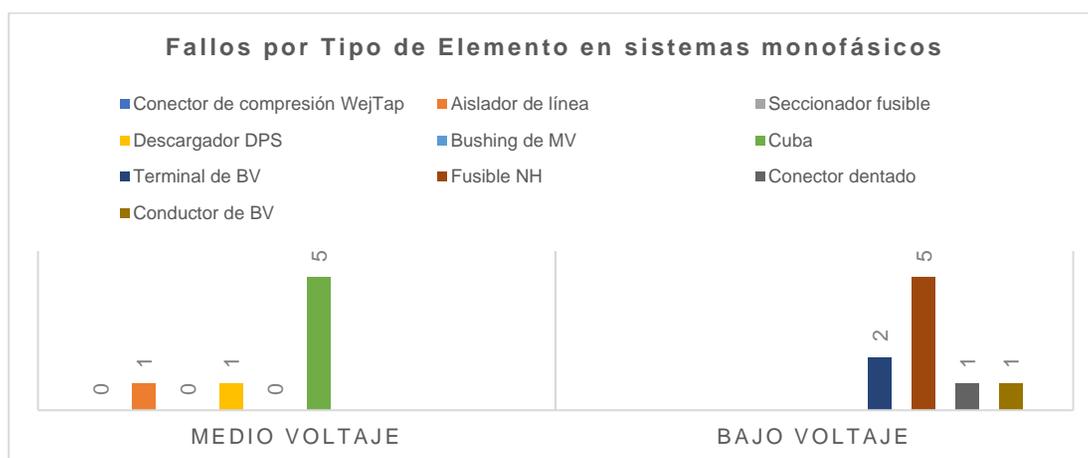
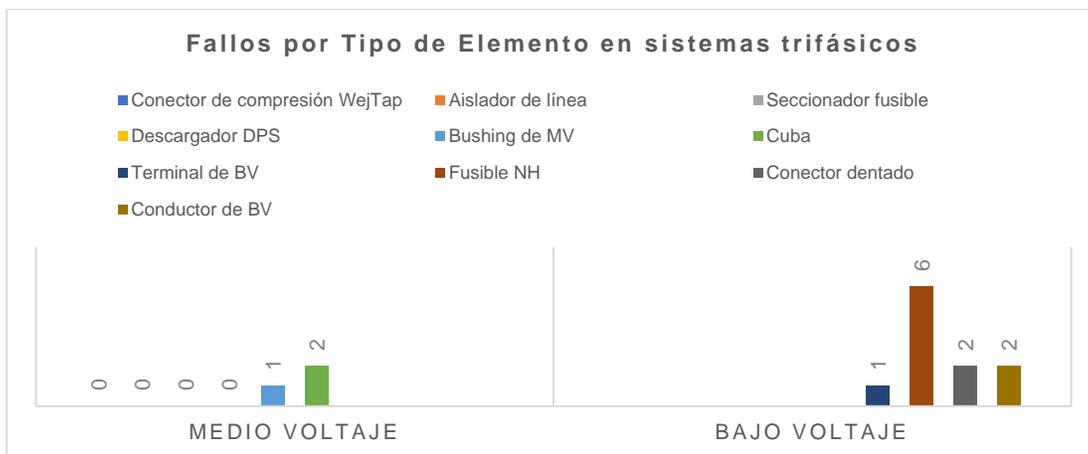


Figura 47.

Tabulación de fallos por Tipo de Elemento en sistemas trifásicos



La tabulación de datos por tipo de elemento denota dos elementos que son los más propensos a sufrir daños por aumento de temperatura, los cuales son en MV (cuba) y para BV (Fusible NH) debido a que cuentan con un alto número de incidencias tanto en sistemas monofásicos y trifásicos.

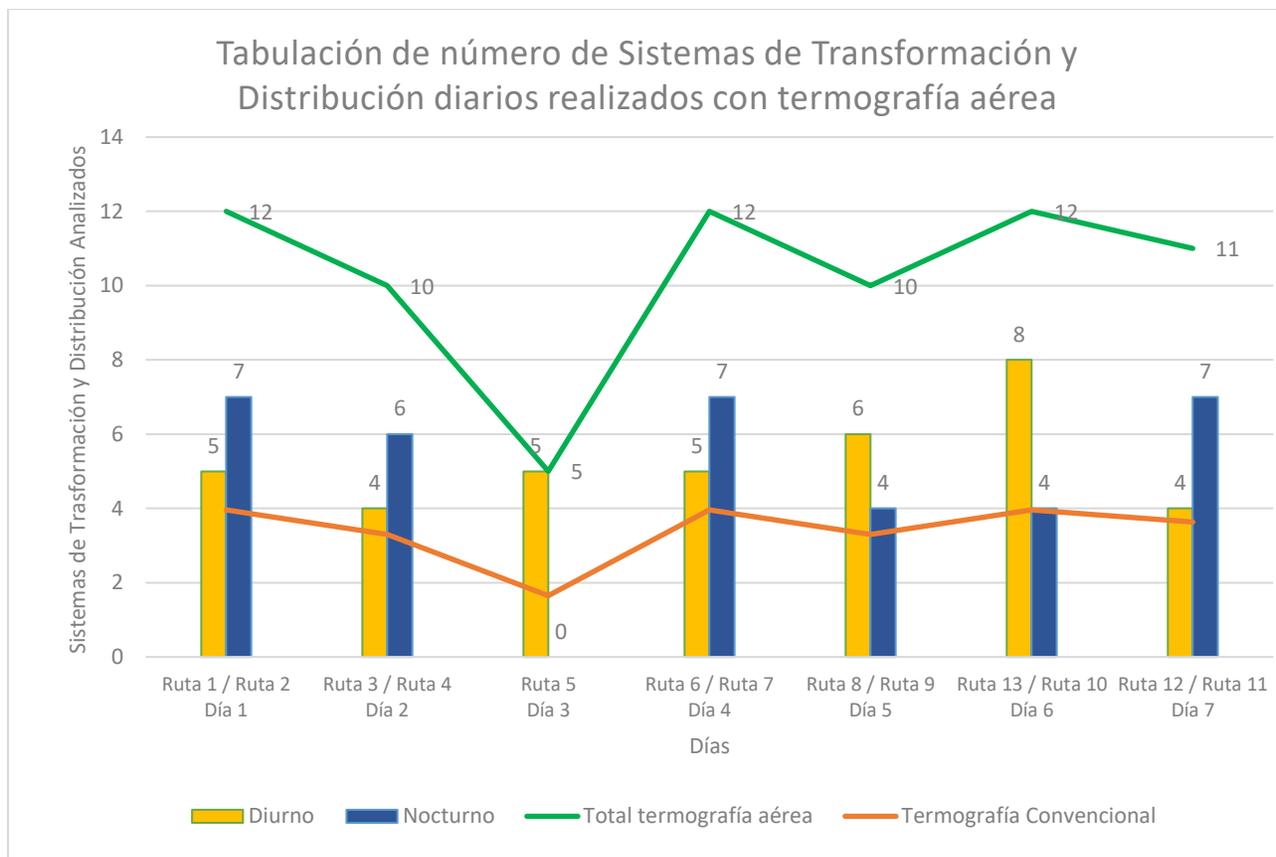
Se demuestra que el empleo de Sistemas de Transformación y Distribución Trifásicos son más confiables ante fallos en MV, por lo que es el más usado para cargas comerciales e industriales; Los resultados del estudio en BV muestran similar cantidad de fallos en para ambos sistemas, siendo así, igual de confiables para distribución de acometidas, indistinguiblemente de las cargas.

