



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Estructura de Teleformación

MÁSTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS  
LABORALES

**Trabajo Fin de Máster**

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL  
USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO  
TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS  
DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA  
TENSIÓN**

**Autora: HERENIA BARRERA MAGDALENA**

**Tutor: JAVIER CRUZ NORRO**

*SEPTIEMBRE 2018*

**CURSO ACADÉMICO: 2017 – 2018**

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA


Estructura de Teleformación

MÁSTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS  
LABORALES

Trabajo Fin de Máster

HOJA DE FIRMAS

PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL  
USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO  
TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS  
DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA  
TENSIÓN

Autora	HERENIA BARRERA MAGDALENA	 <p>Firmado digitalmente por BARRERA MAGDALENA HERENIA Fecha: 2018.08.26 23:49:07 +01'00'</p>
Tutor:	JAVIER CRUZ NORRO	<p>Firmado por CRUZ NORRO, JAVIER (FIRMA) el día 02/09/2018 con un certificado emitido por AC DNIE 001</p>

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

# **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

## **AGRADECIMIENTOS:**

No hubiera conseguido finalizar este Trabajo Fin de Máster sin el apoyo de algunas personas que han seguido mi trayectoria durante este año de formación en este mundo que tanto me apasiona.

En primer lugar, gracias a mi tutor, Javier Cruz Norro, que me ha ayudado y me ha dejado trabajar en una temática muy fascinante para mí como es la electrónica aplicada al ámbito de la prevención.

A Alejandro Fernández y a Oliver Santana como equipo del departamento de Mantenimiento de Líneas de Red Eléctrica de España en Gran Canaria que tanto han apoyado las ideas de este Trabajo.

A mis padres, Juan Ramón y Tere, por siempre confiar en mí con el corazón. También a ti Jona, por todo el soporte moral. Y, especialmente, a ti, Samuel, por ser mi mayor inspiración y por volar conmigo siempre.

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

# PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

## ÍNDICE GENERAL:

<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>19</b>
<b>2. OBJETO</b> .....	<b>20</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>20</b>
<b>4. PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL USO DE UAVs EN EL MANTENIMIENTO DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1. LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS DE ALTA TENSION (LAAT)</b> .....	<b>21</b>
4.1.1. Definición.....	21
4.1.2. Elementos de una LAAT.....	21
4.1.3. Clasificación de las LAAT.....	24
4.1.4. Tipos de inspecciones de las líneas.....	24
4.1.5. Seguridad de las líneas eléctricas de alta tensión.....	26
<b>4.2. LOS UAVs</b> .....	<b>27</b>
4.2.1. Definición.....	27
4.2.2. Evolución .....	28
4.2.3. Componentes.....	28
4.2.3.1 Segmento de aire .....	28
4.2.3.1.1. Estructura .....	28
4.2.3.1.1.1. Multirrotor.....	28
4.2.3.1.1.2. Ala fija.....	29
4.2.3.1.2. Electrónica de vuelo .....	29
4.2.3.1.2.1. Elementos de hardware .....	30
4.2.3.1.2.1.1. Sensores.....	30
4.2.3.1.2.1.2. Procesadores.....	31
4.2.3.1.2.1.3. Tipos de cámaras del dron para tomar imágenes .....	31
4.2.3.1.2.2. Elementos de software .....	32
4.2.3.1.3. Sistema de propulsión .....	32
4.2.3.1.4. Sistema de embarcado.....	33

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION**

4.2.3.2. Segmento de tierra.....	34
4.2.3.2.1. Elementos del hardware.....	34
4.2.3.2.1.1. Estación de tierra .....	34
4.2.3.2.2. Elementos del software.....	35
4.2.3.2.2.1. Estación de tierra .....	35
4.2.3.3. Segmento de aire y de tierra .....	36
4.2.3.4. Sistemas de seguridad.....	37
4.2.3. Tipología.....	37
4.2.3.1. Clasificación en función de la forma del dron:.....	37
4.2.3.2. Clasificación según el rango de operación .....	40
4.2.3.3. Clasificación atendiendo a las capacidades de vuelo.....	41
4.2.3.4. Clasificación según la normativa.....	41
4.2.4. Funcionamiento .....	41
4.2.5. Ventajas e inconvenientes en el uso de drones .....	42
<b>4.3. APLICACIÓN DE LOS UAVS EN LAS INSPECCIONES DE LAAT .....</b>	<b>43</b>
4.3.1. Las inspecciones con drones en LAAT .....	43
4.3.2. Usos de los UAVs en el mantenimiento de LAAT.....	44
4.3.2.1. Inspección intensiva o a pie.....	45
4.3.2.2. Inspección aérea .....	45
4.3.2.3. Inspección termográfica aérea .....	45
4.3.2.4. Otros usos: Topografía .....	46
4.3.2.5. Otros usos: Apoyo de emergencia .....	46
4.3.3. Ventajas e inconvenientes .....	47
4.3.4. Formación profesional de los técnicos para su uso .....	48
4.3.5. Aspectos preventivos en el uso de drones .....	48
<b>4.4. EVALUACIÓN DE RIESGOS.....</b>	<b>53</b>
4.4.1. Análisis de los riesgos .....	53
4.4.1.1. Identificación de peligros .....	53
4.4.1.2. Estimación del riesgo.....	57



## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

4.4.2. Valoración del riesgo .....	61
4.4.3. Gestión y control del riesgo .....	65
<b>4.5. MEDIDAS PREVENTIVAS .....</b>	<b>66</b>
4.5.1. Medidas de prevención generales .....	66
4.5.2. Medidas de prevención específicas .....	67
4.5.3. Información y formación.....	72
4.5.4. Organización de los trabajadores .....	73
<b>4.6. PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD DE LAS INSPECCIONES DE LAAT CON UAVs .....</b>	<b>79</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS NORMATIVAS.....</b>	<b>97</b>

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

# PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

## ÍNDICE DE FIGURAS:

<i>Imagen 1. Trabajador realizando inspección en un apoyo. [3]</i> .....	19
<i>Imagen 2. Vehículo Aéreo No Tripulado inspeccionando líneas eléctricas. [7]</i> .....	20
<i>Imagen 3. Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión. [9]</i> .....	21
<i>Imagen 4. Conductores de una línea eléctrica. [9]</i> .....	22
<i>Imagen 5. Cable de tierra o fibra óptica. [10]</i> .....	22
<i>Imagen 6. Apoyo de línea eléctrica de alta tensión. [11]</i> .....	23
<i>Imagen 7. Vano entre dos apoyos de alta tensión. [12]</i> .....	23
<i>Imagen 8. Inspección aérea con helicóptero. [14]</i> .....	25
<i>Imagen 9. Inspección termográfica con helicóptero. [15]</i> .....	25
<i>Imagen 10. Inspección a pie. [16]</i> .....	26
<i>Imagen 11. Dron. [19]</i> .....	27
<i>Imagen 12. Esquema de un sistema dron. [21]</i> .....	28
<i>Imagen 13. Elementos estructurales de un dron de tipo multirrotor. [25]</i> .....	29
<i>Imagen 14. Elementos estructurales de un dron tipo ala fija. [26]</i> .....	29
<i>Imagen 15. DJI Matrice 600 [29]</i> .....	31
<i>Imagen 17. FLIR TAU 2 336. [30]</i> .....	32
<i>Imagen 16. Zenmuse X5R. [30]</i> .....	32
<i>Imagen 18. Configuración de multirrotores. [32]</i> .....	33
<i>Imagen 19. Soporte de cámara con motores brushless. [33]</i> .....	34
<i>Imagen 20. Mando de radiocontrol. [34]</i> .....	34
<i>Imagen 21. Ordenador estación de tierra. [35]</i> .....	35
<i>Imagen 22. Tablet estación de tierra. [36]</i> .....	35
<i>Imagen 23. Esquema telecomunicaciones entre segmento de aire y de tierra. [38]</i> .....	36
<i>Imagen 24. Bicóptero. [40]</i> .....	37
<i>Imagen 25. Tricóptero. [41]</i> .....	38
<i>Imagen 26. Cuadricóptero. [42]</i> .....	38

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION**

<i>Imagen 27. Hexacóptero. [43]</i> .....	38
<i>Imagen 28. Octocóptero. [44]</i> .....	39
<i>Imagen 29. Avión de ala fija. [45]</i> .....	39
<i>Imagen 30. Ala fija de despegue vertical. [46]</i> .....	40
<i>Tabla 4. Identificación de los riesgos</i> .....	54
<i>Imagen 31. Orden de numeración para filmar las fases con el dron. [67]</i> .....	83
<i>Imagen 32. Esquema de la metodología de inspección de las LAAT con dron. [38]</i> .....	89

# PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

## ÍNDICE DE TABLAS:

<i>Tabla 1. Tensiones nominales según categoría de la línea. [13]</i> .....	24
<i>Tabla 2. Capacidades de vuelo. [48]</i> .....	41
<i>Tabla 3. Capacidad de vuelo según normativa. [48]</i> .....	41
<i>Tabla 5. Identificación de peligros (Continuación 1)</i> .....	55
<i>Tabla 6. Identificación de peligros (Continuación 2)</i> .....	56
<i>Tabla 7. Identificación de peligros (Continuación 3)</i> .....	57
<i>Tabla 8. Estimación de los riesgos</i> .....	58
<i>Tabla 9. Estimación de los riesgos (Continuación 1)</i> .....	59
<i>Tabla 10. Estimación de los riesgos (Continuación 2)</i> .....	60
<i>Tabla 11. Estimación de los riesgos (Continuación 3)</i> .....	61
<i>Tabla 12. Niveles de riesgo según criterio</i> .....	62
<i>Tabla 13. Valoración de los riesgos</i> .....	62
<i>Tabla 14. Valoración de los riesgos (Continuación 1)</i> .....	63
<i>Tabla 15. Valoración de los riesgos (Continuación 2)</i> .....	64
<i>Tabla 16. Restricciones de tensiones y distancias. [51]</i> .....	66
<i>Tabla 17. Medidas preventivas de los riesgos</i> .....	67
<i>Tabla 18. Medidas preventivas de los riesgos (Continuación 1)</i> .....	68
<i>Tabla 19. Medidas preventivas de los riesgos (Continuación 2)</i> .....	69
<i>Tabla 20. Medidas preventivas de los riesgos (Continuación 3)</i> .....	70
<i>Tabla 21. Medidas preventivas de los riesgos (Continuación 4)</i> .....	71
<i>Tabla 22. Medidas preventivas de los riesgos (Continuación 5)</i> .....	72
<i>Tabla 23. Formación específica de los trabajadores según funciones</i> .....	82
<i>Tabla 24. Medios necesarios para los trabajos. [38]</i> .....	84
<i>Tabla 25. Material de seguridad colectivo. [38]</i> .....	84
<i>Tabla 26. Material de seguridad individual.</i> .....	85
<i>Tabla 27. Lista de comprobación para el piloto y el operador</i> .....	92
<i>Tabla 28. Hoja de ruta de los elementos que se inspeccionan</i> .....	93

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

# PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

## LISTADO DE ACRÓNIMOS:

**ABC:** Extintores para combustibles sólidos, líquidos e inflamables

**AESA:** Agencia Estatal de Seguridad Aérea

**BRLOS:** Beyond Radio Line of Sight

**BVLOS:** Beyond Visual Line of Sight

**CPU:** Central Processing Unit

**EPI:** Equipo de Protección Individual

**EVLOS:** Extended Visual Line of Sight

**GNSS** Global Navigation Satellite System

**GPS:** Global Positioning System

**HALE:** High Altitude Long Endurance

**IFR:** Instrumental Flight Rules

**IMU:** Inertial Measurement Unit

**kV:** Kilovoltios

**LAAT:** Líneas Aéreas de Alta Tensión

**LIDAR:** Light Detection and Ranging

**LPRL:** Ley de Prevención de Riesgos Laborales

**MTOW:** Maximum Take-off Weight

**NTP:** Notas Técnicas de Prevención

**OTAN:** Organización del Tratado del Atlántico Norte

**RD:** Real Decreto

**RLOS:** Radio Line of Sight

**RPA** Remotely Piloted Aircraft.

**RPAS:** Remotely Piloted Aircraft Systems.

**TeT:** Trabajos en Tensión

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

**TFM** Trabajo Fin de Máster

**UAS:** Unmanned Aerial Systems.

**UAV:** Unmanned Aerial Vehicle. Esta es la más utilizada.

**VFR:** Visual Flight Rules

**VLL:** Very Low Level

**VLOS:** Visual Line of Sight



**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**



**UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS  
LABORALES**

**Trabajo Fin de Máster**

**MEMORIA**

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL  
USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO  
TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS  
DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA  
TENSIÓN**

**Autora: HERENIA BARRERA MAGDALENA**

**Tutor: JAVIER CRUZ NORRO**

*SEPTIEMBRE 2018*

**CURSO ACADÉMICO: 2017 – 2018**

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

# PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

## 1. ANTECEDENTES

Las líneas eléctricas de alta tensión garantizan el suministro eléctrico porque son las encargadas de transportar la energía eléctrica a largas distancias hasta los puntos de consumo. Por este motivo, todo el tendido de estas líneas requiere de continuas inspecciones de mantenimiento para controlar el estado de estas con el fin de detectar posibles anomalías en ellas que precisen ser atendidas debido a elementos deteriorados o puntos calientes de la instalación, puesto que si no se actúa sobre estos podrá derivar en peores consecuencias como el corte del suministro eléctrico en esa línea [1].

Hasta el momento, estas inspecciones de líneas eléctricas aéreas se habían hecho con metodologías que implicaban mayor riesgo para los trabajadores por realizarlas mediante trabajos en altura o con el uso del helicóptero [2], tal y como muestra la *Imagen 1*. Los Vehículos Aéreos No Tripulados se proponen como una medida alternativa y tecnológicamente avanzada que implica mejorar el principio de seguridad de esta actividad y como sustitutivo a unos trabajos lentos y encarecidos que invitan a alcanzar una mayor eficiencia.



*Imagen 1. Trabajador realizando inspección en un apoyo. [3]*

Las inspecciones con UAVs, más conocidos como drones, aportan seguridad, ya que evitan los trabajos en altura y la proximidad de los trabajadores a elementos de alta tensión; calidad, debido a que se capturan imágenes de alta definición que permiten posteriormente realizar informes detallados sobre las anomalías detectadas con mayor precisión a partir del archivo histórico que se genera de la línea, ofreciendo un soporte documental que pretende evidenciar cómo está la instalación en un momento determinado; y eficiencia de costes por el alto rendimiento de trabajo que aporta esta tecnología ya que asegura el suministro por no precisar del descargo de la línea, así como garantizar las inspecciones en apoyos que están ubicados en zonas de difícil acceso [4]. Por todas estas razones y debido al auge de esta tecnología, es necesario estudiar el principio de seguridad del uso de los drones en líneas eléctricas aéreas de alta tensión, ya que, si bien es cierto que se expone a menos riesgos que la metodología tradicional, es imprescindible siempre tomar ciertas medidas preventivas

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION**

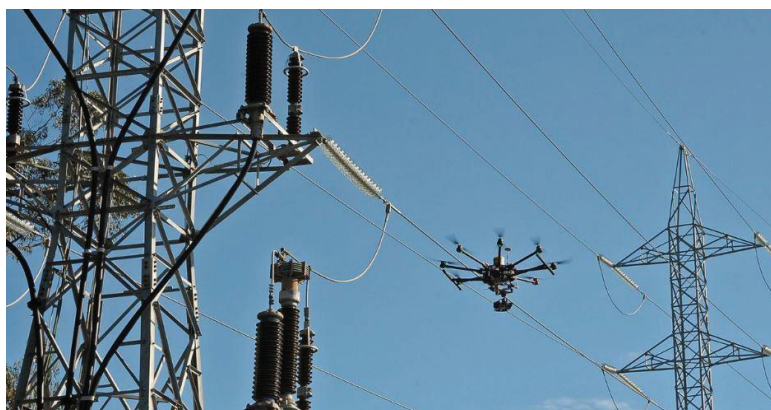
que se establecen en base a una evaluación de riesgos en este tipo de trabajos para que se cumpla la premisa principal de este Trabajo Fin de Máster.

### **2. OBJETO**

La finalidad de este Trabajo Final de Máster consiste en el estudio del principio de seguridad del uso de Vehículos Aéreos No Tripulados aplicado a líneas eléctricas aéreas de alta tensión. En este Trabajo, se analizan, clasifican y describen las características y la aplicación creciente en el ámbito industrial de los drones en las inspecciones de las líneas eléctricas aéreas con el fin de, por un lado, realizar una evaluación de riesgos estableciendo unas medidas preventivas y, por otro lado, un procedimiento de seguridad para su uso en esta actividad.

### **3. INTRODUCCIÓN**

En este Trabajo Final de Máster se pretende realizar un análisis de los drones y el estudio de la seguridad en la aplicación de las inspecciones de líneas aéreas de alta tensión. Para ello, se analizará información relevante sobre la clasificación, tipología, metodologías y seguridad aplicada tanto de las líneas eléctricas de alta tensión como de los Vehículos Aéreos no Tripulados [5]. Después, se realizará una evaluación de los riesgos asociados a esta actividad y se propondrán las medidas preventivas correspondientes para tratar de evitar o mitigar dichos riesgos. Para concluir, se definirá y establecerá un procedimiento de seguridad en el trabajo en el que se especificarán las condiciones adecuadas para el uso de esta tecnología en las inspecciones. De este modo y como consecuencia de los resultados, se propone sustituir la inspección tradicional, en la que el trabajador forme parte activa del mantenimiento de los apoyos de las líneas eléctricas, por la inspección con Vehículos Aéreos No Tripulados [6], con la que el trabajador formado realizará el mantenimiento de una manera mucho más segura, como se observa en la siguiente *Imagen 2*:



*Imagen 2. Vehículo Aéreo No Tripulado inspeccionando líneas eléctricas. [7]*

# PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

## 4. PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL USO DE UAVs EN EL MANTENIMIENTO DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

Se describirán en este punto, por un lado, las Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tension (LAAT), y, por otro lado, la clasificación de los UAVs para las inspecciones. Además, se detallará la aplicación de los drones en estos trabajos, realizando un estudio de seguridad mediante el análisis de una evaluación de riesgos, la gestión de unas medidas preventivas y el establecimiento de un procedimiento de trabajo.

### 4.1. LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS DE ALTA TENSION (LAAT)

En este apartado se tratará la información relevante sobre las LAAT como es su definición, los elementos que las forman, su clasificación, el tipo de inspecciones y la seguridad que deben seguir.

#### 4.1.1. Definición

Las líneas eléctricas aéreas de alta tensión son las encargadas de transportar a grandes distancias la energía eléctrica generada mediante conductores que se encuentran suspendidos por apoyos y pórticos [8]. En la *Imagen 3* se indica un ejemplo de estas.

