



**UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD INDUSTRIAL**

**TEMA**

---

**PROPUESTA DE UN DISPOSITIVO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA LA SUPERVISIÓN DE TRABAJOS EN LÍNEAS ENERGIZADAS EN LOS POSTES DE ALUMBRADO PÚBLICO**

---

Trabajo de Integración curricular previo a la obtención del título de Ingeniero en Seguridad Industrial

**Autor**

Alarcón Endara Adrian Mateo

**Tutor**

Ing. Ron Valenzuela Pablo Elicio MSc.

QUITO – ECUADOR

2023

# AUTORIZACIÓN

## AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Adrian Mateo Alarcón Endara, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre **PROPUESTA DE UN DISPOSITIVO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA LA SUPERVISIÓN DE TRABAJOS EN LÍNEAS ENERGIZADAS EN LOS POSTES DE ALUMBRADO PÚBLICO**, como requisito para optar al grado de Ingeniería en Seguridad Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 11 días del mes de abril del 2024, firmo conforme:

Autor: Adrian Mateo Alarcón Endara



Firma:

Número de Cédula: 1721407151

Dirección: San Carlos – Quito – Ecuador

Correo Electrónico: [adrianmateoalarcon6@gmail.com](mailto:adrianmateoalarcon6@gmail.com)

Teléfono: 0995984175

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación **PROPUESTA DE UN DISPOSITIVO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA LA SUPERVISIÓN DE TRABAJOS EN LÍNEAS ENERGIZADAS EN LOS POSTES DE ALUMBRADO PUBLICO** presentado por Adrian Mateo Alarcón Endara para optar por el Título de Ingeniero en Seguridad Industrial.

### **CERTIFICO**

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 11 días del mes de abril 2024

.....

Ing. Ron Valenzuela Pablo Elicio MSc.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniería Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito, 11 días del mes de abril del 2024

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'A' followed by several cursive letters, all enclosed within a large, hand-drawn oval shape.

.....  
Alarcón Endara Adrian Mateo C.I. 1721407151

## **APROBACIÓN TRIBUNAL**

El trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: **PROPUESTA DE UN DISPOSITIVO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA LA SUPERVISIÓN DE TRABAJOS EN LÍNEAS ENERGIZADAS EN LOS POSTES DE ALUMBRADO PUBLICO**, previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 11 días del mes de abril del 2024

.....

Ing. Segura D' Rouville Juan Joel MSc.

LECTOR

.....

Ing. Espejo Viñan Hernán Fabricio MSc.

LECTOR

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis abuelos, fuente inagotable de apoyo y motivación. A mis padres, por su amor incondicional y constante aliento; a mis hermanos, por compartir este viaje conmigo. También, dedico este trabajo a mis profesores, cuya sabiduría y orientación han sido fundamentales en mi formación académica. A mis amigos dentro y fuera de la universidad, quienes han sido faros de luz en los momentos desafiantes con palabras de aliento. A todos aquellos que, de una forma u otra, han contribuido a mi crecimiento académico y personal. Esta tesis es el resultado de un esfuerzo colectivo, y a cada uno de ustedes les agradezco por ser parte de este logro.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de esta tesis. En primer lugar, Dios por darme la sabiduría para culminar esta etapa de mi vida, a mi tutor El Ingeniero Pablo Ron, por su orientación experta, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Sus valiosos consejos y retroalimentación han sido fundamentales para dar forma y mejorar este trabajo.

Agradezco profundamente a mi familia por su constante apoyo y comprensión. A mis padres, quienes han sido mi fuente inquebrantable de apoyo, y a mis hermanos, por su aliento y ánimo en cada paso de este camino académico.

Quiero reconocer el apoyo brindado por mis amigos y compañeros de clase. Sus conversaciones estimulantes y su solidaridad han sido un faro en los momentos desafiantes. También, agradezco a todos los profesores que han contribuido a mi formación académica. Gracias por acompañarme en este camino.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

TEMA.....	i
AUTORIZACIÓN.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
Marco teórico.....	3
Seguridad Industrial.....	3
Riesgo laboral.....	3
Factor de Riesgo Eléctrico.....	4
Riesgos por Trabajos en altura.....	4
Riesgos por Trabajos en líneas energizadas.....	4
Cinco reglas de oro.....	5
Electricidad.....	6
Corriente eléctrica.....	6
Efectos de la Electricidad en Función de la Intensidad de la Corriente.....	6
Antecedentes.....	8



<b>Normativas y regulaciones</b> .....	9
<b>Justificación</b> .....	11
<b>Objetivos</b> .....	12
<b>Objetivo general</b> .....	12
<b>Objetivos específicos</b> .....	12
<b>CAPÍTULO II</b> .....	13
<b>INGENIERÍA DEL PROYECTO</b> .....	13
<b>Diagnóstico de la situación actual</b> .....	13
<b>Procedimiento de trabajo en líneas energizadas cuantificando el tiempo de las actividades</b> .....	15
<b>Procedimiento de Mantenimiento de Líneas Energizadas</b> .....	15
<b>Procedimiento de Trabajo Montaje de Estructuras y Componentes para Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica</b> .....	16
<b>Procedimiento de Trabajo Construcción de Sistemas de Puesta a Tierra</b> .....	18
<b>Diagnóstico de Evaluación de los Camiones Canasta</b> .....	19
<b>Metodología</b> .....	19
<b>Resultados</b> .....	19
<b>Conclusiones</b> .....	20
<b>Diagnóstico de Inspección y Evaluación de la Pértiga Eléctrica</b> .....	20
<b>Metodología</b> .....	21
<b>Resultados</b> .....	21
<b>Conclusiones</b> .....	21
<b>Diagnóstico de los trabajadores frente al riesgo en líneas energizadas</b> .....	22
<b>Codificación para la matriz de evaluación de riesgos</b> .....	28
<b>Ejemplificación de las fórmulas aplicadas en la matriz</b> .....	29
<b>Área de estudio</b> .....	36
<b>Modelo operativo</b> .....	36
<b>Desarrollo del modelo operativo</b> .....	37

<b>Identificación de Factores Relevantes</b> .....	37
<b>Asignación de Ponderaciones</b> .....	37
<b>Evaluación de Dispositivos</b> .....	37
<b>Cálculo de Puntuaciones</b> .....	37
<b>Toma de Decisiones</b> .....	38
<b>CAPÍTULO III</b> .....	39
<b>PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS</b> .....	39
<b>Presentación de la propuesta</b> .....	39
<b>Dispositivo de seguridad para líneas energizadas</b> .....	40
<b>Selección del mecanismo cámara térmica</b> .....	40
<b>Criterios de evaluación para la cámara térmica</b> .....	41
<b>Valoración de los criterios para la cámara térmica</b> .....	42
<b>Matriz de priorización para Cámara térmica</b> .....	47
<b>Criterios de Evaluación para Drone</b> .....	51
<b>Valoración de los criterios para el mecanismo de transporte</b> .....	52
<b>Matriz de Priorización para el mecanismo de transporte (Drone)</b> .....	57
<b>Procedimiento de operaciones y funcionamiento del dispositivo de seguridad</b> .....	61
<b>Preparación y Planificación</b> .....	61
<b>Configuración del Equipo</b> .....	62
<b>Despegue y Calibración</b> .....	62
<b>Vuelo de Exploración</b> .....	62
<b>Monitoreo en Tiempo Real</b> .....	62
<b>Captura de Datos</b> .....	62
<b>Intervenciones y Decisiones</b> .....	63
<b>Registro de Actividades</b> .....	63
<b>Aterrizaje y Evaluación</b> .....	63
<b>Mantenimiento y Almacenamiento</b> .....	63
<b>Resultados esperados</b> .....	64

<b>Detección y Prevención Temprana de Riesgos .....</b>	<b>64</b>
<b>Exploración Eficiente y Rápida .....</b>	<b>64</b>
<b>Monitoreo en Tiempo Real y Toma de Decisiones Instantánea .....</b>	<b>64</b>
<b>Registro Detallado para Análisis Posterior .....</b>	<b>65</b>
<b>Reducción Proyectada del Tiempo de Exposición .....</b>	<b>65</b>
<b>Disminución Prevista de la Probabilidad de Accidentes .....</b>	<b>65</b>
<b>Ejemplificación de la matriz de comparación de evaluación de riesgo implementando el dispositivo de seguridad industrial para la supervisión de trabajos en líneas energizadas.....</b>	<b>66</b>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>74</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>74</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Reglas de Oro.....	5
<b>Tabla 2</b> Efectos de la Intensidad de corriente eléctrica sobre el Cuerpo Humano .....	7
<b>Tabla 3.</b> Número de accidentes detallado por año desde el 2018 hasta el 2022.....	13
<b>Tabla 4.</b> Tipo de lesiones en el periodo 2018-2022.....	14
<b>Tabla 5</b> Codificación de las diferentes tareas que realizan los linieros energizados .....	28
<b>Tabla 6</b> Parámetros a evaluar en la matriz de riesgos .....	31
<b>Tabla 7.</b> Tabla resumen de actividades diagnosticadas realizadas y nivel de probabilidad de ocurrencia accidente fatal.....	34
<b>Tabla 8</b> Criterios para la selección de la cámara térmica .....	42
<b>Tabla 9</b> Evaluación de los Costos de las alternativas para la cámara térmica.....	43
<b>Tabla 10</b> Evaluación de la Resolución de las alternativas para la cámara térmica.....	44
<b>Tabla 11</b> Evaluación del Rango de temperatura de las alternativas para la cámara térmica .....	45
<b>Tabla 12</b> Evaluación de la Batería de las alternativas para la cámara térmica .....	46
<b>Tabla 13</b> Matriz de priorización para cámara térmica.....	47
<b>Tabla 14</b> Tabla de evaluación de criterios .....	52
<b>Tabla 15</b> Evaluación del Costo de las alternativas para el Drone .....	53
<b>Tabla 16</b> Evaluación de la Maniobrabilidad de las alternativas para el Drone .....	54
<b>Tabla 17</b> Evaluación del Tamaño de las alternativas para el Drone.....	55
<b>Tabla 18</b> Evaluación del Tiempo de vuelo de las alternativas para el Drone.....	56
<b>Tabla 19</b> Matriz de Priorización mecanismo de transporte (Drone) .....	57
<b>Tabla 20</b> Matriz de comparación del nivel de riesgo aplicando el dispositivo de seguridad .....	66
<b>Tabla 21</b> Cronograma de la implementación de la propuesta .....	68
<b>Tabla 22</b> Tabla de costos asociados a la implementación del dispositivo de supervisión de líneas energizadas.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Muertes eléctricas por tipo de exposición.....	8
<b>Figura 2</b> Pregunta 1 .....	23
<b>Figura 3</b> Pregunta 2 .....	24
<b>Figura 4</b> Pregunta 3 .....	25
<b>Figura 5</b> Pregunta 4 .....	26
<b>Figura 6</b> Pregunta 5 .....	26
<b>Figura 7</b> Modelo Operativo .....	36
<b>Figura 8</b> Zenmuse H20T - Quad-Sensor Solution.....	48
<b>Figura 9</b> Drone modelo DJI Matrice 300 RTK .....	58
<b>Figura 10</b> Modelo tridimensional del dispositivo de seguridad .....	61

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Tabla del nivel de deficiencia en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45	79
<b>Anexo 2.</b> Tabla del nivel de exposición en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45	80
<b>Anexo 3.</b> Tabla del nivel de probabilidad en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45	81
<b>Anexo 4.</b> Tabla del nivel de consecuencia en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45	82
<b>Anexo 5.</b> Portada del manual de usuario Drone DJI Matrice 300 RTK	83
<b>Anexo 6.</b> Aplicación de vuelo manual del Drone DJI Matrice 300 RTK	84
<b>Anexo 7.</b> Aprobación de abstract departamento de idiomas	85

# UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD INDUSTRIAL

**TEMA: PROPUESTA DE UN DISPOSITIVO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL  
PARA LA SUPERVISIÓN DE TRABAJOS EN LÍNEAS ENERGIZADAS EN  
LOS POSTES DE ALUMBRADO PÚBLICO**

**AUTOR:** Adrián Mateo Alarcón Endara

**TUTOR:** Ing. Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc

## RESUMEN

El trabajo de titulación se enfoca en el estudio de un dispositivo de seguridad industrial para mejorar la supervisión de labores en líneas energizadas, específicamente en postes de alumbrado público. La Matriz de Evaluación del Riesgo Inherente revela niveles inaceptables, principalmente debido al prolongado tiempo de exposición. Con un enfoque integral en seguridad laboral, se analizan regulaciones, estándares y estadísticas de accidentes relacionados con riesgos eléctricos. La investigación se centra en la posible adaptación de empresas del sector energético a la implementación de este dispositivo, evaluando sus implicaciones organizativas y de gestión. Destacando la problemática de la alta exposición de los trabajadores, se propone un dispositivo de seguridad industrial que integra una cámara térmica con un dron para supervisar trabajos en alturas en líneas energizadas. La selección de equipos se basa en una matriz de priorización que evalúa criterios como costos, maniobrabilidad y tiempo de vuelo. El dispositivo busca reducir significativamente el tiempo de exposición, disminuyendo así la probabilidad de accidentes. La tecnología de la cámara térmica junto con el dron se presenta como una contribución clave a la mejora de la seguridad laboral y eficiencia en la supervisión de trabajos en líneas energizadas. Además, se destaca el impacto positivo en la reducción de costos asociados a incidentes en líneas energizadas. Este trabajo de titulación aborda la implementación de una solución innovadora que no solo mejora la seguridad de los trabajadores, sino que también contribuye a la eficiencia operativa y a la reducción de costos en la industria eléctrica.

**Palabras clave:** dispositivo de seguridad, líneas eléctricas, matriz de evaluación de riesgos, nivel de riesgo

# UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING, INDUSTRY AND PRODUCTION

INDUSTRIAL SAFETY ENGINEERING CAREER

**SUBJECT: PROPOSAL OF AN INDUSTRIAL SAFETY DEVICE FOR THE SUPERVISION OF WORK ON ENERGIZED LINES ON STREET LIGHTING POLES**

**AUTHOR:** Adrián Mateo Alarcón Endara

**TUTOR:** Eng. Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc.

## ABSTRACT

The degree work focuses on the study of an industrial safety device to improve the supervision of work on energized lines, specifically on public lighting poles. The Inherent Risk Assessment Matrix reveals unacceptable levels, mainly due to the prolonged exposure time. With a comprehensive approach to occupational safety, regulations, standards, and accident statistics related to electrical hazards are analyzed. The research focuses on the possible adaptation of companies in the energy sector to the implementation of this device, evaluating its organizational and management implications. Highlighting the problem of high exposure of workers, an industrial safety device is proposed that integrates a thermal camera with a drone to monitor work at heights on energized lines. Equipment selection is based on a prioritization matrix that evaluates criteria such as cost, maneuverability, and flight time. The device seeks to significantly reduce exposure time, thus reducing the probability of accidents. The thermal camera technology together with the drone is presented as a key contribution to improving occupational safety and efficiency in the supervision of work on energized lines. In addition, the positive impact on the cost reduction associated with incidents on energized lines is highlighted. This work addresses the implementation of an innovative solution that not only improves worker safety but also contributes to operational efficiency and cost reduction in the electrical industry.