### **Interpretación de tiempo de inspección termográfica**

El tiempo de inspección por cada sistema por medio de termografía aérea es reducido gracias al ahorro de tiempo de movilización y preparación de los equipos y teniendo en cuenta que el rango de tiempo para realizar la inspección térmica es reducido (2 horas por la mañana y 2 horas por la noche) como se muestra en la Figura 37 se tendrá un rango diario para la inspección de 4 horas hábiles.

### **Figura 48.**

*Tabulación de número de sistemas diarios realizados con termografía aérea*



**Nota.** La Figura muestra el número de sistemas analizados con termografía aérea a lo largo de 7 días de inspección, con sus respectivas rutas y horarios

La Figura 48 muestra la tabulación de inspecciones diarias realizadas mediante termografía aérea en comparación a la inspección tradicional. Se ha establecido un tiempo de referencia de 10 minutos de inspección por cada sistema por parte del personal de mantenimiento de ELEPCO S.A., por lo que, comparando con el número de sistemas analizados mediante termografía aérea, se tiene un incremento en el número de elementos analizados por día y una reducción del tiempo de inspección significativa, al ser este de un promedio de 3 minutos por sistema.

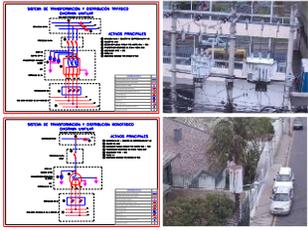
Teniendo así una reducción del tiempo de inspección del 66,67 %. La Ruta 5 muestra un total de 5 puntos analizados, correspondiente a la fecha de 13/03/2023, día en que por motivos meteorológicos solamente se logró realizar la inspección Diurna.

## Elaboración de plan de mantenimiento

La información recolectada durante el estudio termográfico permitió establecer un plan de mantenimiento que servirá de guía a al personal técnico para que se puedan tomar las acciones necesarias para alargar la vida útil de los elementos del sistema de transformación y distribución. Los activos que se consideraron son: transformador trifásico y monofásico, aislador de línea, conector de compresión, seccionador fusible, descargador, fusible NH y conector dentado tipo estanco.

**Tabla 35.**

*Plan de mantenimiento – Memoria técnica*

| MEMORIA TÉCNICA   |  | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución |  | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián, Meza Bryan   |  | FECHA: 20/03/2023           |  | HOJA No: 1 DE: 7 |  |
|---|--|---|--|---|--|-----------------------------|--|------------------|--|
| GRÁFICA   |  |   |  | DESCRIPCIÓN FÍSICA  |  |                             |  |                  |  |
|   |  |   |  | <p>FORMA PARTE DEL CONJUNTO DE ELEMENTOS DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (S.E.P), COLOCADO EN POSTES DE HORMIGÓN, PUEDE SER TRIFÁSICO O MONOFÁSICO, FORMADO POR VARIOS SUBSISTEMAS Y PROTECCIONES PARA MV Y BV</p>          |  |                             |  |                  |  |
|   |  |   |  | USO   |  |                             |  |                  |  |
|   |  |   |  | <p>TRANSFORMA LA ENERGÍA ELÉCTRICA DE NIVELES DE MV A BV PARA SU DISTRIBUCIÓN A LOS USUARIOS RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES</p>  |  |                             |  |                  |  |
| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS   |  |   |  |   |  |                             |  |                  |  |
| FUNCIONES   |  | TRANSFORMACIÓN / DISTRIBUCIÓN                     |  | ALIMENTADOR   |  | 01CV13B1S4 - LATA CUNGA SUR |  |                  |  |
| VOLTAJE NOMINAL PRIMARIO  |  | 13,8 / 7,97 kV                                    |  | TOPOLOGÍA DE LA RED   |  | RADIAL                      |  |                  |  |
| VOLTAJE NOMINAL SECUNDARIO  |  | 240 / 120 V                                       |  | PROTECCIÓN EN MV  |  | SI                          |  |                  |  |
| TIPO DE SISTEMA   |  | TRIFÁSICO / MONOFÁSICO                            |  | PROTECCIÓN EN BV  |  | SI                          |  |                  |  |
| SUBSISTEMAS   |  |   |  |   |  |                             |  |                  |  |
| 1. AISLADOR DE LÍNEA  |  |   |  | DESCRIPCIÓN FÍSICA  |  |                             |  |                  |  |
|  |  |   |  | <p>ELEMENTO DE ESTRUCTURA HOMOGÉNEA COMPUESTO POR UN NÚCLEO DIELECTRICO, UN RECUBRIMIENTO GENERALMENTE FABRICADO DE PORCELANA, VIDRIO O POLÍMEROS, CAMPANAS AISLANTES, ACOPLES Y HERRAJES</p>                                   |  |                             |  |                  |  |
|   |  |   |  | USO   |  |                             |  |                  |  |
|   |  |   |  | <p>SE USA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN PARA SUJETAR A LOS CONDUCTORES A LAS ESTRUCTURAS QUE LOS SOPORTAN, EVITANDO ASÍ SU MOVIMIENTO EN SENTIDO LONGITUDINAL O TRANSVERSAL Y ASEGURANDO EL AISLAMIENTO ELÉCTRICO</p> |  |                             |  |                  |  |
|   |  |   |  | REPUESTOS MÁS COMUNES   |  |                             |  |                  |  |
|   |  |   |  | CAMPANA AISLANTE / SEGURO   |  |                             |  |                  |  |