Generalmente, los conductores están constituidos por un alambre desnudo de aluminio, el cual está diseñado para estar colocado a una altura concreta para evitar el contacto con la línea y para asegurar la resistencia a tormentas, terremotos y otras causas naturales. Como se trata de líneas de alta tensión, la tensión nominal de la línea es superior a 1kV.



*Imagen 3. Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tension. [9]*

#### 4.1.2. Elementos de una LAAT

Los siguientes elementos que se especifican son las partes principales de las que se compone una LAAT:

- **Conductor.** Línea por la que se transmite la corriente eléctrica.

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN



*Imagen 4. Conductores de una línea eléctrica. [9]*

- **Cable de tierra o fibra óptica.**



*Imagen 5. Cable de tierra o fibra óptica. [10]*

- **Apoyos.** Están constituidos por la cabeza del apoyo, fuste (cuerpo del apoyo), uniones, aisladores, herrajes y cimentaciones.

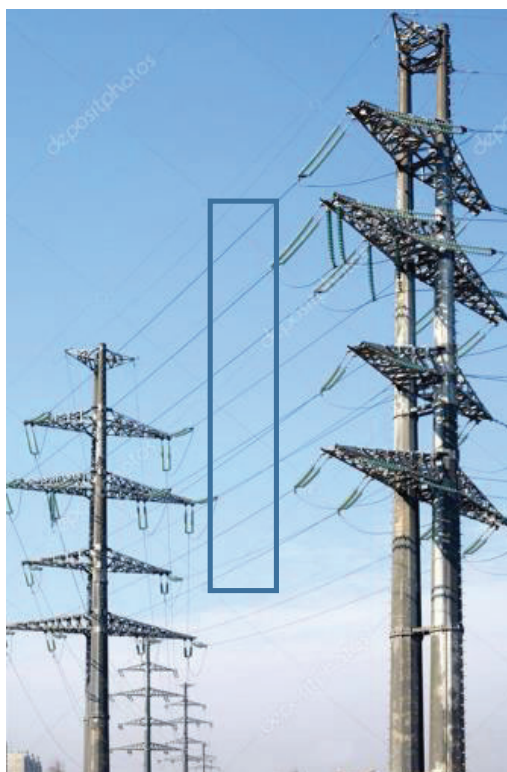


## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN



*Imagen 6. Apoyo de línea eléctrica de alta tensión. [11]*

- **Vano.** Tramo de conductores que va de un apoyo a otro.



*Imagen 7. Vano entre dos apoyos de alta tensión. [12]*

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

### 4.1.3. Clasificación de las LAAT

Las líneas eléctricas aéreas de alta tensión deben cumplir lo que indica el RD 223/2008 sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión [13]. Se clasifican en tres grandes categorías que permiten diferenciarlas en su ejecución, seguridad y sus protecciones:

- **Primera categoría.** Tensión nominal superior a 66kV.
- **Segunda categoría.** Tensión nominal comprendida entre 66 y 30 kV, incluidas.
- **Tercera categoría.** Tensión nominal inferior a 30 kV, e igual o superior a un kV.

Estas forman parte de las líneas de media tensión.

CATEGORÍA DE LA LÍNEA	TENSIÓN NOMINAL (kV)	TENSIÓN MÁS ELEVADA (kV)
1ª	110	123
	<b>132</b>	<b>145</b>
	150	170
	<b>220</b>	<b>245</b>
	<b>400</b>	<b>420</b>
2ª	25	30
	30	36
	45	52
	<b>66</b>	<b>72,5</b>
3ª	3	3,6
	6	7,2
	10	12
	15	17,5
	<b>20</b>	<b>24</b>

Tabla 1. Tensiones nominales según categoría de la línea. [13]

### 4.1.4. Tipos de inspecciones de las líneas

Todas las líneas eléctricas deben ser supervisadas durante su instalación y después de ella para tener un mantenimiento preventivo de las mismas y que su vida útil sea la prevista. Se mantienen las líneas para, entre otros fines, cumplir con la protección a las personas y evitar los riesgos que pueden suponer la omisión de este mantenimiento, pudiendo asegurar de esta manera la regularidad del suministro de energía eléctrica y la adaptación de las instalaciones. Por esto, el Real Decreto 223/2008, sobre las condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión, establece la periodicidad de las inspecciones a las que deben someterse todas las líneas, siendo estas: inspección inicial e inspección periódica, establecida esta última en al menos cada tres años [13]. En cada inspección periódica se establece una planificación de los tipos de inspecciones que se le



## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

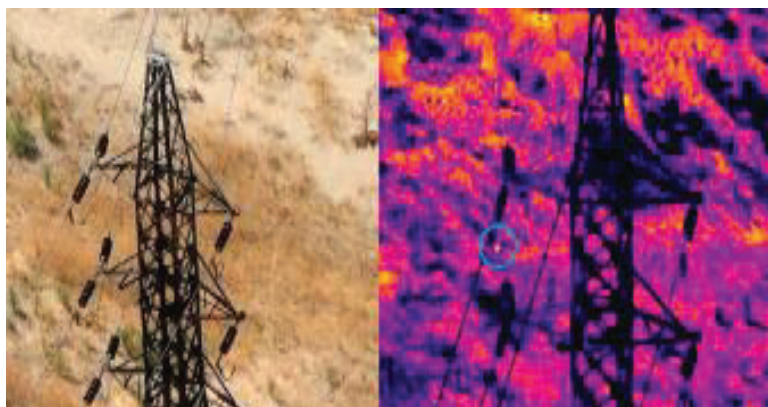
realizan a las líneas, diferenciando estas en las principales como son aéreas, termográficas y a pie, entre otras.

Las inspecciones aéreas son las que supervisan los elementos de las líneas eléctricas filmando la instalación sobrevolando las líneas con un helicóptero, como se observa en la *Imagen 8*.



*Imagen 8. Inspección aérea con helicóptero. [14]*

Las inspecciones termográficas son las que identifican los puntos calientes de la instalación que requieren reparación por estar próximos a la rotura. Hasta el momento, también se realizaban desde el helicóptero, pero con una filmación termográfica. En la *Imagen 9*, se indica con un círculo azul el punto caliente que tiene un color diferente al resto del apoyo.



*Imagen 9. Inspección termográfica con helicóptero. [15]*

Y, finalmente, las inspecciones a pie que son las que se realizan con un vehículo observando visualmente los vanos, caminando alrededor de ellos o, como se indica en la *Imagen 10*, subiéndose a los apoyos para inspeccionar desde la cimentación hasta la cabeza del apoyo.

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN



*Imagen 10. Inspección a pie. [16]*

### 4.1.5. Seguridad de las líneas eléctricas de alta tensión

La seguridad de las líneas eléctricas de alta tensión debe quedar perfectamente definida en un plan que tenga la empresa responsable de esa línea y para todas las contratistas que trabajan en ella. Los daños que pueden producirse si no se siguen las medidas preventivas oportunas para trabajar con este tipo de líneas son muy severos [17]. Por ello, se requiere que quede perfectamente definido el plan con el siguiente contenido: la descripción del puesto de trabajo, la estructura de organización del contrato, así como los centros responsables del trabajo, las obligaciones y responsabilidades asignadas al personal de control de calidad del trabajo, los puntos de control de la ejecución y notificación, presentación de los documentos indicados en las especificaciones técnicas, inspección de los materiales y sus componentes, la referencia a los procedimientos de aseguramiento de la calidad para cada actividad, y las inspecciones indicadas en el apartado anterior: inicial y periódica [18].

# PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

## 4.2. LOS UAVs

En este apartado, se describen los equipos para los que se propone realizar con seguridad las inspecciones de las líneas eléctricas de alta tensión como son los Vehículos Aéreos No Tripulados, especificando su composición, su clasificación, los tipos de inspecciones que se les realizan y la seguridad que se debe aplicar en ellas.

### 4.2.1. Definición

Un dron es un vehículo aéreo pilotado por control remoto, es decir, no tripulado. En la *Imagen 11*, se presenta un ejemplo de estos drones. Otras denominaciones que es posible encontrar sobre los drones serían:

- **UAV:** Unmanned Aerial Vehicle. Esta es la más utilizada.
- **RPA:** Remotely Piloted Aircraft.
- **UAS:** Unmanned Aerial Systems.
- **RPAS:** Remotely Piloted Aircraft Systems.



*Imagen 11. Dron. [19]*

Los términos tanto UAS como RPAS por el simple hecho de incluir la palabra “System” (Sistema) hace referencia a la plataforma de vuelo junto a los componentes que se relacionan entre sí, esto es, tiene en cuenta el segmento aéreo y el segmento tierra [20]. El segmento de aire está compuesto por la estructura, la electrónica de vuelo, el sistema de propulsión y el sistema de embarcado, mientras que el segmento tierra se compone por el mando del piloto que lo controla.

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION



Imagen 12. Esquema de un sistema dron. [21]

### 4.2.2. Evolución

El interés por los servicios aéreos con drones es cada vez mayor debido al amplio ámbito de aplicación de esta tecnología en sectores como infraestructuras, industria, agricultura, militar, audiovisual, telecomunicaciones, emergencias y seguridad [22].

Se trata de un servicio que crea empleo y opta por el crecimiento económico debido al gran número de tecnologías empleadas en ellos como es la electrónica por medio de los sensores, las comunicaciones, la navegación y posicionamiento, así como los sistemas de propulsión. Todo ello hace que el nivel formativo también crezca.

La evolución de los drones se debe a factores como el abaratamiento de componentes y el auge de la microelectrónica y microprocesadores, permitiendo reducir las dimensiones y el peso de los equipos, así como el desarrollo de equipos y sensores diseñados para ser embarcados en drones y el marco normativo que regula las operaciones con estos sistemas [23].

### 4.2.3. Componentes

Para indicar los componentes de los que se constituye el sistema de un dron se distingue el segmento de aire y el segmento de tierra [24].

#### 4.2.3.1 Segmento de aire

##### 4.2.3.1.1. Estructura

Los elementos estructurales que forman el dron difieren en función del tipo del que se trate. A continuación, se especifican dichas características.

##### 4.2.3.1.1.1. Multirrotor

- **Cuerpo central.** Tiene los elementos correspondientes a la electrónica de vuelo, baterías y fijación de los sistemas embarcados.

- **Brazos.** Sustentan las hélices y los motores correspondientes al sistema propulsor, de modo que el dron tendrá tantos brazos como motores lo caractericen, salvo para los octocópteros en los que el número de brazos se reduce a cuatro en lugar de ocho.

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

- **Tren de aterrizaje.** Está formado por una estructura de barras paralelas o patines.

Estos componentes estructurales, se especifican gráficamente en la *Imagen 13* siguiente:



*Imagen 13. Elementos estructurales de un dron de tipo multirrotores. [25]*

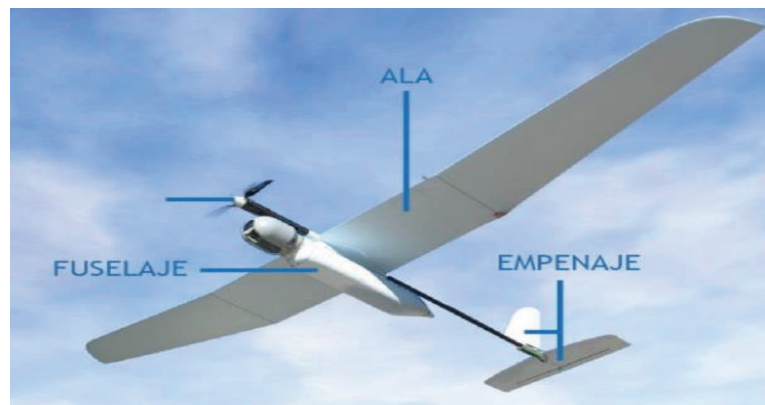
### 4.2.3.1.1.2. Ala fija

- **Fuselaje.** Estructura portante del dron y une al resto de componentes.

- **Ala.** Elemento sustentador del dron. Puede tener una única ala o dos semi-alas.

- **Empenaje.** Elemento estabilizador del dron que se encuentra en la parte trasera. Su función es la de soportar los elementos que determinan la dirección de movimiento.

Estos componentes estructurales del ala fija se especifican gráficamente en la *Imagen 14* siguiente:



*Imagen 14. Elementos estructurales de un dron tipo ala fija. [26]*

### 4.2.3.1.2. Electrónica de vuelo

Se encarga del control de vuelo del UAV y está constituido por los elementos de hardware y los elementos de software del dron.



## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

### 4.2.3.1.2.1. Elementos de hardware

Se trata de los elementos físicos de la electrónica.

#### 4.2.3.1.2.1.1. Sensores

Son los encargados de recoger medidas e información del entorno. Se diferencian varios tipos [27] de sensores, entre los que se encuentran:

- **Sensores de altitud.** El IMU es el dispositivo encargado de estimar la posición, altitud, aceleración y velocidad del dron según las mediciones de los giroscopios y acelerómetros que lo integran. El magnetómetro es utilizado para medir la intensidad del campo magnético en los tres ejes del espacio con el fin de dar información sobre la orientación del dron.

- **Sensores de posicionamiento:** El GNSS (Global Navigation Satellite System) es el receptor de los drones, ya que trabaja con las distintas constelaciones y permiten recibir correcciones diferenciales, lo que proporciona mayor precisión. La posición del dron se conoce a partir de la medida de las distancias entre él y el conjunto de satélites midiendo el cálculo del tiempo de viaje de la señal enviada por el satélite hacia el dron.

- **Sensores de desplazamiento:** Los drones disponen de un sensor conocido como Tubo Pitot que utiliza el principio de Bernoulli para medir la velocidad relativa de los mismos con respecto a la del viento a partir de la diferencia de presión entre los orificios de entrada y de salida de los que se compone el tubo.

- **Sensores de distancia:** en función de la herramienta de medición empleada, sería:

- **Ultrasonidos.** Se utilizan como altímetro cerca del terreno para el aterrizaje o para evitar obstáculos grandes como paredes o techos. Este dispositivo emite una onda acústica a una frecuencia muy elevada y se mide el tiempo que tarda el eco en alcanzar de nuevo el sensor.
- **Barómetro.** Determina la altura del dron con respecto al suelo por comparación de la presión atmosférica en cada momento con respecto al valor de presión calibrado antes de comenzar el vuelo.
- **Láser.** Emiten un pulso láser y miden el tiempo de retorno de este tras el choque con un objeto determinado para conocer la distancia a la que se encuentra. Alcanza grandes distancias.
- **Infrarrojos.** Es un elemento de medida muy limitado por la acción de la luz solar en exteriores. Se utiliza rara vez en la última fase de aterrizaje o la distancia de obstáculos como paredes o techos.

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

- **Cámaras de flujo óptico.** Mide la velocidad del dron a partir de imágenes del terreno sobrevolado por el mismo. La velocidad se puede emplear para obtener una medición de la posición horizontal a partir de una posición horizontal inicial.
- **Cámaras estereoscópicas.** Utilizan principios fotogramétricos para la obtención de un conjunto de mediciones de distancias a las mismas.

### 4.2.3.1.2.1.2. Procesadores

Analizan la información recogida por los sensores y envían órdenes de actuación a los distintos elementos que componen el equipo, mediante la unidad de procesamiento CPU, unidad inercial IMU, y una memoria de unidades de entrada y salida de datos [28].

### 4.2.3.1.2.1.3. Tipos de cámaras del dron para tomar imágenes

El tipo de dron más utilizado que ha sido creado para la fotografía aérea profesional y, en especial, para trabajos como el que se propone en este Trabajo Fin de Máster es el DJI Matrice 600 PRO y el que se presenta en la *Imagen 15* que se indica a continuación [29]:



*Imagen 15. DJI Matrice 600 [29]*

Este UAV dispone de cámaras térmicas radiométricas y cámaras de vídeo con 16 Megapíxeles, además de contar con las estaciones de tierra para analizar los datos y pantallas de alta definición para monitorizar la inspección en tiempo real. Para el trabajo de inspección de líneas, se suelen utilizar drones con una autonomía de hasta 4 horas de vuelo que están especializados para ello.

En la actualidad, son cada vez más los modelos de cámaras pensados para este tipo de trabajos. A modo de ejemplo, se especificará uno para cada tipo de trabajo para establecer una guía que ayude a ilustrar el material requerido. Para la inspección aérea visual se emplean cámaras HD Zenmuse X3 o X5R (*Imagen 16*) por su rango dinámico aumentado de reducida compresión dando lugar a calidades del formato 4K RAW por la adecuada estabilización de los tres ejes, mientras que para las aplicaciones exigentes como las inspecciones de cámaras termográficas para drones se utilizan las

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

cámaras FLIR TAU 2 336 (*Imagen 17*) por el aumento de sensibilidad y el procesamiento de imágenes de gran alcance.



*Imagen 176. Zenmuse X5R. [30]*



*Imagen 167. FLIR TAU 2 336. [30]*

### 4.2.3.1.2.2. Elementos de software

El software asociado al dron se encarga del cálculo del estado y su comportamiento, así como del control de las actuaciones que deben realizar durante la maniobra de inspección [31]. Para ello, existen varios tipos de filtros empleados:

- **Filtro complementario.** Sencillo y capacidad computacional reducida.
- **Filtro Kalman.** Avanzado y capacidad computacional mayor.
- **Filtro Madgwick.** Requiere de menos operaciones que los anteriores.
- **Filtro de partículas.** Requiere de mayor capacidad computacional. Se encuentra en estudio actualmente.

### 4.2.3.1.3. Sistema de propulsión

Se encarga del avance y sustentación del dron.

- **Motor.** Eléctrico, ligero, pequeño tamaño, mayor rendimiento y menor rozamiento. Existen dos tipos, aunque el que más se utiliza para las inspecciones de líneas aéreas es el segundo: Inrunner y Outrunner. También existen drones con otros tipos de motores como híbridos, turbinas, turbohélices, de hidrógeno, etc., pero se emplean menos.

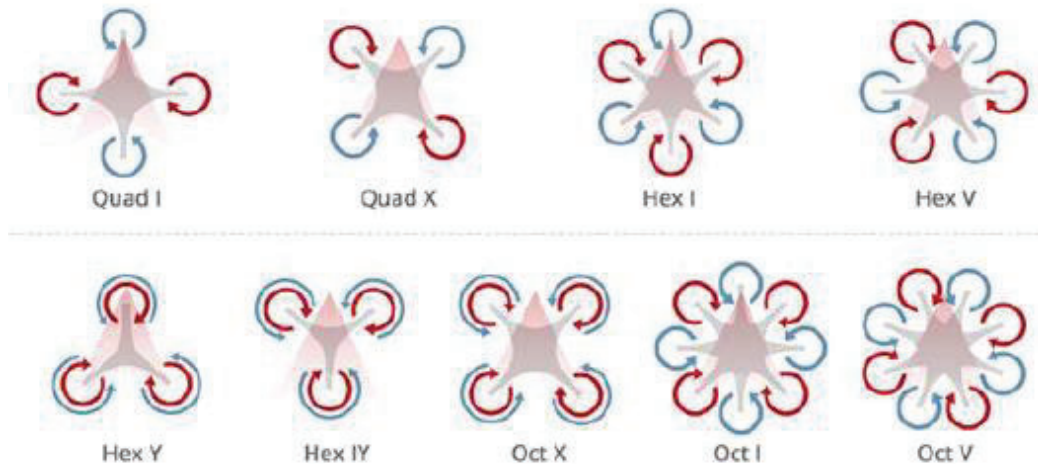
- **Variador.** Regulan la velocidad de giro de los motores a través de la electrónica de vuelo por modulación por ancho de pulsos.