**Key words:** safety device, power lines, risk assessment matrix, risk

(Anexo 7.

Aprobación de abstract departamento de idiomas)



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El proyecto se enfoca en estudiar y analizar cómo la utilización de drones puede potenciar la supervisión de trabajos en alturas en líneas energizadas, proporcionando una visión integral y detallada del estado de las infraestructuras eléctricas sin exponer a los trabajadores a situaciones de alto riesgo. Esto implica analizar tendencias globales en cuanto a seguridad laboral, regulaciones y estándares relacionados con trabajos en altura y drones, Según la Estadística de Accidentes de Trabajo del Ministerio de Trabajo de España, *“en 2022 hubo 335 accidentes laborales relacionados con riesgo eléctrico. Esto deja una media de 1 trabajador electrocutado cada día. Además, 7 empleados perdieron la vida al ser electrocutados”* (Gutierrez, 2023), así como identificar los desafíos más amplios que enfrenta la industria en este campo; además, se investigarán los avances tecnológicos y sus implicaciones a gran escala, considerando cómo la implementación de drones puede contribuir a la eficiencia y seguridad en la realización de estos trabajos. En base a lo expuesto en Aero Cámaras *“Las estimaciones de 2018, las pérdidas por cortes en España produjeron sanciones por 52,5 millones de euros a las principales empresas eléctricas.”* (Rodriguez, 2019)

Se abordará la supervisión de trabajos en alturas en líneas energizadas desde la óptica de las organizaciones y empresas del sector energético. Esto implica analizar cómo las empresas están adaptando sus procesos y protocolos para incorporar drones en sus operaciones, así como identificar las implicaciones a nivel organizativo y de gestión. Se explorará la interacción entre los distintos actores involucrados, como los trabajadores,

supervisores, ingenieros, y cómo se están capacitando y preparando para la adopción de esta tecnología.

De igual manera (Agudelo, 2017) indica que C Entrando a detalle de la supervisión de trabajos en alturas en líneas energizadas, el personal del departamento de Líneas Energizadas de la empresa eléctrica Quito ejecutan sus tareas exponiéndose a líneas energizadas de 36 Kv que se ubican a una altura entre 7 y 9 metros donde la probabilidad de sufrir una caída o exponerse a riesgos eléctricos drones se incluye el estudio de las aplicaciones específica en este contexto, como la inspección de estructuras, la detección de fallos, la monitorización en tiempo real y la recopilación de datos. Se investigarán las tecnologías y sensores utilizados en los drones, así como los desafíos técnicos que pueden surgir en la implementación y operación de esta tecnología en entornos energéticos.

Finalmente, a lo largo de esta tesis, demostraremos cómo la adopción de un dispositivo de seguridad industrial especializado no solo mejora la seguridad de los trabajadores, sino que también contribuye a la eficiencia operativa y a la reducción de costos asociados a incidentes en líneas energizadas. Como resume de manera elocuente John C. Maxwell, "la seguridad no es la ausencia de peligro, sino la presencia de medidas de prevención".

En resumen, esta tesis constituye un viaje profundo hacia la comprensión de los dispositivos de seguridad industrial en la supervisión de trabajos en líneas energizadas en postes de alumbrado público. Como recordatorio constante de la importancia de la seguridad, seguimos las palabras de Winston Churchill "La seguridad es una actitud".

## **Marco teórico**

### **Seguridad Industrial**

Dentro del ámbito de la Seguridad Industrial, la relevancia de este concepto se manifiesta de manera notable, cubriendo dos aspectos fundamentales la seguridad interna, que se centra en la protección durante la fabricación o los procesos industriales, y la seguridad externa, la cual está vinculada con la utilización segura de los productos o servicios industriales. Tan pronto se dominaron las técnicas fundamentales de la industrialización en los diversos países, y según su historia particular de desarrollo, se produjo cierto realineamiento de objetivos, en los cuales la seguridad aparece como característica a cumplir necesariamente, aunque no de manera maximalista (Antonio Muñoz, 2021)

### **Riesgo laboral**

Tradicionalmente se ha definido este concepto como la probabilidad de un suceso no deseado con unas determinadas consecuencias negativas, en este caso, en el entorno de trabajo. A pesar de que la descripción previa permanece vigente, es necesario aceptar que los riesgos no son siempre aparentes. En el ámbito de la prevención, es esencial anticipar o tener en cuenta estos riesgos con antelación, ya que lo observable son los elementos que les sirven de sustento, y estos elementos varían según el riesgo particular considerado. Por ejemplo, en una actividad que implique el manejo o la exposición a una sustancia química, un mismo agente que puede dar riesgo de incendio-explósión o de toxicidad aguda, ambos relacionados con la seguridad, o riesgos de toxicidad crónica, identificada como enfermedad profesional. (López, 2019)

### **Factor de Riesgo Eléctrico**

Como factor de riesgo eléctrico se entienden todos los sistemas eléctricos de las máquinas y los equipos que al entrar en contacto con las personas o las instalaciones y materiales pueden provocar lesiones a las personas y daños a la propiedad. (Henaó, 2014)

### **Riesgos por Trabajos en altura**

Los empleos en elevación engloban todas aquellas labores efectuadas a una altitud superior a 1,5 metros por encima o por debajo del nivel del suelo en el que se encuentra el trabajador, con el consiguiente riesgo de sufrir una caída libre. El trabajo en alturas representa una de las actividades más riesgosas, ya que el trabajador puede estar expuesto a diversos eventos perjudiciales, tales como electrocución, quemaduras por calor, exposición a productos químicos y/o radiaciones (solares, UV o IR), impactos contra estructuras, entre otros, dependiendo de la naturaleza de la tarea a realizar. No obstante, la caída libre se destaca como la amenaza de mayor magnitud. (Oño)

### **Riesgos por Trabajos en líneas energizadas**

El trabajo de mantenimiento en líneas energizadas (en caliente), hoy día es realizado comúnmente, no solo por el punto de vista económico por no necesitar desenergizar (enfriar) las líneas para realizar el mantenimiento, sino también por su relación con el nivel de capacitación necesario y por los índices de accidentabilidad de una empresa. (Robles, 2005)

## Cinco reglas de oro

Tabla 1

Reglas de Oro

<u>Regla</u>	<u>Descripción</u>	<u>Grafico</u>
Desconexión	Debe aislarse la instalación de toda fuente de alimentación abriendo todos los circuitos, con especial atención a condensadores que puedan quedar cargados	
Prevenir retroalimentación	Se deben bloquear los dispositivos de maniobra para prevenir la posible realimentación de la instalación.	
Verificar ausencia de tensión	Se utilizan equipos de medición para verificar que en las distintas partes de la instalación no exista tensión, ya que, la presencia de corriente eléctrica no es perceptible a través de señales u olores y solamente se puede comprobar midiendo con aparatos. Debe verificarse en cada uno de los conductores	
Puesta a tierra	Se pretende evitar la puesta accidental en tensión de la instalación por circunstancias como un rayo, rotura de una línea en tensión que esté cerca, inducción electromagnética de líneas cercanas, etc.	
Proteger	Proteger frente a elementos próximos en tensión, en su caso, y establecer una señalización de seguridad para delimitar la zona de trabajo	

Nota. Efectos de la electricidad en función a la intensidad y los efectos que causa en el cuerpo humano. Tomado de (Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Industrial, 2019) Elaborado por El Investigador

## **Electricidad**

Es un agente físico presente en todo tipo de materia que bajo ciertas condiciones especiales se manifiesta como una diferencia de potencial entre dos puntos de dicha materia. La electricidad se configura como una manifestación de energía que surge de la interacción entre cargas positivas y negativas. La corriente eléctrica es la forma en la que la electricidad es más fácil de encontrar hoy día y difiere de la electricidad estática (producida por reacciones mutuas entre cargas en reposo, donde un cuerpo queda cargado con cargas positivas y el otro con cargas negativas) en que la carga eléctrica se halla en movimiento, las cargas se desplazan. (Real Academia Española, 2021)

## **Corriente eléctrica**

Según Fernando Henao (Henao, 2014), la corriente eléctrica puede definirse como la cantidad de electrones que van pasando por la sección transversal de un conductor por una unidad de tiempo determinada. La unidad de carga eléctrica elemental es el "coulomb". De esta premisa se deduce que la corriente eléctrica se caracteriza como un flujo, y su magnitud puede cuantificarse en coulombs por segundo.

## **Efectos de la Electricidad en Función de la Intensidad de la Corriente**

Con el propósito de estudiar los impactos que la electricidad genera en el organismo humano, se investigan los pormenores presentados en la NTP 400, titulada "Corriente eléctrica efectos al atravesar el organismo humano", la cual fue elaborada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo Español. Las consecuencias resultantes del flujo de corriente a través del cuerpo pueden variar desde lesiones físicas secundarias, como golpes o caídas, hasta situaciones más críticas, como la posibilidad de experimentar la muerte debido a fibrilación ventricular. La electrificación de una persona ocurre cuando la corriente eléctrica atraviesa su cuerpo, es decir, cuando la persona forma parte del

circuito eléctrico y al menos presenta dos puntos de contacto uno de entrada y otro de salida de la corriente. (Galindo, 2022)

**Tabla 2**

*Efectos de la Intensidad de corriente eléctrica sobre el Cuerpo Humano*

<u>Corriente eléctrica</u> <u>(mA)</u>	<u>Potencia</u> <u>(W)</u>	<u>Efectos de la Intensidad de</u> <u>corriente eléctrica sobre el</u> <u>Cuerpo Humano</u>
10	2,20	Sacudida dolorosa Puede soltar el conductor
20	4,40	Pérdida de control muscular Contracciones musculares
30	6,60	Respiración extremadamente difícil
40	11,0	Graves daños internos Paro respiratorio
50	15,40	Fibrilación ventricular
70	22,0	Muerte en 3 segundos

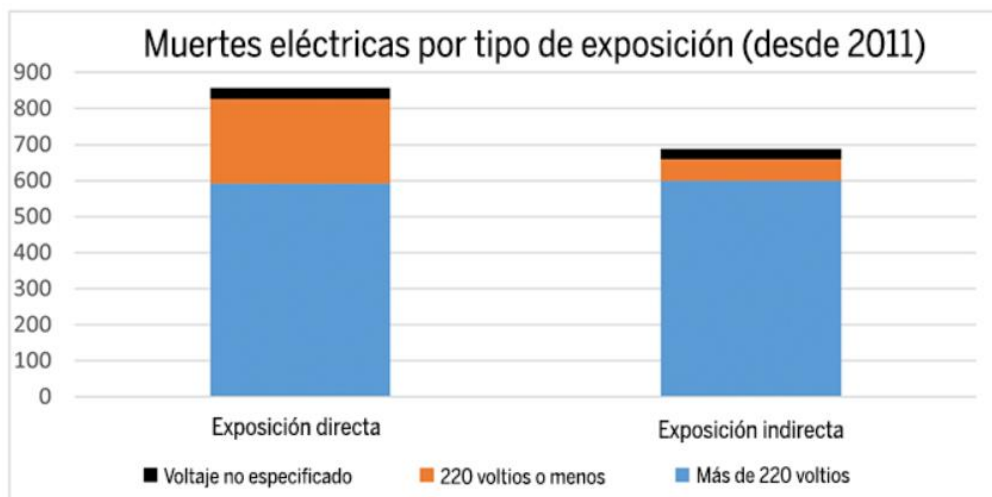
Nota. Efectos de la electricidad en función a la intensidad y los efectos que causa en el cuerpo humano, tomado de (Mejia, 2019). Elaborado por El Investigador

## Antecedentes

La supervisión de trabajos en alturas en líneas energizadas es una actividad crítica en la industria eléctrica, ya que el mantenimiento y la mejora de la infraestructura eléctrica son fundamentales para garantizar un suministro de energía confiable. Sin embargo, esta tarea implica riesgos significativos para los trabajadores, quienes se enfrentan a condiciones peligrosas y potencialmente mortales. En busca de soluciones innovadoras para mejorar la seguridad y eficiencia en esta área, el uso de drones ha surgido como una opción prometedora.

Según (Coache, 2023) *”Desde el año 2011 hasta la fecha, se han reportado un total de 1,653 fallecimientos relacionados con exposición a la electricidad en los Estados Unidos, según datos del Buró de Estadísticas Laborales (BLS, por sus siglas en inglés). De este número, 858 fueron atribuidos a contacto directo con la corriente eléctrica, mientras que 688 fueron resultado de contacto indirecto.”*

**Figura 1.**  
*Muertes eléctricas por tipo de exposición*





En la última década, el desarrollo tecnológico y la accesibilidad de drones han transformado diversas industrias, incluida la eléctrica. A continuación, se presentan algunos antecedentes relevantes sobre la aplicación de drones en la supervisión de trabajos en alturas en líneas energizadas. Investigaciones previas han demostrado que los drones pueden ser utilizados para inspeccionar estructuras eléctricas como torres de alta tensión, líneas de transmisión y subestaciones. Según (Delgado, 2022) *“Estos dispositivos aéreos no tripulados proporcionan imágenes detalladas y en tiempo real, permitiendo una evaluación más precisa del estado de la infraestructura eléctrica.”* Estudios han mostrado que la implementación de drones en la supervisión de trabajos en alturas en líneas energizadas reduce significativamente la exposición de los trabajadores a situaciones de alto riesgo. Además, se ha observado que los drones agilizan el proceso de inspección y facilitan la toma de decisiones basadas en datos más precisos. (Benitez, 2021). Investigaciones han llevado a cabo análisis comparativos entre las inspecciones realizadas de manera tradicional y las efectuadas con drones. Se han encontrado diferencias significativas en términos de tiempos de inspección, costos y nivel de detalle obtenido, demostrando que los drones pueden complementar o incluso reemplazar métodos tradicionales (Mahecha, 2021)

### **Normativas y regulaciones**

La Dirección General de Aviación Civil emitió el Reglamento de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) mejor conocidas como drones. El documento mencionado fue publicado el 4 de noviembre de 2020 y se aplica a aeronaves cuyo peso máximo de despegue oscile entre 0,25 kilogramos y 150 kilogramos. Esta regulación está establecida por la Dirección General de Aeronáutica Civil. (DGAC) establece la obligatoriedad para los propietarios de drones de registrar sus aeronaves y de adquirir un seguro que cubra los posibles daños ocasionados a terceros como resultado de sus

operaciones de vuelo. Este puede ser de USD 3 000, USD 6 000 y USD 12 000 dependiendo del peso máximo de despegue. (Pavon, 2020)

A pesar de los antecedentes prometedores sobre el uso de drones en la supervisión de trabajos en alturas en líneas energizadas, cada empresa puede presentar necesidades y desafíos específicos. Por lo tanto, es relevante realizar un caso de estudio para comprender cómo esta tecnología puede adaptarse y optimizarse en un entorno eléctrico real, brindando soluciones a medida para mejorar la seguridad y eficiencia en la supervisión de trabajos en alturas.