| MEMORIA TÉCNICA   | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución  | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián, Meza Bryan | FECHA: 20/03/2023 | HOJA No: 2 DE: 7 |
|---|--|---|-------------------|------------------|
| <b>SUBSISTEMAS</b>  |  |   |                   |                  |
|    | <p>ELEMENTO FORMADO POR UN UN CUERPO O CUÑA EN "C", FABRICADO EN ALEACIONES DE ALUMINIO DE ALTA RESISTENCIA MECÁNICA Y HERRAMIENTAS DE INSTALACIÓN</p>   |   |                   |                  |
| <b>USO</b>  |  |   |                   |                  |
| <p>SE USA EN DERIVACIONES EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSMISIÓN, MANTIENE UNA PRESIÓN CONSTANTE, DISEÑO PARA DIVERSOS CALIBRES Y TIPOS DE CONDUCTORES</p> |  |   |                   |                  |
| <b>REPUESTOS MÁS COMUNES</b>  |  |   |                   |                  |
| CUÑA  |  |   |                   |                  |
| <b>3. SECCIONADOR FUSIBLE (TRIPOLAR /</b>   |  |   |                   |                  |
| <b>DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>   |  |   |                   |                  |
|    | <p>ELEMENTO FORMADO POR UN CARTUCHO FUSIBLE MONTADO SOBRE UN BRAZO MÓVIL, BORNES DE CONEXIÓN Y PINZAS DE CONTACTO DE COBRE DE ALTA CONDUCTIVIDAD, PASADORES DE ACERO Y TORNILLOS DE BRONCE</p>   |   |                   |                  |
| <b>USO</b>  |  |   |                   |                  |
| <p>APARATO UTILIZADO PARA MANIOBRAS DE APERTURA Y CIERRE, ES ACCIONADO CON PÉRTIGAS Y PROTEGE A LA RED DE MV DE SOBRECORRIENTES</p>                         |  |   |                   |                  |
| <b>REPUESTOS MÁS COMUNES</b>  |  |   |                   |                  |
| TUBO PORTAFUSIBLE   |  |   |                   |                  |
| <b>4. TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN</b>   |  |   |                   |                  |
| <b>DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>   |  |   |                   |                  |
|   | <p>MÁQUINA ELÉCTRICA ESTÁTICA CON DEVANADOS INTERNOS, DEVANADO PRIMARIO EN MV ALIMENTADO POR BUSHING Y DEVANADO SECUNDARIO CON SALIDA POR LOS TERMINALES BV, NÚCLEO MAGNÉTICO SIN ENTREHIERRO CON UNA O TRES COLUMNAS, CUBA PROTECTORA DE ACERO, ACEITE DIELECTRICO Y RADIADORES</p> |   |                   |                  |
| <b>USO</b>  |  |   |                   |                  |
| <p>APARATO ENCARGADO DE TRANSFORMAR EL NIVEL DE VOLTAJE DE MV A UN VALOR MENOR EN BV PARA EL USO POR PARTE DE LOS USUARIOS</p>                              |  |   |                   |                  |
| <b>REPUESTOS MÁS COMUNES</b>  |  |   |                   |                  |
| ACEITE DIELECTRICO / DEVANADO   |  |   |                   |                  |
| <b>5. DESCARGADOR DPS</b>   |  |   |                   |                  |
| <b>DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>   |  |   |                   |                  |
|    | <p>ELEMENTO DISEÑO CON AISLAMIENTO POLIMÉRICO DE ALTA RESISTENCIA O GOMA, ALMA DE FIBRA DE VIDRIO, VARISTORES DE ÓXIDO METÁLICO Y ALABES VULCANIZADOS, SE COLOCA EN PARALELO AL TRANSFORMADOR</p>  |   |                   |                  |
| <b>USO</b>  |  |   |                   |                  |
| <p>ELEMENTO ENCARGADO DE PROTEGER SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE SOBREVOLTAJES CAUSADOS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS</p>   |  |   |                   |                  |
| <b>REPUESTOS MÁS COMUNES</b>  |  |   |                   |                  |
| VARISTORES / TUERCAS  |  |   |                   |                  |
| <b>6.FUSIBLE NH</b>   |  |   |                   |                  |
| <b>DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>   |  |   |                   |                  |
|    | <p>ELEMENTO DE CONTACTO CON CUCHILLA MONTADA EN UN CUERPO CERÁMICO DE ALTA CALIDAD, LLENO DE ARENA DE CUARZO IMPREGNADA, ELEMENTO FUSIBLE DE PLATA Y TERMINALES DE COBRE PLATEADO</p>  |   |                   |                  |
| <b>USO</b>  |  |   |                   |                  |
| <p>ELEMENTO ENCARGADO DE ELIMINAR FALLAS POR SOBRECORRIENTES Y CORTOCIRCUITOS EN LA RED DE BV</p>   |  |   |                   |                  |
| <b>REPUESTOS MÁS COMUNES</b>  |  |   |                   |                  |
| FUSIBLE NH / BASE DE FIJACIÓN   |  |   |                   |                  |
| <b>7. CONECTOR DENTADO TIPO ESTANCO</b>   |  |   |                   |                  |
| <b>DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>   |  |   |                   |                  |
|    | <p>ELEMENTO DE CONEXIÓN CON DIENTES DE ALUMINIO ESTAÑADO O COBRE ESTAÑADO, CONEXIÓN ESTANCA O DE PERFORACIÓN DE ALTA HERMETICIDAD, ARANDELA PLANA, TUERCA FUSIBLE METÁLICA, RIEL Y GUIAS LATERALES</p>   |   |                   |                  |
| <b>USO</b>  |  |   |                   |                  |
| <p>ELEMENTO UTILIZADO EN DERIVACIONES DE REDES AÉREAS DE BV Y BRINDAN PRESIÓN DE APRIETE ENTRE LOS DIENTES DEL CONECTOR Y EL CONDUCTOR</p>                  |  |   |                   |                  |
| <b>REPUESTOS MÁS COMUNES</b>  |  |   |                   |                  |
| ARANDELA / TUERCA   |  |   |                   |                  |

Tabla 36.

Plan de mantenimiento – Hoja de información

| HOJA DE INFORMACIÓN-RCM |   | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución  | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián; Meza Bryan | FECHA: 21/03/2023  | HOJA No: 3 DE: 7   |    |
|-------------------------|---|--|---|--|--|---|
| Función                 |   | Falla Funcional  | Modo de Falla                               |  | Efectos de la Falla  |   |
| 1                       | Reducir el voltaje de distribución (13,8/7,97kV) al voltaje de consumo (240/120V) para energizar las distintas cargas           | A<br>No reducir el voltaje de distribución (13,8/7,97kV) al voltaje de consumo (240/120V) para energizar las distintas cargas. | 1   | Transformador y protecciones deteriorados debido al final de su vida útil          | El sistema no entrega un nivel de voltaje de consumo adecuado. Tiempo muerto de 2 semanas, se sustituyen los elementos que presentan fallas.<br>Los usuarios comerciales e industriales detienen la producción. Tiempo muerto de 2 semanas, se sustituyen los elementos que presentan fallas.<br>Los usuarios residenciales no pueden energizar sus electrodomésticos. Tiempo muerto de 2 semanas, se sustituyen los elementos que presentan fallas.   |   |
|                         |   |  | 2   | Transformador y protecciones deteriorados debido a falta de mantenimiento.         | El sistema no entrega un nivel de voltaje de consumo adecuado. Tiempo muerto de 2 semanas, se realizan inspecciones visuales y termográficas para identificar los elementos defectuosos<br>El sistema no entrega un nivel de voltaje de consumo adecuado. Tiempo muerto de 2 semanas, se realizan inspecciones visuales y termográficas para identificar los elementos defectuosos   |   |
|                         |   |  | 3   | Mala coordinación de protecciones, debido al sobredimensionamiento de las mismas.  | El sistema no entrega un nivel de voltaje de consumo adecuado. Tiempo muerto de 2 semanas, se realizan inspecciones visuales y termográficas para identificar los elementos defectuosos<br>Los elementos de protección no actúan ante las fallas de la red. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo de los elementos de protección defectuosos.   |   |
|                         |   |  | 4   | Mala instalación de los equipos por falla del personal de la empresa.              | El transformador se ve afectado por corrientes de sobrecarga y cortocircuito. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo de los elementos de protección defectuosos.<br>No existe conexión adecuado entre la red de medio voltaje, el transformador y la red de bajo voltaje. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza la limpieza de los puntos de conexión.<br>Riesgo de accidentes debido a la caída de los elementos mal sujetos. Tiempo muerto de 1 semana, se ajustan los puntos de conexión. |   |
| HOJA DE INFORMACIÓN-RCM |   | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución  | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián; Meza Bryan | FECHA: 21/03/2023  | HOJA No: 3 DE: 7   |   |
| Función                 |   | Falla Funcional  | Modo de Falla                               |  | Efectos de la Falla  |   |
| 2                       | Aislar las línea de la red de distribución para evitar el cortocircuito entre fases   | A<br>No aislar las línea de la red de distribución para evitar el cortocircuito entre fases                                    | 1   | Mala instalación de los equipos por falla del personal de la empresa.              | No se puede aislar los conductores de forma segura. Tiempo muerto de 1 semana, se revisan los puntos de conexión.<br>Riesgo de accidentes debido a la caída de los elementos mal sujetos. Tiempo muerto de 1 semana, se revisa la sujeción en la estructura  |   |
|                         |   |  | 2   | Equipo defectuoso debido al final de su vida útil.                                 | No existe una sujeción adecuada para el paso del conductor. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el cambio del aislador.  |   |
| HOJA DE INFORMACIÓN-RCM |   | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución  | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián; Meza Bryan | FECHA: 21/03/2023  | HOJA No: 3 DE: 7   |  |
| Función                 |   | Falla Funcional  | Modo de Falla                               |  | Efectos de la Falla  |   |
| 3                       | Conectar las derivaciones de la red eléctrica en medio voltaje, mantenimiento un voltaje de distribución adecuado (13,8/7,97kV) | A<br>No conectar las derivaciones de la red eléctrica de medio voltaje   | 1   | Conector de compresión deteriorado por presencia de puntos calientes.              | Conector puede llegarse a fundir provocando cortocircuitos por contacto entre fases. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del compresor.   |   |
|                         |   |  | 2   | Conexión floja entre el compresor y las líneas de la red por compresor defectuoso. | No existe conexión adecuado entre la red de medio voltaje y el puesto de transformación. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del compresor.<br>Cortocircuito por contacto de las líneas sueltas. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo de las líneas afectadas y del compresor.  |   |
|                         |   |  | 3   | Mala instalación del conector por falla del personal de mantenimiento.             | No existe conexión adecuado entre la red de medio voltaje y el transformador. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del compresor.<br>El transformador no recibe el voltaje necesario para funcionar adecuadamente. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del compresor.   |   |