- **Hélices.** Convierten la rotación del motor en empuje, apareciendo la fuerza de sustentación debido a la diferencia de presión y velocidad que se genera en el aire durante el vuelo. Cuanto mayor



## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

sea el número de hélices y de palas de los drones, mayor será necesariamente el empuje de estos. No existe un número exacto de palas por cada dron, sino que depende su diseño de la compensación del par motor generado por cada una de las palas, pudiendo establecer una distribución entre las hélices que giran en sentido de las agujas del reloj y hélices que giran en sentido contrario. Los parámetros que definen los drones son el diámetro que abarcan (cuanto mayor sea, más superficie abarcan y mayor empuje necesitan) y el paso (ángulo que forma los perfiles de la pala con el plano de rotación de la hélice, por lo que, también cuanto mayor sea el paso, mayor será el empuje).



*Imagen 18. Configuración de multirrotores. [32]*

### 4.2.3.1.4. Sistema de embarcado

Este sistema lo forman los elementos que contiene el UAV, pero no actúan de operación asociada al vuelo, sino que se utilizan para una aplicación concreta como en el caso de las inspecciones de líneas aéreas que son las cámaras termográficas. Estas cámaras se sostienen en el dron por un soporte del sistema de embarcado, bien basados en servomotores (mayor capacidad de carga, pero menor estabilización) y en motores sin escobillas (muy buena estabilización del dispositivo).

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN



*Imagen 19. Soporte de cámara con motores brushless. [33]*

En definitiva, para el segmento aéreo, las características y distribución de los componentes básicos pueden cambiar dependiendo del tipo de sistema con el que se corresponda, según la clasificación indicada en el apartado de tipología.

### *4.2.3.2. Segmento de tierra*

El segmento tierra del dron es el encargado de controlar el elemento aéreo del sistema, comunicarse con él y, finalmente, recoger la información del dron que esté recopilando.

#### *4.2.3.2.1. Elementos del hardware*

##### *4.2.3.2.1.1. Estación de tierra*

-**Mandos de radiocontrol.** Control manual de los movimientos del dron y del dispositivo agregado como una cámara visual, mediante la transmisión de órdenes desde tierra con palancas y botones propias del segmento tierra.



*Imagen 20. Mando de radiocontrol. [34]*

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

- **Ordenadores.** Manejo y control automático del dron durante la inspección con realización de un plan de vuelo previamente coordinado.



*Imagen 21. Ordenador estación de tierra. [35]*

- **Tablets.** Precisa de un plan de vuelo previo, pero facilita la utilidad de los usuarios que lo manejan por las dimensiones del dispositivo.



*Imagen 22. Tablet estación de tierra. [36]*

### 4.2.3.2.2. Elementos del software

#### 4.2.3.2.2.1. Estación de tierra

Se configuran los parámetros de la operación de vuelo de los drones y se recogen los datos en tiempo real de la realización de la inspección [37].

- **Panel de mapa.** Sobre un mapa cartográfico se especifica el área de trabajo y la posición del equipo, indicando la traza del área de vuelo automático y la localización del dron durante su maniobra.

- **Panel de comandos.** En él se establece la configuración de los parámetros durante el vuelo como la altura, orientación, acciones de la cámara, orientación de esta, velocidad, entre otros.

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

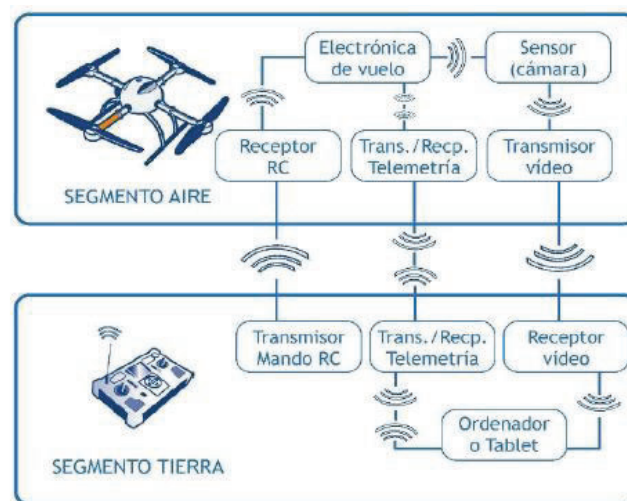
- **Panel de telemetría.** Durante la inspección del dron, muestra en un panel toda la información sobre el estado del dron como la posición, el nivel de batería, el nivel de consumo, la velocidad, entre otros parámetros también relevantes del equipo.

### 4.2.3.3. Segmento de aire y de tierra

Para que el segmento de aire y el segmento de tierra permanezcan en comunicación permanente para el adecuado funcionamiento del dron intercambiando información entre ellos, es preciso conocer la dirección de los intercambios de datos (control, telemetría o de vídeo), el modo de transmisión (simple, dúplex, semidúplex) y la sincronización entre el transmisor y el receptor, entre el que se diferencia las comunicaciones vía radio, wifi y móviles.

En la *Imagen 23* se especifica un esquema de conexiones del modo de comunicarse el segmento de tierra y de aire. Los pasos que siguen esta metodología de funcionamiento son los siguientes:

- 1) Se transmite desde el mando (segmento de tierra) el radiocontrol (RC) para establecer las condiciones y entorno de aeronavegabilidad del dron.
- 2) El dron recibe la información por medio del radiocontrol (RC).
- 3) El dron, en base a su electrónica de vuelo, envía esta información recibida a los sensores y a la cámara de este, mientras se encuentra constantemente transfiriendo y recibiendo datos de telemetría (parámetros propios del dron para las restricciones y planificación del trabajo prevista).
- 4) Se graba el vídeo o se toman las imágenes de los elementos que se inspeccionan para enviarlas y recibirlas por el segmento tierra en un ordenador o Tablet donde son posteriormente procesadas. Este proceso se repite mientras el dron está en el aire realizando la inspección de las líneas.



*Imagen 23. Esquema telecomunicaciones entre segmento de aire y de tierra. [38]*

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

### 4.2.3.4. *Sistemas de seguridad*

Los sistemas de seguridad de los UAVs pueden ser pasivos o activos. Los primeros se caracterizan por proteger al dron frente a golpes debidos a posibles incidentes, y a su vez, proteger a las personas minimizando el efecto de impacto por una caída del aparato como pueden ser el carenado de hélices, el paracaídas o el diseño del dron con el volumen suficiente para que flote. Los segundos son las balizas que se utilizan en caso de pérdida o emergencia del dron, transmitiendo la posición GPS [39].

### 4.2.3. Tipología

Es posible encontrar distintas clasificaciones sobre los drones que van en función de la forma de obtener sustentación en el aire, por el tipo de misión (en este caso, de inspecciones), por la forma de control, etc. A continuación, se especifican las clasificaciones más comunes y utilizadas.

#### 4.2.3.1. *Clasificación en función de la forma del dron:*

- **Multirrotores.** Entre las características operacionales de estos drones se destaca que su vuelo es de ala rotatoria cuya autonomía del dron es baja, por lo que su velocidad es baja a pesar de tener maniobrabilidad y precisión elevada en el vuelo, siguiendo la trayectoria deseada en las tres dimensiones. Tanto el despegue como el aterrizaje se realizan en vertical, lo que minimiza la necesidad de establecer un espacio en tierra para su actividad. Para lo primero, se puede operar lanzándose de forma manual o con ayuda de algún aparato y, para lo segundo, se efectúa mediante paracaídas integrado o entrada en pérdida controlada. Según el número de rotores, existe la siguiente clasificación de drones multirrotores:

- **Bicópteros.** Tiene dos rotores.



*Imagen 24. Bicóptero. [40]*

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

- **Tricópteros.** Tres brazos con un motor en cada extremo.



*Imagen 25. Tricóptero. [41]*

- **Cuadricópteros.** Cuatro brazos con uno o dos motores en cada extremo.



*Imagen 26. Cuadricóptero. [42]*

- **Hexacóptero.** Seis brazos con un motor en cada extremo.



*Imagen 27. Hexacóptero. [43]*



## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

- **Octocóptero.** Ocho brazos con un motor en cada extremo.



*Imagen 28. Octocóptero. [44]*

A pesar de haber una clasificación más amplia de este tipo de drones existentes hoy día como multirrotores de 10 y hasta 18 motores, se tratan de modelos de pruebas.

- **Aviones.** Se caracterizan por ser más eficientes en vuelo que los anteriores (multirrotores) debido a su diseño aerodinámico por conseguir una mayor autonomía. Esto hace que puedan volar a velocidades mayores con un ruido mucho menor. Para su funcionamiento, soportan mejores condiciones tanto de temperatura, como de viento y de lluvia.



*Imagen 29. Avión de ala fija. [45]*

- **Híbridos o Ala fija de despegue vertical.** Esta clasificación dispone una combinación de las dos anteriores (equipos de ala fija que cuentan con sistemas de ala rotatoria). Presentan la autonomía de vuelo como la de la tipología de aviones, pero su capacidad de despegue y aterrizaje requiere de poco espacio como es el caso de los multirrotores.

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN



*Imagen 30. Ala fija de despegue vertical. [46]*

### 4.2.3.2. Clasificación según el rango de operación

En esta clasificación se encuentran las operaciones a baja altura y las operaciones a alta altura de vuelo del dron. Ambas se marcan por las Reglas de Vuelo Visual (VFR) y Vuelo Instrumental (IFR) [47].

#### - Operaciones a baja altura (Very Low Level “VLL”):

- **VLOS (Visual Line of Sight).** Se trata del vuelo en la línea visual del piloto establecida en un radio de 500 metros.
- **EVLOS (Extended Visual Line of Sight).** Se trata del vuelo en línea de vista extendida establecido más allá de los 500 metros de radio cuando también haya otros observadores que mantengan el contacto visual con el dron.
- **BVLOS (Beyond Visual Line of Sight).** Precisa conocer de la ubicación del dron por otros medios de localización, ya que se trata de un vuelo que va más allá de la línea de vista.

#### - Operaciones a alta altura:

- **RLOS (Radio Line of Sight).** Se encuentra dentro del alcance de la radio, equipando previamente el dron con sistemas de detección y evitación para no interferir con el tráfico aéreo.
- **BRLOS (Beyond Radio Line of Sight).** Se encuentra más allá del alcance de la radio. La comunicación se efectúa utilizando sistemas como satélites.



## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

### 4.2.3.3. Clasificación atendiendo a las capacidades de vuelo

Se cuenta con tres clases. La Clase I es hasta 150 kg, la Clase II entre 150 y 600 kg y, la Clase III para más de 600kg. Esta clasificación viene determinada por la OTAN basándose en los criterios de masa máxima al despegue (MTOW, del inglés Maximum Take-off Weight), altitud y rango operacional. En la siguiente *Tabla 2*, se especifican con valores y mayor nivel de detalle:

CLASE	MTOW (kg)	Altitud (pies)	Rango (km)
I (< 150 kg)	Micro (< 2 kg)	200	5
	Mini (2 – 10 kg)	1000	25
	Ligero (> 20 kg)	1200	50
II (150-600 kg)	Táctico	10000	200
III (> 600 kg)	HALE	65000	BVLOS

*Tabla 2. Capacidades de vuelo. [48]*

### 4.2.3.4. Clasificación según la normativa

Partiendo de información del Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, es el criterio que define una clasificación en función de la masa máxima al despegue (MTOW) [54]. Las distintas categorías establecen los requisitos a cumplir los drones y por los pilotos, así como el rango operacional de los mismos se recogen de manera resumida en la siguiente tabla:

MTOW (kg)	Rango Operacional
< 2	VLOS/BVLOS
2 – 25	VLOS
25 – 150	Establecido por el certificado de aeronavegabilidad
>150	Establecido por el certificado de aeronavegabilidad

*Tabla 3. Capacidad de vuelo según normativa. [48]*

### 4.2.4. Funcionamiento

La integración de los drones en cualquier trabajo se realiza creando como primer paso una hoja de ruta que tenga como objetivo el definir las prioridades, describir las tareas concretas y establecer una estrategia clara en materia de desarrollo de un marco regulatorio para garantizar la seguridad de las operaciones.

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Las hélices de las que dispone el dron se impulsan mediante un pequeño motor propulsado electrónicamente. El dron se pilota por control remoto por medio de un mando encargado de dirigir el vuelo y realizando los ajustes de distancias, aunque puede también hacerse de manera semiautomática con una programación previa, pudiendo realizar diferentes movimientos de manera vertical y longitudinal al eje, además, también pueden elevarse en vertical o rotar hacia delante o hacia atrás en relación con su eje transversal. Los drones están provistos de baterías para alimentar el circuito, de modo que la potencia de esta junto con el número de motores determinará la amplitud del rango de recorrido del dron.

### **4.2.5. Ventajas e inconvenientes en el uso de drones**

Son muchas las ventajas generales que se pueden indicar con respecto al uso del sistema que constituye el dron [49], como son:

- **Acceso a lugares de riesgo inherente o imposibilidad física.** Al disponer de la capacidad de poder volar remotamente, pueden inspeccionar lugares a los que el hombre no tiene acceso.

- **Posee un elevado número de sensores de diferente tipología.** Se trata de un sistema tecnológico muy innovador y a la vez integrador, lo que hace que un mismo equipo disponga de diversos sensores para su localización, posición, detección, etc.

- **Recogida masiva de datos.** Lo que antes tardaba un trabajador en capturar las imágenes, con el uso de los drones se permite realizar un histórico con la toma de información detallada de todos los aspectos que se quieran recoger en menos tiempo.

Sin embargo, también existen algunos inconvenientes que se han ido mejorando en los últimos años pero que aún podrían considerarse como aspectos negativos al uso de los drones, entre otros están:

- **Legales como prohibiciones y/o restricciones.** La normativa sobre drones detalla en ella muchas restricciones sobre el uso y la prohibición de usarse en ciertas zonas cercanas, por ejemplo, a aeródromos, hospitales, etc.

- **Autonomía de vuelo.** Antes de realizar cualquier vuelo con el dron, se debería analizar el tiempo de autonomía de las baterías de las que dispone, ya que a pesar de ser un problema que cada vez se mejora mucho más, aún sigue siendo un obstáculo al tiempo de utilidad del dron.

- **Alcance.** Es un aspecto que también se debe considerar y depende también de la tipología del dron, puesto que, si se supera ese alcance, se pierde la conexión de radio entre el dron y el piloto.

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

### **4.3. APLICACIÓN DE LOS UAVS EN LAS INSPECCIONES DE LAAT**

#### **4.3.1. Las inspecciones con drones en LAAT**

Las inspecciones sobre el estado y mantenimiento de las líneas de baja, media y alta tensión, están reguladas por normativa, por lo que actualmente, estas instalaciones están en continua supervisión en búsqueda de defectos o anomalías en una línea eléctrica [50].

Las inspecciones de las LAAT que se realizan con drones se utilizan en zonas despobladas de difícil acceso y alejadas de las aglomeraciones de edificios, debido a que según la normativa correspondiente a este tipo de vehículos aéreos en poblaciones no se permite el uso de este tipo de tecnología.

Este tipo de inspecciones se realizan de manera coordinada entre un piloto en tierra que actúa como operador de cámara realizando un vuelo entre los apoyos de las líneas eléctricas buscando anomalías en las líneas, y un operador que actúa como inspector manejando la carga de información que recoge el dron. Generalmente, se pueden realizar de forma manual, aunque también pueden ser programados para realizarlos de forma semiautónoma. Durante la inspección que se va realizando con el dron, en el vuelo, se van tomando y capturando por medio de cámaras térmicas de alta resolución del dron zonas calientes, es decir, se trata de zonas que especifican la existencia de algún tipo de defecto en la instalación. Los defectos o fallos más comunes que se pueden detectar con termografía son los siguientes:

- Oxidación de elementos de la línea
- Conexiones recalentadas
- Conexiones mal aseguradas
- Defectos de aislamiento
- Efecto corona

Estos fallos se pueden detectar en una fase temprana mediante una inspección aérea con termografía, pudiendo localizar el problema con precisión, determinando la gravedad de este y calculando el tiempo en el que se debe reparar.

Anterior al uso de esta tecnología, las inspecciones de las líneas acarrear muchos riesgos para los trabajadores que las realizan y, aun tomando todas las precauciones y medidas de protección, asumen muchos riesgos. Otro método empleado, consiste en capturar las imágenes aéreas con helicópteros que cubren grandes áreas de terreno, pero con la desventaja del alto coste económico implicado en la maniobra [51]. En definitiva, el objetivo principal de las empresas que realizan estos trabajos trata el mantenimiento y detección de averías a través de la toma de imágenes térmicas que

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

les permiten detectar puntos calientes y que habitualmente se traducen en existencias de posibles defectos.

### 4.3.2. Usos de los UAVs en el mantenimiento de LAAT

Las líneas eléctricas tienen, en general, elementos que se ubican en altura, alejados por seguridad del alcance de las personas. Además, son infraestructuras lineales que pueden encontrarse en entornos de difícil acceso. En este escenario, es muy útil disponer de Vehículos Aéreos no Tripulados que permitan un acceso directo y cercano a los elementos de las instalaciones para admitir su mantenimiento.

El uso de los drones que impliquen una mejora en la seguridad de las personas en los trabajos que realizan cumple con la justificación de las 4D, siendo estas:

- **Dull (aburrido):** se evitan accidentes por actividades humanas repetitivas, para los cuales los drones están preparados.

- **Dirty (sucio):** hay trabajos sucios y en ambientes peligrosos a los que el ser humano se expone constantemente y los drones evitan la exposición humana de forma directa.

- **Dangerous (peligroso):** los drones pueden actuar con seguridad en zonas de difícil acceso.

- **Dear (costoso):** los drones ahorran tiempo en la realización de los trabajos y evitan accidentes de trabajo que conllevan a un ahorro económico importante.