## **Justificación**

Esta investigación reviste una **importancia** para de implementar un dispositivo de seguridad industrial para supervisar trabajos en líneas energizadas en postes de alumbrado público, ya que la misma le permitirá cubrir con la necesidad de prevenir accidentes y salvaguardar la vida de los trabajadores en la industria eléctrica. El presente trabajo de investigación se considera que tendrá un **impacto** significativo dentro de eficiencia operativa, también contribuye a la innovación tecnológica y a la prevención de accidentes laborales. El proyecto de investigación se considera de **utilidad** para para prevenir accidentes y proteger a los trabajadores. Este dispositivo no solo mejora la eficiencia operativa y la productividad, sino que también reducen los costos asociados a accidentes laborales y fomentan la innovación tecnológica. Además, promueven una cultura de seguridad en el trabajo y benefician a la sociedad en general al reducir la incidencia de accidentes y mejorar el bienestar comunitario.

El principal **beneficiario** de esta investigación son directamente los trabajadores al prevenir accidentes y salvaguardar sus vidas e integridad. Además, impacta positivamente en la eficiencia operativa al reducir el tiempo de inactividad y aumentar la productividad. La investigación en dispositivos de seguridad industrial no solo beneficia a la industria eléctrica, sino que también impulsa la innovación tecnológica en diversas industrias, promoviendo una cultura de seguridad en el trabajo y mejorando la sociedad en su conjunto.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Proponer un dispositivo de seguridad mediante la selección de una cámara termográfica para la toma de datos y un Drone como mecanismo de transporte evitando así el riesgo de caída a distinto nivel y la electrocución de los linieros energizados.

### **Objetivos específicos**

- Diagnosticar las actividades que realiza el liniero energizado para la toma de datos en líneas energizadas a distinto nivel, mediante el uso de pértigas, determinando la probabilidad y consecuencia del personal que se expone a trabajos en alturas y electrocución.
- Evaluar alternativas de cámaras termográficas y de drones, mediante la aplicación de una matriz de priorización, para la selección de la mejor opción que responda a los criterios planteados.
- Proponer un procedimiento de operación y funcionamiento del dispositivo de seguridad seleccionado mediante una revisión bibliográfica respecto al funcionamiento de los mismos, para la toma de datos reduciendo la probabilidad de caída a distinto nivel y electrocución.

## CAPÍTULO II

### INGENIERÍA DEL PROYECTO

#### Diagnóstico de la situación actual

El trabajo en líneas energizadas implica realizar tareas en infraestructuras eléctricas mientras están activas, lo que puede ser peligroso debido al riesgo de descargas eléctricas y caídas a distinto nivel. Desde el año 2018 hasta el 2022 se han materializado un total de 1193 accidentes laborales por contacto con líneas de alta tensión. En donde encontramos los siguientes datos específicos refiriéndonos al número de accidentes por año.

**Tabla 3.**

*Número de accidentes detallado por año desde el 2018 hasta el 2022*

Año	Número de Accidentes
2018	230
2019	245
2020	212
2021	258
2022	248
Total	1193

Nota. Cada año muestra el número de accidentes ocurridos por accidente. Elaborado por El Investigador.

También se evidencia el tipo de lesiones que se han causado

**Tabla 4.**

*Tipo de lesiones en el periodo 2018-2022*

Tipo de Lesión	Número de Casos
Quemaduras	532
Electrocución	311
Lesiones Traumáticas	250
Amputaciones	78
Lesiones por Caídas	22

Nota. Muestra el número de casos separado por el tipo de lesión ocurrida. Elaborado por El Investigador.

Los profesionales que trabajan en este entorno, como linieros y electricistas, deben seguir estrictas medidas de seguridad para minimizar los riesgos. Algunas prácticas de comunes incluyen:

- Equipamiento de protección personal (EPP) El uso de equipos de protección, como guantes aislantes, cascos, gafas de seguridad y ropa resistente a la electricidad.
- Capacitación y certificación Los trabajadores deben recibir una formación adecuada sobre los procedimientos seguros de trabajo en líneas energizadas y obtener certificaciones específicas.
- Procedimientos de trabajo seguros Establecer y seguir procedimientos seguros para realizar tareas en líneas energizadas, lo que puede incluir la implementación de "zonas de peligro" y la coordinación cuidadosa entre los miembros del equipo.

- Monitoreo constante Supervisión continua de las condiciones de trabajo y las líneas para detectar posibles problemas y peligros.
- Planificación y evaluación de riesgos Antes de realizar cualquier tarea, se deben realizar evaluaciones de riesgos detallados y se debe contar con un procedimiento de trabajo seguro.

A pesar de las acciones preventivas y de capacitación que se toman esto no anula la posibilidad de sufrir un accidente. La seguridad en el trabajo en líneas energizadas es una prioridad y está sujeta a regulaciones y normativas específicas en cada país. Es esencial que los trabajadores estén al tanto de los últimos estándares de seguridad y sigan las mejores prácticas para prevenir accidentes y lesiones.

### **Procedimiento de trabajo en líneas energizadas cuantificando el tiempo de las actividades**

#### **Procedimiento de Mantenimiento de Líneas Energizadas** *Actividades y Tiempos*

##### **1. Preparación (15 minutos)**

Revisión de documentos de seguridad y permisos.

Verificación del estado del EPP.

Reunión de seguridad con el equipo / Charla de 5 minutos

##### **2. Inspección Visual (30 minutos)**

Identificación de posibles defectos en la línea.

Evaluación del estado de las conexiones y aisladores.

### **3. Mediciones (45 minutos)**

Utilización de equipos de medición para evaluar la resistencia y la corriente en la línea.

Registro de los valores obtenidos.

### **4. Intervención (60 minutos)**

Realización de reparaciones menores, como el reemplazo de aisladores dañados.

Uso de herramientas aislantes para evitar cortocircuitos.

### **5. Verificación Post-Reparación (20 minutos)**

Nuevas mediciones para confirmar la efectividad de las intervenciones.

Inspección visual final de la línea.

### **6. Limpieza y Retiro (15 minutos)**

Recogida de herramientas y equipos.

Retiro del área de trabajo.

## **Procedimiento de Trabajo Montaje de Estructuras y Componentes para Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica**

### *Actividades y Tiempos*

#### **1. Preparación (20 minutos)**

Revisión de documentos de seguridad y permisos.

Verificación del estado del EPP.

Reunión de seguridad con el equipo.



## **2. Ubicación y Anclaje (45 minutos)**

Identificación de puntos de anclaje seguros.

Instalación de sistemas de anclaje y aseguramiento.

## **3. Izado de Componentes (60 minutos)**

Utilización de equipos de elevación para izar estructuras y componentes.

Aseguramiento adecuado durante el proceso de izado.

## **4. Montaje y Fijación (90 minutos)**

Posicionamiento preciso de estructuras y componentes.

Fijación segura utilizando herramientas apropiadas.

## **5. Conexiones Eléctricas (40 minutos)**

Realización de conexiones eléctricas según especificaciones técnicas.

Verificación de la continuidad y calidad de las conexiones.

## **6. Inspección Final (30 minutos)**

Revisión visual de la instalación completa.

Verificación de la alineación y nivelación de las estructuras.

## **7. Limpieza y Retiro (15 minutos)**

Recogida de herramientas y equipos.

Retiro del área de trabajo.

## **Procedimiento de Trabajo Construcción de Sistemas de Puesta a Tierra**

### *Actividades y Tiempos*

#### **1. Planificación y Relevamiento del Sitio (30 minutos)**

Revisión de planos y especificaciones técnicas.

Identificación de puntos óptimos para la conexión a tierra.

#### **2. Excavación y Preparación del Terreno (60 minutos)**

Excavación de zanjas para la instalación de electrodos.

Preparación del lecho de material conductor.

#### **3. Instalación de Electrodos (90 minutos)**

Colocación y conexión de electrodos al sistema.

Aseguramiento de conexiones eléctricas firmes y duraderas.

#### **4. Conexión del Sistema a Equipos (45 minutos)**

Cableado y conexión del sistema de puesta a tierra a equipos y estructuras.

Verificación de la continuidad eléctrica.

#### **5. Mediciones y Pruebas (40 minutos)**

Utilización de instrumentos de medición para verificar la resistencia de puesta a tierra.

Realización de pruebas de funcionamiento del sistema.

#### **6. Rellenado de Zanjas y Restauración del Sitio (30 minutos)**

Rellenado de zanjas con material aprobado.

Restauración del área de trabajo a su estado original.

## **7. Inspección Final (20 minutos)**

Revisión visual de la instalación completa.

### **Diagnóstico de Evaluación de los Camiones Canasta**

La evaluación de los camiones canasta es esencial para garantizar su operatividad y seguridad durante el uso en trabajos en altura. Este diagnóstico tiene como objetivo analizar el estado actual de los camiones canasta, identificar posibles áreas de mejora y asegurar su conformidad con las normativas de seguridad correspondientes en base a la OSHA 1910.180

### **Metodología**

La evaluación se realizó mediante inspecciones visuales y pruebas de funcionamiento. Se consideraron aspectos técnicos, operativos y de seguridad.

### **Resultados**

#### ***Estado General del Camión***

- Observaciones Se encontró que el estado general de los camiones canasta es no aceptable con signos normales de desgaste.

#### ***Sistema de Elevación***

- Observaciones Los sistemas de elevación fueron probados y se encontraron aceptables con control

#### ***Equipamiento de Seguridad***

- Observaciones El equipamiento de seguridad, como arneses y barandillas, está presente y en un estado aceptable.

### ***Capacitación del Personal***

- Observaciones El personal demostró conocimiento adecuado en el uso de los camiones canasta.
- Recomendaciones Se recomienda realizar sesiones de actualización y capacitación periódicas para mantener las habilidades y conocimientos.

### **Conclusiones**

La evaluación general indica que los camiones canasta están en un estado operativo no aceptable. Se enfatiza la importancia de implementar una alternativa para la supervisión de líneas eléctricas para garantizar un rendimiento continuo y seguro.

Este diagnóstico servirá como base para mejorar la gestión y la implementación de un dispositivo de seguridad industrial para la supervisión de trabajos en líneas energizadas en los postes de alumbrado público para así facilitar el alcance a zonas de difícil acceso para los operativos que se realizan sus actividades en los camiones canasta.

### **Diagnóstico de Inspección y Evaluación de la Pértiga Eléctrica**

La inspección y evaluación de la pértiga eléctrica es un componente crítico en la seguridad eléctrica, utilizado para trabajos en altura y manipulación de equipos energizados. Este diagnóstico tiene como objetivo analizar el estado actual de las pértigas eléctricas, identificar posibles riesgos y asegurar su conformidad con las normativas de seguridad vigentes en reglamentación a UNE-EN 60832:1998

## **Metodología**

La evaluación se llevó a cabo mediante inspecciones visuales y pruebas de funcionamiento. Se consideraron aspectos técnicos, de seguridad eléctrica y ergonomía.

## **Resultados**

### *Integridad Física*

- Observaciones: Se observó que algunas pértigas presentan desgaste superficial, pero en general, su integridad física es aceptable.

### *Sistema de Aislamiento*

- Observaciones: Se comprobó la eficacia del sistema de aislamiento.

### *Mecanismo de Bloqueo*

- Observaciones: Los mecanismos de bloqueo funcionan correctamente.
- Recomendaciones: Realizar pruebas de funcionamiento periódicas y documentar los resultados.

### *Etiquetas de Inspección*

- Observaciones: Algunas pértigas carecen de etiquetas de inspección actualizadas.

### *Ergonomía y Manejabilidad*

- Observaciones: Se identificaron pértigas con signos de desgaste en mangos y agarres.

## **Conclusiones**

La evaluación detallada de las pértigas eléctricas arroja preocupaciones significativas sobre su estado general. Aunque algunas muestran únicamente desgaste superficial, el análisis global revela un deterioro más pronunciado que podría calificarse como mal estado. Este deterioro se refleja en la presencia de desgaste notorio en mangos y agarres, señalando una degradación que podría afectar negativamente la ergonomía y manejo de

estas herramientas críticas. A pesar de que los sistemas de aislamiento y los mecanismos de bloqueo presentan un funcionamiento aceptable, la falta de etiquetas de inspección actualizadas en algunas pértigas es un factor adicional que contribuye a la conclusión de que se encuentran en un estado menos que óptimo. En vista de estos hallazgos, se resalta la urgencia de abordar estas deficiencias mediante acciones correctivas inmediatas, que podrían incluir reparaciones, sustituciones o la implementación de un programa de mantenimiento más riguroso. Es imperativo tomar medidas para remediar el mal estado actual de las pértigas eléctricas, asegurando así su conformidad con las normativas de seguridad y preservando la integridad de quienes las utilizan en trabajos en altura y manipulación de equipos energizados.

### **Diagnóstico de los trabajadores frente al riesgo en líneas energizadas**

Por medio de la aplicación de un cuestionario, en la cual se evaluaban diferentes aspectos a tomar en cuenta para medir el nivel de exposición a factores de riesgo eléctrico y a caídas a distinto nivel al momento de realizar trabajos en las líneas eléctricas de alto voltaje en los postes de alumbrado público; para la cual se tomó como muestra a 10 trabajadores de la Empresa Eléctrica de Quito los cuales desempeñan cargos como linieros energizados e ingenieros eléctricos los cuales cumplen con tareas como mantenimiento de red eléctrica, montar estructuras y componentes para líneas de transmisión de energía eléctrica, construir sistemas de puesta a tierra, montaje o cambio de transformadores; las mismas que se realizan mientras la línea eléctrica mantiene la corriente encendida.

Se realizaron una serie de preguntas relevantes mediante un cuestionario donde la población fueron los trabajadores del grupo de linieros energizados de la Empresa Eléctrica de Quito quienes se dedican a trabajar en los postes de alumbrado público, para

cuantificar la importancia de implementar un dispositivo de seguridad industrial para la supervisión de trabajos en líneas energizada.