| HOJA DE INFORMACIÓN-RCM |  | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián; Meza Bryan   | FECHA: 21/03/2023   | HOJA No: 4 DE: 7   |   |
|-------------------------|--|---|---|---------------------|--|--|
| Función                 |  | Falla Funcional                                   | Modo de Falla   | Efectos de la Falla |  |  |
| 4                       | Sujetar el portafusible para que el elemento fusible pueda actuar ante sobrecorrientes de la red.        | A   | No sujetar el portafusible para que el elemento fusible pueda actuar ante sobrecorrientes de la red | 1                   | Mala instalación de los equipos por falta del personal de la empresa.  | No existe conexión adecuada entre la red de medio voltaje y el transformador. Tiempo muerto de 1 semana, se revisan los puntos de conexión.<br>Riesgo de accidentes debido a la caída de los elementos mal sujetos. Tiempo muerto de 1 semana, se ajustan los puntos de conexión.                    |
|                         |  |   |   | 2                   | Equipo defectuoso debido al final de su vida útil.   | No se puede energizar el puesto de transformación, Tiempo muerto de 1 semana, se realiza reemplazo del equipo defectuoso.  |
| 5                       | Interrumpir la conexión entre la red de medio voltaje y la entrada del transformador de manera mecánica. | A   | No interrumpir la conexión entre la red de medio y la entrada del transformador de manera mecánica. | 1                   | Aro de apertura para maniobras se encuentra deteriorado por final de su vida útil.                               | No se puede desenergizar el transformador para las actividades de mantenimiento. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del equipo.  |
|                         |  |   |   | 2                   | Aro de apertura para maniobras se encuentra obstruido por la presencia de impurezas                              | No se puede desenergizar parte de la red para las actividades de mantenimiento. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza la limpieza del mecanismo.<br>Presencia de puntos calientes en los terminales de los portafusibles. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza una inspección térmica del elemento. |
|                         |  |   |   | 3                   | Gancho para sujeción se encuentra deteriorado por final de su vida útil.   | No se puede desenergizar parte de la red para las actividades de mantenimiento. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del equipo.   |
|                         |  |   |   | 4                   | Gancho para sujeción se encuentra obstruido por por la presencia de impurezas                                    | No se puede desenergizar parte de la red para las actividades de mantenimiento. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza la limpieza del mecanismo.<br>Presencia de puntos calientes en los terminales de los portafusibles. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza una inspección térmica del elemento. |
|                         |  |   |   | 5                   | Resorte del terminal inferior se encuentra deteriorado por final de su vida útil.                                | No se puede desenergizar parte de la red para las actividades de mantenimiento. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del equipo.   |
|                         |  |   |   | 6                   | Resorte del terminal inferior se encuentra obstruido por sobrecalentamiento en el mecanismo                      | No se puede desenergizar parte de la red para las actividades de mantenimiento. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza la limpieza del mecanismo.<br>Presencia de puntos calientes en los terminales de los portafusibles. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza una inspección térmica del elemento. |
| 6                       | Interconectar la línea de medio voltaje con el transformador sin la existencia de pérdidas.              | A   | No interconectar la línea de medio voltaje con el transformador sin la existencia de pérdidas.      | 1                   | Los terminales superiores no hacen contacto con el postafusible debido a la presencia de impurezas en el equipo. | El transformador no recibe el voltaje necesario para funcionar adecuadamente. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del seccionador.  |
|                         |  |   |   | 2                   | El elemento fusible se encuentra roto debido a fallos de fabricación   | El transformador no recibe el voltaje necesario para funcionar adecuadamente. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del fusible.  |
|                         |  |   |   | 3                   | Conector de ranuras paralelas deteriorado por la presencia de puntos calientes                                   | El transformador no recibe el voltaje necesario para funcionar adecuadamente. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del seccionador.  |
|                         |  |   |   | 4                   | Mala instalación del seccionador por falta del personal de la empresa.   | No existe conexión adecuada entre la red de medio voltaje y el transformador. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del equipo.<br>El transformador no recibe el voltaje necesario para funcionar adecuadamente. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del seccionador.    |