Según la operatividad del dron, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos para el uso de drones en este tipo de inspecciones:

- Localización dispersa de los elementos a inspeccionar como los apoyos y las distancias amplias a cubrir en los conductores.
- Necesidad de llevar a cabo inspecciones en tramos comprendidos en zonas restringidas al vuelo con drones.
- Mantenimiento de distancias de seguridad con respecto a los elementos durante la inspección.
- Presencia de campos electromagnéticos que pueden dificultar la navegación y la comunicación entre el equipo aéreo y la estación de tierra.

En función de toda la documentación teórica explicada en los apartados anteriores, es necesario indicar que, en el caso de las inspecciones de apoyos eléctricos, la tipología de dron más adecuada es de tipo multirrotor debido a su capacidad de realizar vuelo estacionario a diferentes alturas permitiendo así obtener un mayor nivel de detalle en la inspección. Sin embargo, sería recomendable

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

que cuando se inspeccionaran los vanos se utilizaran drones de tipo ala fija por tratarse de infraestructuras lineales que se extienden en longitudes muy amplias por lo que se requiere el uso de drones que otorguen mayor autonomía, como es este caso que nos ocupa.

Además, al realizarse dos tipos de inspecciones con el dron (visual, recogiendo imágenes sobre el estado de la estructura, niveles de corrosión y ausencia de elementos; y termográfica, captando información sobre el comportamiento térmico en busca de posibles anomalías o deficiencias en el funcionamiento de estas), los sensores que mejor se emplearían serían las cámaras visuales, así como cámaras termográficas que pueden usarse de forma simultánea. También pueden utilizarse sensores de tipo LIDAR para evaluar la proximidad de los conductores a algún tipo de vegetación en la zona de la inspección, ya que es importante emplear sistemas que eviten colisión del dron con los apoyos por el reconocimiento de estos, pudiendo establecerse una envolvente de seguridad que evite la penetración del equipo en ese espacio [52].

Por esto, se indica a continuación los tipos de inspecciones en los que se podría realizar la supervisión con drones siguiendo un procedimiento de seguridad adecuado y preventivo para cumplir con el objeto de este Trabajo Final de Máster. También se especifican otro tipo de trabajos de mantenimiento que se realizan en las líneas con los drones.

### *4.3.2.1. Inspección intensiva o a pie*

Se trata de un trabajo que se realiza a pie en el que se requiere que los trabajadores suban a los apoyos inspeccionando visualmente todos los elementos de las líneas. Aunque esta operación se realice en condiciones de seguridad, el uso de los drones evita el riesgo de caída asociado a los trabajos en altura, además de reducir el tiempo de duración de la inspección. Con el uso de drones, es posible obtener imágenes desde diferentes puntos de vista.

### *4.3.2.2. Inspección aérea*

Se utiliza un helicóptero tripulado, cuya misión es la de recorrer la línea inspeccionando todos los elementos de esta. La sustitución del helicóptero por un dron es viable siempre que la autonomía del dron fuera la suficiente y exista posibilidad de vuelo fuera de la línea de vista del piloto. En este tipo de inspecciones de las líneas eléctricas se van grabando imágenes visuales. Dichas imágenes sirven para detectar defectos o anomalías en los elementos de las líneas (apoyos, aisladores, conductores, herrajes, etc.).

### *4.3.2.3. Inspección termográfica aérea*

El uso drones en estas inspecciones permite tomar las imágenes desde cualquier punto de vista que se desee y, generalmente, más cercano al elemento. Las imágenes termográficas que se toman se utilizan para buscar puntos calientes, esto es, puntos de un elemento de la línea cuya temperatura es

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

mayor y, por tanto, destacan en la imagen termograma, indicando que puede estar implicado dicho punto a un contacto inadecuado o a otro tipo de defecto que es necesario estudiar.

### *4.3.2.4. Otros usos: Topografía*

Es importante el uso de drones en la toma de datos topográficos que se realiza sobre las líneas eléctricas con el fin de que sea posible conocer y gestionar las instalaciones eléctricas sobre el terreno, ya que éste puede volar con menor altitud y velocidad que un helicóptero o un avión y, debido a ello, es viable obtener una mayor densidad de puntos. Se realizará de manera periódica para mantener la información de las líneas actualizada. Para lograrlo, se colocará una cámara LIDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging), en la estructura del UAV que permite la toma de los datos desde un medio aéreo. Esta fotogrametría, con la que se consiguen modelos 3D de terrenos, permite medir distancias, áreas y volúmenes con gran precisión.

### *4.3.2.5. Otros usos: Apoyo de emergencia*

En cuanto a los usos en este tipo de trabajos, se emplean los drones si aparecen averías para obtener una visión general de los daños en entornos de difícil acceso. El uso de los drones implica en estas tareas que se coordinen las actuaciones relacionadas con la emergencia de forma eficaz, ganando tiempo a la hora de reponer el servicio eléctrico lo antes posible ante una indisponibilidad no programada de la instalación.

En algunos casos, las grandes averías en las líneas eléctricas aéreas están provocadas por fenómenos meteorológicos adversos (tormentas con fuertes vientos, bajas temperaturas, etc.), que provocan la rotura de los conductores o la caída de las torres que los sustentan, por lo que el dron que se utilice para ello debe resistirlos.

El crecimiento del sector de los drones ha hecho que AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea) buscara una solución para gestionar el vuelo de estos equipos para las diversas utilidades para las que se tienen en cuenta [53]. Junto con ENAIRE (empresa pública dependiente del Ministerio de Fomento) se debe gestionar el plan de vuelo y los permisos asociados al mismo para gestionar el espacio aéreo. Como requisitos, Enaire solicita tener identificado el dron, respetar las distancias mínimas de seguridad, cumplir los requisitos de los equipos y del operador, establecer un área de protección y zona de recuperación, así como la prohibición de llevar objetos y sustancias peligrosas, entre otros requisitos que recoge Enaire en su página web basándose en el Real Decreto 1036/2017 por el que se gestiona el uso de los drones [54].

Aunque en la actualidad no se considera como RD de referencia puesto que existe normativa actualizada, se ha especificado para establecer la evolución de una normativa que se aprobó en el año 2014 a una normativa que se terminó de actualizar y es la referencia para el uso de drones actualmente del año 2017. El Real Decreto-Ley 8/2014, de 4 de julio, de aprobación de medidas urgentes para el

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

crecimiento, la competitividad y la eficiencia, recoge en él y regula el uso de los Vehículos Aéreos no Tripulados en España [55]. En su artículo 50 recoge y establece los requisitos para los que podrán realizarse actividades aéreas de trabajos pilotando drones por control remoto, de día y en condiciones meteorológicas adecuadas. En él también se incluyen las exigencias que la propia normativa tiene categorizada como que el trabajo se realice con una distancia mínima de 8 kilómetros respecto de cualquier aeropuerto o aeródromo, que se hayan adoptado medidas adecuadas para proteger el dron y el enlace de radio con este, así como la disposición del manual de operaciones del operador para establecer los procedimientos de ejecución de tareas que tienen que cumplir los trabajadores.

El Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, recoge la necesidad de que los drones dispongan en su estructura de una placa de identificación ignífuga que especifique la identificación del dron (nombre del fabricante, tipo, modelo y número de serie) [54]. Además, en su artículo 13 especifica los requisitos del enlace de mando y control que aseguren la continuidad y la fiabilidad necesaria para el sistema. De igual forma, el artículo 16 recoge información sobre las responsabilidades en materia de mantenimiento que tiene el operador como encargado del registro de los datos relativos a los vuelos hechos y la duración, las deficiencias ocurridas, los eventos significativos que han surgido y que tienen que ver con la seguridad y las inspecciones y acciones de mantenimiento. El fabricante también será el encargado de realizar el mantenimiento del dron.

Siguiendo con el mismo Real Decreto, el operador también deberá establecer las instrucciones del tipo de operaciones que se realiza y el programa de mantenimiento adecuado para garantizar la aeronavegabilidad de los que tengan un peso inferior a 150 kg. Sin embargo, si se trata de pequeños drones de un peso inferior a 2 kg, el mismo operador podrá ser el encargado de realizar el mantenimiento siguiendo las instrucciones del fabricante. Además, tal y como recoge el artículo 39, es necesario comunicar previamente a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea de la maniobra que se va a realizar, si el dron que se va a utilizar para realizar la inspección cumple con alguna de las características que recoge el punto 1 del artículo 40, especificando los datos identificativos de los trabajadores y del dron, así como del tipo de operación que se vaya a realizar.

### 4.3.3. Ventajas e inconvenientes

Las inspecciones con drones aportan beneficios en el ámbito de la seguridad, **erradicando los trabajos en altura**; en el ámbito de **los tiempos, rebajándolos** considerablemente; y en el ámbito económico, **reduciendo los costes** totales derivados del mantenimiento.

Otro de los grandes beneficios de realizar las inspecciones mediante drones, es que **no es necesario cortar el suministro** de la zona en particular. Las inspecciones mediante drones ofrecen una solución con una gran adaptación al gran número de soportes a inspeccionar y de difícil acceso. Todas estas ventajas han hecho que, con el uso de los drones, **el rendimiento de las inspecciones**

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

**haya aumentado.** Además de los beneficios en el ámbito de la operación, existe otro gran valor añadido, y es el de poder realizar informes detallados sobre las anomalías de la línea con una **mayor rapidez y precisión**, en la que es posible recoger una gran cantidad de datos y, luego, procesarlos, así como disponer de la capacidad de procesar a posteriori los datos recogidos, y realizar unos informes entregables con un formato totalmente adaptado a los suyos.

Sin embargo, el uso de los drones en las inspecciones de líneas eléctricas conlleva a algunos inconvenientes de carácter general, entre los que se encuentran:

- **Fiabilidad:** es necesario verificar que en los drones puedan realizar vuelos estables para que no implique pérdidas de comunicación con el piloto.
- **Autonomía:** la autonomía de los drones debe ser la adecuada a los procesos de trabajo, ya que en algunos casos es limitada.
- **Normativa:** el marco regulatorio tendrá que quedar perfectamente definido para posibilitar el uso del Vehículo Aéreo No Tripulado en las inspecciones de líneas eléctricas, pudiendo trabajar de manera organizada en condiciones de seguridad.
- **Renovación tecnológica:** Al tratarse de un sistema que implica un avance tecnológico importante, es preciso conocer los cambios e impactos en el proceso de esta herramienta para ir adaptando sus características a las exigencias de los trabajos.

### **4.3.4. Formación profesional de los técnicos para su uso**

Para realizar las distintas inspecciones eléctricas con el uso de los Vehículos Aéreos No Tripulados los trabajadores deben estar formados de manera teórica y práctica en el procedimiento específico de estos trabajos, sabiendo analizar la información capturada por el dron de manera más eficiente.

El personal que interviene en este tipo de trabajos debe estar formado en seguridad y en los aspectos que conforman sus funciones en el puesto de trabajo. Esta formación específica que deben tener se indica de manera detallada en el procedimiento posterior que está incluido en este Trabajo Final de Máster.

### **4.3.5. Aspectos preventivos en el uso de drones**

El uso de drones en las inspecciones de líneas aéreas tiene importantes aspectos en la prevención y seguridad de los trabajadores debido a la mayor agilidad y seguridad en el trabajo de campo que se realiza con muchas características de notables beneficios como la menor exposición a temperaturas extremas, menor carga física, menor riesgo de caídas, entre otros. Estas actividades se realizan sin que un trabajador tenga que estar anclado a una línea de vida.



## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Según el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el apartado 1.a especifica “*Evitar los riesgos*”, por lo que, con el uso de los drones en estos trabajos se cumpliría porque se evitaría la presencia humana en estas zonas de riesgo [56]. El punto 1.b. clarifica que se deben “*evaluar los riesgos que no se pueden evitar*”. Por ello y aún con este método, existen riesgos menores porque no se expone al trabajador, además de que el rendimiento del trabajo es mucho mayor, pero se valoran en una evaluación de riesgos que se incluye en el punto siguiente de este Trabajo para tratar de mitigarlos. En definitiva, se disminuyen en gran nivel los riesgos comentados desde el foco, como medio para perfeccionar esta identificación y control de estos riesgos, ya que aumentaría la fiabilidad y calidad de las revisiones.

Del mismo artículo indicado, el apartado 1.e. explica que hay que “*tener en cuenta la evolución de la técnica*”, por lo que el avance tecnológico en el uso de drones en las líneas eléctricas de alta tensión cumple con la normativa.

Finalmente, como recoge el punto 1.f. del mismo artículo de la LPRL se debe “*sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro*”, por lo que el uso de drones en este tipo de trabajos puede hacer que se sustituya un riesgo de accidente grave o mortal por un riesgo de incidente, que podría ser evaluado para luego controlarlo siguiendo un procedimiento de seguridad.

En definitiva, mediante el uso de UAVs se mejora la calidad de las revisiones sin necesidad de acceder a las líneas eléctricas manualmente o mediante helicóptero a lo alto de los tendidos, aumentando a su vez la fiabilidad esta.

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

**EVALUACIÓN DE RIESGOS DEL PRINCIPIO DE  
SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS  
NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE  
LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

<b>Fecha:</b> _____ <b>Elaborado por:</b> _____ _____	<b>Fecha:</b> _____ <b>Revisado por:</b> _____ _____	<b>Fecha:</b> _____ <b>Aprobado por:</b> _____ _____
<b>Firma:</b>	<b>Firma:</b>	<b>Firma:</b>

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

### 4.4. EVALUACIÓN DE RIESGOS

A continuación, se especifica el estudio de los riesgos que están implicados en las inspecciones eléctricas con Vehículos Aéreos No Tripulados de las líneas eléctricas de alta tensión para establecer el principio de seguridad de este trabajo, desarrollando un procedimiento para el mismo. La evaluación de los riesgos se realiza para los existentes de carácter general como razón de la meteorología, las condiciones de aeronavegabilidad del dron, los de cada trabajador directamente implicado en los procesos de trabajo considerando todas las actividades que desarrolla, así como los riesgos derivados de la maniobra como del uso de la maquinaria y los recursos utilizados, esto es, debido al entorno operacional del dron [57].

#### 4.4.1. Análisis de los riesgos

Para poder realizar el estudio de la evaluación de los riesgos del uso de Vehículos Aéreos No Tripulados en trabajos de Líneas Aéreas de Alta Tensión será necesario definir la actividad y el puesto de trabajo de este.

La **actividad** que se desarrolla es la inspección de las Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión con el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados, cuyo **lugar de trabajo** será aquel en el que se tenga planificado realizar la inspección. La **función principal de esta actividad** consistirá en que el piloto maneje un dron que se aproxime a las líneas eléctricas que se desean inspeccionar y con ayuda del operador de cámara se revisan todos los elementos de estas para ir tomando capturas de imágenes en HD y con la utilidad de cámaras termográficas con el fin de identificar los puntos calientes de la instalación que deben ser atendidos en la gravedad en la que se catalogue su anomalía.

##### 4.4.1.1. Identificación de peligros

En un primer estudio de estos riesgos, se tiene en cuenta la meteorología del lugar en el que se va a realizar la inspección. Como peligros predecibles durante este trabajo se pueden dar condiciones de baja visibilidad por la presencia de nubosidad o por la ausencia de iluminación. Las condiciones meteorológicas naturales y de las que no depende el piloto del dron, influyen en gran medida en estos aspectos como las precipitaciones, las turbulencias, así como rachas de viento.

Posteriormente, se analizan los riesgos en función de las condiciones de aeronavegabilidad del dron, en donde se debe tener en cuenta la autonomía de las baterías del equipo, la fijación inadecuada de los elementos estructurales que conforman el dron, así como la calibración incorrecta del equipo de telemetría o la posible pérdida de conexión de radio con el piloto.

En el entorno operacional de trabajos con UAV ha sido necesario indicar como peligros las condiciones de relieve o la presencia de obstáculos inesperados, la altura alcanzada por el equipo, el incumplimiento de las restricciones de uso del espacio aéreo, la presencia de aeródromos cercanos, la disponibilidad y calidad a los accesos de las inspecciones, la caída a distinto nivel del dron o la

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

caída al mismo nivel del trabajador, atrapamiento del dron o del trabajador por vehículos, máquinas o equipos cercanos al lugar de trabajo, quemaduras por contacto directo con el motor del dron tras su maniobra, riesgos eléctricos por zonas con proximidad de tensión y riesgos al resto de personas ajenas al trabajo y que se encuentren por los alrededores de las zonas donde se encuentren inspeccionando las líneas eléctricas, entre otros.

Finalmente, el último bloque en el que se han identificado los riesgos ha sido: la experiencia y el rendimiento de los trabajadores, los cuales se encuentran estrechamente ligados a los riesgos que deben ser prevenidos en este tipo de trabajos para no provocar accidentes en este tipo de inspecciones. Entre estos se encuentra la formación incompleta o la inexperiencia en el sector por parte de los trabajadores que puede derivar en un complicado estado físico y psicológico del piloto y del operador y desencadenar una escasa comunicación y compenetración entre las personas relacionadas con la operación, así como en el desarrollo del estrés térmico para el trabajador por hacer las inspecciones en distintos ambientes de trabajo con climatologías variables, entre otros riesgos.

En las siguientes *Tablas 4, 5, 6 y 7* se especifican los peligros identificados con la legislación de drones o de trabajo que le es de aplicación, indicando en el margen izquierdo de la tabla el número de peligro identificado y clasificados en los diferentes bloques que guardan cierta relación entre ellos.