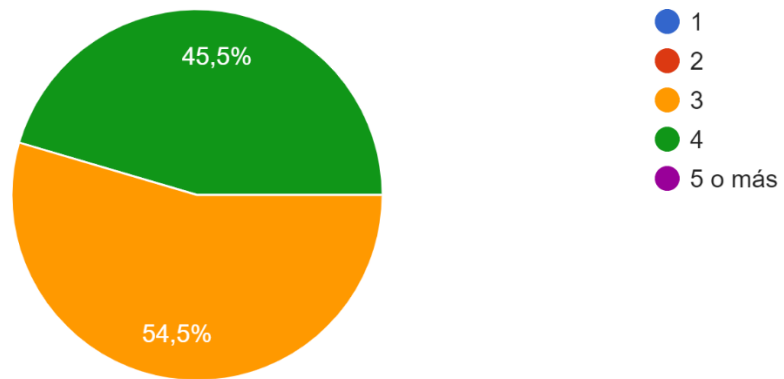
En primer punto se consultó cuantas ordenes de trabajo cumple durante el turno laboral, pregunta la cual nos mostró los siguientes resultados

**Figura 2**

*Pregunta 1*

1. Cuantas ordenes de trabajo cumple durante su turno?:

11 respuestas



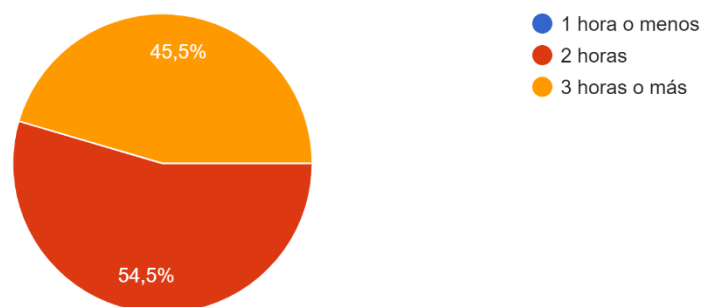
En el segundo punto, se indagó sobre el tiempo en promedio que tarda en cumplir cada orden de trabajo durante turno laboral, y esta pregunta nos proporcionó los siguientes resultados

### Figura 3

#### Pregunta 2

2. Cuanto tiempo emplea en promedio, cumpliendo cada una de las ordenes de trabajo por separado?

11 respuestas



En relación con la seguridad laboral de los linieros energizados, en la tercera pregunta se les consulto si experimentan un alto nivel de riesgo durante su jornada de trabajo. Los resultados obtenidos son los siguientes.

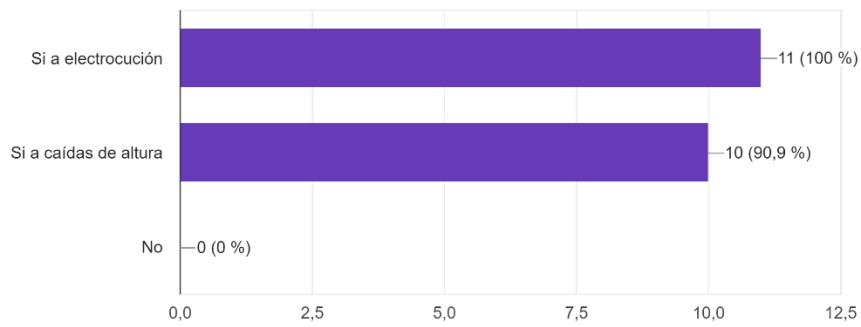


## Figura 4

### Pregunta 3

3. Considera que en su puesto de trabajo está expuesto a un alto nivel de riesgo de electrocución y caídas de altura?

11 respuestas



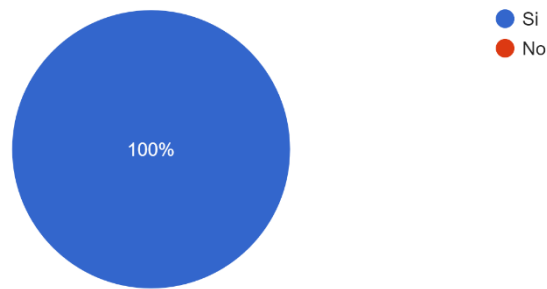
En el cuarto apartado se consultó si han sufrido o en algún momento se llegaron a enterar de un accidente relacionado a líneas de alta tensión obteniendo los siguientes resultados.

## Figura 5

### Pregunta 4

4. Ha sufrido o conoce si se ha suscitado un accidente relacionado con líneas eléctricas de alta tensión?

11 respuestas



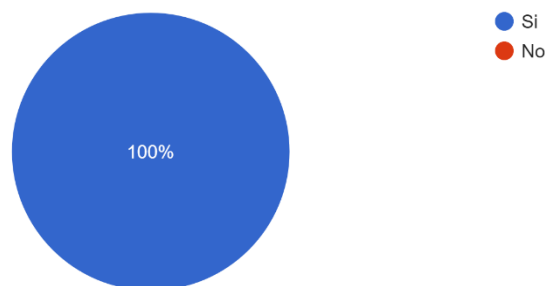
Para finalizar con la encuesta de evaluación de riesgos se toma en cuenta la opinión de los trabajadores en relación si consideran que se debería implementar un dispositivo diferente al que ya utilizan, que en ciertos casos ha resultado ser ineficiente, y las respuestas obtenidas han sido las siguientes.

## Figura 6

### Pregunta 5

5. Usted cree que se debería implementar un dispositivo diferente a la pértiga que detecte si la línea eléctrica está viva o energizada y que no ponga en riesgo a la integridad del liniero energizado?

11 respuestas



## **Aplicación de una Matriz de evaluación del riesgo inherente al trabajo en líneas energizadas**

La aplicación de una Matriz de Evaluación del Riesgo Inherente al trabajo en líneas energizadas se justifica fundamentalmente por la necesidad de gestionar de manera eficaz los riesgos asociados a esta labor, caracterizada por la presencia de electricidad. Esta matriz proporciona un enfoque estructurado y cuantificable para identificar, analizar y evaluar los riesgos inherentes a las tareas realizadas en entornos energizados. La complejidad y peligrosidad de trabajar con líneas energizadas demanda un análisis detallado de los factores de riesgo involucrados. La matriz permite clasificar, cuantificar y priorizar estos riesgos, estableciendo una base sólida para la toma de decisiones informada en cuanto a la implementación de medidas de control y mitigación. Al asignar niveles de riesgo inherente a cada tarea específica, se logra una comprensión clara de las amenazas potenciales y se pueden diseñar estrategias efectivas para minimizar o eliminar dichos riesgos. Además, la aplicación de la matriz facilita la identificación de áreas críticas que requieren una atención especial y recursos adicionales para garantizar la seguridad de los trabajadores. Esto contribuye directamente a la prevención de accidentes, lesiones y daños a la propiedad, al tiempo que respalda el cumplimiento de normativas de seguridad laboral.

La aplicación de una Matriz de Evaluación del Riesgo Inherente en el trabajo en líneas energizadas es una herramienta esencial para gestionar proactivamente los riesgos asociados a estas labores, promoviendo un entorno laboral más seguro y contribuyendo a la preservación de la integridad física y la salud de los trabajadores.

## Codificación para la matriz de evaluación de riesgos

Con los resultados obtenidos en la encuesta expuesta previamente se han tabulado los datos y entre ellos se consultó cual era la actividad realizada con más regularidad, los resultados obtenidos fueron codificados para una mayor facilidad al momento de realizar la matriz de evaluación de riesgos

**Tabla 5**

*Codificación de las diferentes tareas que realizan los linieros energizados*

Tipo de Tarea	Codificación
Mantenimiento de sistemas eléctricos	MSE
Montar estructuras y componentes para líneas de transmisión de energía eléctrica.	MELTE
Construir sistemas de puesta a tierra	CSPT
Montaje o cambio de transformadores	M/C-T

Nota. Cada tarea expuesta fue seleccionada bajo tabulaciones de datos recopilados en la encuesta realizada previamente. Elaborado por El Investigador

Así mismo se plantearon parámetros para evaluar el nivel de riesgo eléctrico al que están expuestos los trabajadores al momento de realizar sus tareas en los postes de alumbrado público durante su jornada laboral en las líneas de alta tensión.

### **Ejemplificación de las fórmulas aplicadas en la matriz**

$$LE.1 = Nivel de Probabilidad * Nivel de Consecuencia = Nivel de Riesgo$$

El nivel de probabilidad se calcula mediante es igual a la multiplicación del nivel de deficiencia que tiene un valor de 6 que significa que se han detectado algunos peligros que pueden dar lugar a consecuencias significativas a raíz de que se trabaja en línea caliente a 36000 voltios y realiza trabajos a distinto nivel a una altura de 7 metros desde el nivel del piso como se puede evidenciar en el **Anexo 1.** Tabla del nivel de deficiencia en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45 el cual es multiplicado por el nivel de exposición en el que se evidencia un valor de 3 lo que significa que la situación de exposición se presenta varias veces durante la jornada laboral explicado en el **Anexo 2.** Tabla del nivel de exposición en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45. El resultado de esta multiplicación nos da un nivel de 18 que significa que la situación es deficiente de los trabajadores cuenta con una exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica como se encuentra expuesto en el **Anexo 3.**

Tabla del nivel de probabilidad en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45

La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en la vida laboral

$$LE.1 = (Nivel de Deficiencia * Nivel de Exposición) * Nivel de Consecuencia \\ = Nivel de Riesgo$$

El nivel de consecuencia tiene un valor de 60 el cual evidencia posibles consecuencias como lesiones o enfermedades graves irreparables (una incapacidad permanente parcial o invalides) expuesto en el *Anexo 4*.

Tabla del nivel de consecuencia en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45

$$LE.1 = (6 * 3) * 60 = 1080$$

Después de realizar las respectivas multiplicaciones obtenemos un valor de 1080 lo que evidencia que el nivel de probabilidad es alto y la aceptabilidad del riesgo asociado al trabajo es de no aceptable.

**Tabla 6**

*Parámetros a evaluar en la matriz de riesgos*

**Matriz de evaluación del riesgo inherente al trabajo en líneas energizadas**

<b>Trabajador</b>	<b>Tipo de Tarea</b>	<b>Duración de la Tarea (Horas)</b>	<b>Número de Tareas Realizadas (por turno)</b>	<b>Tiempo Total Invertido</b>	<b>Nivel de Deficiencia</b>	<b>Nivel de Exposición</b>	<b>Nivel de Probabilidad</b>	<b>Interpretación del Nivel de Probabilidad</b>	<b>Nivel de Consecuencia</b>	<b>Nivel de Riesgo (NR) e Interpretación</b>	<b>Aceptabilidad del Riesgo</b>
LE-1	MRE	2	3	6	6	3	18	<b>ALTO</b>	60	1080	<b>NO ACEPTABLE</b>
LE-2	CSPT	2	3	6	6	2	12	<b>ALTO</b>	25	300	<b>NO ACEPTABLE, O ACEPTABLE CON CONTROL</b>

**Matriz de evaluación del riesgo inherente al trabajo en líneas energizadas**

<b>Trabajador</b>	<b>Tipo de Tarea</b>	<b>Duración de la Tarea (Horas)</b>	<b>Número de Tareas Realizadas (por turno)</b>	<b>Tiempo Total Invertido</b>	<b>Nivel de Deficiencia</b>	<b>Nivel de Exposición</b>	<b>Nivel de Probabilidad</b>	<b>Interpretación del Nivel de Probabilidad</b>	<b>Nivel de Consecuencia</b>	<b>Nivel de Riesgo (NR) e Interpretación</b>	<b>Aceptabilidad del Riesgo</b>
LE-3	MRE	2	3	6	6	4	24	<b>MUY ALTO</b>	60	1440	<b>NO ACEPTABLE</b>
LE-4	MELTE	3	4	12	10	4	40	<b>MUY ALTO</b>	100	4000	<b>NO ACEPTABLE</b>
LE-5	MRE	3	4	12	10	4	40	<b>MUY ALTO</b>	60	2400	<b>NO ACEPTABLE</b>
LE-6	CSPT	2	3	6	10	2	20	<b>ALTO</b>	25	500	<b>NO ACEPTABLE, O ACEPTABLE CON CONTROL</b>



**Matriz de evaluación del riesgo inherente al trabajo en líneas energizadas**

<b>Trabajador</b>	<b>Tipo de Tarea</b>	<b>Duración de la Tarea (Horas)</b>	<b>Número de Tareas Realizadas (por turno)</b>	<b>Tiempo Total Invertido</b>	<b>Nivel de Deficiencia</b>	<b>Nivel de Exposición</b>	<b>Nivel de Probabilidad</b>	<b>Interpretación del Nivel de Probabilidad</b>	<b>Nivel de Consecuencia</b>	<b>Nivel de Riesgo (NR) e Interpretación</b>	<b>Aceptabilidad del Riesgo</b>
LE-7	MRE	3	3	9	10	2	20	<b>ALTO</b>	60	1200	<b>NO ACEPTABLE</b>
LE-8	MRE	3	4	12	10	4	40	<b>MUY ALTO</b>	60	2400	<b>NO ACEPTABLE</b>
LE-9	MRE	2	3	6	6	4	24	<b>MUY ALTO</b>	60	1440	<b>NO ACEPTABLE</b>
LE-10	MRE	3	4	12	10	4	40	<b>MUY ALTO</b>	60	2400	<b>NO ACEPTABLE</b>

Nota. Matriz de riesgos inherentes para evaluación del nivel de riesgo en líneas energizadas. Elaborado por El Investigador

En la evaluación del riesgo inherente al trabajo en líneas energizadas, es crucial destacar la significativa contribución del "Tiempo Total Invertido" en las tareas al nivel de probabilidad y riesgo, con un enfoque particular en el alto tiempo de exposición.

**Tabla 7.**

*Tabla resumen de actividades diagnosticadas realizadas y nivel de probabilidad de ocurrencia accidente fatal*

Tipo de tarea	Nivel de probabilidad de ocurrencia	Valoración	Descripción
MRE	MUY ALTO	29	Situación deficiente con exposición continua, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
MELTE	MUY ALTO	40	Situación deficiente con exposición continua, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
CSPT	ALTO	16	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en la vida laboral

Nota. Resumen del nivel de probabilidad de ocurrencia de las actividades por separado.

Elaborado por El Investigador

Tomemos la tarea LE-4 (MELTE) como ejemplo, donde la duración de 3 horas y la realización de 4 tareas por turno resultan en un tiempo total invertido de 12 horas. La exposición constante a un nivel máximo de 4 contribuye a una probabilidad "MUY ALTO" (600) y un nivel de riesgo de 1440, clasificado como "NO ACEPTABLE". Similarmente, en las tareas LE-7 (MRE) y LE-8 (MRE), con una duración de 3 horas y 3 tareas por turno, generando 9 horas de exposición para el Liniero Energizado 7 y un tiempo de exposición de 12 horas para el Liniero Energizado 8 respectivamente, se observa una probabilidad "MUY ALTO" y un nivel de riesgo de 1200 en él LE-7 y de 2440 para él LE-8, ambos categorizados como un nivel de aceptabilidad de "NO ACEPTABLE".

Este análisis resalta la relación directa entre el alto tiempo de exposición y los niveles inaceptables de probabilidad y riesgo. La prolongada exposición en estas tareas aumenta la posibilidad de accidentes significativos. Para abordar esta problemática, es imperativo reducir el tiempo de exposición mediante estrategias como la disminución de la duración de las tareas o la implementación de una rotación de tareas. Además, se deben establecer controles específicos para mitigar la exposición en tareas críticas y considerar alternativas que reduzcan la frecuencia de ejecución de tareas de alto riesgo.

El enfoque en la gestión del alto tiempo de exposición es esencial para mejorar la aceptabilidad del riesgo en estas tareas específicas y garantizar la seguridad y bienestar de los trabajadores involucrados en el trabajo en líneas energizadas.

**Área de estudio**

**Dominio** Tecnología y sociedad

**Línea de investigación** Seguridad, salud laboral y ambiente

**Campo** Ingeniería en Seguridad Industrial

**Área** Linieros energizados

**Aspecto** Riesgo Eléctrico y Caídas a distinto nivel

**Objeto de estudio** Empresa de servicios eléctricos

**Periodo de análisis** octubre 2023 – febrero 2024

**Modelo operativo**

**Figura 7**

*Modelo Operativo*



## **Desarrollo del modelo operativo**

El desarrollo del modelo operativo mediante factores ponderados para la selección de un dispositivo de seguridad industrial implica un enfoque sistemático que considera diversos elementos clave para tomar decisiones informadas. A continuación, se presenta el desarrollo de este modelo

### **Identificación de Factores Relevantes**

Se inicia identificando los factores críticos que influyen en la elección del dispositivo de seguridad industrial. Estos pueden incluir la efectividad del dispositivo, la adaptabilidad al entorno laboral, el cumplimiento normativo, la facilidad de mantenimiento y otros criterios específicos según las necesidades de la industria.

### **Asignación de Ponderaciones**

Cada factor se pondera en función de su importancia relativa en el contexto de la seguridad industrial. Las ponderaciones pueden asignarse a través de la consulta a expertos en seguridad, la revisión de normativas aplicables y la consideración de la historia de incidentes previos.

### **Evaluación de Dispositivos**

Se procede a evaluar los dispositivos de seguridad industrial disponibles en el mercado en relación con los factores identificados. Se recopilan datos sobre la efectividad, características técnicas, costos y cualquier otro aspecto relevante para cada dispositivo.

### **Cálculo de Puntuaciones**

Para cada dispositivo, se calcula la puntuación ponderada sumando los productos de las calificaciones y las ponderaciones asignadas a cada factor. Esto proporciona una medida cuantitativa de la idoneidad de cada dispositivo en relación con los criterios establecidos.

## **Toma de Decisiones**

Con base en las puntuaciones ponderadas, se toman decisiones informadas sobre la selección del dispositivo de seguridad industrial más adecuado. Aquel con la puntuación más alta indica la mejor opción, considerando de manera equilibrada los factores críticos identificados.

Este enfoque basado en factores ponderados no solo proporciona una guía sistemática para la selección de dispositivos de seguridad industrial, sino que también permite adaptarse a las necesidades específicas de la industria, maximizando la eficiencia y la efectividad en la gestión de riesgos laborales.

## CAPÍTULO III

### PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

#### Presentación de la propuesta

El diagnóstico exhaustivo de las actividades laborales en líneas energizadas, principalmente realizadas por linieros energizados, pone de manifiesto la inherente complejidad y riesgo asociado a estas tareas. Con un enfoque detallado en las actividades específicas, como el mantenimiento de sistemas eléctricos (MSE) y la construcción de sistemas de puesta a tierra (CSPT), se evidencia que dichas labores requieren un alto nivel de precaución y medidas de seguridad adicionales. El número promedio de las tareas realizadas por turno de cada grupo es de 3 órdenes de trabajo y el hecho de que los trabajadores ejecuten cada una de las órdenes de trabajo en un tiempo promedio de 3 horas por turno contribuyen a un tiempo total invertido significativo, aumentando la exposición al riesgo. Además, la percepción compartida por los trabajadores expone que están frente a un alto nivel de riesgo al momento de ejecutar sus acciones lo cual se respaldada por experiencias pasadas de accidentes en líneas de alta tensión, subrayando la necesidad urgente de estrategias y dispositivos de seguridad más efectivos. La evaluación crítica de los camiones canasta y pértigas eléctricas revela condiciones operativas no aceptables, sugiriendo la urgencia de alternativas más seguras y eficientes. La aplicación de la matriz de evaluación del riesgo inherente proporciona una visión cuantificable de los riesgos asociados, identificando áreas críticas que demandan medidas de control y mitigación. En este contexto, se destaca la importancia de revisar y mejorar las prácticas actuales para asegurar un entorno laboral seguro y cumplir con las normativas de seguridad, priorizando la integridad física y la salud de los trabajadores.

Este análisis exhaustivo solicita la necesidad de una acción inmediata y coordinada para implementar prácticas y dispositivos de seguridad más efectivos y así salvaguardar la vida y bienestar de los trabajadores en el ámbito de líneas energizadas en postes de alumbrado público.

### **Dispositivo de seguridad para líneas energizadas**

El dispositivo de seguridad que dará solución al riesgo de caída a distinto nivel y la posibilidad de electrocución, está constituida por dos elementos principales que son la cámara térmica que recogerá los datos de las líneas energizadas y el Drone que transportará a la mencionada cámara; para realizar este procedimiento se aplica matrices de priorización que permitirá seleccionar los que respondan de mejor manera los criterios a considerarse.

### **Selección del mecanismo cámara térmica**

Se aborda la fase de selección de la cámara térmica centrándonos específicamente en la el mecanismo de toma de datos e identificación del estado activo de las líneas energizadas se basa en la creciente versatilidad y capacidad que esta tecnologías ofrecen; la presente investigación considera diversos aspectos clave que influyen en la eficacia y eficiencia de las cámaras en el contexto de nuestras aplicaciones específicas así mismo se tomaron en cuenta criterios como el rango de temperatura y la resolución de la cámara.



## **Criterios de evaluación para la cámara térmica**

Criterios sobre los cuales se evaluarán las alternativas

- Costo
- Resolución
- Rango de Temperatura
- Batería.

Alternativas

- Zenmuse H20T - Quad-Sensor Solution
- Fluke Ti450 PRO
- Testo 885-2
- Fluke TiX501
- FLIR E95

## Valoración de los criterios para la cámara térmica

**Tabla 8**

*Criterios para la selección de la cámara térmica*

<b>Criterios</b>	<b>Costos</b>	<b>Resolución</b>	<b>Rango de temperatura</b>	<b>Batería</b>	<b>Suma</b>	<b>Porcentaje</b>
Costo		3	3	5	11	18,3%
Resolución	7		5	7	19	31,7%
Rango de temperatura	7	5		5	17	28,3%
Batería	5	3	5		13	21,7%
<b>TOTAL</b>					<b>60</b>	<b>100,0%</b>

Nota. Valoración de criterios de la cámara térmica. Elaborado por El Investigador

Para la evaluación de los criterios se los calificó del 1 al 7 siendo 1 de menor importancia y 7 de mayor importancia, en este caso se obtuvo que la resolución es el criterio de mayor importancia seguido del rango de temperatura, mientras que la batería y el costo son criterios que no tienen mucha importancia para la selección de la cámara térmica.

*Evaluación del criterio Costos*

**Tabla 9**

*Evaluación de los Costos de las alternativas para la cámara térmica*

	<b>Costo</b>	<b>Inverso del costo</b>	<b>Ponderación</b>
Zenmuse H20T - Quad-Sensor Solution	14900	6,7114E-05	21%
Fluke Ti450 PRO	16400	6,0976E-05	19%
Testo 885-2	16857	5,9323E-05	19%
Fluke TiX501	17599	5,6821E-05	18%
FLIR E95	14599	6,8498E-05	22%
	80355	0,00031273	

Nota. El criterio de costo se evalúa realizando una proporción inversa del valor indagado y transformando a un valor porcentual. Elaborado por El Investigador

*Evaluación del criterio Resolución*

**Tabla 10**

*Evaluación de la Resolución de las alternativas para la cámara térmica*

<b>Resolución</b>	<b>Mega píxeles</b>	<b>Puntuación</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>	
Zenmuse H20T - Quad-Sensor Solution	20	3	100%	30%
Fluke Ti450 PRO	13	1	33%	10%
Testo 885-2	5	1	33%	10%
Fluke TiX501	18	3	100%	30%
FLIR E95	15	2	67%	20%
		10		

Nota. Para evaluar el criterio de resolución se asignó una puntuación al nivel de megapíxeles en relación al cumplimiento, mientras más megapíxeles mejor resolución tiene la cámara. Elaborado por el Investigador.

*Rango de Temperatura*

**Tabla 11**

*Evaluación del Rango de temperatura de las alternativas para la cámara térmica*

	<b>Rango</b>	<b>Valoración</b>	<b>Ponderación</b>
Zenmuse H20T - Quad-Sensor Solution	-20 hasta 400	2	22%
Fluke Ti450 PRO	-10°C hasta 1,500°C	3	33%
Testo 885-2	30 hasta 100	0	0%
Fluke TiX501	50 hasta 1000	1	11%
FLIR E95	-30 hasta 500	3	33%
	0	9	

Nota. Para evaluar el criterio de rango de temperatura se asignó una puntuación a los rangos de temperatura encontrados y dándole mayor valor al rango de mayor amplitud. Elaborado por el Investigador.

**Batería**

**Tabla 12**

*Evaluación de la Batería de las alternativas para la cámara térmica*

<b>Batería</b>	<b>Duración</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cumplimiento</b>
Zenmuse H20T - Quad-Sensor Solution	5	100%	29%
Fluke Ti450 PRO	3	60%	18%
Testo 885-2	4,5	90%	26%
Fluke TiX501	2	40%	12%
FLIR E95	2,5	50%	15%
	17		

Nota. En el criterio de duración de la batería de la cámara térmica se investigó sobre el tiempo que pueden permanecer prendidas brindado el máximo rendimiento requerido para las actividades. Elaborado por el Investigador.

## Matriz de priorización para Cámara térmica

**Tabla 13**

*Matriz de priorización para cámara térmica*

	<b>Costos</b>	<b>Resolución</b>	<b>Rango de temperatura</b>	<b>Batería</b>	
	18,30%	31,70%	28,30%	21,70%	
<b>Zenmuse H20T - Quad Sensor Solution</b>	<b>21%</b>	<b>30%</b>	<b>22%</b>	<b>29%</b>	<b>26,11%</b>
Fluke Ti450 PRO	19%	10%	33%	18%	20,00%
Testo 885-2	19%	10%	0%	26%	12,39%
Fluke tix501	18%	30%	11%	12%	18,53%
Fluke tix502	22%	20%	33%	15%	22,97%

Nota. Resultados finales de la evaluación para el uso de la cámara térmica. Elaborado por  
El Investigador

Finalmente, después de haber realizado el análisis correspondiente mediante la matriz de priorización se determina que la alternativa más viable para la selección de la cámara térmica es la utilización del modelo Zenmuse H20T – Quad Sensor Solution como se muestra en la tabla.

*Zenmuse H20T - Quad-Sensor Solution*

**Figura 8**

*Zenmuse H20T - Quad-Sensor Solution*



- Costo: La Zenmuse H20T se posiciona en un rango intermedio en términos de costo. Aunque no es la opción más asequible, su desempeño en otros aspectos podría justificar la inversión adicional. Es crucial evaluar si el valor añadido compensa el costo.



- Resolución: Sobresale con la puntuación más alta en resolución. Con la capacidad de capturar imágenes térmicas y visuales de alta calidad, la Zenmuse H20T es especialmente valiosa para aplicaciones que requieren detalles precisos, como inspecciones y vigilancia detallada.
- Rango de Temperatura: La puntuación en el rango de temperatura es moderada. Aunque no cuenta con el rango más amplio disponible en el mercado, es suficiente para abordar diversas aplicaciones industriales y de seguridad donde se requiere monitoreo térmico. La cámara está calibrada para dos funciones de medición:
  - Modo de alta ganancia: muestra un rango de medición de temperatura más pequeño con alta calidad, donde el rango de medición de temperatura es de -40 °C a 150 °C.
  - Modo de baja ganancia: muestra un rango de temperatura más amplio a una calidad relativamente menor, donde el rango de medición de temperatura es de -40 °C a 550 °C.
- Duración de la Batería: Destaca con la puntuación más alta en duración de la batería. Esta característica es esencial para misiones prolongadas y operaciones continuas, lo que mejora significativamente la eficiencia y la efectividad en el terreno.
- Conector estabilizador DJI V2.0
  - El conector estabilizador DJI V2.0 (DGC2.0) del DJI Matrice 300 RTK es un componente clave que facilita la conexión y estabilización de cámaras y sensores. Está diseñado para trabajar en conjunto con la plataforma Matrice 300 RTK y es compatible con varias cámaras y sensores, incluida la Zenmuse H20T

## ***Conclusión***

La Zenmuse H20T ha demostrado ser una herramienta excepcionalmente valiosa en el ámbito de la termografía, destacando por su alta resolución, capacidad para capturar tanto imágenes térmicas como visuales, y una duración de batería que permite misiones prolongadas. Aunque su costo puede ubicarse en un rango intermedio, su rendimiento superior y versatilidad justifican la inversión para aquellos que buscan una solución integral y eficiente. La capacidad de la Zenmuse H20T para abordar diversas aplicaciones, desde inspecciones detalladas hasta operaciones de vigilancia en tiempo real, la posiciona como una herramienta versátil y adaptable en entornos industriales y de seguridad. Su diseño compacto, combinado con la integración con plataformas de drones DJI, la convierten en una opción conveniente para aplicaciones aéreas. Sin embargo, es esencial reconocer que la elección de una cámara térmica no debe basarse únicamente en sus especificaciones técnicas, sino también en las necesidades específicas del usuario y las condiciones operativas. Cada aplicación puede requerir consideraciones únicas, desde la resolución crítica para la detección de detalles hasta la duración de la batería esencial para operaciones continuas.