| HOJA DE INFORMACIÓN-RCM |  | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián; Meza Bryan   | FECHA: 21/03/2023   | HOJA No: 4 DE: 7  |    |
|-------------------------|--|---|---|---------------------|---|---|
| Función                 |  | Falla Funcional                                   | Modo de Falla   | Efectos de la Falla |   |   |
| 7                       | Reducir el voltaje de distribución (13,8kV) al voltaje de consumo (240/120V) para energizar las distintas cargas     | A   | No reducir el voltaje de distribución (13,8kV) al voltaje de consumo (240/120V) para energizar las distintas cargas     | 1                   | Se produce una sobrecarga en el transformador por el incremento de usuarios                             | Se produce un sobrecalentamiento de la cuba del transformador. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza un estudio térmico para detectar la gravedad del daño.  |
|                         |  |   |   | 2                   | Transformador deteriorado a consecuencia de una descarga atmosférica en el activo.                      | El transformador queda fuera de funcionamiento. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.   |
|                         |  |   |   | 3                   | Se produce un cortocircuito en el transformador por el contacto entre dos fases                         | El transformador queda fuera de funcionamiento. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.   |
|                         |  |   |   | 4                   | Mala instalación del seccionador por falta del personal de la empresa.                                  | No existe conexión adecuada entre la red de medio voltaje y la red de bajo voltaje. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.<br>Los usuarios no recibe el voltaje necesario para funcionar adecuadamente. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del transformador. |
|                         |  |   |   | 5                   | Equipo defectuoso debido a error de fabricación   | Los niveles de voltaje entregados causan daños en los equipos eléctricos. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo  |
| 8                       | Aislar la red de bajo voltaje de la red de medio voltaje al actuar sus protecciones.                                 | A   | No aislar la red de bajo voltaje de la red de medio voltaje.  | 1                   | Las protecciones de medio voltaje no actúan debido a su deterioro por final de vida útil.               | El transformador recibe sobrecorrientes que reducen su vida útil . Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.  |
|                         |  |   |   | 2                   | Las protecciones de medio voltaje no actúan debido a la mala instalación por el personal de la empresa. | No se puede energizar el transformador para su funcionamiento . Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.   |
|                         |  |   |   | 3                   | Las protecciones de bajo voltaje no actúan debido a su deterioro por final de vida útil.                | Los usuarios reciben sobrecorrientes que afectan a sus equipos eléctricos . Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.   |
|                         |  |   |   | 4                   | Las protecciones de bajo voltaje no actúan debido a la mala instalación por el personal de la empresa.  | No se puede energizar la línea de bajo voltaje . Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.  |
| 9                       | Conectar la red de medio voltaje (13,8kV) con la red de bajo voltaje (240/120V) sin exceder las pérdidas de voltaje. | A   | No conectar la red de medio voltaje (13,8kV) con la red de bajo voltaje (240/120V) sin exceder las pérdidas de voltaje. | 1                   | Bushing de medio voltaje no tienen buen contacto debido a la presencia de impurezas.                    | No se puede energizar el transformador de distribución. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza la limpieza de los terminales.  |
|                         |  |   |   | 2                   | Terminales de bajo voltaje no tienen buen contacto debido a la presencia de impurezas.                  | No se puede energizar el transformador de distribución. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza la limpieza de los terminales.  |
|                         |  |   |   | 3                   | Mala instalación del seccionador por falta del personal de la empresa.                                  | No se puede energizar la línea de bajo voltaje. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza reemplazo del equipo.   |
|                         |  |   |   | 4                   | Equipo defectuoso debido a error de fabricación   | No se puede energizar la línea de bajo voltaje. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza reemplazo del equipo.   |

| HOJA DE INFORMACIÓN-RCM |  | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución  | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián; Meza Bryan | FECHA: 21/03/2023   | HOJA No: 5 DE: 7  |  |
|-------------------------|--|--|---|---|---|---|
|                         |  | SUBSISTEMA: Transformador monofásico de distribución   |   |   |   |   |
| Función                 |  | Falla Funcional  | Modo de Falla                               |   | Efectos de la Falla   |   |
| 10                      | Reducir el voltaje de distribución (7.97kV) al voltaje de consumo (120V) para energizar las distintas cargas     | A<br>No reducir el voltaje de distribución (7.97kV) al voltaje de consumo (120V) para energizar las distintas cargas     | 1   | Se produce una sobrecarga en el transformador por el incremento de usuarios                             | Se produce un sobrecalentamiento de la cuba del transformador. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza un estudio térmico para detectar la gravedad del daño.  |   |
|                         |  |  | 2   | Transformador deteriorado a consecuencia de una descarga atmosférica en el activo.                      | El transformador queda fuera de funcionamiento. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.   |   |
|                         |  |  | 3   | Se produce un cortocircuito en el transformador por el contacto entre dos fases                         | El transformador queda fuera de funcionamiento. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.   |   |
|                         |  |  | 4   | Mala instalación del seccionador por falla del personal de la empresa.                                  | No existe conexión adecuada entre la red de medio voltaje y la red de bajo voltaje. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.<br>Los usuarios no recibe el voltaje necesario para funcionar adecuadamente. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del transformador. |   |
|                         |  |  | 5   | Equipo defectuoso debido a error de fabricación   | Los niveles de voltaje entregados causan daños en los equipos eléctricos. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo  |   |
| 11                      | Aislar la red de bajo voltaje de la red de medio voltaje al actuar sus protecciones.                             | A<br>No aislar la red de bajo voltaje de la red de medio voltaje.  | 1   | Las protecciones de medio voltaje no actúan debido a su deterioro por final de vida útil.               | El transformador recibe sobrecorrientes que reducen su vida útil. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.   |   |
|                         |  |  | 2   | Las protecciones de medio voltaje no actúan debido a la mala instalación por el personal de la empresa. | No se puede energizar el transformador para su funcionamiento. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.  |   |
|                         |  |  | 3   | Las protecciones de bajo voltaje no actúan debido a su deterioro por final de vida útil.                | Los usuarios reciben sobrecorrientes que afectan a sus equipos eléctricos. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.  |   |
|                         |  |  | 4   | Las protecciones de bajo voltaje no actúan debido a la mala instalación por el personal de la empresa.  | No se puede energizar la línea de bajo voltaje. Tiempo muerto de 2 semanas, se realiza el reemplazo del equipo.   |   |
| 12                      | Conectar la red de medio voltaje (7.97kV) con la red de bajo voltaje (120V) sin exceder las pérdidas de voltaje. | A<br>No conectar la red de medio voltaje (7.97kV) con la red de bajo voltaje (120V) sin exceder las pérdidas de voltaje. | 1   | Bushing de medio voltaje no tienen buen contacto debido a la presencia de impurezas.                    | No se puede energizar el transformador de distribución. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza la limpieza de los terminales.  |   |
|                         |  |  | 2   | Terminales de bajo voltaje no tienen buen contacto debido a la presencia de impurezas.                  | No se puede energizar el transformador de distribución. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza la limpieza de los terminales.  |   |
|                         |  |  | 3   | Mala instalación del seccionador por falla del personal de la empresa.                                  | No se puede energizar la línea de bajo voltaje. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza reemplazo del equipo.   |   |
|                         |  |  | 4   | Equipo defectuoso debido a error de fabricación   | No se puede energizar la línea de bajo voltaje. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza reemplazo del equipo.   |   |

| HOJA DE INFORMACIÓN-RCM |  | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución  | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián; Meza Bryan | FECHA: 21/03/2023   | HOJA No: 5 DE: 7   |  |
|-------------------------|--|--|---|---|--|---|
|                         |  | SUBSISTEMA: Fusible NH   |   |   |  |   |
| Función                 |  | Falla Funcional  | Modo de Falla                               |   | Efectos de la Falla  |   |
| 13                      | Proteger la red de bajo voltaje de sobrecorrientes al fundirse el elemento fusible.                  | A<br>No proteger la red de bajo voltaje de sobrecorrientes al fundirse el elemento fusible.                  | 1   | El elemento fusible no se llega a fundir debido a sobredimensionamiento del fusible.                | La red de bajo voltaje recibe sobrecorrientes que pueden dañar los equipos de los usuarios. Tiempo muerto de 1 semana se revisan los puntos de conexión.     |   |
| 14                      | Interrumpir la conexión entre la salida del transformador y la red de bajo voltaje de manera manual. | A<br>No interrumpir la conexión entre la salida del transformador y la red de bajo voltaje de manera manual. | 2   | Terminales no hacen un correcto contacto por la presencia de impurezas.                             | No se puede desenergizar el transformador para las actividades de mantenimiento. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza la limpieza de los terminales.        |   |
| 15                      | Interconectar la salida del transformador con la red de bajo voltaje sin la existencia de pérdidas.  | A<br>No interconectar la salida del transformador con la red de bajo voltaje sin la existencia de pérdidas.  | 1   | Los terminales no hacen contacto con el fusible NH debido a la presencia de impurezas en el equipo. | No existe conexión adecuada entre la salida del transformador y la red de bajo voltaje. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza la limpieza de los terminales. |   |
|                         |  |  | 2   | El fusible NH se encuentra roto debido a fallos de fabricación                                      | No existe conexión adecuada entre la salida del transformador y la red de bajo voltaje. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el cambio del equipo.          |   |
|                         |  |  | 3   | Mala instalación del seccionador por falla del personal de la empresa.                              | No existe conexión adecuada entre la salida del transformador y la red de bajo voltaje. Tiempo muerto de 1 semana, se revisan los puntos de conexión.        |   |