Nº	PELIGRO IDENTIFICADO	LEGISLACIÓN APLICABLE
1	<b>CONDICIONES METEOROLÓGICAS</b>	
	1. Baja visibilidad	Art. 23 RD 552/2014 [58]
	2. Presencia de nubosidad y malas condiciones de iluminación	
	3. Precipitaciones	Art. 25 RD 1036/2017
4. Rachas de viento		
2	<b>RESTRICCIONES POR NORMATIVA</b>	
	1. Presencia de aeródromos cercanos	Art. 23 RD 1036/2017
	2. Restricciones del uso del espacio aéreo	

*Tabla 4. Identificación de los riesgos*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Nº	PELIGRO IDENTIFICADO	LEGISLACIÓN APLICABLE
<b>3</b>	<b>ENTORNO OPERACIONAL</b>	
	1. Condiciones de relieve o presencia de obstáculos	Art. 29 RD 1036/2017
	2. Disponibilidad y calidad de los accesos complicada	
	3. Excesiva altura y/o distancias de seguridad reglamentarias	Art. 21 RD 1036/2017
<b>4</b>	<b>CONDICIONES DE AERONAVEGABILIDAD DEL DRON</b>	
	1. Fijación incorrecta de los elementos estructurales	Art. 5 RD 1036/2017
	2. Baja capacidad de autonomía de las baterías	RD 1036/2017
	3. Calibración incorrecta de telemetría	
	4. No exceder los valores admisibles de peso y distribución adecuada de la carga	Art. 50 RD 8/2014
	5. Revisión anterior a la inspección incompleta	RD 1036/2017
<b>5</b>	<b>CAÍDA AL MISMO NIVEL DEL TRABAJADOR</b>	
	1. Herramientas y equipos por el suelo.	NTP 434 [59]
	2. Desniveles del terreno	
	3. Presencia de arbustos, troncos u otros obstáculos imprevistos	
	4. Falta de iluminación	RD 1036/2017
<b>6</b>	<b>CAÍDA A DISTINTO NIVEL DEL DRON</b>	
	1. Escasez de baterías	Art. 21 y Art. 23 RD 1036/2017
	2. Fallo de comunicaciones	
	3. Fallos técnicos del dron	
	4. Golpes contra obstáculos imprevistos en movimiento o fijos	
<b>7</b>	<b>ATRAPAMIENTO</b>	
	1. Por vehículos o máquinas cercanas al lugar de trabajo	NTP 325 [60]

*Tabla 5. Identificación de peligros (Continuación 1)*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Nº	PELIGRO IDENTIFICADO	LEGISLACIÓN APLICABLE
<b>8</b>	<b>RIESGO ELÉCTRICO POR PROXIMIDAD A LA ALTA TENSIÓN</b>	
	1. Proximidad del trabajador a zonas de riesgo eléctrico como a pie de apoyo	NTP 400 [61]
	2. Presencia de electricidad estática en el dron	
	3. Posibilidad de contacto entre el dron y la línea eléctrica	
<b>9</b>	<b>RIESGOS A PERSONAS AJENAS A LA MANIOBRA</b>	
	1. Caída del dron sobre transeúntes	Art. 21 RD 1036/2017
	2. Posibilidad de interferencias con aeronaves	
	3. Posibilidad de interferencias con equipos de radio	
<b>10</b>	<b>CONTACTOS TÉRMICOS</b>	
	1. Quemaduras por contacto con el motor tras la maniobra	NTP 524 [62]
	2. Quemaduras por contacto con la batería justo después de aterrizar	
<b>11</b>	<b>INCENDIO</b>	
	1. Choque contra obstáculos	NTP 524
	2. Choque contra una línea de alta tensión	
	3. Choque contra el suelo	
<b>12</b>	<b>PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS</b>	
	1. Dispersión de polvo, piedras y tierra presente en el suelo durante el despegue y aterrizaje.	NTP 262 [63]

*Tabla 6. Identificación de peligros (Continuación 2)*



**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Nº	PELIGRO IDENTIFICADO	LEGISLACIÓN APLICABLE
<b>13</b>	<b>ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO</b>	
	1. Escasa comunicación y compenetración entre las personas relacionadas con la operación	NTP 504 [64]
	2. Calidad inadecuada de la documentación (hojas de ruta de las inspecciones)	Art. 23 RD 1036/2017
	3. Inexperiencia o formación no finalizada en inspecciones con drones	
<b>14</b>	<b>JORNADA Y RITMO DE TRABAJO DE LOS TRABAJADORES</b>	
	1. Estado físico y psicológico del piloto y operador	Art. 33 RD 1036/2017
	2. Estrés térmico del piloto y/u operador	NTP 322 [65]
	3. Configuración del puesto	NTP 226 [66]

*Tabla 7. Identificación de peligros (Continuación 3)*

*4.4.1.2. Estimación del riesgo*

Una vez identificados los riesgos que se encuentran especificados en el apartado anterior, es necesario estimar el riesgo considerando la combinación entre la probabilidad y las consecuencias que pueden derivarse de un peligro. Se deberán estimar por cada uno de ellos.

Por un lado, la probabilidad se identificará teniendo en cuenta la protección de EPIs, la exposición a elementos y los actos inseguros de las personas, siguiendo el siguiente criterio:

- **Probabilidad Baja.** El daño tendrá lugar raras veces.
- **Probabilidad Media.** Pasará en algunas condiciones.
- **Probabilidad Alta.** Ocurrirá casi siempre o siempre.

Y, por otro lado, la severidad se graduará partiendo de las siguientes premisas:

- **Ligeramente dañino.** Se refiere a los cortes, irritaciones, molestias, etc.
- **Dañino.** Quemaduras, torceduras, asma, trastornos musculoesqueléticos, etc.
- **Extremadamente dañino.** Amputaciones, lesiones múltiples, ...

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

En las siguientes tablas se especificarán, por tanto, el criterio de estimación según proceda el riesgo.

Nº	RIESGO/FACTOR DE RIESGO	PROBABILIDAD	SEVERIDAD
1	<b>CONDICIONES METEOROLÓGICAS</b>		
	1. Baja visibilidad	MEDIA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
	2. Presencia de nubosidad y malas condiciones de iluminación		
	3. Precipitaciones	MEDIA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
4. Rachas de viento	ALTA	EXTREMADAMENTE DAÑINO	
2	<b>RESTRICCIONES POR NORMATIVA</b>		
	1. Presencia de aeródromos cercanos	BAJA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
	2. Restricciones del uso del espacio aéreo	BAJA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
3	<b>ENTORNO OPERACIONAL</b>		
	1. Condiciones de relieve o presencia de obstáculos	ALTA	DAÑINO
	2. Disponibilidad y calidad de los accesos complicada	MEDIA	LIGERAMENTE DAÑINO
	3. Excesiva altura y/o distancias de seguridad reglamentarias	ALTA	DAÑINO

*Tabla 8. Estimación de los riesgos*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Nº	RIESGO/FACTOR DE RIESGO	PROBABILIDAD	SEVERIDAD
<b>4</b>	<b>CONDICIONES DE AERONAVEGABILIDAD DEL DRON</b>		
	1. Fijación incorrecta de los elementos estructurales	MEDIA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
	2. Baja capacidad de autonomía de las baterías	MEDIA	LIGERAMENTE DAÑINO
	3. Calibración incorrecta de telemetría	BAJA	DAÑINO
	4. No exceder los valores admisibles de peso y distribución adecuada de la carga	MEDIA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
	5. Revisión anterior a la inspección incompleta	MEDIA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
<b>5</b>	<b>CAÍDA AL MISMO NIVEL DEL TRABAJADOR</b>		
	1. Herramientas y equipos por el suelo.	BAJA	DAÑINO
	2. Desniveles del terreno		
	3. Presencia de arbustos, troncos u otros obstáculos imprevistos		
	4. Falta de iluminación	BAJA	DAÑINO
<b>6</b>	<b>CAÍDA A DISTINTO NIVEL DEL DRON</b>		
	1. Escasez de baterías	BAJA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
	2. Fallo de comunicaciones		
	3. Fallos técnicos del dron		
	4. Golpes contra obstáculos imprevistos en movimiento o fijos		
<b>7</b>	<b>ATRAPAMIENTO</b>		
	1. Por vehículos o máquinas cercanas al lugar de trabajo	BAJA	DAÑINO

*Tabla 9. Estimación de los riesgos (Continuación 1)*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Nº	RIESGO/FACTOR DE RIESGO	PROBABI- LIDAD	SEVERIDAD
<b>8</b>	<b>RIESGO ELÉCTRICO POR PROXIMIDAD A LA ALTA TENSIÓN</b>		
	1. Proximidad del trabajador a zonas de riesgo eléctrico como a pie de apoyo	BAJA	LIGERAMENTE DAÑINO
	2. Presencia de electricidad estática en el dron		
	3. Posibilidad de contacto entre el dron y la línea eléctrica		
<b>9</b>	<b>RIESGOS A PERSONAS AJENAS A LA MANIOBRA</b>		
	1. Caída del dron sobre transeúntes	BAJA	POCO DAÑINA
	2. Posibilidad de interferencias con aeronaves		
	3. Posibilidad de interferencias con equipos de radio		
<b>10</b>	<b>CONTACTOS TÉRMICOS</b>		
	1. Quemaduras por contacto con el motor tras la maniobra	BAJA	LIGERAMENTE DAÑINO
	2. Quemaduras por contacto con la batería justo después de aterrizar		
<b>11</b>	<b>INCENDIO</b>		
	1. Choque contra obstáculos	ALTA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
	2. Choque contra una línea de alta tensión		
	3. Choque contra el suelo		
<b>12</b>	<b>PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS</b>		
	1. Dispersión de polvo, piedras y tierra presente en el suelo durante el despegue y aterrizaje.	BAJA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
	1. Por vehículos o máquinas cercanas al lugar de trabajo	BAJA	LIGERAMENTE DAÑINO

*Tabla 10. Estimación de los riesgos (Continuación 2)*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Nº	RIESGO / FACTOR DE RIESGO	PROBABILIDAD	SEVERIDAD
<b>13</b>	<b>ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO</b>		
	1. Escasa comunicación y compenetración entre las personas relacionadas con la operación	MEDIO	DAÑINO
	2. Calidad inadecuada de la documentación como las hojas de ruta de las inspecciones	BAJA	DAÑINO
	3. Inexperiencia o formación no finalizada en inspecciones con drones	BAJA	EXTREMADAMENTE DAÑINO
<b>14</b>	<b>JORNADA Y RITMO DE TRABAJO DE LOS TRABAJADORES</b>		
	1. Estado físico y psicológico del piloto y operador	MEDIO	DAÑINO
	2. Estrés térmico del piloto y/u operador	BAJA	DAÑINO
	3. Configuración del puesto	BAJA	EXTREMADAMENTE DAÑINO

*Tabla 11. Estimación de los riesgos (Continuación 3)*

**4.4.2. Valoración del riesgo**

Antes de realizar la valoración del riesgo, se debe considerar y tener en cuenta las siguientes premisas:

- Se dispone del material de seguridad que debe ser usado por los trabajadores.
- Los trabajadores han sido formados e informados de los riesgos previsibles.
- Se emplean los equipos de trabajo y son conformes a la normativa de seguridad.
- Se trabaja conforme a los criterios de seguridad establecidos en las disposiciones reglamentarias y normativa específica de estos trabajos.

En base a estos criterios, se pueden determinar los niveles de riesgo que permitirán conocer si se necesitan implantar o controlar medidas preventivas específicas para mitigarlos o evitarlos. De acuerdo con las condiciones de probabilidad estimada y severidad esperada, se especifica en la siguiente *Tabla 12* la estimación del Nivel de Riesgo:

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION**

		SEVERIDAD		
		LIGERAMENTE DAÑINO	DAÑINO	EXTREMADAMENTE DAÑINO
PROBABILIDAD	BAJA	TRIVIAL	TOLERABLE	MODERADO
	MEDIA	TOLERABLE	MODERADO	IMPORTANTE
	ALTA	MODERADO	IMPORTANTE	INTOLERABLE

*Tabla 12. Niveles de riesgo según criterio*

A continuación, se detallan las acciones correctoras que le son de aplicación y el significado del Nivel de Riesgo según la clasificación de la *Tabla 12 anterior*:

- **Trivial:** No precisa de ninguna acción, sin necesidad de documentar.
- **Tolerable:** No necesita mejorar la acción preventiva, pero sí considerar soluciones mejores que no impliquen un elevado precio. Precisa de comprobaciones periódicas que aseguren la adecuada implantación del control de riesgos.
- **Moderado:** Es necesario que se reduzcan los riesgos tomando medidas en un periodo de tiempo determinado.
- **Importante:** No pueden comenzarse los trabajos hasta que no se haya mitigado el riesgo, haciéndolo en un tiempo menor que el que se haría si fuera moderado.
- **Intolerable:** No se continúan ni se empiezan los trabajos si se encuentra en este nivel de riesgo, llegando a suspenderse o a no ejecutarse el trabajo si no se es posible evitar el riesgo.

Con esta información, puede deducirse que la valoración de los riesgos determinados es la que se muestra en las siguientes *Tablas 13, 14 y 15*:

Nº	RIESGO/FACTOR DE RIESGO	VALORACIÓN DEL RIESGO
<b>1</b>	<b>CONDICIONES METEOROLÓGICAS</b>	
	1. Baja visibilidad	IMPORTANTE
	2. Presencia de nubosidad y malas condiciones de iluminación	IMPORTANTE
	3. Precipitaciones	IMPORTANTE
	4. Rachas de viento	INTOLERABLE

*Tabla 13. Valoración de los riesgos*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Nº	RIESGO/FACTOR DE RIESGO	VALORACIÓN DEL RIESGO
2	<b>RESTRICCIONES POR NORMATIVA</b>	
	1. Presencia de aeródromos cercanos	MODERADO
	2. Restricciones del uso del espacio aéreo	IMPORTANTE
3	<b>ENTORNO OPERACIONAL</b>	
	1. Condiciones de relieve o presencia de obstáculos	IMPORTANTE
	2. Disponibilidad y calidad de los accesos complicada	TOLERABLE
	3. Excesiva altura y/o distancias de seguridad reglamentarias	IMPORTANTE
4	<b>CONDICIONES DE AERONAVEGABILIDAD DEL DRON</b>	
	1. Fijación incorrecta de los elementos estructurales	IMPORTANTE
	2. Baja capacidad de autonomía de las baterías	TOLERABLE
	3. Calibración incorrecta de telemetría	TOLERABLE
	4. No exceder los valores admisibles de peso y distribución adecuada de la carga	IMPORTANTE
	5. Revisión anterior a la inspección incompleta	IMPORTANTE
5	<b>CAÍDA AL MISMO NIVEL DEL TRABAJADOR</b>	
	1. Herramientas y equipos por el suelo.	TOLERABLE
	2. Desniveles del terreno	
	3. Presencia de arbustos, troncos u otros obstáculos imprevistos	
	4. Falta de iluminación	TOLERABLE
6	<b>CAÍDA A DISTINTO NIVEL DEL DRON</b>	
	1. Escasez de baterías	MODERADO
	2. Fallo de comunicaciones	
	3. Fallos técnicos del dron	
	4. Golpes contra obstáculos imprevistos en movimiento o fijos	
7	<b>ATRAPAMIENTO</b>	
	1. Por vehículos o máquinas cercanas al lugar de trabajo	TOLERABLE

*Tabla 14. Valoración de los riesgos (Continuación 1)*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION**

Nº	RIESGO/FACTOR DE RIESGO	VALORACIÓN DEL RIESGO
<b>RIESGO ELÉCTRICO POR PROXIMIDAD A LA ALTA TENSION</b>		
	1. Proximidad del trabajador a zonas de riesgo eléctrico como a pie de apoyo	TRIVIAL
	2. Presencia de electricidad estática en el dron	
	3. Posibilidad de contacto entre el dron y la línea eléctrica	
<b>RIESGOS A PERSONAS AJENAS A LA MANIOBRA</b>		
	1. Caída del dron sobre transeúntes	MODERADO
	2. Posibilidad de interferencias con aeronaves	
	3. Posibilidad de interferencias con equipos de radio	
<b>CONTACTOS TÉRMICOS</b>		
	1. Quemaduras por contacto con el motor tras la maniobra	TRIVIAL
	2. Quemaduras por contacto con la batería justo después de aterrizar	
<b>INCENDIO</b>		
	1. Choque contra obstáculos	IMPORTANTE
	2. Choque contra una línea de alta tensión	
	3. Choque contra el suelo	
<b>PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS</b>		
	1. Dispersión de polvo, piedras y tierra presente en el suelo durante el despegue y aterrizaje.	MODERADO
<b>ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO</b>		
	1. Escasa comunicación y compenetración entre las personas relacionadas con la operación	MODERADO
	2. Calidad inadecuada de la documentación como las hojas de ruta de las inspecciones	TOLERABLE
	3. Inexperiencia o formación no finalizada en inspecciones con drones	MODERADO
<b>JORNADA Y RITMO DE TRABAJO DE LOS TRABAJADORES</b>		
	1. Estado físico y psicológico del piloto y operador	MODERADO
	2. Estrés térmico del piloto y/u operador	MODERADO
	3. Configuración del puesto	MODERADO

*Tabla 15. Valoración de los riesgos (Continuación 2)*



## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

### **4.4.3. Gestión y control del riesgo**

Los Vehículos Aéreos no Tripulados disponen de una tecnología incorporada al sistema para la asistencia en la gestión del posible riesgo interviniente. En caso de que se trate de un proceso seguro y se lleven a cabo todas las medidas preventivas que se establecen para los riesgos detectados en la evaluación anterior y que se especifican en el *apartado 4.5. de este Trabajo Final de Máster*, se gestiona el riesgo por la aplicación de técnicas o mejoras en los controles de estos con la incorporación de algunos de los siguientes aspectos:

- **Receptor de GPS, altímetro.**
- **Pérdida del enlace de radio (vuelta al origen automáticamente)**
- **Capacidad de vuelo autónomo o semiautónomo.**
- **Sistema de despegue/aterrizaje automático.**
- **Sistema de terminación segura de vuelo (paracaídas)**
- **Adecuación de la formación teórica y práctica de los trabajadores.**

Además, también se gestionarán los riesgos considerando que en caso de lluvia o viento fuerte no se realizarán los trabajos, puesto que el Jefe de Trabajo podrá impedir la realización de estos si el piloto del dron determina que por la naturaleza del viento la seguridad en el trabajo se puede ver comprometida. La niebla, la visibilidad limitada por neblinas o por baja luminosidad será también una consecuencia prohibitiva para la realización de la inspección.

# PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

## 4.5. MEDIDAS PREVENTIVAS

### 4.5.1. Medidas de prevención generales

Como medidas preventivas generales, se especifica que no podrán realizarse los trabajos en caso de que haya lluvia, nieve, granizo, o viento fuerte. La niebla o la visibilidad limitada por neblinas, será también una circunstancia prohibitiva para la realización del trabajo. Con viento menos fuerte, el Jefe de Trabajo podrá impedir la realización de estos si el piloto decide que por la dirección o naturaleza del viento no se realiza la maniobra con toda seguridad.

Tampoco se realizarán los trabajos en aquellas cadenas de los apoyos en que exista duda de no poder guardar las oportunas distancias de seguridad. En aquellos apoyos de las líneas donde se tenga que realizar el vuelo, se tendrá un especial cuidado en guardar las distancias, cuando se trabaja en la parte interior del ángulo del amarre de este. Como se realizan las inspecciones en líneas de alta tensión, se deben tener en cuenta las distancias límite de las zonas de trabajo que deben ser respetadas, siendo estas las que se recogen en la siguiente tabla:

Tensión (kV)	Distancia límite en metros (m)
220 o 132	10
66	7

Tabla 16. Restricciones de tensiones y distancias. [51]

Asimismo, en cuanto a los trabajadores que se encuentran en la inspección, todos deben disponer de los Equipos de Protección Individual necesarios como medida preventiva a la actividad que se realiza, los cuales deben estar homologados por el fabricante y llevar el marcado CE. No serán válidos los EPIs que no lleven como requisito esta condición. Los mismos están formados por unas gafas protectoras del sol, casco de seguridad, chaleco reflectante, botas de seguridad, arnés del control remoto del dron y crema solar. Se deberán siempre revisar antes y después de realizar el trabajo, en especial, se deberá verificar la ausencia de roturas, grietas o cortes, así como deformaciones u oxidaciones en los que procedan estas posibilidades.