En última instancia, la Zenmuse H20T ha emergido como una cámara térmica de vanguardia, capaz de abordar una amplia gama de desafíos en el ámbito de la termografía. Este estudio sienta las bases para s investigaciones y aplicaciones, destacando la importancia de la innovación en tecnología térmica para mejorar la seguridad y eficiencia en diversos campos de aplicación.

## **Criterios de Evaluación para Drone**

Para llevar a cabo esta selección de manera sistemática, se emplea una metodología que combina la revisión exhaustiva de literatura, análisis comparativo de especificaciones técnicas y evaluación práctica mediante pruebas piloto. Además, se incorporan criterios específicos de nuestra área de aplicación, como la capacidad de navegación precisa en proximidad de estructuras y la capacidad para transportar instrumentación de monitoreo.

Para realizar la selección correcta del Drone se presenta a continuación una selección de alternativas que puedan dar solución al problema determinado; para este análisis se procede al desarrollo de una matriz de priorización con el fin de escoger técnicamente la mejor opción.

Criterios sobre los cuales se evaluarán las alternativas

- Costo.
- Maniobrabilidad
- Tamaño
- Mantenimiento.
- Tiempo de Vuelo.

Alternativas

- DJI Matrice 300 RKT
- DJI Mavic 2 Enterprise Dual
- Yuneec H520E
- Parrot Anafi USA

## Valoración de los criterios para el mecanismo de transporte

**Tabla 14**

*Tabla de evaluación de criterios*

<b>Criterios</b>	<b>Costos</b>	<b>Maniobrabilidad</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Tiempo De Vuelo</b>	<b>Suma</b>	<b>Porcentaje</b>
Costo		5	7	5	17	29,31%
Maniobrabilidad	5		3	3	11	18,97%
Tamaño	3	7		3	13	22,41%
Tiempo De Vuelo	5	5	7		17	29,31%
Total					58	100

Nota. Valoración de criterios del mecanismo de transporte. Elaborado por El Investigador

Para la evaluación de los criterios se los calificó del 1 al 7 siendo 1 de menor importancia y 7 de mayor importancia, en este caso se obtuvo que la maniobrabilidad es el criterio de mayor importancia, seguido del costo y tiempo de vuelo mientras que el tamaño y el mantenimiento son criterios que no tienen mucha importancia, pero de todas formas deben ser tomados en cuenta para la selección del mecanismo de transporte.

**Costos**  
**Tabla 15**

*Evaluación del Costo de las alternativas para el Drone*

	<b>Costo (dólares)</b>	<b>Inverso Del Costo</b>	<b>Ponderación</b>
DJI Matrice 300 RKT	\$14900	6,7114E-05	27%
DJI Mavic 2 Enterprise Dual	\$16400	6,0976E-05	25%
Yuneec H520E	\$16857	5,9323E-05	24%
Parrot Anafi USA	\$17599	5,6821E-05	23%
		0,00024423	100%

Nota. El criterio de costo se evalúa realizando una proporción inversa del valor indagado y transformando a un valor porcentual. Elaborado por El Investigador

*Maniobrabilidad*

**Tabla 16**

*Evaluación de la Maniobrabilidad de las alternativas para el Drone*

<b>Maniobrabilidad</b>	<b>Nivel</b>	<b>Valoración</b>	<b>Ponderación</b>
Dji Matrice 300 Rkt	Intermedio	2	29%
Dji Mavic 2 Enterprise Dual	Fácil	3	43%
Yuneec H520e	Difícil	1	14%
Parrot Anafi Usa	Difícil	1	14%
		7	

Nota. El criterio de maniobrabilidad se evaluó realizando una investigación de las pruebas de manejo realizadas por expertos. Elaborado por El Investigador

**Tamaño**  
**Tabla 17**

*Evaluación del Tamaño de las alternativas para el Drone*

<b>Tamaño (peso)</b>	<b>kilo gramos</b>	<b>Valoración</b>	<b>Porcentaje</b>	
DJI Matrice 300 RKT	8.37	3	100%	43%
DJI Mavic 2 Enterprise Dual	7,5	3	100%	43%
Yuneec H520E	1,6	1	33%	14%
Parrot Anafi USA	0,5	0	0%	0%
		7		

Nota. El criterio de tamaño se evaluó realizando una investigación de las fichas técnicas proporcionadas por los fabricantes. Elaborado por El Investigador

*Tiempo de Vuelo (TV)*

**Tabla 18**

*Evaluación del Tiempo de vuelo de las alternativas para el Drone*

<b>Tiempo De Vuelo</b>	<b>Duración (Minutos)</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cumplimiento</b>
DJI Matrice 300 RTK	55	100%	38%
DJI Mavic 2 Enterprise Dual	31	56%	21%
Yuneec H520E	28	51%	19%
Parrot Anafi USA	32	58%	22%
	146		

Nota. El criterio de tiempo de vuelo se evaluó realizando una investigación para que cumpla el rendimiento máximo requerido. Elaborado por El Investigador



## Matriz de Priorización para el mecanismo de transporte (Drone)

**Tabla 19**

*Matriz de Priorización mecanismo de transporte (Drone)*

	<b>Costos</b>	<b>Maniobrabilidad</b>	<b>Tamaño (Peso)</b>	<b>Tiempo De Vuelo</b>	
	29,31%	18,97%	22,41%	29,31%	
<b>DJI Matrice 300 RKT</b>	<b>27%</b>	<b>29%</b>	<b>43%</b>	<b>38%</b>	<b>34,12%</b>
DJI Mavic 2 Enterprise Dual	25%	43%	43%	21%	31,28%
Yuneec H520E	24%	14%	14%	19%	18,65%
Parrot Anafi USA	23%	14%	0%	22%	15,95%

Nota. Resultados finales de la evaluación para la selección del mecanismo de transporte.

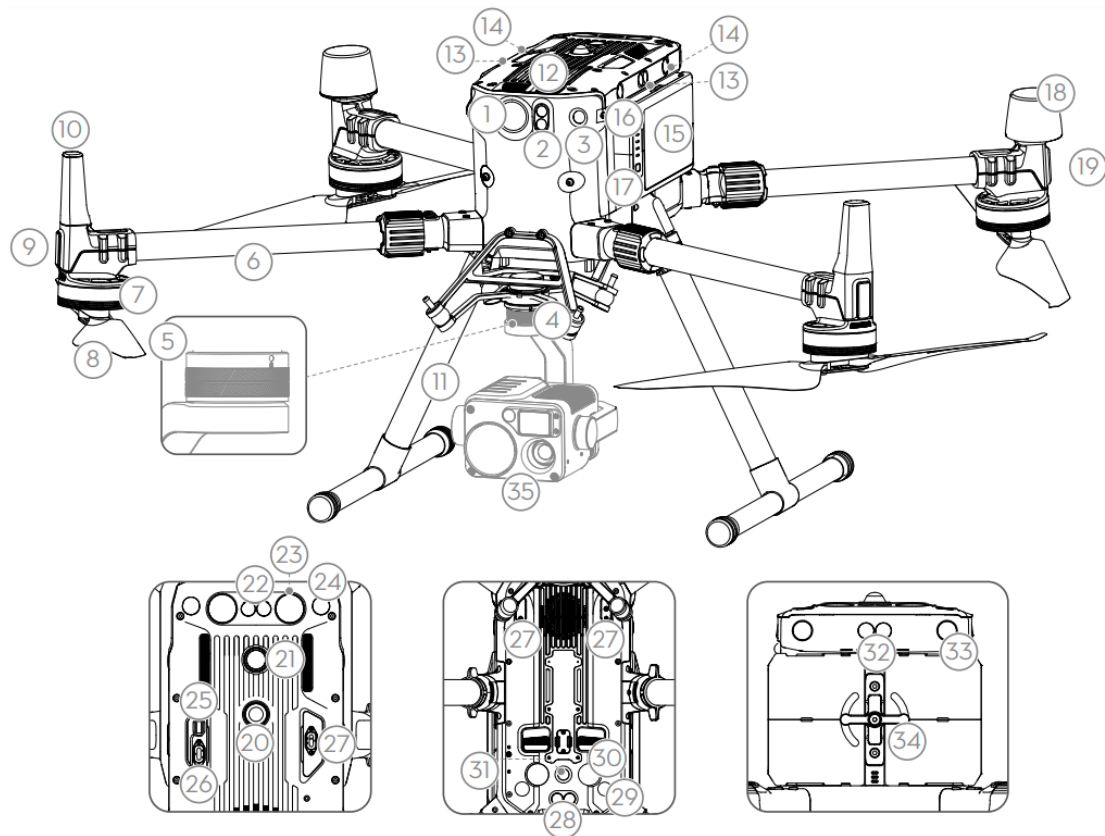
Elaborado por El Investigador

Finalmente, después de haber realizado el análisis correspondiente mediante la matriz de priorización se determina que la alternativa más viable para dar solución al mecanismo de transporte es la utilización del modelo DJI Matrice 300 RKT como se muestra en la tabla.

## DJI Matrice 300 RTK

### Figura 9

Drone modelo DJI Matrice 300 RTK



- |  |  |
|--|--|
| 1. Cámara FPV  | 19. Indicadores de estado de la aeronave                 |
| 2. Sistema frontal de detección por infrarrojos                              | 20. Baliza superior                                      |
| 3. Sistema de visión frontal   | 21. Botón de encendido/Indicador                         |
| 4. Conector del estabilizador DJI V2.0 (DGC2.0)                              | 22. Sistema de detección por infrarrojos superior        |
| 5. Botón de extracción del estabilizador                                     | 23. Luz auxiliar superior                                |
| 6. Brazos del bastidor   | 24. Sistema de visión superior                           |
| 7. Motores   | 25. Puerto Assistant                                     |
| 8. Hélices   | 26. Puerto OSDK  |
| 9. Ledes ESC   | 27. Puerto PSDK*   |
| 10. Antenas de transmisión   | 28. Sistema de detección por infrarrojos inferior        |
| 11. Trenes de aterrizaje   | 29. Sistema de visión inferior                           |
| 12. Filtro de aire   | 30. Luz auxiliar inferior                                |
| 13. Sistema de detección por infrarrojos en los<br>lados izquierdo y derecho | 31. Baliza inferior                                      |
| 14. Sistemas de visión izquierdo y derecho                                   | 32. Sistema de detección por infrarrojos de<br>retroceso |
| 15. Batería de Vuelo Inteligente   | 33. Sistema de visión trasero                            |
| 16. Indicadores del nivel de batería   | 34. Seguro de la batería                                 |
| 17. Botón del nivel de batería   | 35. Cámara y estabilizador                               |
| 18. Antenas D-RTK  |  |

- Costos: Aunque tiene un costo más alto, la inversión se justifica por su excelente desempeño en otros aspectos.
- Maniobrabilidad: Destaca en entornos urbanos y maniobra efectiva alrededor de obstáculos.
- Tamaño: Ofrece un buen equilibrio en tamaño, adecuado para operaciones en áreas urbanas.
- Mantenimiento: Requiere mantenimiento moderado pero manejable.
- Tiempo de Vuelo: Excelente duración de vuelo que satisface las necesidades de supervisión prolongado con un tiempo promedio de 45 minutos de vuelo por batería.

### ***Conclusión***

La selección del Drone DJI Matrice 300 RTK como la plataforma de transporte aéreo para las aplicaciones específicas ha sido el resultado de un análisis detallado y riguroso de sus características técnicas, así como de su desempeño en varios criterios clave. A pesar de presentar un costo inicial más elevado en comparación con algunas alternativas, la decisión de inversión se respalda sólidamente por el sobresaliente rendimiento que ofrece en diversos aspectos cruciales.

En el ámbito de la maniobrabilidad, el DJI Matrice 300 RTK ha demostrado su excelencia al obtener la máxima puntuación. Su destacada capacidad para operar en entornos urbanos y maniobrar de manera efectiva alrededor de obstáculos ha sido un factor determinante en su elección. Esto asegura una versatilidad significativa en la ejecución de operaciones en áreas complejas y de difícil acceso, garantizando la precisión necesaria en nuestros escenarios de aplicación. La dimensión del tamaño también ha sido evaluada con la máxima puntuación, lo que refleja un diseño equilibrado que no solo ofrece robustez, sino también la capacidad de acceder a lugares estrechos y difíciles de alcanzar. Esta

característica es esencial para aplicaciones en áreas urbanas y entornos industriales donde la precisión y la flexibilidad son fundamentales. En cuanto al tiempo de vuelo, el DJI Matrice 300 RTK ha recibido una puntuación sobresaliente. Su capacidad para mantener operaciones continuas durante períodos prolongados es esencial para cumplir con las necesidades de supervisión extendida, garantizando una cobertura extensa y una recopilación de datos efectiva durante misiones críticas. Aunque se ha asignado una puntuación de mantenimiento moderado, es crucial destacar que esta característica se gestiona de manera manejable. El mantenimiento necesario está en línea con las expectativas operativas y no representa un desafío significativo para su implementación.

En síntesis, la elección del DJI Matrice 300 RTK se justifica plenamente al considerar su rendimiento excepcional en maniobrabilidad, tamaño y tiempo de vuelo. Este Drone no solo cumple con los requisitos específicos de nuestras aplicaciones en seguridad industrial, sino que también ofrece una combinación equilibrada de características avanzadas y confiabilidad, consolidándose como la opción preferida para satisfacer nuestras necesidades de transporte aéreo en operaciones críticas.

## Procedimiento de operaciones y funcionamiento del dispositivo de seguridad

### Figura 10

*Modelo tridimensional del dispositivo de seguridad*



El procedimiento de operaciones y funcionamiento del dron en conjunto con la cámara térmica para la supervisión de trabajos en líneas energizadas en postes de alumbrado público implica una secuencia de pasos meticulosamente planificados. A continuación, se describe detalladamente dicho procedimiento.

### **Preparación y Planificación**

1. Antes del despliegue, se realiza una revisión exhaustiva del área de trabajo y las condiciones climáticas.
2. Se planifican las rutas de vuelo considerando la ubicación de las ordenes de trabajo dispuestas en postes de alumbrado público y las líneas energizadas.
3. Se verifica la carga de la batería del dron y se realiza una inspección visual para asegurar su integridad.

### **Configuración del Equipo**

1. Se instala y verifica la correcta conexión de la cámara térmica al dron, asegurando una comunicación efectiva.
2. Se ajustan los parámetros de la cámara térmica según las necesidades específicas de la tarea, como la detección de puntos calientes.

### **Despegue y Calibración**

1. El dron se despliega desde un área segura, evitando posibles obstrucciones.
2. Se realiza una calibración del sistema para garantizar la precisión de los datos térmicos y la estabilidad del vuelo.

### **Vuelo de Exploración**

1. El dron realiza un vuelo de exploración para evaluar visualmente el área y determinar la ubicación precisa de los postes de alumbrado público en los que se va a trabajar.
2. La cámara térmica se utiliza para identificar posibles puntos calientes en las líneas energizadas.

### **Monitoreo en Tiempo Real**

1. Los operadores supervisan en tiempo real las imágenes proporcionadas por la cámara térmica, identificando anomalías o áreas de riesgo.
2. Se ajustan las rutas de vuelo según las necesidades identificadas durante el monitoreo.

### **Captura de Datos**

1. La cámara térmica captura datos relevantes, incluyendo la temperatura de los componentes eléctricos y posibles puntos de fallo en los postes de alumbrado.
2. Se registran datos específicos de interés para su análisis posterior.

### **Intervenciones y Decisiones**

1. Si se detecta alguna anomalía o riesgo potencial, se toman decisiones operativas inmediatas.
2. Se coordina la intervención de los profesionales de seguridad para abordar problemas identificados.

### **Registro de Actividades**

1. Se registra de manera detallada cada actividad realizada durante el vuelo, incluyendo ubicaciones específicas, condiciones térmicas y acciones tomadas.

### **Aterrizaje y Evaluación**

1. El dron regresa a la zona de aterrizaje designada de manera segura.
2. Se evalúan los datos recopilados y se generan informes para análisis posterior y toma de decisiones.

### **Mantenimiento y Almacenamiento**

1. Se realiza un mantenimiento rutinario del dron y la cámara térmica.
2. Se almacenan los datos recopilados de manera segura y se preparan para su análisis futuro.

## **Resultados esperados**

Con la selección de los equipos contemplados en el desarrollo de la propuesta es el siguiente. La incorporación proyectada del Drone equipado con una cámara térmica en las operaciones de supervisión de trabajos en líneas energizadas anticipa transformaciones significativas en la seguridad y eficiencia laboral. Este análisis futuro considera no solo los beneficios técnicos esperados, sino también la reducción proyectada del tiempo de exposición de los trabajadores y la disminución prevista de la probabilidad de sufrir accidentes.

## **Detección y Prevención Temprana de Riesgos**

La cámara térmica, proyectada para detectar puntos calientes y posibles fallas en las líneas energizadas, anticipa una intervención proactiva. Esta acción temprana no solo mejorará la seguridad, sino que también reducirá la exposición de los trabajadores a condiciones de riesgo.

## **Exploración Eficiente y Rápida**

Con la implementación del Drone se espera que agilice la exploración de áreas de trabajo, permitiendo una planificación y ejecución más eficientes de las tareas. La rápida identificación de postes y condiciones en tiempo real contribuirá a minimizar el tiempo total de operación, disminuyendo la exposición de los trabajadores a entornos potencialmente peligrosos.

## **Monitoreo en Tiempo Real y Toma de Decisiones Instantánea**

El monitoreo en tiempo real futuro proporcionará a los operadores una visión continua y detallada del entorno laboral. Esto no solo facilitará la toma de decisiones inmediatas para ajustar las rutas de vuelo, sino que también reducirá el tiempo de exposición de los trabajadores al eliminar la necesidad de inspecciones prolongadas en el terreno.



### **Registro Detallado para Análisis Posterior**

El registro detallado de actividades, previsto para cumplir con requisitos documentales, contribuirá a un análisis posterior más profundo. Esto permitirá identificar patrones, mejorar procedimientos y, en última instancia, optimizar la eficiencia operativa, reduciendo así el tiempo total invertido en tareas específicas.

### **Reducción Proyectada del Tiempo de Exposición**

La combinación de la detección temprana, la exploración eficiente y el monitoreo en tiempo real se proyecta para llevar a una reducción sustancial del tiempo que los trabajadores pasan expuestos a condiciones de riesgo. La implementación del Drone permitirá realizar tareas de manera más rápida y precisa, disminuyendo la exposición individual y colectiva.

### **Disminución Prevista de la Probabilidad de Accidentes**

La aplicación de la tecnología dron con cámara térmica se espera que contribuya significativamente a la disminución de la probabilidad de sufrir accidentes. La identificación anticipada de riesgos y la capacidad de tomar decisiones inmediatas crearán un entorno de trabajo más seguro, reduciendo la ocurrencia de situaciones peligrosas.

En perspectiva, la implementación del Drone con cámara térmica no solo mejorará la eficiencia y la precisión en las operaciones de supervisión, sino que también tendrá un impacto directo en la seguridad laboral. La reducción proyectada del tiempo de exposición de los trabajadores y la disminución prevista de la probabilidad de accidentes destacan la importancia y promesa de esta tecnología como una solución integral y sostenible en el ámbito de líneas energizadas en postes de alumbrado público.

**Ejemplificación de la matriz de comparación de evaluación de riesgo implementando el dispositivo de seguridad industrial para la supervisión de trabajos en líneas energizadas**

**Tabla 20**

*Matriz de comparación del nivel de riesgo aplicando el dispositivo de seguridad*

Trabajador	Nivel de Probabilidad Original	Nivel de Consecuencia Original	Nivel de Riesgo Original (NR)	Aceptabilidad del Riesgo Original	Nivel de Probabilidad con Drone	Nivel de Consecuencia con Drone	Nivel de Riesgo con Drone (NR)	Aceptabilidad del Riesgo con Drone
LE-1	ALTO	60	1080	NO ACEPTABLE	2	10	20	ACEPTABLE
LE-2	ALTO	61	300	NO ACEPTABLE, O ACEPTABLE CON CONTROL	2	10	20	ACEPTABLE
LE-3	MUY ALTO	62	1440	NO ACEPTABLE	2	10	20	ACEPTABLE
LE-4	MUY ALTO	63	4000	NO ACEPTABLE	6	10	60	MEJORABLE

Trabajador	Nivel de Probabilidad Original	Nivel de Consecuencia Original	Nivel de Riesgo Original (NR)	Aceptabilidad del Riesgo Original	Nivel de Probabilidad con Drone	Nivel de Consecuencia con Drone	Nivel de Riesgo con Drone (NR)	Aceptabilidad del Riesgo con Drone
LE-5	MUY ALTO	64	2400	NO ACEPTABLE	6	10	60	MEJORABLE
LE-6	ALTO	65	500	NO ACEPTABLE, O ACEPTABLE CON CONTROL	2	10	20	ACEPTABLE
LE-7	ALTO	66	1200	NO ACEPTABLE	6	10	60	MEJORABLE
LE-8	MUY ALTO	67	2400	NO ACEPTABLE	6	10	60	MEJORABLE
LE-9	MUY ALTO	68	1440	NO ACEPTABLE	2	10	20	ACEPTABLE
LE-10	MUY ALTO	69	2400	NO ACEPTABLE	6	10	60	MEJORABLE

Nota. Resultados finales de la evaluación de matriz de comparación de evaluación de riesgo implementando el dispositivo de seguridad industrial para la supervisión de trabajos en líneas energizadas. Elaborado por El Investigador

*Cronograma de implementación de la propuesta*

**Tabla 21**

*Cronograma de la implementación de la propuesta*

Actividad	Abril				Mayo				Junio			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Investigación y Planificación	■	■										
Selección y Adquisición de Equipos			■	■	■							
Capacitación del Personal						■	■	■				
Despliegue Piloto									■	■		
Implementación Completa y Evaluación Preliminar											■	■

- **Investigación y Planificación:** En esta fase, se llevará a cabo una investigación exhaustiva sobre las tecnologías disponibles, regulaciones aplicables y mejores prácticas en la supervisión de trabajos en líneas energizadas. Además, se desarrollará un plan detallado que incluirá objetivos del proyecto, recursos necesarios, cronograma y estrategias de mitigación de riesgos.
- **Selección y Adquisición de Equipos:** Se realizará un análisis de las opciones disponibles en el mercado para seleccionar los equipos más adecuados para el proyecto, como drones equipados con cámaras térmicas. Posteriormente, se

procederá a la adquisición de los mismos, asegurándose de cumplir con los requisitos técnicos y presupuestarios establecidos.

- **Capacitación del Personal:** Se llevará a cabo un programa de capacitación dirigido al personal involucrado en el proyecto, incluyendo operadores de drones, técnicos de mantenimiento y supervisores. La capacitación abarcará temas como el manejo seguro de los equipos, procedimientos de vuelo, interpretación de datos térmicos y protocolos de seguridad laboral.
- **Despliegue Piloto:** Se realizará una implementación piloto del proyecto en un entorno controlado, donde se pondrán a prueba los equipos y procedimientos desarrollados. Esta fase servirá para identificar posibles problemas y realizar ajustes antes de la implementación completa.
- **Implementación Completa y Evaluación Preliminar:** Una vez completada la fase piloto y realizadas las correcciones necesarias, se procederá a la implementación completa del proyecto. Durante esta etapa, se supervisarán las operaciones en tiempo real y se realizará una evaluación preliminar para medir el cumplimiento de los objetivos y la eficacia de los sistemas implementados.

*Análisis de Costos de la Tabla de Costos para la Implementación del Drone DJI Matrice 300 RTK y la Cámara Térmica Zenmuse H20T - Quad-Sensor Solution*

**Tabla 22**

*Tabla de costos asociados a la implementación del dispositivo de supervisión de líneas energizadas*

<b>Elemento de Costo</b>	<b>Detalles y Descripción</b>	<b>Costo (en USD)</b>
Drone DJI Matrice 300 RTK	Plataforma de transporte aéreo avanzada para aplicaciones críticas	\$17.000
Cámara Térmica Zenmuse H20T - Quad-Sensor	Cámara térmica con sensor cuádruple para inspecciones detalladas	\$13.000
Solución de Software y Plataforma de Control	Software de control y visualización, integrado con el Drone y cámara	\$500
Capacitación del Personal	Entrenamiento para operadores y personal de mantenimiento	\$1,700
Mantenimiento y Repuestos	Costos asociados al mantenimiento periódico y piezas de repuesto	\$2.000,00
Costos de Operación (Baterías)	Baterías recargables	\$500
Accesorios y Herramientas Adicionales	Equipamiento adicional como estuches, cables, etc.	\$750
Contingencias y Gastos Incidentales	Fondos para imprevistos y posibles gastos adicionales	\$1,000
<b><u>Costo Total de Implementación</u></b>	<b><u>Suma de todos los elementos anteriores</u></b>	<b><u>\$33.752,70</u></b>

### **Drone DJI Matrice 300 RTK**

El rango de costo estimado para el Drone DJI Matrice 300 RTK refleja la variabilidad asociada con opciones de configuración específicas y posibles acuerdos con proveedores. La inversión significativa en este componente se justifica por sus capacidades avanzadas, como el tiempo de vuelo extendido, la resistencia a condiciones climáticas adversas y la capacidad de carga útil dual.

### **Cámara Térmica Zenmuse H20T**

El costo de la cámara térmica Zenmuse H20T se evalúa en un rango que tiene en cuenta la resolución, la versatilidad y la calidad de imagen proporcionada por sus sensores cuádruples. Esta cámara ofrece funcionalidades críticas para la inspección térmica, la detección de puntos calientes y la captura de detalles visuales.

### **Solución de Software y Plataforma de Control**

La inversión en software y plataforma de control representa una parte esencial del despliegue. Este costo abarca la adquisición de software especializado para la gestión de vuelo, control de la cámara y visualización de datos en tiempo real, lo que contribuye a la eficiencia operativa y la toma de decisiones informada.

### **Capacitación del Personal**

La asignación de fondos para la capacitación del personal abarca la instrucción teórica y práctica necesaria para operadores y personal de mantenimiento. Este componente es crítico para garantizar el uso seguro y efectivo de la tecnología, minimizando el riesgo de errores y mejorando la competencia del equipo.

### **Mantenimiento y Repuestos**

El presupuesto destinado al mantenimiento y repuestos cubre los costos periódicos de mantenimiento preventivo, reparaciones y la adquisición de piezas de repuesto. Esta

consideración es esencial para garantizar la disponibilidad continua del sistema y minimizar el tiempo de inactividad no planificado.

### **Costos de Operación**

Los costos operativos incluyen combustible para drones convencionales o, en el caso de drones eléctricos como el DJI Matrice 300 RTK, el costo asociado con la recarga de baterías. Este componente refleja el gasto continuo durante las operaciones y debe gestionarse eficientemente para optimizar los recursos.

### **Accesorios y Herramientas Adicionales**

La asignación de fondos para accesorios y herramientas adicionales cubre la adquisición de equipos complementarios, como estuches de transporte, cables, herramientas de calibración, entre otros. Estos elementos son esenciales para mantener la funcionalidad y seguridad del equipo.

### **Contingencias y Gastos Incidentales**

Los fondos destinados a contingencias y gastos incidentales proporcionan una red de seguridad financiera para enfrentar imprevistos o variaciones en los costos estimados. Este componente refleja una planificación prudente para adaptarse a situaciones cambiantes durante la implementación.



## ***Conclusión***

La meticulosa asignación de costos refleja una planificación exhaustiva que aborda cada componente crítico de la implementación. La variabilidad en los rangos de costos permite flexibilidad para adaptarse a diferentes configuraciones y condiciones de mercado. La inversión estratégica en tecnología avanzada, combinada con la atención cuidadosa a la capacitación y el mantenimiento, establece una base sólida para el éxito continuo de las operaciones con drones y cámaras térmicas. La inclusión de fondos de contingencia demuestra una comprensión de la naturaleza dinámica de los proyectos y refuerza la capacidad de adaptación del presupuesto a circunstancias inesperadas. Este análisis detallado proporciona una guía integral para la gestión financiera efectiva durante la implementación. Estos costos son estimaciones y pueden variar según la región, proveedores específicos, acuerdos de servicio y otros factores. Es recomendable obtener cotizaciones específicas y considerar posibles fluctuaciones en los precios del mercado al realizar la implementación.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

- Las actividades diagnosticadas que realiza un liniero energizado con la utilización de pértigas conjuntamente con el nivel de probabilidades de ocurrencia de accidentes fatales en su ejecución donde se muestra que el montaje de estructuras y componentes para líneas de transmisión de energía eléctrica en donde obtenemos un valor de probabilidad de ocurrencia de un accidente fatal de 29 evidenciado en **Tabla 7**.  
Tabla resumen de actividades diagnosticadas realizadas y nivel de probabilidad de ocurrencia accidente fatal, lo que significa que los trabajadores tienen una exposición continua y que la probabilidad de que el riesgo se materialice es muy alta.
- Se realiza una matriz de priorización la cual permite evaluar las alternativas entre cámaras termográficas y drones, dando como resultado de selección la cámara térmica Zenmuse H20T - Quad Sensor Solution evidenciado en **Tabla 13** Matriz de priorización para cámara térmica, y el Drone DJI Matrice 300 RTK expuesto en la **Tabla 19** Matriz de Priorización mecanismo de transporte (Drone)

- Se elabora un procedimiento de operación y funcionamiento correspondiente al dispositivo de seguridad seleccionado (cámara térmica Zenmuse H20T - Quad Sensor Solution). Para su confección se tomó en consideración el manual uso de la empresa DJI ENTERPRISE en conjunto con un Drone DJI Matrice 300 RTK basándose en la información brindada por el fabricante como se puede observar en el **Anexo 6.** Aplicación de vuelo manual del Drone DJI Matrice 300 RTK para el correcto manejo del mismo. El procedimiento propuesto se encuentra estructurado de las siguientes partes: preparación y planificación, configuración del equipo, despegue y calibración, monitoreo en tiempo real, captura de datos, intervención y decisiones, registro de actividades, aterrizaje y evaluación con un tiempo de implementación promedio de 3 meses y un costo de \$36.450,00 como se evidencia en **Tabla 22** Tabla de costos asociados a la implementación del dispositivo de supervisión de líneas energizadas Ver **Procedimiento de operaciones y funcionamiento del dispositivo de seguridad**

## **Recomendaciones**

- Para mantener la eficacia de La obtención de datos acerca del diagnóstico de actividades realizadas de supervisión optimizados, se aconseja establecer un programa de actualización periódica acerca de los registros de trabajos realizados.
- Dada la superación exitosa de desafíos técnicos y regulatorios con la implementación de drones, se sugiere fomentar la investigación continua en tecnologías emergentes. Esto incluye la exploración de nuevas capacidades y funcionalidades que puedan mejorar aún más la eficiencia y seguridad en la supervisión de trabajos en alturas, asegurando una adopción continua de soluciones innovadoras.
- Para la redacción de la toma de datos investigar a fondo normativa certificada que avale los procesos para llevar a cabo un procedimiento de operaciones para cualquier tipo de trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, C. (2017). *Mitigación del riesgo de arco eléctrico mediante protecciones adaptables en sistemas eléctricos industriales*. Medellín : Universidad Nacional de Colombia .
- Antonio Muñoz, J. R. (03 de Febrero de 2021). *La Seguridad Industrial, Fundamentos y Aplicaciones*. Obtenido de <https://www.hysla.com/seguridad-industrial-fundamentos-aplicaciones/>
- Benitez, R. V. (07 de Agosto de 2021). *Universidad Militar Nueva Granada*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/41297/VIDALBENITEZRAMIRO2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Coache, C. (28 de Agosto de 2023). *NFPA*. Obtenido de <https://www.nfpa.org/es/news-blogs-and-articles/blogs/2023/09/19/un-repaso-de-muertes-causadas-por-exposici%C3%B3n-directa-e-indirecta-a-la-electricidad>
- Delgado, A. (06 de Marzo de 2022). *IngeoDrone*. Obtenido de <https://ingeodrone.es/inspeccion-de-lineas-electricas-con-drones/#:~:text=El%20uso%20de%20la%20fotogrametr%C3%ADa,el%C3%A9ctrica%2C%20cruces%20con%20otras%20l%C3%ADneas%2C>
- Galindo, A. (16 de Enero de 2022). *Universidad de Zaragoza*. Obtenido de <https://uprl.unizar.es/seguridad-laboral/efectos-de-la-corriente-electrica-en-el-cuerpo-humano>
- Gutierrez, A. (13 de Junio de 2023). *Ludus*. Obtenido de <https://www.ludusglobal.com/blog/mas-de-2-trabajadores-electrocutados-cada-dia-en-espana>
- Henao, F. (2014). *Riesgos Eléctricos y Mecánicos*. Bogota: Eloé Ediciones.
- López, A. (04 de Septiembre de 2019). *Liderar desde la Seguridad y Salud*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.diba.cat/documents/467843/86925654/LIB022\\_+Liderar\\_desde\\_SS.pdf/c6e804d7-57ca-4d1f-9501-54823b35a594](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.diba.cat/documents/467843/86925654/LIB022_+Liderar_desde_SS.pdf/c6e804d7-57ca-4d1f-9501-54823b35a594)
- Mahecha, K. S. (16 de Septiembre de 2021). *Universidad Piloto de Colombia*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/10935/Mahecha\\_Kevin\\_Monografia\\_Drones.pdf?sequence=7](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/10935/Mahecha_Kevin_Monografia_Drones.pdf?sequence=7)
- Mejia, E. (2019). *OEC Prevención de Riesgos Laborales*. Corposuper.
- Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Industrial*. (12 de Agosto de 2019). Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.lineaprevencion.com/uploads/lineaprevencion/contenidos/files/706\\_5-reglas-de-oro-dcha.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.lineaprevencion.com/uploads/lineaprevencion/contenidos/files/706_5-reglas-de-oro-dcha.pdf)

- Oño, R. (s.f.). *Manual de Seguridad de Trabajos en Altura*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://energypedia.info/images/0/08/PEERR-Manual-Capacitacion-altura.pdf
- Pavon, T. (04 de Noviembre de 2020). *Gobierno del Ecuador*. Obtenido de <https://www.aviacioncivil.gob.ec/ecuador-ya-cuenta-con-un-reglamento-para-el-uso-de-drones/#:~:text=El%20reglamento%20establece%20que%20los,controlados%20es%20de%209%20kil%C3%B3metros>.
- Real Academia Española*. (2021). España.
- Robles, P. (2005). *Trabajo en líneas energizadas en la Empresa Eléctrica CENTROSUR de Ecuador*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127737009.pdf
- Rodriguez, B. (03 de Diciembre de 2019). *Aero Camaras*. Obtenido de Rodríguez, B. (2019, diciembre 3). Inspecciones de redes eléctricas con drones. ¿Quieres ser piloto de drones?; Aerocamaras Especialistas en Drones. <https://cursodedrones.es/inspecciones-de-redes-electricas-con-drones/>

# ANEXOS

## Anexo 1.

*Tabla del nivel de deficiencia en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45*

NIVEL DE DEFICIENCIA (ND)		
NIVEL DE DEFICIENCIA	VALOR DE ND	SIGNIFICADO
Muy Alto (MA)	10	Se ha(n) detectado peligro(s) que determina(n) como posible la generación de incidentes o consecuencias muy significativas, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo es nula o no existe, o ambos.
Alto (A)	6	Se ha(n) detectado algún(os) peligro(s) que pueden dar lugar a consecuencias significativa(s), o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es baja, o ambos.
Medio (M)	2	Se han detectado peligros que pueden dar lugar a consecuencias poco significativas o de menor importancia, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es moderada, o ambos.
Bajo (B)	No se asigna valor	No se ha detectado consecuencia alguna, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es alta, o ambos. El riesgo está controlado. Estos peligros se clasifican directamente en el nivel de riesgo y de intervención cuatro (IV)

<https://safetya.co/gtc-45-y-el-nivel-de-deficiencia/>

## Anexo 2.

Tabla del nivel de exposición en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45

NIVEL DE EXPOSICIÓN (NE)		
NIVEL DE DEFICIENCIA	VALOR DE NE	SIGNIFICADO
Continua (EC)	4	La situación de exposición se presenta sin interrupción o varias veces con tiempo prolongado durante la jornada laboral.
Frecuente (EF)	3	La situación de exposición se presenta varias veces durante la jornada laboral por tiempos cortos
Ocasional (EO)	2	La situación de exposición se presenta alguna vez durante la jornada laboral y por un periodo de tiempo corto.
Esporádica (EE)	1	La situación de exposición se presenta de manera eventual.

<https://safetya.co/gtc-45-y-el-nivel-de-exposicion/>



### Anexo 3.

Tabla del nivel de probabilidad en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45

SIGNIFICADO DE LOS NIVELES DE PROBABILIDAD		
NIVEL DE PROBABILIDAD	VALOR DE NP	SIGNIFICADO
Muy Alto (MA)	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continua, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
Alto (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en la vida laboral
Medio (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez.
Bajo (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica, o situación sin anomalía destacable con cualquier nivel de exposición. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible.

<https://safetya.co/gtc-45-y-el-nivel-de-probabilidad/>

#### **Anexo 4.**

*Tabla del nivel de consecuencia en base a la matriz de evaluación de riesgos GTC-45*

<b>NIVEL DE CONSECUENCIAS (NC)</b>		
<b>NIVEL DE CONSECUENCIAS</b>	<b>VALOR DE NC</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
Mortal o Catastrófico (M)	100	Muertes(s)
Muy grave (MG)	60	Lesiones o enfermedades graves irreparables (Incapacidad permanente parcial o invalidez)
Grave (G)	25	Lesiones o enfermedades con incapacidad laboral temporal (ILT)
Leve (L)	10	Lesiones o enfermedades que no requieren incapacidad

<https://safetya.co/gtc-45-y-el-nivel-de-consecuencias/>

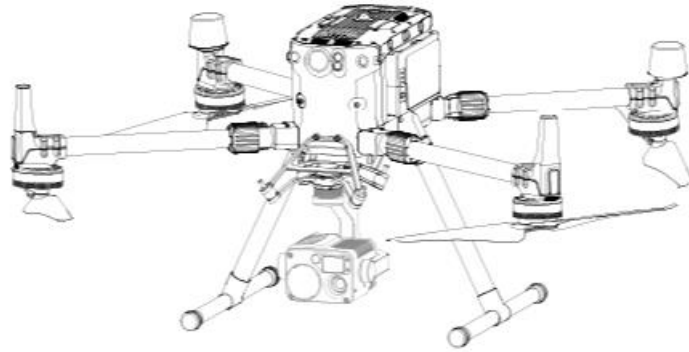
**Anexo 5.**

*Portada del manual de usuario Drone DJI Matrice 300 RTK*

# MATRICE 300 RTK















Manual de usuario

v1.0 05/2020



## Anexo 6.

### Aplicación de vuelo manual del Drone DJI Matrice 300 RTK

- 1. Atrás**  
 : Toque este icono para volver al menú principal.
- 2. Barra de estado del sistema**  
 : Este icono indica el estado de vuelo de la aeronave y muestra varios mensajes de advertencia.
- 3. Barra del indicador de nivel de batería**  
 : el indicador de nivel de batería proporciona una visualización dinámica del nivel de la batería. Las zonas de colores del indicador de nivel de batería representan los niveles de carga necesarios para llevar a cabo diferentes funciones.
- 4. Modo de vuelo**  
 : el texto situado junto a este icono indica el modo de vuelo actual. Tóquelo para ajustar la configuración del controlador de vuelo. Esta configuración permite modificar los límites de vuelo y definir los valores de ganancia.
- 5. Intensidad de la señal GNSS**  
 : Muestra la intensidad actual de la señal GNSS. Si "aircraft RTK" (RTK de la aeronave) está habilitada, se muestra "R" en la esquina inferior derecha.
- 6. Estado de la detección de obstáculos**  
 : Muestra el estado de todos los sistemas de detección.  
Si la dirección del sistema de detección pertinente funciona con normalidad, la parte correspondiente del icono se muestra en verde; de lo contrario, se muestra en rojo. Si todas las partes del icono se muestran en verde, el sistema de detección en seis direcciones funciona con normalidad; si todas las partes se muestran en rojo, el sistema de detección no se ha puesto en marcha aún. Vuele con precaución.
- 7. Señal del control remoto**  
 : Este icono muestra la intensidad de la señal del control remoto. El icono parpadea si se detecta alguna interferencia durante el vuelo. Cuando no haya advertencias adicionales en DJI Pilot, significará que la interferencia no afecta al funcionamiento y a la experiencia de vuelo en general. En el modo de control dual avanzado, este icono se visualiza así: 
- 8. Intensidad de la señal de transmisión de vídeo HD**  
 : este icono muestra la intensidad de la conexión de transmisión de vídeo HD entre la aeronave y el control remoto. El texto que figura sobre el icono indica la banda de frecuencia en uso. Toque este icono para acceder a la configuración de la transmisión de imágenes.
- 9. Configuración de la batería**  
 : muestra el nivel actual de carga de la batería. Tóquelo para ver el menú de información de la batería, establecer los distintos umbrales de advertencia de la batería y ver el historial de advertencias de la batería.
- 10. Más configuraciones**  
Toque  para acceder al menú ampliado que le permitirá visualizar y ajustar los parámetros del resto de las configuraciones.  
 : Flight Controller Settings (Configuración del controlador de vuelo). Incluye el selector de modo de vuelo, los ajustes del punto de origen, la altitud del regreso al punto de origen, la altitud máxima, el límite de distancia, el estado de los sensores, la acción que realizar si se pierde la señal del control remoto o la calibración automática del centro de gravedad.  
 : Perception Settings (Configuración de percepción). Incluye la habilitación de la detección de obstáculos, el posicionamiento visual, la detección de obstáculos en RPO, etc.  
 : Remote Controller Settings (Configuración del control remoto). Incluye el modo de palancas, configuraciones personalizadas, calibración del control remoto, vinculación, etc.

chrome-

extension://efaidnbmninnbpcjpcglclefindmkaj/https://dl.djicdn.com/downloads/matrice-300/20200717/M300\_RTK\_User\_Manual\_ES\_0721.pdf

## Anexo 7.

### *Aprobación de abstract departamento de idiomas*

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

Faculty of Engineering, Industry and Production

**AUTHOR:** ALARCON ENDARA ADRIAN MATEO

**TUTOR:** RON VALENZUELA PABLO ELICIO

#### ABSTRACT

##### PROPOSAL OF AN INDUSTRIAL SAFETY DEVICE FOR THE WORK SUPERVISION ON ENERGIZED LINES ON STREET LIGHTING POLES

The degree work focuses on the study of an industrial safety device to improve the supervision of work on energized lines, specifically on public lighting poles. The Inherent Risk Assessment Matrix reveals unacceptable levels, mainly due to the prolonged exposure time. With a comprehensive approach to occupational safety, regulations, standards, and accident statistics related to electrical hazards are analyzed. The research focuses on the possible adaptation of companies in the energy sector to the implementation of this device, evaluating its organizational and management implications. Highlighting the problem of high exposure of workers, an industrial safety device is proposed that integrates a thermal camera with a drone to monitor work at heights on energized lines. Equipment selection is based on a prioritization matrix that evaluates criteria such as cost, maneuverability, and flight time. The device seeks to significantly reduce exposure time, thus reducing the probability of accidents. The thermal camera technology together with the drone is presented as a key contribution to improving occupational safety and efficiency in the supervision of work on energized lines. In addition, the positive impact on the cost reduction associated with incidents on energized lines is highlighted. This work addresses the implementation of an innovative solution that not only improves worker safety but also contributes to operational efficiency and cost reduction in the electrical industry.

**KEYWORDS:** safety device, power lines, risk assessment matrix, risk level.