| HOJA DE INFORMACIÓN-RCM |   | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución   | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián; Meza Bryan | FECHA: 21/03/2023   | HOJA No: 5 DE: 7   |  |
|-------------------------|---|---|---|---|--|---|
|                         |   | SUBSISTEMA: Descargador DPS                         |   |   |  |   |
| Función                 |   | Falla Funcional                                     | Modo de Falla                               |   | Efectos de la Falla  |   |
| 16                      | Proteger a la red de descargas atmosféricas al descargar la corriente por tierra. | A<br>No proteger a la red de descargas atmosféricas | 1   | Mala instalación de los equipos por falla del personal de la empresa. | No se puede descargar los rayos de forma segura. Tiempo muerto de 1 semana, se revisan los puntos de conexión.<br>Riesgo de accidentes debido a la caída de los elementos mal sujetos. Tiempo muerto de 1 semana, se ajustan los puntos de conexión. |   |
|                         |   |   | 2   | Equipo defectuoso debido al final de su vida útil.                    | No se puede descargar los rayos de forma segura. Tiempo muerto de 1 semana, se revisan los puntos de conexión.   |   |

| HOJA DE INFORMACIÓN-RCM |   | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución   | ELABORADO POR: Aleaga Sebastián; Meza Bryan | FECHA: 21/03/2023  | HOJA No: 5 DE: 7  |  |
|-------------------------|---|---|---|--|---|---|
|                         |   | SUBSISTEMA: Conector dentado tipo estanco   |   |  |   |   |
| Función                 |   | Falla Funcional   | Modo de Falla                               |  | Efectos de la Falla   |   |
| 17                      | Conectar la salida de los fusibles NH con la red de bajo voltaje, manteniendo un voltaje de consumo adecuado (240/120V) | A<br>No conectar la salida de los fusibles NH con la red de bajo voltaje, manteniendo un voltaje de consumo adecuado (240/120V) | 1   | Conector dentado deteriorado por presencia de puntos calientes.                    | Conector puede llegarse a fundir provocando cortocircuitos por contacto entre fases. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del conector.   |   |
|                         |   |   | 2   | Conexión floja entre el compresor y las líneas de la red por compresor defectuoso. | No existe conexión adecuada entre la salida de los fusibles NH con la red de bajo voltaje. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del conector.<br>Cortocircuito por contacto de las líneas sueltas. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo de las líneas afectadas y del conector. |   |
|                         |   |   | 3   | Mala instalación del conector por falla del personal de la empresa.                | No existe conexión adecuada entre la salida de los fusibles NH con la red de bajo voltaje. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo del conector.<br>Cortocircuito por contacto de las líneas sueltas. Tiempo muerto de 1 semana, se realiza el reemplazo de las líneas afectadas y del conector. |   |

Tabla 37.

Plan de mantenimiento – Hoja de decisión

| HOJA DE DECISIÓN          |    |    |                                 |   |   |   |    | SISTEMA: Sistema de transformación y distribución |    |    |                   |    |  |           |                 | ELABORADO POR:<br>Aleaga Sebastián;<br>Meza Bryan |                | HOJA No: 6 DE: 7 |  |
|---------------------------|----|----|---------------------------------|---|---|---|----|---|----|----|-------------------|----|--|-----------|-----------------|---|----------------|------------------|--|
| Referencia de información |    |    | Evaluación de las consecuencias |   |   |   |    | H1  | H2 | H3 | Acción a falta de |    |  |           | TAREA PROPUESTA | Intervalo inicial                                 | A realizar por |                  |  |
| F                         | FF | FM | H                               | S | E | O | O1 | O2  | O3 | H4 | H5                | S4 |  |           |                 |   |                |                  |  |
| 1                         | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL EQUIPOS DEFECTUOSOS              | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 1                         | A  | 2  | S                               | N | N | S | S  |   |    |    |                   |    | INSPECCIONES VISUALES                          | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 1                         | A  | 3  | N                               |   |   |   | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DE PROTECCIONES                      | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 1                         | A  | 4  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | REVISIÓN Y AJUSTE DE LAS CONEXIONES            | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 2                         | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | AJUSTE DEL AISLADOR                            | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 2                         | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL AISLADOR                         | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 3                         | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REVISIÓN DEL ESTADO DEL COMPRESOR              | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 3                         | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL COMPRESOR                        | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 3                         | A  | 3  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | AJUSTE DEL COMPRESOR                           | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 4                         | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | REVISIÓN DEL CONECTOR DE RANURAS PARALELAS     | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 4                         | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL SECCIONADOR                      | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 5                         | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL ARO DE APERTURA                  | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 5                         | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | LIMPIEZA DE IMPUREZAS DEL ARO DE APERTURA      | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 5                         | A  | 3  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL GANCHO DE SUJECCIÓN              | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 5                         | A  | 4  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | LIMPIEZA DE IMPUREZAS DEL GANCHO DE SUJECCIÓN  | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 5                         | A  | 5  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL RESORTE DEL TERMINAL             | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 5                         | A  | 6  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | LIMPIEZA DE IMPUREZAS DEL RESORTE DEL TERMINAL | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 6                         | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | LIMPIEZA DE LOS TERMINALES SUPERIORES          | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 6                         | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DE ELEMENTO FUSIBLE                  | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 6                         | A  | 3  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO CONECTOR DE RANURAS PARALELAS        | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 6                         | A  | 4  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | AJUSTE DE CONEXIONES DEL SECCIONADOR           | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 7                         | A  | 1  | N                               |   |   |   | S  |   |    |    |                   |    | INSPECCIONES TERMOGRÁFICAS                     | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 7                         | A  | 2  | S                               | S |   |   | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL TRANSFORMADOR                    | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 7                         | A  | 3  | S                               | S |   |   | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DE LOS TERMINALES AFECTADOS          | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 7                         | A  | 4  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | REVISIÓN DE LAS CONEXIONES DE MV               | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 7                         | A  | 5  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | DEVOLUCIÓN DEL EQUIPO DEFECTUOSO               | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 8                         | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DE PROTECCIONES DE MV                | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 8                         | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | INSPECCIÓN DE LAS CONEXIONES DE MV             | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 8                         | A  | 3  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DE PROTECCIONES DE BV                | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 8                         | A  | 4  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | INSPECCIÓN DE LAS CONEXIONES DE BV             | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 9                         | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | LIMPIEZA DE IMPUREZAS DE BUSHING DE MV         | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 9                         | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | LIMPIEZA DE IMPUREZAS DE BUSHING DE BV         | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 9                         | A  | 3  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | INSPECCIONES VISUALES                          | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 9                         | A  | 4  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | DEVOLUCIÓN DEL EQUIPO DEFECTUOSO               | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 10                        | A  | 1  | N                               |   |   |   | S  |   |    |    |                   |    | INSPECCIONES TERMOGRÁFICAS                     | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 10                        | A  | 2  | S                               | S |   |   | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL TRANSFORMADOR                    | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 10                        | A  | 3  | S                               | S |   |   | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DE LOS TERMINALES AFECTADOS          | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 10                        | A  | 4  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | REVISIÓN DE LAS CONEXIONES DE MV               | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 10                        | A  | 5  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | DEVOLUCIÓN DEL EQUIPO DEFECTUOSO               | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 11                        | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DE PROTECCIONES DE MV                | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 11                        | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | INSPECCIÓN DE LAS CONEXIONES DE MV             | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 11                        | A  | 3  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DE PROTECCIONES DE BV                | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 11                        | A  | 4  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | INSPECCIÓN DE LAS CONEXIONES DE BV             | 2 SEMANAS | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 12                        | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | LIMPIEZA DE IMPUREZAS DE BUSHING DE MV         | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 12                        | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | LIMPIEZA DE IMPUREZAS DE BUSHING DE BV         | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 12                        | A  | 3  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | INSPECCIONES VISUALES                          | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 12                        | A  | 4  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | DEVOLUCIÓN DEL EQUIPO DEFECTUOSO               | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 13                        | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | DIMENSIONAMIENTO DEL FUSIBLE                   | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 14                        | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | LIMPIEZA DE LOS TERMINALES DEL FUSIBLE NH      | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 15                        | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | LIMPIEZA DE LOS TERMINALES DEL FUSIBLE NH      | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 15                        | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | DEVOLUCIÓN DEL EQUIPO DEFECTUOSO               | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 15                        | A  | 3  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | INSPECCIÓN VISUAL DEL FUSIBLE NH               | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 16                        | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | S   |    |    |                   |    | AJUSTE DE CONEXIONES DEL DESCARGADOR           | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 16                        | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL DESCARGADOR                      | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 17                        | A  | 1  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | INSPECCIÓN TÉRMICA DEL CONECTOR DENTADO        | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 17                        | A  | 2  | S                               | N | N | S | N  | N   | S  |    |                   |    | REEMPLAZO DEL CONECTOR DENTADO                 | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |
| 17                        | A  | 3  | N                               | N | S | N | S  |   |    |    |                   |    | AJUSTE DE LAS CONEXIONES DEL CONECTOR DENTADO  | 1 SEMANA  | PERSONAL-MITTO  |   |                |                  |  |



## Capítulo VI

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- Se analizaron puntos calientes en el alimentador N° 01CV13B1S4 – LATACUNGA SUR mediante termografía aérea instalada en un drone Phantom 4 Advanced, obteniendo como resultado una cifra de 33,34 % de elementos con fallos, de una muestra de 72 Sistemas de Transformación y Distribución, tanto monofásicos y trifásicos.
- Se seleccionó una cámara termográfica de la marca FLIR y su modelo Duo Pro R resultó el más óptimo para el desarrollo del proyecto, este dispositivo pesa 330 g, posee una resolución media – alta de 336 x 256 px en su sensor termográfico y una resolución 4k en su sensor visible, además de tener características esenciales de telemetría, control a distancia y radiometría esta cuenta con dos cámaras.
- Se diseñó un soporte mediante el uso del software Blender, buscando que la estructura tenga poco peso, específicamente de 28 gramos ubicado en el centro de gravedad del drone, evitando así dificultades durante el vuelo y brindando la resistencia adecuada para el sistema de transmisión de datos. El diseño final fue elaborado con impresión 3D en material PETG, teniendo así, un dispositivo que sujete adecuadamente la cámara térmica y demás elementos al drone.
- La telecomunicación resultó ser un parámetro fundamental entre los operadores, el drone y la cámara termográfica, se la realizó por medio de un emisor Flysky modelo FS-T6, para controlar señales PWM que permiten al copiloto recoger la evidencia fotográfica y al piloto contar con transmisión de video térmico y visible a través del transmisor de video VTX - BETAFPV M02 instalado en la cámara termográfica y observar por medio de las Gafas de video EACHINE - EV800DM.

- El análisis termográfico permitió elaborar 72 informes, de los cuales 48 son de sistemas monofásicos (con un 31,24 % de elementos con fallas) y 24 de sistemas trifásicos (con un 37,50 % de elementos con fallas), teniendo así un similar número de elementos con problemas entre ambos sistemas.
- La interpretación de severidad de acuerdo al nivel de voltaje reveló que los sistemas que presentan más problemas son los de BV con un 66,67 % de elementos con fallas en comparación al 33,33 % de sistemas de MV, evidenciando así que el nivel de voltaje de 13,8 kV es más seguro ante problemas de aumento de temperatura.
- La interpretación de severidad por tipo de elemento demuestra que los elementos que más sufren problemas por incremento de temperatura son, para MV el elemento Cuba del transformador y en BV el elemento Fusible NH (elemento que tiene el mayor diferencial de temperatura siendo  $\Delta T=50,60$  °C), con la distinción de que los sistemas trifásicos presentan una reducción significativa de fallos en MV teniendo solo 3 fallos a diferencia de los sistemas Monofásicos que tienen un total de 7 fallos.
- Los datos proporcionados por el personal del Departamento de Mantenimiento de ELEPCO S.A. por medio de la entrevista evidenciaron que el tiempo empleado para una inspección de un Sistema de Transformación y Distribución es de mínimo 10 minutos, mientras que el empleo de termografía aérea reduce en un 66,67 % el tiempo de inspección, siendo de 3 minutos en promedio.
- El calendario de mantenimiento se ha diseñado de tal manera que las tareas propuestas para los activos del sistema son cumplidas durante todo el año en un periodo de entre una y dos semanas. Entre las acciones a tomar están: la limpieza de los terminales, revisiones termográficas y el reemplazo de los equipos, siendo la termografía aérea la mejor opción para realizar estas actividades en comparación a los métodos convencionales.

## Recomendaciones

- Para la realización de proyectos similares se sugiere la selección de una cámara que tenga poco peso, debido a que se debe evitar que el drone realice un esfuerzo elevado durante el despegue, además que dificulta su estabilidad en el aire si el peso extra no se coloca en el centro de gravedad.
- Se recomienda modelar un diseño compacto que pueda sostener los elementos de comunicación, esto se debe a que se busca reducir el peso lo máximo posible, además que es conveniente el uso del PETG, debido a que posee una mayor resistencia en comparación a otros materiales.
- Se recomienda el uso de una placa controladora IMU la misma dispone de filtros de corriente que serán necesarios para la correcta alimentación de los dispositivos de comunicación ya que trabajan con corrientes elevadas y requieren de un medio que regule los picos de corriente adecuadamente.
- Se recomienda que exista una comunicación constante entre el equipo de estudio y la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.), para que se informe de manera oportuna la presencia de los fallos en los elementos analizados y se puedan tomar las acciones correctivas inmediatamente.
- Se recomienda la realización de mantenimiento predictivo con más frecuencia a la red, tanto visuales, como térmicas, esto para evitar fallos graves en el sistema que causen el corte de suministro de energía eléctrica, para esto el uso de drones térmicos es una opción conveniente de analizar para el personal de mantenimiento de las Empresas Eléctricas.
- Se recomienda establecer dos horarios de inspecciones termográficas, unos por la mañana a partir de las 09:00 am y otro por la tarde, pasado las 18:30 pm donde se tiene la hora pico de demanda en la red.

## Bibliografía

ACERNNR. (2020). *Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica.*

ANSI. (2011). *Standard For Maintenance Testing Specifications for Eléctrical Power Equipments and Systems*. InterNational Electrical Testing Association, United States Of América.

ARCONEL. (2018). *Regulación No. ARCONEL 005/18*.

ASNT. (2020). *Introducción to nondestructive testing*.

[https://www.asnt.org/MajorSiteSections/About/Introduction\\_to\\_Nondestructive\\_Testing.aspx](https://www.asnt.org/MajorSiteSections/About/Introduction_to_Nondestructive_Testing.aspx)

Blender. (2023). *Acerca de Blender*.

[https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting\\_started/about/introduction.html#:~:text=Blender%20es%20una%20suite%20de%20creaci%C3%B3n%20de%20contenido%20D%20totalmente,y%20muchos%20tipos%20de%20Simulaciones](https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting_started/about/introduction.html#:~:text=Blender%20es%20una%20suite%20de%20creaci%C3%B3n%20de%20contenido%20D%20totalmente,y%20muchos%20tipos%20de%20Simulaciones).

BMP. (2021). *Zonas Geo y desactivación de Zona Azul – Drones DJI*. Santiago de Chile.

Brea. (2020). *Diagrama unifilar del SEP*. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diagrama-unifilar-del-SEP-del-ejemplo-numerico\\_fig1\\_305172431](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diagrama-unifilar-del-SEP-del-ejemplo-numerico_fig1_305172431)

[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diagrama-unifilar-del-SEP-del-ejemplo-numerico\\_fig1\\_305172431](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diagrama-unifilar-del-SEP-del-ejemplo-numerico_fig1_305172431)

Carrera, E. F., & Guacho, J. I. (2018). *Inspección termográfica de líneas eléctricas y torres de*. Universidad de Guayaquil.

Chong, C. (2015). *Understanding infrared thermography reading 3 part 1 of 2*.

<https://www.slideshare.net/charliechong/understanding-infrared-thermography-reading-3-part-1-of-2>

Corfopym. (2021). *Termografía aérea - Inspecciones técnicas*.

[https://corfopym.com/ingenieria\\_drones\\_termografia\\_inspeccion\\_visual/](https://corfopym.com/ingenieria_drones_termografia_inspeccion_visual/)

De Prada, I. (2021). La cámara termográfica: una fascinante visión de la física. *Revista Española de Física*, 22. <http://revistadefisica.es/index.php/ref/article/view/2710>

DGAC. (2020). *Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)*.

DJIFLYSAFE. (2023). *DJI FLYSAFE*. <https://fly-safe.dji.com/home>

- Editores SRL. (2014). *Fusibles de alta calidad de ruptura*. [https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie288\\_industrias\\_sica\\_fusibles\\_de\\_alta\\_calidad\\_de\\_ruptura.pdf](https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie288_industrias_sica_fusibles_de_alta_calidad_de_ruptura.pdf)
- ELEPCOSA. (2023). *Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.)*. <https://elepcosa.com.ec/mapa-del-sitio/>
- Farias, A., & Fernández, B. (2021). *Análisis Termográfico del Alimentador N° 1 en media tensión de la Subestación Eléctrica San Rafael*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Fernández, A. F. (2021). *Análisis Termográfico del Alimentador N° 1 en media tensión de la Subestación Eléctrica San Rafael*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- FLIR. (2017). *FLIR Duo Pro R - Manual de usuario*. Wilsonville.
- FLUKE. (2009). *Introducción a los principios de la termografía*. American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation y The Snell Group.
- Fontal, B. (2005). *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones*. Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química. [https://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/07/espectro\\_electromagnetico.pdf](https://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/07/espectro_electromagnetico.pdf)
- Gonzales, J. (2015). *Mantenimiento Predictivo en Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP)*. <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2623>
- GSL Industrias. (2021). *Transformador Eléctrico*. [https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/transformador\\_monofasico](https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/transformador_monofasico)
- Guzmán, J. (2019). *Técnicas de Investigación de Campo*. UNAM-FCA-SUAYED. <https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/0fec888-6a3f-4b31-b704-a2d94e3eed72/U000308176506/index.html>
- Hernández, E. (2020). *Cámaras termográficas (IR térmico)*. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21422>
- Hernandez, S. (2014). *Metodología de la investigación 6ta edición*. Mc Graw Hill.

- INELDEC. (2020). *Transformador Trifasico Convencional 15 KVA Rymel Magnetron*.  
<https://ineldec.com/producto/transformador-trifasico-convencional-de-15-kva-rymel-magnetron/>
- Juárez, J. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. México: Sans Serif Editores.
- Luisyep. (2020). *El Espectro Electromagnético*. <https://ingenieriabasica.es/espectro-electromagnetico/>
- Luminotecnia. (2023). *SECCIONADOR FUSIBLE 27KV 100 A*.  
<https://www.luminotecnia.com.py/producto/4860/PROYECTOR-LED-30W-RGB-88-264V-IP65->
- Molina, G., & Ramos, M. (2018). *Diagnóstico termográfico de transformadores eléctricos suspendidos en postes utilizando una aeronave no tripulada*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Mourbray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*. Aladon LLC.
- Parella, S., & Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. FEDUPEL.
- Perez, C. (2005). *Muestreo estadístico conceptos y problemas resueltos*. Madrid: Pearson.
- Predictiva21. (2021). *Técnicas de mantenimiento predictivo*. <https://predictiva21.com/tecnicas-mantenimiento-predictivo/>
- Prototrans. (2021). *Transformador Monofásico Tipo Poste*.  
<https://portotransformadores.com/productos/transformador-monofasico-tipo-poste/>
- SectorElectricidad. (2018). *Seccionadores*.  
<https://www.sectorelectricidad.com/20135/seccionadores/>
- SercePerú. (2018). *Mantenimiento de líneas de transmisión y distribución*.  
<https://serceperu.com/mantenimiento-de-lineas-de-transmision-y-distribucion/>
- SNTTC1A. (2020). *Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing*. The American Society for Nondestructive Testing Inc.

Udelar. (14 de Diciembre de 2020). *Etapas de la Investigación Bibliográfica*. Universidad de la República de Uruguay: <https://www.fenf.edu.uy/wp-content/uploads/2020/12/14dediciembrede2020Etapasde-la-investigacionbibliografica-1.pdf>

Vega, A. (2011). *Transformadores Trifásicos*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

VisionTir. (2017). *Termografía Infrarroja, Cámaras termográficas y termómetros infrarrojos*. <https://visiontir.com/es/termografia-infrarroja-cameras-termografias-y-termometros-infrarrojos/>

WEG. (2021). *Fusible NH*. <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Controls/Protecci%C3%B3n-de-Circuitos/Fusibles/aR-%28Ultra-R%C3%A1pidos%29/Fusibles-Tipo-NH---aR/FUSIBLE-NH-aR-FNH000-20K-A/p/13735555>

Xunta de Galicia. (2012). *Seccionadores*.

[https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual/pluginfile.php/5725/mod\\_resource/content/0/Curso\\_Subestaciones.\\_Univ\\_Laboral\\_Haciadama\\_Parte2.pdf](https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual/pluginfile.php/5725/mod_resource/content/0/Curso_Subestaciones._Univ_Laboral_Haciadama_Parte2.pdf)

**Anexos**