Todos los trabajadores deben cumplir las obligaciones anteriormente indicadas y llevar una vigilancia permanente en el cumplimiento de las normas preventivas. Se deben realizar los trabajos estableciendo un orden y una limpieza clara, dejando las zonas de paso, de salidas y de circulación despejadas como indica el RD 486/1997 en su anexo II. El uso de los EPIs anteriormente nombrados deberán ser de obligado cumplimiento en base a las funciones que desempeñen en el trabajo y tal y como recoge el procedimiento que se indica en el siguiente punto de este TFM.

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

### 4.5.2. Medidas de prevención específicas

Lo que se pretende en este apartado y lo que muestran las *Tablas 17, 18, 19, 20, 21 y 22* es establecer las medidas preventivas que se deben tener en cuenta para los riesgos identificados en la evaluación detallada anteriormente, con el fin de que se pueda evitar el riesgo o, en caso de no poder hacerlo, pues mitigarlo.

Nº	RIESGO / FACTOR DE RIESGO	MEDIDAS PREVENTIVAS
1	<b>CONDICIONES METEOROLÓGICAS</b>	
	1. Baja visibilidad	- No comenzar los trabajos si la lluvia es muy fuerte y puede dañar los elementos estructurales del dron o el resultado de la inspección de trabajo. - No comenzar los trabajos si se comprueba con el anemómetro que el viento es muy fuerte o la previsión meteorológica va a empeorar negativamente.
	2. Presencia de nubosidad y malas condiciones de iluminación	
	3. Precipitaciones	
	4. Rachas de viento	
2	<b>RESTRICCIONES POR NORMATIVA</b>	
	1. Presencia de aeródromos cercanos	- No se podrán realizar estos trabajos por las restricciones propias de la reglamentación que le es de aplicación.
	2. Restricciones del uso del espacio aéreo	
3	<b>ENTORNO OPERACIONAL</b>	
	1. Condiciones de relieve o presencia de obstáculos	- Análisis previo de la zona de trabajo y de la topografía del lugar de la inspección - Visualización inicial antes de comenzar los trabajos para establecer los obstáculos - Gestión de los recursos y formas de acceso al lugar. - Establecer parámetros (altura, distancias reglamentarias, etc.) con unos sensores límites de trabajo que avisen de su proximidad.
	2. Disponibilidad y calidad de los accesos complicada	
	3. Excesiva altura y/o distancias de seguridad reglamentarias	

*Tabla 17. Medidas preventivas de los riesgos*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Nº	RIESGO / FACTOR DE RIESGO	MEDIDAS PREVENTIVAS
4	<b>CONDICIONES DE AERONAVEGABILIDAD DEL DRON</b>	
	1. Fijación incorrecta de los elementos estructurales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprobar la colocación y fijación adecuada de todos los elementos del dron antes del despegue y después del aterrizaje.</li> <li>- Consultar el manual de instrucciones del dron utilizado para verificar que el montaje es correcto.</li> </ul>
	2. Baja capacidad de autonomía de las baterías	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conocer el tiempo de autonomía y alcance del dron para establecer la planificación en base a este criterio.</li> <li>- Controlar por parte del piloto el parámetro de capacidad de la batería durante la ejecución de los trabajos.</li> </ul>
	3. Calibración incorrecta de telemetría	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar la medición de todos los parámetros del dron asegurando la calibración tanto de sus magnitudes como de sus comunicaciones.</li> </ul>
	4. No exceder los valores admisibles de peso y distribución adecuada de la carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificación de los parámetros del dron para no exceder los valores límites.</li> <li>- Pesar la cámara antes de colocarla en el dron y comprobar con las especificaciones técnicas del dron que la soporta.</li> </ul>
	5. Revisión anterior a la inspección incompleta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprobar que se han realizado pruebas prácticas con el dron con anterioridad a los trabajos.</li> <li>- Asegurar con la documentación que el dron ha superado todas las pruebas y revisiones hechas para la inspección.</li> </ul>

*Tabla 18. Medidas preventivas de los riesgos (Continuación 1)*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

N°	RIESGO / FACTOR DE RIESGO	MEDIDAS PREVENTIVAS
<b>5</b>	<b>CAÍDA AL MISMO NIVEL DEL TRABAJADOR</b>	
	1. Herramientas y equipos por el suelo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ir por caminos establecidos como zonas despejadas y libres de objetos.</li> <li>- No transitar por zonas inestables.</li> <li>- Se mantendrá la zona de trabajo limpia y ordenada evitando dejar herramientas en el suelo.</li> </ul>
	2. Desniveles del terreno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prestar atención a los desniveles e irregularidades del terreno.</li> <li>- Utilizar EPIs como calzado antideslizante.</li> </ul>
	3. Presencia de arbustos, troncos u otros obstáculos imprevistos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mientras se está realizando el trabajo, se debe mantener la atención necesaria para evitar distracciones que pueden provocar accidentes.</li> <li>- Disponer de hábitos correctos de trabajo y formar al trabajador en el correcto uso del dron.</li> </ul>
	4. Falta de iluminación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adecuar los niveles de iluminación a los lugares de trabajo y controlarlo periódicamente.</li> </ul>
<b>6</b>	<b>CAÍDA A DISTINTO NIVEL DEL DRON</b>	
	1. Escasez de baterías	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paracaídas instalado en el dron.</li> <li>- Medición de viento con anemómetro.</li> <li>- Capacidad de vuelo autónomo al origen de la maniobra.</li> </ul>
	2. Fallo de comunicaciones	
	3. Fallos técnicos del dron	
	4. Golpes contra obstáculos imprevistos en movimiento o fijos	

*Tabla 19. Medidas preventivas de los riesgos (Continuación 2)*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION**

Nº	RIESGO / FACTOR DE RIESGO	MEDIDAS PREVENTIVAS
7	<b>ATRAPAMIENTO</b>	
	1. Por vehículos o máquinas cercanas al lugar de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Despejar la zona de despegue retirando cualquier elemento que dificulte las maniobras.</li> <li>- Acotar zonas de posición con conos del piloto e inspector y demás jefes asistentes.</li> <li>- Prohibición de hablar con el piloto e inspector durante la maniobra de vuelo o durante la operación anterior o posterior a la misma.</li> <li>- Establecer una zona alternativa de aterrizaje.</li> <li>- Aplicación de las instrucciones para el uso y empleo de las máquinas.</li> <li>- Comprobar que los apoyos previstos inspeccionar estén libres de arbolado cercano.</li> </ul>
8	<b>RIESGO ELÉCTRICO POR PROXIMIDAD A LA ALTA TENSION</b>	
	1. Proximidad del trabajador a zonas de riesgo eléctrico como a pie de apoyo	- Medición de las distancias de seguridad antes de cada vuelo.
	2. Presencia de electricidad estática en el dron	- Establecer vuelo en trayectoria horizontal hacia la cadena del apoyo.
	3. Posibilidad de contacto entre el dron y la línea eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anemómetro para medir el viento y que no desvíe el dron hacia la línea.</li> <li>- Se prohíben elementos conductores: relojes, anillos, pulseras, etc.</li> <li>- Utilizar EPIs (guantes, calzado, ...).</li> </ul>
9	<b>RIESGOS A PERSONAS AJENAS A LA MANIOBRA</b>	
	1. Caída del dron sobre transeúntes	- Señalización y delimitación de las zonas de trabajo.
	2. Posibilidad de interferencias con aeronaves	- Revisar la frecuencia en la que se usa el dron para comunicarse con el segmento de tierra.
	3. Posibilidad de interferencias con equipos de radio	

*Tabla 20. Medidas preventivas de los riesgos (Continuación 3)*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Nº	RIESGO / FACTOR DE RIESGO	MEDIDAS PREVENTIVAS
10	<b>CONTACTOS TÉRMICOS</b>	
	1. Quemaduras por contacto con el motor tras la maniobra	- No tocar elementos del motor sin guantes.
	2. Quemaduras por contacto con la batería justo después de aterrizar	- Contar con un extintor en el lugar de la maniobra. - Uso de prendas de protección individual.
11	<b>INCENDIO</b>	
	1. Choque contra obstáculos	- Colocación de un paracaídas instalado en el dron para evitar que choque con el suelo.
	2. Choque contra una línea de alta tensión	- Sensores de posicionamiento para evitar los obstáculos imprevistos.
	3. Choque contra el suelo	- No fumar en la Zona de Trabajo.
12	<b>PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS</b>	
	1. Dispersión de polvo, piedras y tierra presente en el suelo durante el despegue y aterrizaje.	- Guardar una distancia de seguridad con el dron durante las maniobras de despegue y aterrizaje en zona con polvo, piedras, etc. - Hacer uso de EPIs como gafas de protección contra partículas, guantes, calzado, ...
13	<b>ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO</b>	
	1. Escasa comunicación y compenetración entre las personas relacionadas con la operación	- Programación previa de actividades de trabajo en equipo.
	2. Calidad inadecuada de la documentación como las hojas de ruta de las inspecciones	- Mantener las distancias de seguridad reglamentarias. - Autorización de trabajo actualizada. Seguimiento del procedimiento de seguridad.
	3. Inexperiencia o formación no finalizada en inspecciones con drones	- Verificación previa de los certificados de formación necesaria concluidos. - Formación específica sobre la actividad y las normas de seguridad.

*Tabla 21. Medidas preventivas de los riesgos (Continuación 4)*

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

Nº	RIESGO / FACTOR DE RIESGO	MEDIDAS PREVENTIVAS
<b>14</b>	<b>JORNADA Y RITMO DE TRABAJO DE LOS TRABAJADORES</b>	
	1. Estado físico y psicológico del piloto y operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconocimientos médicos superados.</li> <li>- Comunicación al Jefe de Trabajo del estado del trabajador previo y transcurrido el trabajo.</li> </ul>
	2. Estrés térmico del piloto y/u operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consultar la meteorología para que el personal pueda hacer los trabajos con todas las medidas de seguridad.</li> <li>- Garantizar la hidratación del personal.</li> <li>- Tener la cabeza cubierta</li> </ul>
	3. Configuración del puesto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se deberán realizar descansos entre cada inspección y entre cada apoyo para no ocasionar molestias por posturas continuadas.</li> <li>- Deberán disponer tanto el piloto como el operador de protector solar y de gafas de sol.</li> </ul>

*Tabla 22. Medidas preventivas de los riesgos (Continuación 5)*

**4.5.3. Información y formación**

Los trabajadores deberán estar formados e informados de los riesgos y la repercusión de estos en la actividad, conociendo la valoración de riesgos indicada con anterioridad. Para asegurarse de ello, se debe tener en cuenta que cuando se produzcan incorporaciones de nuevo personal y vaya a realizar estas maniobras tienen que disponer de una licencia oficial en vigor para realizar la habilitación práctica específica para los modelos de drones que utiliza la empresa, además de que el Jefe de Trabajo junto con el piloto deberá informarles de los aspectos de seguridad del dron como:

- El alcance de los trabajos a realizar.
- Riesgos más específicos y medidas preventivas.
- Elementos en tensión más próximos.



## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

### 4.5.4. Organización de los trabajadores

Los trabajos de inspecciones de las líneas eléctricas de alta tensión por drones son realizados por: 1 Jefe de Trabajo, 1 Técnico en Prevención, 1 piloto por cada UAV, 1 operador por cada UAV. A continuación, se especifican las funciones y responsabilidades generales tanto del jefe de trabajo como del recurso preventivo y del piloto, sin embargo, esta información se recoge ampliada para los puestos de trabajo específicos de las inspecciones con drones como se recoge en el procedimiento de este TFM.

Las funciones y responsabilidades del **jefe de trabajo**, durante una inspección de una línea aérea de alta tensión con un dron, son las siguientes:

- Conocer detalladamente los documentos de seguridad de la inspección.
- Informar a los trabajadores de nueva incorporación de los riesgos específicos de este trabajo.
- Planificar las acciones formativas generales que sean necesarias para desarrollar la actividad.
- Poner en práctica cualquier medida de seguridad complementaria que estime necesaria para garantizar la seguridad de los trabajos.
- Vigilar frecuentemente la ejecución de las inspecciones. Estar presente en las situaciones que se consideren de mayor riesgo.
- Suspender inmediatamente los trabajos cuando, por cualquier causa, considere que no pueden realizarse con total seguridad.
- Decidir cuándo se deben comenzar o reanudar los trabajos suspendidos en caso de que se den.
- Se tomará registro y se entregará antes del inicio de las inspecciones la charla de seguridad que imparte el jefe de los trabajos al personal que participa en los mismos.

Las funciones y responsabilidades del **recurso preventivo** son, de manera genérica, las que se indican a continuación:

- La presencia del recurso preventivo deberá ser comunicada por el empresario a sus trabajadores, debiendo permanecer en el lugar de trabajo durante el tiempo en que se mantenga la situación que determine su presencia.
- La presencia del recurso preventivo es una medida preventiva complementaria que tiene como finalidad vigilar el cumplimiento de las actividades preventivas. Esta vigilancia incluirá la comprobación de la eficacia de las actividades preventivas previstas, la

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

adecuación del trabajo a los riesgos que pretenden prevenirse o a la aparición de riesgos no previstos.

- Si observa ausencia, insuficiencia o falta de adecuación de las medidas preventivas, se deberán poner tales circunstancias en conocimiento del empresario que procederá de manera inmediata a la adopción de las medidas necesarias para corregir las deficiencias.

Las funciones y responsabilidades del **piloto** que maneja el dron deben ser las de:

- Conocer en profundidad y disponer de los documentos de seguridad aplicables en el trabajo.
- Dirigir los trabajos, responsabilizándose durante su realización de su estricto ajuste a las normas de seguridad.
- Suspender inmediatamente los trabajos cuando, por cualquier causa considere que no puede realizarse con total seguridad.

Las funciones y responsabilidades del **operador** que gestiona la cámara del dron deben ser las de:

- Disponer de un manual de operaciones adecuado y de las fichas de vuelo y del manual operativo que el piloto necesita para llevar a cabo su trabajo con el dron en condiciones de seguridad.

**PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD DEL  
USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO  
TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE  
LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

<b>Fecha:</b> _____ <b>Elaborado por:</b> _____ _____	<b>Fecha:</b> _____ <b>Revisado por:</b> _____ _____	<b>Fecha:</b> _____ <b>Aprobado por:</b> _____ _____
<b>Firma:</b>	<b>Firma:</b>	<b>Firma:</b>

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

# PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

## ÍNDICE DEL PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD:

<b>OBJETIVO:</b> .....	79
<b>CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO:</b> .....	79
<b>ALCANCE:</b> .....	79
<b>REQUISITOS PREVIOS A LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS:</b> .....	80
<b>IMPLICACIONES Y RESPONSABILIDADES:</b> .....	80
<b>Trabajadores y funciones:</b> .....	80
<b>Organización, formación e información de los trabajadores:</b> .....	81
<b>ELEMENTOS QUE SE REVISAN O INSPECCIONAN:</b> .....	82
<b>MAQUINARIA Y MEDIOS AUXILIARES:</b> .....	83
<b>MATERIAL DE SEGURIDAD:</b> .....	84
<b>METODOLOGÍA:</b> .....	85
<b>REFERENCIAS Y NORMATIVA:</b> .....	89
<b>ANEXOS DEL PROCEDIMIENTO:</b> .....	90
ANEXO I: Lista de comprobación de las medidas preventivas por parte de los trabajadores.	91
ANEXO II: Hoja de ruta. Elementos por inspeccionar .....	93

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

### **4.6. PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD DE LAS INSPECCIONES DE LAAT CON UAVs**

#### **OBJETIVO:**

Este procedimiento tiene por objeto reflejar las condiciones generales del trabajo y el modo de proceder a realizar las inspecciones con drones en las Líneas Eléctricas de Alta Tensión estableciendo una metodología con las medidas de seguridad pertinentes para esta actividad. En este documento, también se detallan los elementos a inspeccionar y las responsabilidades de los equipos de trabajo implicados en ella.

#### **CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO:**

La característica principal del trabajo objeto es la de analizar cumpliendo con la metodología establecida en este procedimiento de seguridad algunas instalaciones eléctricas como son las líneas eléctricas de alta tensión en busca de anomalías o puntos calientes que puedan ser visualizados con un dron, para posteriormente en una intervención o descargo en la línea afectada trabajar para solucionar el problema. Se trata, en definitiva, de realizar el mantenimiento de estos elementos con los UAVs, evitando los múltiples riesgos que derivan de las inspecciones sin estos equipos a los trabajadores. Se realizarán los trabajos con un dron que manejará el piloto y del que el operador va recopilando todo un histórico de información y de datos mediante la inspección visual y termográfica que se le va haciendo a la línea.

#### **ALCANCE:**

Se revisarán e inspeccionarán todos los elementos críticos de las líneas eléctricas de alta tensión descritos en el *Anexo II* de este procedimiento, cuya actividad está categorizada como Trabajos en Tensión (TeT) por el dron invadir el Área de Trabajos en Tensión durante la inspección. Las tareas consistirán en:

- Traslado hasta el lugar de trabajo.
- Inspección termográfica y visual de las líneas con ayuda del UAV.
- Procesado y análisis del histórico recogido por el dron.

El equipo consiste en un dron que se aproxima al apoyo mediante el telecontrol dirigido por el piloto desde el suelo que junto al operador de apoyo se van tomando imágenes de alta calidad en un histórico para registrar la toma de datos. Es necesario disponer de una autorización de trabajo firmada por el Jefe de Explotación. Se debe establecer un lugar de despegue y aterrizaje para el dron que sea accesible para los equipos de apoyo y que deberá tener una amplitud suficiente para el correcto

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

desarrollo de las operaciones. Será necesario revisar todos los materiales y equipos de trabajo a fin de comprobar que no presentan defectos, o daños que puedan afectar a la seguridad de las operaciones.

Estas inspecciones se encuentran supeditadas a las condiciones atmosféricas y la decisión tanto del piloto como del operador responsables del vuelo del dron.

### **REQUISITOS PREVIOS A LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS:**

Para que este tipo de trabajos se ejecuten, deben darse una serie de condiciones de operación que limitan el uso de los drones en esta actividad, siendo estos:

- Solo son admisibles vuelos diurnos.
- Solo con admisibles en condiciones meteorológicas de vuelo visual.
- Solo pueden llevarse a cabo en espacio aéreo no controlado.
- Deben llevarse a cabo fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitado, o de reuniones de personas al aire libre.
- Deben establecerse los mecanismos de coordinación oportunos con los drones.
- Este tipo de trabajos contempla la posibilidad de operaciones dentro y fuera del alcance visual del piloto (VLOS y BVLOS).

### **IMPLICACIONES Y RESPONSABILIDADES:**

Se debe establecer la organización de seguridad laboral para preparar y realizar los trabajos de mantenimiento de las instalaciones de la empresa según legislación vigente.

#### **Trabajadores y funciones:**

Los equipos de trabajo en este tipo de inspecciones deben estar compuestos por el siguiente personal necesario para la ejecución de estos trabajos de:

- **Un piloto por cada UAV.** La responsabilidad de este piloto será la de demostrar en vigor la habilitación de manejo de vuelo, además de programar las rutas de vuelo y el manejo del dron durante la inspección asegurando que se están respetando en todo momento los límites de distancias de seguridad en las líneas eléctricas. Cuando se precise la inspección de un vano, el piloto deberá garantizar que en todo momento exista contacto visual posible con el dron.



## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

- **Un operador por cada UAV.** Su responsabilidad es la de acompañar en todo momento al piloto durante la maniobra de inspección realizada con el dron haciendo las funciones de operador de cámara, encargándose de realizar técnicamente la inspección considerando el estado de la instalación y determinando el grado de anomalía o punto caliente detectado. Se encarga de seguir el manual de operaciones, cuyo documento asegura que se realizan los trabajos de forma segura para el resto de los usuarios del espacio aéreo y del resto de personas. Este manual recopila información como la organización, la estructura jerárquica, el tipo de dron, los escenarios operacionales previstos, las medidas adoptadas y los procedimientos implementados para garantizar la seguridad durante las operaciones aéreas previstas.

- **1 Jefe de Trabajo.** Sus funciones y responsabilidades son las de tener y saber al detalle los documentos de seguridad de esta actividad, informando a los trabajadores sobre los riesgos específicos de la misma. Para esto último, debe planificar acciones formativas generales para su explicación. Además, durante la inspección, debe dirigir los trabajos de modo que se cumpla la metodología indicada en este procedimiento de seguridad. También debe asegurarse de poner en práctica toda medida de seguridad complementaria pero necesaria con el fin de garantizar la seguridad en la maniobra, así como vigilar constantemente la ejecución del trabajo. Es el responsable de no comenzar o suspender los trabajos por todo aquello que no suponga seguridad en la actividad y después avisar al supervisor de la decisión en caso de llevarse a cabo. Finalmente, asegurarse de la creación de la zona de trabajo.

- **1 Técnico en Prevención.** Deberá permanecer en el lugar de trabajo desde que comience la planificación de la actividad para acordar el modo de proceder con seguridad a realizar la maniobra. Vigilará durante la inspección que se cumpla el presente procedimiento de seguridad, actuará de forma adecuada ante los riesgos que se han planificado prevenir y estará pendiente a la actuación ante la aparición de riesgos no previstos. Además, deberá comunicar al supervisor de la instalación y Jefe Responsable del equipo de cualquier insuficiencia o falta de adecuación de las medidas preventivas con el fin de adoptar las necesarias para corregir las deficiencias detectadas.

### **Organización, formación e información de los trabajadores:**

La empresa que aplique este procedimiento para el uso de drones en las inspecciones de LAAT debe declarar y asegurar que el personal que participará en los trabajos tiene formación en seguridad adecuada a los riesgos asociados a las actividades que va a realizar y declarado Apto según deben acreditar los correspondientes reconocimientos médicos para realizar las diferentes tareas. Todos los trabajadores que participen de forma activa o no en la maniobra, deben saber quiénes son las personas que actúan como Jefe de Trabajo (organiza y dirige a los trabajadores) y los recursos preventivos necesarios para la maniobra.

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION

Este conocimiento en materia de prevención puede haber sido adquirido inicialmente mediante la formación, y posteriormente reforzado y transmitido en concepto de mejora continua durante la ejecución de actividades similares a las que van a realizarse. En cualquier caso, la formación mínima exigida para cada trabajador es la que se especifica en la *Tabla 9*:

TRABAJADOR	FORMACIÓN INICIAL SEGÚN FUNCIONES
Jefe de Trabajo	- Curso de PRL básico de 50 horas. - Formación específica del Puesto de Trabajo. - Curso de Prevención de Riesgos Laborales Inspección Eléctrica.
Piloto del dron	- Curso de PRL específico de 6 horas. - Formación específica del Puesto de Trabajo.
Operador del dron	- Curso de Prevención de Riesgos Laborales (6 horas). - Curso de Prevención de Riesgos Laborales de 50 horas. - Curso de Prevención de Riesgos Laborales Inspección Eléctrica (5 horas). - Curso de Primeros Auxilios (3 horas). - Formación en Prevención de Riesgos Laborales específica del Puesto de Trabajo (4 horas).

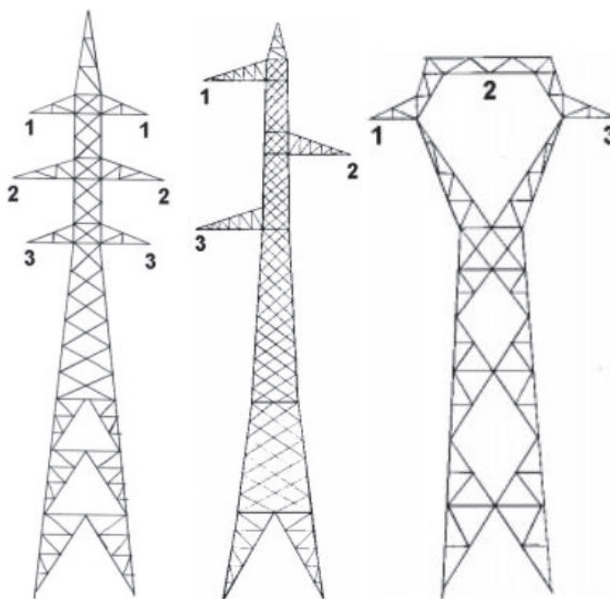
*Tabla 23. Formación específica de los trabajadores según funciones*

### ELEMENTOS QUE SE REVISAN O INSPECCIONAN:

En la siguiente lista se indican los elementos de las líneas eléctricas que recoge este procedimiento de seguridad que pueden ser inspeccionadas con dron:

- **Apoyos:** se inspeccionará el estado de estos en su totalidad (montantes, perfiles, tornillería, placa de señalización, etc.), incluyendo las cimentaciones. Para identificar el orden por el que se van a ir filmando con el dron las fases de los apoyos, dependiendo del tipo de apoyo de alta tensión se seguirá una numeración determinada. Siguiendo el criterio de situados debajo del apoyo mirando al apoyo en sentido de la numeración creciente de estos, el orden de numeración será de izquierda a derecha y de arriba abajo empezando por el 1. A continuación, se identifica la numeración de los apoyos más comunes de alta tensión:

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN



*Imagen 31. Orden de numeración para filmar las fases con el dron. [67]*

- **Vanos:** se inspeccionará el estado de los conductores, así como de los herrajes de todos los cables de fase, cables de tierra y fibra óptica, además de las cadenas de aisladores, grapas, yugos, amortiguadores y empalmes.
- Se inspeccionará el estado de la vegetación en la cercanía a las instalaciones y se analizará si afecta o no a las mismas.
- **Cimentaciones:** se inspeccionará para un apoyo de 4 patas, llegando al mismo en orden de numeración creciente, de modo que la primera cimentación de la izquierda será la 1 y la de la derecha es la 4, por lo que las otras dos siguientes serán la 2 de la izquierda y la 3 de la derecha. Para apoyos tipo pórtico, llegando al apoyo en orden de numeración creciente, se numerarán de izquierda a derecha empezando por el 1.
- **Cables de fase y de tierra.**

La empresa encargada de realizar estos trabajos dispondrá de los medios materiales necesarios para la realización de los trabajos de las inspecciones con drones, entre los que se encuentran, el suministro de los drones, incluidos equipos terrestres de apoyo, de comunicación y alimentación, el cual debe disponer de los sensores necesarios para la realización de los trabajos objeto del presente procedimiento. Además, se precisará disponer en la maniobra de las inspecciones un anemómetro y un extintor.

### MAQUINARIA Y MEDIOS AUXILIARES:

La maquinaria y los medios auxiliares más significativos que se prevé utilizar en la ejecución de los trabajos se relacionan a continuación en la siguiente tabla:

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

MEDIOS NECESARIOS
Vehículo de transporte
Equipos de herramienta
Dron multirrotor
Plataformas aterrizaje/despegue del dron
Mesa portátil para localizar los materiales

Tabla 24. Medios necesarios para los trabajos. [38]

Esta maquinaria y el equipo de trabajo deben disponer de la puesta en conformidad conforme a la reglamentación de la autoridad aérea. La maquinaria se utilizará únicamente para las funciones y tareas que específicamente estén destinadas.

### MATERIAL DE SEGURIDAD:

Se dispondrá del siguiente material de seguridad como protección colectiva por ser necesario para el equipo de trabajo (operador y piloto):

TRABAJADORES	PROTECCIÓN COLECTIVA
1 por vehículo	Extintor ABC 6kg
1 por equipo (operador y piloto)	Botiquín
	Cinta de balizamiento
	Anemómetro
	Teléfono
	Mesa de trabajo

Tabla 25. Material de seguridad colectivo. [38]

Los trabajadores implicados en las inspecciones de líneas eléctricas con drones deberán contar con Equipos de Protección Individual que le permitan prevenir situaciones de peligro y hacer frente a posibles riesgos previstos que se analizan en el documento de evaluación de riesgos de este Trabajo Fin de Máster. En función del tipo de actividad que realizan los trabajadores expuestos y con el fin de dar cumplimiento a la legislación vigente en la utilización de los equipos de protección que marca el Real Decreto 773/1997, todo el personal que intervenga en los trabajos dispondrá y usará las siguientes protecciones de la *Tabla 26*:

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

PROTECCIÓN PERSONAL
Medios de primeros auxilios
Casco de protección frente a riesgos mecánicos de Categoría II cumpliendo la norma UNE-EN 960 [68].
Calzado de protección contra golpes mecánicos, contra aislamiento térmico y resistencia mecánica de Categoría III, cumpliendo con las normas UNE-EN-345-346 [69] y 347 [70].
Guantes de protección mecánica de Categoría II cumpliendo la norma UNE-EN 338 [71].
Gafas de protección contra proyección de partículas de Categoría II cumpliendo la norma UNE-EN 166 [72]
Protección auditiva
Chaleco reflectante
Ropa de protección contra el frío y el mal tiempo

*Tabla 26. Material de seguridad individual.*

Además, antes del comienzo de los trabajos, se deberá colocar la señalización necesaria para acotar la zona de trabajo. Todos los trabajadores deben conocer los medios necesarios para localizar a los servicios de emergencia en caso de que ocurra cualquier incidencia o accidente.

### METODOLOGÍA:

Antes del despegue del dron, se aclarará la zona retirando los vehículos o cualquier elemento que dificulte las maniobras, así como las siguientes medidas:

- Acotar zonas de despegue.
- Establecer zona alternativa de aterrizaje
- Conos para delimitar
- Parte meteorológico día anterior
- Comprobar los apoyos libres de arbolado, distancias, trayectorias antes del despegue (cada 2 apoyos)
- Prohibición de hablar con el piloto y operador durante el vuelo, o durante la operación después del vuelo hasta que concluya la actividad
- Silencio absoluto desde que el piloto lo indique
- Identificar procedimiento de emergencia en caso de fallo.

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION**

Como primer paso, se debe establecer una planificación de la hoja de ruta que se va a seguir para la inspección de cada apoyo y se debe preparar la trayectoria que realizará el dron para este trabajo. Para esto, se tienen que confirmar los siguientes aspectos:

- Confirmación de que el volumen de espacio aéreo previsto para la operación no afecta a ninguna zona prohibida, restringida o peligrosa.
- Los requisitos de viabilidad de la operación.
- Las características del área de trabajo, incluyendo la ubicación y descripción de los posibles obstáculos.
- Confirmación de la identificación de los peligros y evaluación y gestión de los riesgos recogidos en este TFM.
- Conocer las formas de contactar con los servicios de emergencia.
- Permisos de acceso necesarios de propietarios de terrenos.
- Ubicación de zonas para despegue y aterrizaje y de la estación de tierra.
- Previsión meteorológica y fuentes previstas de esa información.
- Cartas de navegación y mapas y planos que puedan requerirse.
- Listas de comprobación y mantenimiento necesarias.

Se deberán solicitar dichos permisos de vuelo con la suficiente antelación a las fechas planificadas de trabajo, con el fin de que se les realice la inspección a todos los elementos de los circuitos previstos revisar.

Una vez se cumplan y estén autorizados todos los pasos anteriores, se inspecciona y se realiza una comprobación previa de acceso sencillo al lugar de trabajo, disposición de EPIs y el pronóstico meteorológico junto con las características de la zona a inspeccionar como obstáculos de arbolado, relieve o edificios cercanos que no se habían tenido en cuenta. Asimismo, se tiene que comprobar la sujeción y estado de los elementos estructurales del dron verificando que se han realizado con anterioridad inspecciones de este antes de su uso.

Antes de iniciar el vuelo, el piloto del dron junto con el compañero operador deberán rellenar la lista de comprobación recogida en el *Anexo I* de este Trabajo con el fin de asegurar las medidas de seguridad necesarias para poder después comenzar la maniobra. Ya cumplimentado y habiendo establecido los criterios de elaboración del plan de vuelo especificando los perfiles de este (alturas, distancias, trayectorias), modos de vuelo (manual, semiautomático), así como procedimientos de despegue y aterrizaje, y dando como favorable la realización de la maniobra porque se cumplan todas las medidas, el recurso preventivo junto con el Jefe de Trabajo autoriza la realización de la inspección. Se accederá al lugar de trabajo mediante un vehículo que se estacionará en una zona segura cerca, a ser posible, del apoyo a inspeccionar. Todo el trabajo se hará teniendo en cuenta que la instalación está en tensión. Se revisarán todos los materiales y equipos de trabajo a fin de

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

comprobar que no presentan defectos o daños que puedan afectar a la seguridad de la maniobra. Se establecerá un lugar de despegue y aterrizaje, accesible para los equipos de apoyo, que deberá tener una amplitud suficiente para el correcto desarrollo de las maniobras. Las personas involucradas estarán debidamente dispuestas de sus EPIs y dispondrán de una acreditación para acceder con autorización al lugar de trabajo indicado. También, antes del despegue del dron, se despejará la zona retirando vehículos o cualquier elemento que dificulte las maniobras, así como aplicando el resto de las medidas que se indican en el apartado de evaluación de riesgos de este procedimiento. Esta inspección se debe hacer siguiendo la hoja de ruta establecida en el *Anexo II* como resultado de la planificación previa que se tuvo en cuenta para su realización, en la que se encuentra especificada la trayectoria y las partes del apoyo, vano y cables de tierra que debe seguir el dron de manera cronológica. Se elevará para inspeccionar el estado de cadenas de aislamiento, herrajes y demás partes del apoyo. A continuación, se realizará el vuelo de inspección por fase de circuito hasta alcanzar el siguiente apoyo y regresar por cara posterior hasta completar la inspección de los circuitos existentes manteniendo siempre las distancias reglamentarias. El equipo de inspección realizará la revisión de los apoyos una vez finalizada la inspección del vano en su recorrido a un lado y otro del vano.

Durante el vuelo, se realizará como primera fase la inspección meramente visual tomando imágenes del estado de la estructura del apoyo y de sus conductores y, posteriormente, la inspección termográfica para identificar los posibles defectos o puntos calientes del elemento eléctrico. Es importante indicar que será necesario realizar la inspección de cada circuito volando por el lado correspondiente a cada uno salvo que la calidad de los sensores permita captar la información necesaria (guardando en todo momento las distancias) volando sólo por uno de los lados. El dron realizará la inspección del contorno de la cimentación y el estado de las peanas. Los sensores que se utilizarán deberán ser los adecuados para el trabajo específico, estar en perfectas condiciones de uso y contar con las homologaciones necesarias para instalarse en los drones. Para cada anomalía, se tomarán las evidencias necesarias que justifiquen tanto el tipo de anomalía como el grado de esta, cuyas evidencias podrán ser dadas entre otras con fotografías normales y con imágenes termográficas.

Finalizado el vuelo, se analiza la información tomada con el dron mediante el software que va generando un histórico de las líneas directamente sobre el estado de las instalaciones detectando las anomalías y generando después un informe de la inspección para poder notificar de las anomalías que se han encontrado en ella. Este análisis sobre determinar el tipo de anomalía, así como el grado de cada una será realizado obligatoriamente por el operador que acompaña al piloto. Para cada estructura se realiza una lista de verificación. Los criterios para evaluar el grado de anomalía serán los siguientes:

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSION**

0 – Ninguna anomalía.

1 – Existencia de anomalías que no requieren de acción urgente.

2 – Anomalía grave, acción urgente.

Para concluir la actividad, deberá terminar de rellenarse la segunda parte del listado de comprobación del *Anexo I* y se entregará esta documentación junto con el *Anexo II* al supervisor de las instalaciones para que haga llegar las anomalías detectadas al coordinador de la empresa y que éste tome las medidas oportunas para subsanarlas. Cuando se identifique un grado de anomalía “2”, el operador deberá notificar al Jefe de Trabajo y al director de la empresa el mismo día de la inspección sobre ello y evaluará las acciones a realizar para corregirlo. En este sentido, se notificará mediante correo electrónico y teléfono, solicitando la confirmación por parte de los responsables de la correcta recepción de la información. El resto de documentación se archivará para consultarla en caso de que sea necesario por alguna avería o consulta de información en los apoyos, cables de tierra o vanos inspeccionados. Esta metodología se simplifica en el esquema de bloques de la *Imagen 32*.



## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

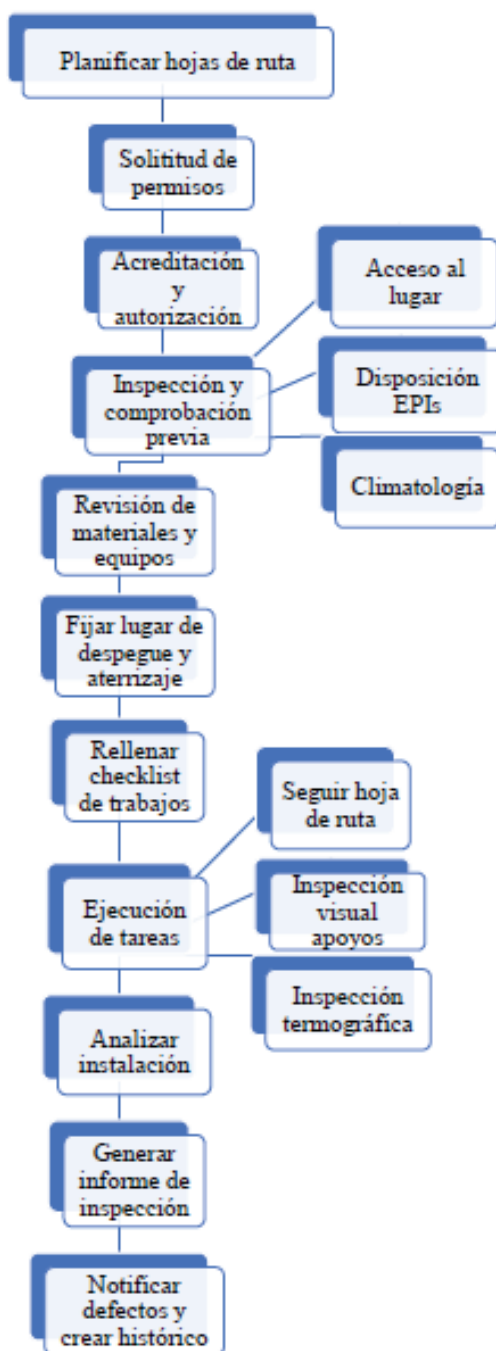


Imagen 32. Esquema de la metodología de inspección de las LAAT con dron. [38]

### REFERENCIAS Y NORMATIVA:

A continuación, se presenta toda la normativa que se ha utilizado para establecer la redacción de este procedimiento.

- Ley 31/95, de 10 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales [56].

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

- RD 1215/1997, de 18 de julio, por el que se aprueban las disposiciones mínimas de seguridad e higiene para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo [73].

- RD 39/1997, modificado por el RD 604/2006, Reglamento de los Servicios de Prevención [74].

- RD 485/1997, de 14 de abril, por el que se aprueban las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo [75].

- RD 486/1997, de 14 de abril, por el que se aprueban las disposiciones mínimas de seguridad e higiene en los lugares de trabajo [76].

- RD 614/2001, de 8 de junio, por el que se aprueban las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico [77].

- RD 773/97, de 30 de mayo, por el que se aprueban las disposiciones mínimas de seguridad e higiene relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual [78].

- Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto. Madrid [54].

### ANEXOS DEL PROCEDIMIENTO:

- *ANEXO I: Lista de comprobación de las medidas preventivas por parte de los trabajadores.*

En él, se debe marcar la opción que le corresponda o que le aplique siguiendo el siguiente criterio:



- *ANEXO II: Hoja de ruta. Elementos por inspeccionar.*

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

*ANEXO I: Lista de comprobación de las medidas preventivas por parte de los trabajadores*

<b>LISTA DE COMPROBACIÓN PARA EL PILOTO Y OPERADOR</b>	
<b>CUESTIÓN</b>	<b>VALORACIÓN</b>
<i>REVISIÓN DE LA ZONA DE INSPECCIÓN</i>	
PRESENCIA DE OBSTÁCULOS	
PRESENCIA DE INFRAESTRUCTURAS DE NUEVA CONSTRUCCIÓN	
MORFOLOGÍA DEL TERRENO	
PRESENCIA DE ZONAS HABITADAS	
PRESENCIA DE ELEMENTOS MÓVILES	
<i>REVISIÓN CONDICIONES METEOROLÓGICAS</i>	
LLUVIA	
VIENTO	
NIEBLA	
<i>REVISIÓN CUESTIONES OPERADOR Y PILOTO</i>	
FORMADO E INFORMADO DE LOS RIESGOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS	
CONOCE LAS DISTANCIAS DE SEGURIDAD LÍMITE	
DISPOSICIÓN DE LOS EPIs PARA SU USO	
FUNCIONES DE TRABAJO PERFECTAMENTE DEFINIDAS	
DISPONIBILIDAD DE LA HOJA DE RUTA	
DISPONIBILIDAD DE TODOS LOS RECURSOS MATERIALES Y HUMANOS NECESARIOS	
CONOCIMIENTO ABSOLUTO DE NORMAS Y DEL PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD	
<i>REVISIÓN DEL DRON</i>	
BATERÍAS DEL DRON	
BATERÍA DEL ORDENADOR	
BATERÍA DEL MANDO	
COMPROBACIÓN DE REPUESTOS	
CONEXIONES ADECUADAS	
RECEPCIÓN DE SATÉLITES GPS	

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

<b>CONTINUACIÓN LISTA DE COMPROBACIÓN PARA EL PILOTO Y OPERADOR</b>	
<b>CUESTIÓN</b>	<b>VALORACIÓN</b>
<i>CONTINUACIÓN REVISIÓN DEL DRON</i>	
ENCENDIDO DEL ORDENADOR	
ENCENDIDO DE CÁMARA	
COMPROBACIÓN DE CORRECTA RECEPCIÓN DEL MANDO	
PUESTA EN MARCHA DE LA GRABACIÓN DE LA CÁMARA	
<i>REVISIÓN POSTERIOR A LA INSPECCIÓN</i>	
APAGADO DE LA GRABACIÓN DE LA CÁMARA	
DESCONEXIÓN DE LA BATERÍA	
APAGADO DE EMISORA DE RADIOCONTROL	
DESCARGA DE DATOS	
APAGADO DEL ORDENADOR	
DIFICULTAD EN LA EJECUCIÓN DEL TRABAJO	
CUMPLIMIENTO CON LA PLANIFICACIÓN PREVISTA	
CUMPLIMIENTO DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS	
DETECCIÓN DE RIESGO O MEDIDA DE SEGURIDAD NECESARIA PARA PRÓXIMAS INTERVENCIONES	

*Tabla 27. Lista de comprobación para el piloto y el operador*

Fecha: \_\_\_\_\_

Técnico en Prevención: \_\_\_\_\_

Firma:

Piloto del dron: \_\_\_\_\_

Firma:

Operador del dron: \_\_\_\_\_

Firma:

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

*ANEXO II: Hoja de ruta. Elementos por inspeccionar*

<b>HOJA DE RUTA DE LOS ELEMENTOS QUE SE INSPECCIONAN</b>					
ELEMENTO	ASPECTOS QUE SE REVISAN	REALIZADO		GRADO DE ANOMALÍA	OBSERVACIONES
		SI	NO		
APOYO N°	Cimentación				
	Fuste				
	Crucetas				
	Aisladores				
	Herrajes				
	Grapas suspension/amarre				
	Conductores				
	Descargador de arco eléctrico				
	Amortiguador de vibraciones				
	Cables de fase y tierra				
	Vano				
APOYO N°	Cimentación				
	Fuste				
	Crucetas				
	Aisladores				
	Herrajes				
	Grapas suspension/amarre				
	Conductores				
	Descargador de arco eléctrico				
	Amortiguador de vibraciones				
	Cables de fase y tierra				
	Vano				

*Tabla 28. Hoja de ruta de los elementos que se inspeccionan*

Fecha: \_\_\_\_\_

Técnico en Prevención: \_\_\_\_\_

Firma:

Piloto del dron: \_\_\_\_\_

Firma:

Operador del dron: \_\_\_\_\_

Firma:

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

### **5. CONCLUSIONES**

Los Vehículos Aéreos no Tripulados son una herramienta muy interesante con los que se pueden desarrollar con seguridad los trabajos propios del mantenimiento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión. Esto es posible puesto que se trata de sistemas que son capaces de realizar los trabajos desde un punto de vista nuevo donde el hombre no está acostumbrado ni puede volar.

Sin pretender hacer un análisis exhaustivo ni pormenorizado del uso de esta tecnología en las inspecciones comentadas a lo largo de este Trabajo Fin de Máster, se confirma que se trata de una metodología mucho más segura para los trabajadores y para el entorno, donde los procesos que tradicionalmente se han ido ejecutando como se ha especificado, el uso del helicóptero o los trabajos en altura por parte de los trabajadores, implican un riesgo catalogado con una valoración de importante o intolerable en comparación con este método. A falta de mejorar pequeños aspectos de especificaciones más bien técnicas de los drones como la fiabilidad y rendimiento de la autonomía de las baterías y un posible entorno normativo más favorable, se puede considerar una buena alternativa de prevención ante un riesgo que, hasta el momento y como futuro inmediato a estos trabajos, podría ser la forma idónea de mitigar los riesgos.

Este nuevo método propuesto con el uso de drones no implica que no haya riesgos, de hecho, en este Trabajo Fin de Máster se ha estudiado el principio de seguridad del uso de los UAVs, analizando los riesgos de estos y estableciendo unas medidas preventivas que han condicionado la elaboración de un procedimiento de seguridad de trabajo para evitarlos o, siempre que se pueda, mitigarlos. Si se comparan ambos métodos de inspecciones (lo tradicional con esta nueva tecnología), puede parecer que al tener mayores ventajas la que se realiza con drones exime del riesgo a los trabajadores, sin embargo, como especifica el procedimiento, para este tipo de inspecciones tecnológicamente bastante avanzadas, también es necesario conocer y seguir las guías de seguridad para evitar los incidentes y accidentes laborales que se han estimado en la valoración de riesgos.

Finalmente, para concluir reforzando las razones por las que el principio de seguridad presentado es idóneo, el uso de esta tecnología en las inspecciones de líneas eléctricas aéreas, que visualmente produce un impacto en el entorno, supone una mejora medioambiental debido a varios postulados como el uso de baterías en los drones y la reducción en trasladar maquinaria o vehículos para habilitar accesos al lugar de trabajo.

Fdo.

Herenia Barrera Magdalena

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**



## **6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS NORMATIVAS**

En este apartado, se ha incluido la bibliografía empleada para la realización de este Trabajo Final de Máster.

- [1]. García, A. G., & García, A. (2008). Seguridad industrial. Ecoe Ediciones.
- [2]. León Rivas, J. D., & Mateo Benito, C. (2013). Estudio de soluciones existentes en el mercado para la inspección y mantenimiento de líneas eléctricas de alta tensión.
- [3]. Dreamstime. (2018). Líneas de alto voltaje y pilones de la potencia. Sitio web: <https://goo.gl/HQqqmZ>
- [4]. Gil Herrera, A. (2016). Planteamiento de alternativas para minimizar el impacto durante la construcción y puesta en funcionamiento de una línea de transmisión de alta tensión.
- [5]. Floreano, D., & Wood, R. J. (2015). Science, technology and the future of small autonomous drones. *Nature*, 521(7553), 460.
- [6]. Ambrojo, J. C. (2013). Los drones ‘se alistan’ al servicio civil. *Técnica Industrial*, 303, 18-19.
- [7]. Correo Gallego. (2016). Unión Fenosa Distribución implanta el uso de drones. Sitio web: <https://goo.gl/wU3xC2>
- [8]. Checa, L. M. (1988). Líneas de transporte de energía. Marcombo.
- [9]. Colombo SPA. (2018). Sostegno alta tensione. Sitio web: <https://goo.gl/B52UKq>
- [10]. Emaze. (2018). Coordinación de aislamiento. Sitio web: <https://goo.gl/6CAFb8>
- [11]. Pexels. (2018). Low Angle Photo of Gray Transmission Tower. Sitio web: <https://goo.gl/Go71Qh>
- [12]. 123RF. (2018). Two transmission towers, also known as electricity pylons with parallel wires. Sitio web: <https://goo.gl/1HNGYd>
- [13]. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2008). Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09. Madrid.
- [14]. Axarquía. (2018). Endesa revisa con helicóptero líneas de alta tensión. Sitio web: <https://goo.gl/cb7ao3>

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

[15]. Tüv. (2018). Revisión voluntaria por Termografía Infrarroja. Sitio web: <https://goo.gl/ioFxn>

[16]. Edge Consulting. (2018). Tower Climbing, Maintenance and Inspection. Sitio web: <https://goo.gl/jCukFh>

[17]. Rubio Romero, J. C., & Rubio Gámez, M. (2005). Manual para la formación de nivel superior en prevención de riesgos laborales. Ediciones Díaz de Santos.

[18]. Mohino, J. M. (2009). Reglamento de Líneas de Alta Tensión y sus fundamentos técnicos. Editorial Paraninfo.

[19]. Drone parts. (2018). DJI Agras. Sitio web: <https://goo.gl/5Kc6TD>

[20]. Austin, R. (2011). Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment (Vol. 54). John Wiley & Sons.

[21]. TyN Magazine. (2016). Google logra patente para entrega de paquetes con drones. Sitio web: <https://goo.gl/BiHqXN>

[22]. Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. Remote Sensing, 4(6), 1671-1692.

[23]. Nistal Lastra, J. (2017). Diseño de un dron programable de bajo coste.

[24]. Camacho Puig, R. (2016). Diseño y optimización para plataformas de un dron multirrotor

[25]. Aerlyper. (2018). Funcionamiento de un dron: lo que debes saber. Sitio web: <https://goo.gl/Ad6QjG>

[26]. DIY Drones. (2016). Smart fixed drone. Sitio web: <https://goo.gl/7P18RA>

[27]. Rosati, S., Kruzelecki, K., Traynard, L., & Rimoldi, B. (2013, December). Speed-aware routing for UAV ad-hoc networks. In Globecom Workshops (GC Wkshps), 2013 IEEE (pp. 1367-1373). IEEE.

[28]. Cristina Sánchez. (2014). Radiografía de un dron: cerebro automático, sensores y una relación telepática con el piloto. El Diario

[29]. Dji. (2018). MATRICE 600. 11 de abril de 2018, de dji Sitio web: <https://www.dji.com/es/matrice600>

[30]. Skydron. (2018). Empresa de drones profesionales. 10 de marzo de 2018, de SkyDron Sitio web: <https://www.skydron.es/#camara>

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

[31]. Zolotukhin, Y. N., Kotov, K. Y., Maltsev, A. S., Nesterov, A. A., Pivkin, V. Y., Sobolev, M. A., ... & Yan, A. P. (2013). Using the Kalman filter in the quadrotor vehicle trajectory tracking system. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 49(6), 536-545.

[32]. Birds Eye. (2018). 3 Tips for a successful drone flight. Sitio web: <https://goo.gl/t5ukeR>

[33]. Hakrc Storm. (2018). 3 Axis Brushless Gimbal. Sitio web: <https://goo.gl/pdx1i3>

[34]. RC Innovations. (2018). Monitor support. Sitio web: <https://goo.gl/scdDEh>

[35]. The Pinsta. (2018). Scaneagle Control Station. Sitio web: <https://goo.gl/YE3ZrC>

[36]. Drones Free Apps. (2018). DJI Ground station. Sitio web: <https://goo.gl/PyYrdx>

[37]. Eiband, D. M., & Kern, L. R. (1993). U.S. Patent No. 5,240,207. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[38]. Elaboración propia.

[39]. Esteban Herreros, Jose Luis. (2015). *Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Madrid: Comunidad de Madrid.

[40]. RPP Noticias. (2012). Más robots y menos soldados. Sitio web: <https://goo.gl/Uu4URC>

[41]. ToDrone. (2016). YI Erida, el tricóptero dron más veloz del mundo. Sitio web: <https://goo.gl/xVtqRn>

[42]. Mendea. (2018). Area tecnológica. Sitio web: <https://goo.gl/s57x8H>

[43]. Best Drone. (2018). DJI Matrice 600. Sitio web: <https://goo.gl/1hWnco>

[44]. Shutter Stock. (2018). Octocopter. Sitio web: <https://goo.gl/xZVGfg>

[45]. Aerovironment. (2018). Aerovironment Rq 11 Raven. Sitio web: <https://goo.gl/rRzKMt>

[46]. UAS Vision. (2018). Hybrid VTOL. Sitio web: <https://goo.gl/F2Lb5U>

[47]. ENAIRE. (2018). Drones. 11 de abril de 2018, de Enaire Sitio web: <https://drones.enaire.es>

[48]. Elaboración propia.

[49]. Chaz Elban. (2018). The Pros and Cons of Drones. 11 de abril de 2018, de ImproDrone Sitio web: <https://improdrone.com/the-pros-and-cons-of-drones/>

[50]. Vilches, Alberto. (2018). Drones para inspección de redes eléctricas y transmisión. 11 de abril de 2018, de Pilotando Sitio web: <https://goo.gl/wEru7q>

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

[51]. Helitecnics. (2018). Inspección de líneas de alta tensión. 11 de abril de 2018, de Helitecnics  
Sitio web: <http://helitecnics.com/servicios-aereos/inspeccion-exhaustiva/>

[52]. Heliceo. (2018). Tecnología LiDAR. 11 de abril de 2018, sitio web:  
<http://www.heliceo.com/es/produits-pour-geometres/tecnologia-lidar/>

[53]. AESA. (2018). Drones para inspección de redes eléctricas y transmisión. 11 de abril de 2018, de Ministerio de Fomento Sitio web: <https://goo.gl/Mzopgn>

[54]. Ministerio de la Presidencia. (2017). Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto. Madrid.

[55]. Jefatura del Estado. (2014). Real Decreto-ley 8/2014, de 4 de julio, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia. Madrid.

[56]. Jefatura del Estado. (1995). Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. Madrid.

[57]. José Vega Pérez. (2010). Introducción a la Seguridad en el Trabajo. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

[58]. Ministerio de la Presidencia. (2014). Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea. Madrid.

[59]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1994). NTP 434: Superficies de trabajo seguras (I). Madrid.

[60]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1991). NTP 325: Cuestionario de chequeo para el control de riesgo de atrapamiento en máquinas. Madrid.

[61]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1993). NTP 400: Corriente eléctrica: efectos al atravesar el organismo humano. Madrid.

[62]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1999). NTP 524: Primeros auxilios: quemaduras. Madrid.

[63]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1971). NTP 262: Protectores visuales contra impactos y/o salpicaduras: guías para la elección, uso y mantenimiento. Madrid.

[64]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1998). NTP 504: Cambio de conducta y comunicación (I): introducción y elementos fundamentales del proceso. Madrid.

[65]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1991). NTP 322: Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT. Madrid.

## **PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

[66]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2006). NTP 226: Mandos: ergonomía de diseño y accesibilidad. Madrid.

[67]. Can Stock Photo. (2018). Power Transmission Tower Isolated Stock Illustration. Sitio web: <https://goo.gl/KWnqG8>

[68]. Asociación Española de Normalización. (2007). Cabezas de ensayo para utilizarse en los ensayos de cascos de protección. Madrid: AENOR.

[69]. Asociación Española de Normalización. (1996). Calzado de seguridad para uso profesional. Parte 2: Especificaciones adicionales. Madrid: AENOR.

[70]. Asociación Española de Normalización. (1997). Especificaciones del calzado de trabajo para uso profesional. Madrid: AENOR.

[71]. Asociación Española de Normalización. (2016). Clases resistentes Categoría II. Madrid: AENOR.

[72]. Asociación Española de Normalización. (1996). Protección individual de los ojos. Requisitos. Madrid: AENOR.

[73]Ministerio de la Presidencia. (1997). Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. Madrid.

[74]. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (2006). Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Madrid

[75]. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (1997). Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Madrid.

[76]. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (1997). Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Madrid.

[77]. Ministerio de la Presidencia. (2001). Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Madrid.

[78]. Ministerio de la Presidencia. (1997). Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. Madrid.

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD DEL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAVs) EN TRABAJOS DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN**