

TESIS DOCTORAL

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA



Almería, abril de 2023

---

Francisca Alcayde García

# TESIS DOCTORAL

**Análisis de modelos digitales del terreno levantados con  
dron para el diseño de líneas eléctricas de alta tensión**

Analysis of DTM surveyed with UAV for high-voltage power  
lines design



**UNIVERSIDAD DE ALMERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN TECNOLOGÍA DE INVERNADEROS E  
INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

---

**Autor:** Francisca Alcayde García

**Directores:** Dr. Alfredo Alcayde García  
Dr. Francisco Rogelio Manzano Agugliaro



*El éxito de un proyecto radica  
en la precisión de su diseño, y  
para ello, un dron puede ser  
el ojo que asegure la calidad  
de las líneas eléctricas de  
alta tensión.*



# AGRADECIMIENTOS

---

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia por su apoyo incondicional durante todo el proceso de realización de mi tesis. Sin su paciencia, comprensión y ánimo constante, no habría sido posible llegar hasta aquí.

A mi hija Noa y a mi hijo Elías, les doy las gracias por su amor y su comprensión. A pesar de las largas horas que he dedicado a la investigación, ellos han sido mi fuerza y mi motivación para seguir adelante. No hay palabras para expresar cuánto les agradezco su cariño y su apoyo en todo momento.

A mi familia, les agradezco por estar siempre presentes en cada etapa de este proyecto, por sus palabras de aliento y por su comprensión cuando no pude estar presente. Gracias por su paciencia, por creer en mí y por ser mi mayor fuente de motivación.

Sin duda, este logro es también vuestro. Espero que podáis sentirse tan orgullosos como yo por haber sido parte de este proyecto y por haberme acompañado en este camino.

Quiero extender mi más profundo agradecimiento a mis directores de tesis, quienes con su sabiduría y dedicación me guiaron y apoyaron en todo momento. Su invaluable contribución a este trabajo ha sido fundamental para el éxito de esta investigación.

En especial, quiero expresar mi gratitud a mi hermano, quien además de ser mi director de tesis, ha sido mi compañero de vida y de carrera. Su apoyo y guía incondicional han sido clave para llevar a cabo este proyecto y para mi formación académica en general. Gracias por su paciencia, sus consejos y su confianza en mí.

Agradezco a ambos por sus sugerencias, por su visión crítica y por su compromiso con este proyecto.

# RESUMEN

---

En España, la producción de energía proviene de diversas fuentes, incluyendo la nuclear, hidráulica, renovables, carbón y ciclo combinado. Aunque la producción de energía se encuentra en transición hacia fuentes de energía renovable, la dependencia del gas natural y el carbón aún es significativa. El gobierno español ha establecido un objetivo ambicioso para alcanzar una economía de bajas emisiones de carbono para 2050 y ha implementado medidas para fomentar el desarrollo de las energías renovables. La Red Eléctrica de España (REE) es el operador nacional del sistema eléctrico y tiene un papel clave en la gestión, el control y la planificación del sistema eléctrico español, así como en el desarrollo de la infraestructura necesaria para apoyar la transición hacia una economía de bajas emisiones de carbono. La red de transporte está compuesta por más de 40.100 kilómetros de líneas de alta tensión, más de 4.800 posiciones de subestaciones y más de 74.000 MVA de capacidad de transformación. El diseño de líneas de alta tensión implica considerar factores técnicos y regulaciones para asegurar la seguridad, la eficiencia y la durabilidad de la línea.

El levantamiento topográfico es un proceso fundamental para el diseño y tendido de líneas eléctricas de alta tensión. Este proceso permite identificar obstáculos en el camino de la línea, calcular la altura necesaria para las torres, diseñar la línea de manera efectiva y segura, y estimar los costos de construcción de la línea.

Actualmente, el levantamiento topográfico del perfil del terreno se realiza mediante GPS, ya que este sistema proporciona una posición geográfica precisa y confiable, es más rápido que los métodos tradicionales, eficiente en la recopilación y transmisión de datos, accesible y disponible para la mayoría de las empresas y organizaciones, y se integra fácilmente con otros sistemas de información geográfica.

La técnica de vuelo fotogramétrico clásico para obtener el relieve del terreno de líneas de alta tensión es costosa debido a la logística, tiempo y esfuerzo necesarios para realizar y procesar las imágenes, y la necesidad de contar con un equipo altamente capacitado y experimentado. Sin embargo, con la aparición de los drones (UAV), se han obtenido ventajas como la flexibilidad, eficiencia, rapidez, accesibilidad y la integración con otros sistemas, lo que puede mejorar la precisión y reducir los costos en el proceso de diseño de la línea de transmisión mediante técnicas fotogramétricas. La precisión estimada de un dron en el levantamiento de la altimetría y la planimetría depende de varios factores, incluyendo la altura de vuelo, la calidad de la cámara y la tecnología de posicionamiento utilizada (GPS, RTK, etc.). En general, a medida que la altura de vuelo disminuye, la precisión de la altimetría y la planimetría mejora. Con tecnologías de posicionamiento precisas, como RTK, se pueden lograr precisiones aún más altas.

El objetivo general de la tesis es evaluar el uso de drones para el diseño e inspección de líneas eléctricas de alta tensión. Para ello, se establecen varios objetivos específicos que incluyen un análisis bibliométrico de la investigación en líneas de alta tensión, el levantamiento de 10 líneas de alta tensión con drones y GPS, el diseño y cálculo de estas líneas utilizando los dos modelos digitales del terreno, el análisis de la precisión, costo, rapidez, viabilidad, eficiencia y seguridad

de ambos métodos, y la elaboración de conclusiones objetivas y confiables para ayudar en la toma de decisiones informadas sobre el uso de drones y GPS en la inspección de líneas de alta tensión.



# ABSTRACT

---

In Spain, energy production comes from a variety of sources, including nuclear, hydro, renewables, coal and combined cycle. Although energy production is transitioning to renewable energy sources, dependence on natural gas and coal is still significant. The Spanish government has set an ambitious target to achieve a low-carbon economy by 2050 and has implemented measures to encourage the development of renewable energy. Red Eléctrica de España (REE) is the national electricity system operator and plays a key role in the management, control and planning of the Spanish electricity system, as well as in the development of the infrastructure needed to support the transition to a low-carbon economy. The transmission grid is made up of more than 40,100 kilometers of high-voltage lines, more than 4,800 substation positions and more than 74,000 MVA of transformation capacity. The design of high-voltage lines involves considering technical factors and regulations to ensure the safety, efficiency and durability of the line.

Surveying is a fundamental process for the design and laying of high-voltage power lines. This process allows identifying obstacles in the path of the line, calculating the necessary height for the towers, designing the line effectively and safely, and estimating line construction costs.

Currently, the topographic survey of the terrain profile is performed using GPS, as this system provides an accurate and reliable geographic position, is faster than traditional methods, efficient in data collection and transmission, accessible and available to most companies and organizations, and is easily integrated with other geographic information systems.

The classic photogrammetric flight technique for obtaining the terrain relief of power lines is expensive due to the logistics, time and effort required to make and process the images, and the need for a highly trained and experienced team. However, with the advent of drones (UAVs), advantages have been gained such as flexibility, efficiency, speed, accessibility and integration with other systems, which can improve accuracy and reduce costs in the transmission line design process using photogrammetric techniques. The estimated accuracy of a drone in surveying altimetry and planimetry depends on several factors, including flight altitude, camera quality, and the positioning technology used (GPS, RTK, etc.). In general, as flight altitude decreases, the accuracy of altimetry and planimetry improves. With precise positioning technologies, such as RTK, even higher accuracies can be achieved.

The overall objective of the thesis is to evaluate the use of drones for the design and inspection of high voltage power lines. To this end, several specific objectives are established including a bibliometric analysis of high voltage power line research, the survey of 10 high voltage power lines with drones and GPS, the design and calculation of these lines using the two digital terrain models, the analysis of the accuracy, cost, speed, feasibility, efficiency and safety of both methods, and the development of objective and reliable conclusions to aid in making informed decisions on the use of drones and GPS in the inspection of high voltage power lines.



# INDICE

---

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
1.1. Introducción.....	19
1.2. Objetivos.....	29
1.3. Referencias bibliográficas .....	30
<b>CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES. ....</b>	<b>36</b>
2.1. Introducción.....	36
2.2. Materiales y métodos .....	38
2.3. Resultados .....	40
2.3.1. Categorías científicas .....	40
2.3.2. Países, afiliaciones y sus temas.....	42
2.4. Análisis de comunidades científicas .....	44
2.5. Discusión.....	56
2.6. Conclusiones .....	59
2.7. Referencias bibliográficas .....	60
<b>CAPÍTULO 3. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>69</b>
3.1. Introducción.....	69
3.2. Equipos empleados en las campañas de toma de datos, trabajo de campo. ....	69
3.2.1. Equipo GPS, marca leica, modelo GS14 GNSS.....	69
3.2.2. Dron DJI Matrice 210 V2 RTLK, cámara X5S. ....	82
3.2.3. Distanciómetro láser marca Leica, modelo disto A8. ....	89
3.3. Equipos informáticos y software empleados.....	91
3.3.1. Equipo informático. ....	91
3.3.2. Software de procesado para el control geométrico. ....	91
3.3.3. Programas CAD y MDT. ....	94
3.3.4. Programa Postemel y Andelec. ....	95
3.3.5. Software fotogrametría PIX4D.....	96

<b>3.4. Metodología</b> .....	<b>98</b>
3.4.1. Introducción .....	98
3.4.2. Definición de los parámetros a obtener .....	98
3.4.3. Definición de los indicadores de precisión y exactitud .....	100
3.4.4. Definición de los métodos estadísticos empleados .....	100
3.4.4.1. Regresión lineal simple .....	101
3.4.4.2. Regresión lineal múltiple .....	102
<b>3.5. Referencias bibliográficas</b> .....	<b>104</b>
<b>CAPÍTULO 4. FASE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>108</b>
<b>4.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>108</b>
<b>4.2. LÍNEA 1. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. DOBLE CIRCUITO, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, EN PARAJE "TURRO", T.M. CACÍN, GRANADA</b> .....	<b>109</b>
<b>4.3. LÍNEA 2. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 66 KV, SIMPLE CIRCUITO. LAS GABIAS, GRANADA</b> .....	<b>111</b>
<b>4.4. LÍNEA 3. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 220 KV. SIMPLE CIRCUITO, EN TÉRMINO MUNICIPAL DE CARMONA, SEVILLA</b> .....	<b>114</b>
<b>4.5. LÍNEA 4. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN TRIPLE CIRCUITO, 30 KV. DOBLE CIRCUITO Y CIRCUITO 66 KV PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, T.M. BENAHADUX, ALMERÍA</b> .....	<b>116</b>
<b>4.6. LÍNEA 5. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. SIMPLE CIRCUITO HASTA SUBESTACIÓN, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE GAUCÍN, JIMENA DE LA FRONTERA, MÁLAGA Y CÁDIZ</b> .....	<b>118</b>
<b>4.7. LÍNEA 6. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. DOBLE CIRCUITO HASTA SUBESTACIÓN, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE ANTAS, ALMERÍA</b> .....	<b>120</b>
<b>4.8. LÍNEA 7. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 132 KV SIMPLE CIRCUITO, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE GÁDOR Y BENAHADUX, ALMERÍA</b> .....	<b>123</b>
<b>4.9. LÍNEA 8. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 20 KV SIMPLE CIRCUITO DESDE FOTOVOLTAICA HASTA SUBESTACIÓN, EN LA PEDANÍA HERNÁN VALLE DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE GUADIX, GRANADA</b> .	<b>125</b>
<b>4.10. LÍNEA 9. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 132 KV. EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE VERA, ALMERÍA</b> .127	
<b>4.11. LÍNEA 10. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 20 KV EN TÉRMINO MUNICIPAL DE MENGÍBAR, JAÉN</b>	<b>129</b>
<b>4.12. RESUMEN DE LAS LÍNEAS ESTUDIADAS</b> .....	<b>131</b>
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS</b> .....	<b>138</b>

<b>5.1. LÍNEA 1. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. DOBLE CIRCUITO, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, EN PARAJE “TURRO”, T.M. CACÍN, GRANADA. ....</b>	<b>138</b>
5.1.1. Indicadores de precisión. ....	138
5.1.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano ....	139
5.1.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	140
5.1.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	141
<b>5.2. LÍNEA 2. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 66 KV, SIMPLE CIRCUITO. LAS GABIAS, GRANADA.....</b>	<b>142</b>
5.2.1. Indicadores de precisión. ....	142
5.2.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano ....	143
5.2.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	144
5.2.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	144
<b>5.3. LÍNEA 3. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 220 KV. SIMPLE CIRCUITO, EN TÉRMINO MUNICIPAL DE CARMONA, SEVILLA. ....</b>	<b>145</b>
5.3.1. Indicadores de precisión. ....	145
5.3.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano ....	145
5.3.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	146
<b>5.4. LÍNEA 4. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN TRIPLE CIRCUITO, 30 KV. DOBLE CIRCUITO Y CIRCUITO 66 KV PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, T.M. BENAHADUX, ALMERÍA.....</b>	<b>147</b>
5.4.1. Indicadores de precisión. ....	147
5.4.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano ....	148
5.4.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	148
5.4.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	149
<b>5.5. LÍNEA 5. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. SIMPLE CIRCUITO HASTA SUBESTACIÓN, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE GAUCÍN, JIMENA DE LA FRONTERA, MÁLAGA Y CÁDIZ. ....</b>	<b>150</b>
5.5.1. Indicadores de precisión. ....	150
5.5.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano ....	151
5.5.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	151
5.5.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	152

<b>5.6.</b>	<b>LÍNEA 6. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. DOBLE CIRCUITO HASTA SUBESTACIÓN, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE ANTAS, ALMERÍA. ....</b>	<b>153</b>
5.6.1.	Indicadores de precisión. ....	153
5.6.2.	Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano .....	154
5.6.3.	Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	154
5.6.4.	Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	155
<b>5.7.</b>	<b>LÍNEA 7. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 132 KV SIMPLE CIRCUITO, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE GÁDOR Y BENAHADUX, ALMERÍA.....</b>	<b>156</b>
5.7.1.	Indicadores de precisión. ....	156
5.7.3.	Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	158
5.7.4.	Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	159
<b>5.8.</b>	<b>LÍNEA 8. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 20 KV SIMPLE CIRCUITO DESDE FOTOVOLTAICA HASTA SUBESTACIÓN, EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE GUADIX, GRANADA.....</b>	<b>160</b>
5.8.1.	Indicadores de precisión. ....	160
5.8.2.	Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano .....	161
5.8.3.	Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	161
5.8.4.	Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	162
<b>5.9.</b>	<b>LÍNEA 9. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 132 KV. EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE VERA, ALMERÍA.</b>	<b>163</b>
5.9.1.	Indicadores de precisión. ....	163
5.9.3.	Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	165
5.9.4.	Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	165
<b>5.10.</b>	<b>LÍNEA 10. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 20 KV EN TÉRMINO MUNICIPAL DE MENGÍBAR, JAÉN. 167</b>	<b>167</b>
5.10.1.	Indicadores de precisión.....	167
5.10.2.	Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano .....	168
5.10.3.	Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	169
5.10.4.	Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	170
<b>5.11.</b>	<b>TODAS LAS LÍNEAS. ....</b>	<b>171</b>
5.11.1.	Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano .....	171

5.11.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	172
5.11.3. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	173
5.11.4. Cota de los apoyos.....	176
5.11.5. Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	178
5.12. Análisis de la viabilidad: coste y tiempo. ....	178
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>184</b>
<b>6.1. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE LAS PUBLICACIONES INDEXADAS EN RELACIÓN CON LA INVESTIGACIÓN EN LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN (LAT). ....</b>	<b>184</b>
<b>6.2. ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DE LOS MDT, ERROR EN LA COTA ABSOLUTA DE LOS APOYOS DE LAS LAT (EZ). ....</b>	<b>185</b>
<b>6.3. ERROR DE LA COTA DE LA CATENARIA (EZ-CAT) VS LONGITUD DEL VANO, Y ERRORES ALTIMÉTRICOS RELATIVOS DE LA COTA DE LOS APOYOS (EΔZ) .....</b>	<b>185</b>
<b>6.4. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD: COSTES Y RAPIDEZ. ....</b>	<b>185</b>
<b>6.5. CONCLUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>186</b>
<b>CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>189</b>
<b>CAPÍTULO 8. PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS. ....</b>	<b>200</b>
<b>8.1. PUBLICACIÓN 1. POWER TRANSMISSION LINES: WORLDWIDE RESEARCH TRENDS.....</b>	<b>200</b>



***CAPÍTULO 1***

---

**INTRODUCCIÓN**



<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>29</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>30</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. 1. Evolución y Tendencia de la Red Eléctrica Española desde 1981 a 2020. ....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 1. 2. Red de Transporte del circuito eléctrico peninsular en 2022.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 1. 3. Precisión y altura de vuelo con UAV.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 1. 4. Precisión y altura de vuelo con UAV.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 1. 5. GSD (ec.1) .....</b>	<b>27</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. 1. Evolución de la Red Eléctrica Española desde 1981 a 2020 .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 1. 2. Estudios relacionados sobre la precisión de los MDT.....</b>	<b>28</b>

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

### 1.1. Introducción

En el panorama energético nacional, la producción de energía en España procede de varias fuentes: nuclear, hidráulica, renovables, carbón y ciclo combinado [1]. En España, la producción de energía está en transición hacia fuentes de energía renovable [2]. En 2020, las energías renovables representaron el 41% de la producción total de electricidad [3]. La energía eólica es la fuente renovable más importante, seguida por la energía solar [4]. Sin embargo, todavía existe una dependencia significativa del gas natural y del carbón para la generación de electricidad [5].

El gobierno español, como otros países de su entorno, ha establecido un objetivo ambicioso de alcanzar una economía de bajas emisiones de carbono para 2050 y ha implementado medidas para fomentar el desarrollo de las energías renovables y reducir la dependencia de las fuentes de energía fósiles [6]. Sin embargo, todavía existen desafíos a la hora de lograr una transición justa y equitativa a un sistema energético más sostenible [7]. La Red Eléctrica de España (REE) es el operador nacional del sistema eléctrico español. Es responsable de garantizar la seguridad, la eficiencia y la integración de la generación, el transporte y la distribución de electricidad en todo el país. REE tiene un papel clave en la gestión y el control del sistema eléctrico español y es responsable de asegurar la continuidad del suministro eléctrico, coordinando la generación y el consumo de electricidad y garantizando la interoperabilidad con los sistemas eléctricos de otros países de la Unión Europea [8]. Además, REE desempeña un papel importante en la planificación y el desarrollo de la infraestructura eléctrica necesaria para apoyar la transición hacia una economía de bajas emisiones de carbono y un sistema energético más sostenible [9].

REE es el transportista único y operador del sistema eléctrico español, con la misión de garantizar la continuidad y seguridad del suministro eléctrico manteniendo en constante equilibrio la generación y el consumo de nuestro país [10]. Red Eléctrica transporta la energía eléctrica en alta tensión. Para ello, gestiona las infraestructuras eléctricas que componen la red de transporte y conectan las centrales de generación con los puntos de distribución a los consumidores [11]. La infraestructura de estaciones y subestaciones eléctricas en España comprende una amplia red de instalaciones que permiten la transmisión y la distribución de electricidad a lo largo del país. Esta infraestructura incluye:

- Estaciones de Generación: Son instalaciones que producen electricidad a partir de diferentes fuentes de energía, como hidroeléctricas, térmicas, eólicas, solares, etc.

- Subestaciones eléctricas: Son instalaciones que reciben la energía generada en las estaciones y la transforman a diferentes tensiones para su transmisión y distribución a nivel local.
- Líneas de transmisión: Son las líneas eléctricas de alta tensión que transportan la electricidad desde las centrales de generación hasta las subestaciones.
- Red de distribución: Son las líneas eléctricas de baja tensión que llevan la electricidad desde las subestaciones a los hogares, empresas y otros puntos de consumo.

La red de transporte está compuesta por más de 40.100 kilómetros de líneas de alta tensión, más de 4.800 posiciones de subestaciones y más de 74.000 MVA de capacidad de transformación. Estos activos configuran una red mallada, fiable y segura, que ofrece unos índices de calidad de servicio de máximo nivel al sistema eléctrico. Esta infraestructura es esencial para garantizar la continuidad y la calidad del suministro eléctrico en España, y se mantiene y actualiza constantemente para adaptarse a las necesidades cambiantes de la sociedad y de la economía. La importancia de la calidad del suministro eléctrico es cada vez más notoria dada la presencia de equipos eléctricos conectados a la red que hacen uso de electrónica de potencia para su funcionamiento [12].

El diseño de líneas de alta tensión implica considerar factores técnicos y regulaciones para asegurar la seguridad, la eficiencia y la durabilidad de la línea [13]. Los siguientes son los pasos generales para el diseño de una línea de alta tensión:

- Identificación de la demanda de energía y la fuente de suministro.
- Estudio de la topografía y la geología del área.
- Selección del tipo de torre y materiales a utilizar.
- Determinación de la ruta óptima para la línea y la distribución de las torres o apoyos.
- Cálculo de la capacidad de transmisión de la línea y la selección del conductor.
- Análisis de las tensiones, corrientes y pérdidas en la línea.
- Evaluación de la interacción con otros sistemas eléctricos y la protección contra fallas.
- Evaluación de los impactos ambientales y sociales y la implementación de medidas de mitigación.
- Comprobación de cumplimiento con normativas y regulaciones locales y nacionales.
- Documentación y presentación del proyecto para aprobación y construcción.

Luego, el tendido de líneas de alta tensión (LAT) es especialmente importante para un desarrollo seguro y fiable de la red eléctrica, por lo que es necesario realizar una previsión y planificación adecuada de su topología y estructura [14]. En la tabla 1 se ofrecen los datos de la evolución de la red eléctrica española desde 1981 a 2020 [15]. En la figura 1 se ha representado y calculado la tendencia para cada tipo de línea, observándose que, en el año 2003, las líneas de 400 kV ya superan a las de  $\leq 220$  kV. Se puede observar que hay un crecimiento constante de ambos tipos de líneas, cuyo incremento anual sostenido en el tiempo es de 338 km de líneas de 400 kV y de 137 km de líneas de  $\leq 220$  kV.

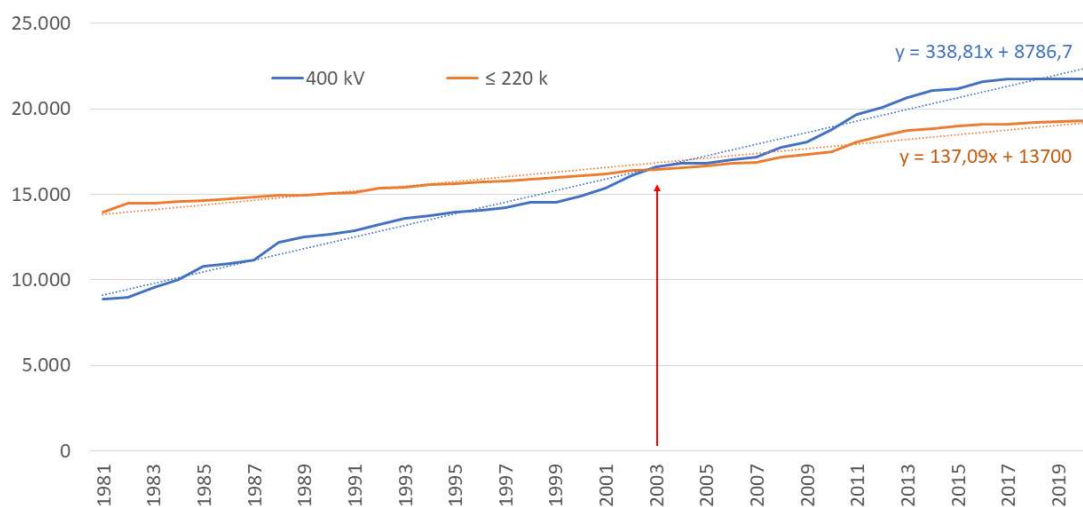


Figura 1. 1. Evolución y Tendencia de la Red Eléctrica Española desde 1981 a 2020.

Año	400 kV	≤ 220 kV
1981	8.906	13.973
1982	8.975	14.466
1983	9.563	14.491
1984	9.998	14.598
1985	10.781	14.652
1986	10.978	14.746
1987	11.147	14.849
1988	12.194	14.938
1989	12.533	14.964
1990	12.686	15.035
1991	12.883	15.109
1992	13.222	15.356
1993	13.611	15.442
1994	13.737	15.586
1995	13.970	15.629
1996	14.084	15.734
1997	14.244	15.776
1998	14.538	15.876
1999	14.538	15.975
2000	14.918	16.078
2001	15.366	16.216
2002	16.068	16.398
2003	16.589	16.458
2004	16.837	16.570
2005	16.843	16.679
2006	17.049	16.817
2007	17.187	16.877
2008	17.762	17.199
2009	18.053	17.332
2010	18.789	17.481
2011	19.668	18.082
2012	20.106	18.451
2013	20.636	18.724
2014	21.090	18.863
2015	21.181	19.004
2016	21.616	19.092
2017	21.725	19.117
2018	21.727	19.192
2019	21.738	19.277
2020	21.753	19.310

Tabla 1. 1. Evolución de la Red Eléctrica Española desde 1981 a 2020

Hoy en día, datos de 2022, había 22.013 km de circuito a 400 kV, 20.189 km de circuito a 220 kV y 2898 km de circuito a 132 kV. En total más de 46.000 km de LAT, véase figura 1.2, donde se incluyen los activos de la red de transporte del resto de empresas.



Figura 1. 2. Red de Transporte del circuito eléctrico peninsular en 2022.

El trazado de un nuevo tendido eléctrico, conocido el punto de origen y el de destino, parte de hacer un levantamiento topográfico, donde se destaca el perfil longitudinal del terreno, sobre el cual se diseñarán los apoyos de acuerdo al reglamento de líneas eléctricas de alta tensión (RD 223/2008) [16]. El levantamiento topográfico preciso es esencial para el diseño y tendido de líneas eléctricas de alta tensión. Algunas de las implicaciones son:

- Identificación de obstáculos: El levantamiento topográfico ayuda a identificar obstáculos en el camino de la línea, como montañas, ríos, carreteras y edificios, lo que permite planificar la ruta de la línea de manera efectiva.
- Cálculo de la altura de las torres: La topografía del terreno puede afectar la altura necesaria para las torres, y el levantamiento topográfico preciso es necesario para calcular la altura correcta.
- Diseño de la línea: El levantamiento topográfico permite a los ingenieros tener una visión precisa de la topografía del terreno y, por lo tanto, diseñar la línea de transmisión de manera efectiva y segura.
- Estimación de costos: El levantamiento topográfico preciso también es útil para estimar los costos de construcción de la línea, ya que permite identificar posibles dificultades en el terreno y prever los costos adicionales necesarios para superarlas.

Dada la longitud de los tendidos eléctricos, y la precisión requerida, el levantamiento topográfico del perfil del terreno hoy en día se realiza mediante GPS, dado que no se

necesita intervisibilidad entre puntos y además al ser un sistema de navegación permite ir navegando sobre la trayectoria de la futura línea, y levantar así exclusivamente el perfil del terreno por donde pasaría la línea, y por supuesto los marcando los elementos singulares que afecten a la misma. Así se determina un perfil de altísima precisión, muy estrecho y muy largo, que lo hacía más competitivo que otras técnicas topográficas como el levantamiento con estación total. Esta últimas ya solo tienen un uso residual para el tensado de las catenarias cuando los apoyos están con mucho desnivel y no se puede ver el punto de mínima cota de la catenaria [17]. En resumen, el uso de GPS en el levantamiento topográfico de líneas de alta tensión ofrece varias ventajas, incluyendo:

- Precisión: El GPS proporciona una posición geográfica precisa y confiable, lo que es esencial para el diseño de una línea de alta tensión [18].
- Rapidez: El uso de GPS permite realizar el levantamiento topográfico mucho más rápido que los métodos tradicionales [19].
- Eficiencia: Con el GPS, los datos se pueden recopilar y transmitir de manera eficiente, lo que permite una mayor precisión y reducción de errores.
- Accesibilidad: El GPS es una tecnología accesible y disponible para la mayoría de las empresas y organizaciones, lo que reduce los costos y facilita el acceso a la información necesaria para el diseño de la línea.
- Integración con otros sistemas: El GPS al ofrecer coordenadas geográficas su transformación es inmediata a coordenadas absolutas y se puede integrar con otros sistemas de información geográfica, para su análisis, lo que permite una mayor eficiencia y efectividad en el proceso de adquisición de datos (coordenadas). Es decir, este sistema presenta ventajas desde el punto de vista cartográfico, pues las coordenadas finales se obtienen con facilidad en el sistema de referencia absoluto, permitiendo el solape con la cartografía oficial. Desde el 29 de agosto de 2007 un Real Decreto regula la adopción en España del sistema de referencia geodésico global ETRS89, sustituyendo al sistema geodésico de referencia regional ED50 (RD 1071/2007). Así los levantamientos con GPS determinan inicialmente las coordenadas en el sistema de referencia de los satélites el WGS84 (World Geodetic System 1984), y tras la oportuna transformación tienen como resultado la obtención final de las coordenadas en UTM, es decir en el sistema cartográfico.

Otras técnicas, como el vuelo fotogramétrico clásico, han sido costosos debido a la logística y coordinación requeridas, el tiempo y esfuerzo necesarios para realizar y procesar las imágenes, y la necesidad de contar con un equipo altamente capacitado y experimentado [20]. Las principales razones por las que un vuelo fotogramétrico clásico para obtener el relieve del terreno de líneas de alta tensión era costoso son:



- Logística: Se requieren aviones especializados y equipos fotográficos costosos para realizar un vuelo fotogramétrico clásico. Además, también se requieren permisos especiales y coordinación con las autoridades aeronáuticas y de seguridad.
- Tiempo: Realizar un vuelo fotogramétrico clásico es un proceso que lleva tiempo, ya que se deben planificar y ejecutar varios vuelos para cubrir la totalidad del área de estudio.
- Procesamiento de datos: Una vez que se han recopilado las imágenes, es necesario procesarlas y analizarlas para obtener información útil. Este proceso puede ser costoso y requiere un gran nivel de experiencia y conocimiento en el uso de software especializado.
- Personal: Es necesario contar con un equipo altamente capacitado y experimentado para realizar un vuelo fotogramétrico clásico, lo que puede encarecer el proceso.

Sin embargo con la aparición de los drones (UAV), existen ventajas como la flexibilidad, eficiencia, rapidez, accesibilidad y integración con otros sistemas, lo que puede mejorar la precisión y reducir los costos en el proceso de diseño de la línea de transmisión mediante técnicas fotogramétricas [21], que podemos resumir en:

- Flexibilidad: Los drones pueden acceder a áreas difíciles de alcanzar con aviones convencionales, lo que facilita la obtención de imágenes detalladas y precisas del relieve del terreno [22].
- Costo: En comparación con los vuelos fotogramétricos clásicos, los vuelos fotogramétricos con drones son más económicos debido a la reducción de costos en equipos y personal [23].
- Rapidez: Los drones pueden realizar vuelos rápidos y precisos, lo que permite obtener una gran cantidad de datos en un corto período de tiempo [24].
- Accesibilidad: Los drones son fáciles de manejar y pueden ser operados por un pequeño equipo, lo que reduce los costos y el tiempo necesarios para realizar el vuelo [25].
- Integración con otros sistemas: Los drones pueden integrarse con otros sistemas tecnológicos, como software de modelado y análisis, lo que permite una mayor eficiencia y efectividad en el proceso de diseño [26].

La precisión estimada de un dron en el levantamiento de la altimetría y la planimetría depende de varios factores, incluyendo la altura de vuelo, la calidad de la cámara y la tecnología de posicionamiento utilizada (GPS, RTK, etc.) [27]. En general, a medida que la altura de vuelo disminuye, la precisión de la altimetría y la planimetría mejora [28]. Sin

embargo, también se requiere una cámara de alta resolución y una tecnología de posicionamiento precisa para obtener resultados precisos [29]. Por ejemplo, con una altura de vuelo de 200 a 500 metros y una cámara de alta resolución, se pueden lograr precisiones de la altimetría de alrededor de 5 a 10 cm y precisiones de la planimetría de alrededor de 1 a 2 cm [30,31]. Con tecnologías de posicionamiento precisas, como RTK, se pueden lograr precisiones aún más altas [32].

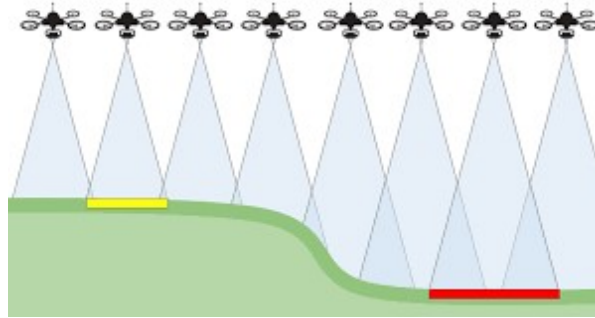


Figura 1. 3. Precisión y altura de vuelo con UAV

Es importante tener en cuenta que la precisión también depende de la calidad del procesamiento de imágenes y la correcta calibración del dron antes del vuelo. Por lo tanto, es fundamental trabajar con un equipo experimentado y utilizar buenas prácticas para garantizar la precisión de los datos obtenidos.

La resolución GSD (cm/píxel) o Ground Spatial Distance en los vuelos con dron está relacionado con:

- la distancia focal de la cámara ( $f$ )
- el tamaño de los píxeles del sensor ( $px$ )
- la distancia al objetivo ( $H$ )

$$GSD = \frac{(H \cdot px)}{f} \quad \text{ec. 1}$$

La GSD suele indicarse en pulgadas o cm por píxel, ec. 1. Una GSD de 4 cm/px significa que un píxel de la imagen resultante representa un cuadrado de 4 cm en el suelo. Un cuadrado más pequeño significa más detalle. Véase figura 3.

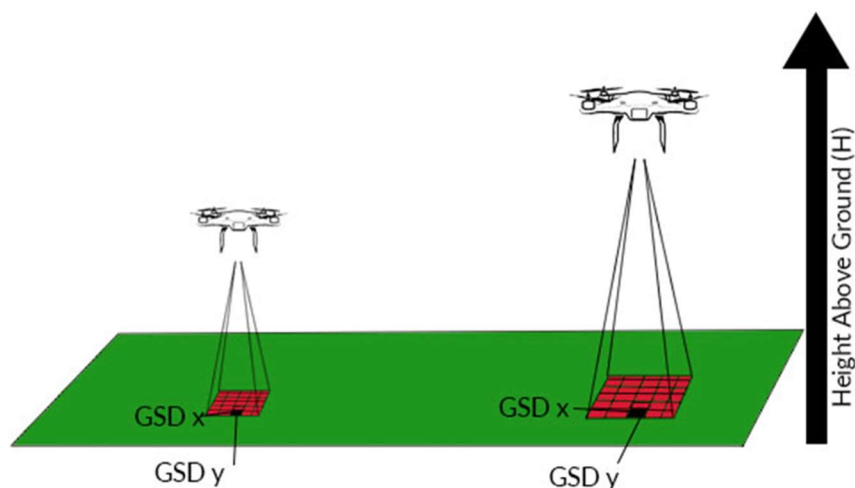


Figura 1. 4. Precisión y altura de vuelo con UAV

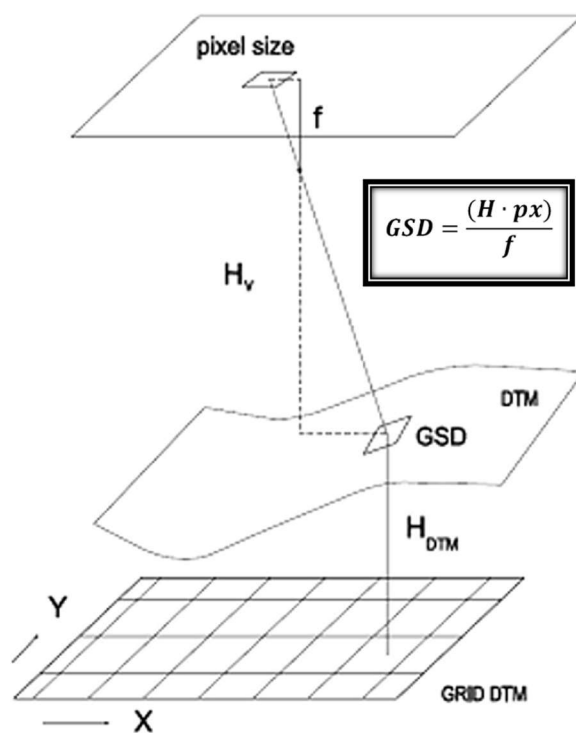


Figura 1. 5. GSD (ec.1)

La superficie de terreno que un dron puede levantar topográficamente en una hora depende de varios factores, como la velocidad de vuelo, la altura de vuelo, la resolución de la cámara y la densidad de los puntos de medición [33]. En general, se puede estimar que un dron moderno con una cámara de alta resolución y una velocidad de vuelo de 50 km/h puede levantar topográficamente una superficie de hasta 2 a 3 km<sup>2</sup> en una hora, dependiendo de la configuración de la misión. Estudios relacionados sobre la precisión de los MDT están descritos en la bibliografía [34].

UAV (Dron)	GSD (cm/pix)	Referencia
eBee™	10.3	[35]
manned ultra-light motor	2.6	[36]
Manned Savannah ICP	3.35	[37]
utility aircraft	25	[38]
RQ-84Z AreoHawk	10	[39]
eBee™ RTK	5.2	[40]
eBee™ RTK	2.5–5.0	[41]
eBee™ RTK	~2.0	[42]
eBee™	2.5–10.0	[43]
eBee™	6	[44]
Swinglet CAM™	3–5	[45]
Gatewing™ X100	5.0–6.0	[46]
Swinglet CAM™	3.5	[47]
Mikrokopter® Hexa	1.5	[48]
DJI™ Phantom 2	10.91	[49]

Tabla 1. 2. Estudios relacionados sobre la precisión de los MDT.

La elección entre un dron cuatrimotor y uno de ala fija depende de las necesidades específicas de cada proyecto y de los objetivos de precisión y eficiencia. Un dron cuatrimotor y un dron de ala fija tienen ventajas y desventajas diferentes para el levantamiento topográfico.

Ventajas de los drones cuatrimotores:

- Mayor versatilidad en términos de velocidad y capacidad de vuelo en condiciones climáticas adversas.
- Mayor capacidad de carga útil, lo que permite el uso de cámaras de alta resolución y tecnologías de posicionamiento precisas.
- Mayor estabilidad y control, lo que permite realizar vuelos más seguros y precisos.
- Capacidad de operar en zonas de difícil acceso.

Ventajas de los drones de ala fija:

- Menor costo y menor complejidad técnica.
- Mayor eficiencia en términos de tiempo y energía, lo que permite realizar más vuelos con una sola carga de batería.
- Mayor autonomía de vuelo, lo que permite realizar misiones más largas.
- Menor ruido y menor impacto visual, lo que es importante en algunas aplicaciones, como en áreas naturales protegidas.

## 1.2. Objetivos

En esta tesis nos planteamos como objetivo general la evaluación de los drones para el diseño e inspección de líneas eléctricas de alta tensión, para ello se van a establecer los siguientes objetivos específicos:

- Análisis bibliométrico de las publicaciones indexadas en relación con la investigación en líneas aéreas de alta tensión (LAT).
- Levantamiento con dron de 10 líneas de alta tensión con proyecto de ejecución real para REE.
- Levantamiento con GPS de estas de 10 líneas de alta tensión con proyecto de ejecución real par REE.
- Diseño y cálculo de las 10 LAT con los dos MDT (Modelos Digitales del Terreno) con GPS y con dron.
- Análisis de la precisión: el estudio puede evaluar la precisión de ambos métodos y compararlos para determinar cuál es más preciso.
- Análisis de costos: el estudio puede evaluar los costos asociados con ambos métodos, incluyendo el costo de equipos y tecnologías, así como el costo de mano de obra y tiempo de ejecución.
- Análisis de rapidez: el estudio puede evaluar la velocidad de ejecución de ambos métodos y compararlos para determinar cuál es más rápido.
- Análisis de la viabilidad: el estudio puede evaluar la viabilidad de ambos métodos en función de diferentes tipos de terreno y condiciones climáticas.
- Evaluación de la eficiencia: el estudio puede evaluar la eficiencia de ambos métodos, incluyendo la cantidad de energía y recursos que se requieren para realizar los levantamientos.
- Análisis de seguridad: el estudio puede evaluar los riesgos asociados con ambos métodos y compararlos para determinar cuál es más seguro.
- Establecimiento de las conclusiones de esta tesis que proporcionen información objetiva y confiable para ayudar a tomar decisiones informadas sobre el uso de drones y GPS para el levantamiento topográfico y la inspección de líneas de alta tensión.

### 1.3. Referencias bibliográficas

1. Montoya, F. G., Montoya, M. G., Gomez, J., Manzano-Agugliaro, F., & Alameda-Hernandez, E. (2014). The research on energy in Spain: A scientometric approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 173-183.
2. Montoya, F. G., Aguilera, M. J., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Renewable energy production in Spain: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 509-531.
3. Ruiz-Romero, S., Colmenar-Santos, A., Gil-Ortego, R., & Molina-Bonilla, A. (2013). Distributed generation: The definitive boost for renewable energy in Spain. *Renewable Energy*, 53, 354-364.
4. Montes, G. M., Martin, E. P., & Garcia, J. O. (2007). The current situation of wind energy in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(3), 467-481.
5. Bhattacharyya, S. C. (2009). Fossil-fuel dependence and vulnerability of electricity generation: Case of selected European countries. *Energy Policy*, 37(6), 2411-2420.
6. Prasad, S., Venkatramanan, V., & Singh, A. (2021). Renewable energy for a low-carbon future: policy perspectives. *Sustainable Bioeconomy: Pathways to Sustainable Development Goals*, 267-284.
7. Hopwood, B., Mellor, M., & O'Brien, G. (2005). Sustainable development: mapping different approaches. *Sustainable development*, 13(1), 38-52.
8. Garrues-Irurzun, J., & López-García, S. (2009). Red Eléctrica de España SA: Instrument of regulation and liberalization of the Spanish electricity market (1944–2004). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2061-2069.
9. Llarena, E., Linares, A., Montes, C., González, O., Molina, D., Pío, A., ... & Cendagorta, M. (2012). Generation Control Centres: Operation and Control on Spanish Electricity System. In *27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Frankfurt, Germany*.
10. Morales, A., Robe, X., Sala, M., Prats, P., Aguerri, C., & Torres, E. (2008). Advanced grid requirements for the integration of wind farms into the Spanish transmission system. *IET Renewable Power Generation*, 2(1), 47-59.
11. Söder, L., Tómasson, E., Estanqueiro, A., Flynn, D., Hodge, B. M., Kiviluoma, J., ... & de Vries, L. (2020). Review of wind generation within adequacy calculations and capacity markets for different power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109540.
12. Gil Montoya, F., Manzano-Agugliaro, F., Gómez López, J., & Sánchez Alguacil, P. (2012). Técnicas de investigación en calidad eléctrica: ventajas e inconvenientes. *Dyna*, 79(173), 66-74.
13. Kishore, T. S., & Singal, S. K. (2014). Optimal economic planning of power transmission lines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 949-974.
14. Alcayde-García, F., Salmerón-Manzano, E., Montero, M. A., Alcayde, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2022). Power Transmission Lines: Worldwide Research Trends. *Energies*, 15(16), 5777.
15. REE (2023). <https://www.ree.es/es/datos/transporte>.
16. BOE (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. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-5269>
17. Manzano-Agugliaro, F., Alcayde-García, A., Gil-Montoya, F., Montero-Rodríguez, M.A. 2011. Sistema On-Line para la medición de temperatura en el tendido topográfico de vanos de alta tensión. *Dyna* 86 (1), pp. 89-94.
18. Gibbings, P., Manuel, B., Penington, R., & McDougall, K. (2001, January). Assessing the accuracy and integrity of RTK GPS beneath high voltage power lines. In *Proceedings of the 42nd Australian Surveyors Congress 2001*.

19. Morton, R. A., Leach, M. P., Paine, J. G., & Cardoza, M. A. (1993). Monitoring beach changes using GPS surveying techniques. *Journal of Coastal Research*, 702-720.
20. Marín-Buzón, C., Pérez-Romero, A., López-Castro, J. L., Ben Jerbania, I., & Manzano-Agugliaro, F. (2021). Photogrammetry as a new scientific tool in archaeology: Worldwide research trends. *Sustainability*, 13(9), 5319.
21. Polat, N., & Uysal, M. (2017). DTM generation with UAV based photogrammetric point cloud. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-4/W6, 77–79.
22. Nesbit, P. R., & Hugenholtz, C. H. (2019). Enhancing UAV–SfM 3D model accuracy in high-relief landscapes by incorporating oblique images. *Remote Sensing*, 11(3), 239.
23. Casierra, C. B. G., Sanchez, C. G. C., Garcia, J. F. C., & La Rivera, F. M. (2022). Methodology for Infrastructure Site Monitoring using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(3).
24. Villa, T. F., Gonzalez, F., Miljievic, B., Ristovski, Z. D., & Morawska, L. (2016). An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future prospectives. *Sensors*, 16(7), 1072.
25. Everaerts, J. (2008). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(2008), 1187-1192.
26. Alizadehsalehi, S., Yitmen, I., Celik, T., & Arditi, D. (2020). The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. *International journal of occupational safety and ergonomics*, 26(4), 829-844.
27. Famiglietti, N. A., Cecere, G., Grasso, C., Memmolo, A., & Vicari, A. (2021). A test on the potential of a low cost unmanned aerial vehicle RTK/PPK solution for precision positioning. *Sensors*, 21(11), 3882.
28. Mugnai, F., Longinotti, P., Vezzosi, F., & Tucci, G. (2022). Performing low-altitude photogrammetric surveys, a comparative analysis of user-grade unmanned aircraft systems. *Applied Geomatics*, 14(Suppl 1), 211-223.
29. Zarco-Tejada, P. J., Diaz-Varela, R., Angileri, V., & Loudjani, P. (2014). Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European journal of agronomy*, 55, 89-99.
30. Lo Brutto, M., Garraffa, A., & Meli, P. (2014). UAV PLATFORMS FOR CULTURAL HERITAGE SURVEY: FIRST RESULTS. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2(5).
31. Feuerer, D., Bailly, J. S., Puech, C., Le Coarer, Y., & Viau, A. A. (2008). Very-high-resolution mapping of river-immersed topography by remote sensing. *Progress in Physical Geography*, 32(4), 403-419.
32. Mugnai, F., & Tucci, G. (2022). A Comparative Analysis of Unmanned Aircraft Systems in Low Altitude Photogrammetric Surveys. *Remote Sensing*, 14(3), 726.
33. El Meouche, R., Hijazi, I., Poncet, P. A., Abunemeh, M., & Rezoug, M. (2016). UAV PHOTOGRAMMETRY IMPLEMENTATION TO ENHANCE LAND SURVEYING, COMPARISONS AND POSSIBILITIES. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
34. Lejot, J., Delacourt, C., Piégay, H., Fournier, T., Trémélo, M. L., & Allemand, P. (2007). Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(11), 1705-1725.
35. Escobar Villanueva, J. R., Iglesias Martínez, L., & Pérez Montiel, J. I. (2019). DEM generation from fixed-wing UAV imaging and LiDAR-derived ground control points for flood estimations. *Sensors*, 19(14), 3205. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/14/3205>
36. Zazo, S., Rodríguez-González, P., Molina, J. L., González-Aguilera, D., Agudelo-Ruiz, C. A., & Hernández-López, D. (2018). Flood hazard assessment supported by reduced cost aerial precision photogrammetry. *Remote sensing*, 10(10), 1566.
37. Brunier, G., Fleury, J., Anthony, E. J., Gardel, A., & Dussouillez, P. (2016). Close-range airborne Structure-from-Motion Photogrammetry for high-resolution beach morphometric surveys: Examples from an embayed rotating beach. *Geomorphology*, 261, 76-88.

38. Bühler, Y., Marty, M., Egli, L., Veitinger, J., Jonas, T., Thee, P., & Ginzler, C. (2015). Snow depth mapping in high-alpine catchments using digital photogrammetry. *The Cryosphere*, 9(1), 229-243.
39. Hugenholtz, C. H., Whitehead, K., Brown, O. W., Barchyn, T. E., Moorman, B. J., LeClair, A., ... & Hamilton, T. (2013). Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model. *Geomorphology*, 194, 16-24.
40. Hugenholtz, C., Brown, O., Walker, J., Barchyn, T., Nesbit, P., Kucharczyk, M., & Myshak, S. (2016). Spatial accuracy of UAV-derived orthoimagery and topography: Comparing photogrammetric models processed with direct geo-referencing and ground control points. *Geomatica*, 70(1), 21-30.
41. Roze, A., Zufferey, J. C., Beyeler, A., & McClellan, A. (2014). eBee RTK accuracy assessment. *Lausanne, Switzerland*.
42. Benassi, F., Dall'Asta, E., Diotri, F., Forlani, G., Morra di Cella, U., Roncella, R., & Santise, M. (2017). Testing accuracy and repeatability of UAV blocks oriented with GNSS-supported aerial triangulation. *Remote Sensing*, 9(2), 172.
43. Leitão, J. P., de Vitry, M. M., Scheidegger, A., & Rieckermann, J. (2016). Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow modelling in urban areas. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4), 1637.
44. Gindraux, S., Boesch, R., & Farinotti, D. (2017). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on glaciers. *Remote Sensing*, 9(2), 186.
45. Immerzeel, W. W., Kraaijenbrink, P. D., Shea, J. M., Shrestha, A. B., Pellicciotti, F., Bierkens, M. F., & de Jong, S. M. (2014). High-resolution monitoring of Himalayan glacier dynamics using unmanned aerial vehicles. *Remote Sensing of Environment*, 150, 93-103.
46. Yilmaz, V., Konakoglu, B., Serifoglu, C., Gungor, O., & Gökalp, E. (2018). Image classification-based ground filtering of point clouds extracted from UAV-based aerial photos. *Geocarto international*, 33(3), 310-320.
47. Coveney, S., & Roberts, K. (2017). Lightweight UAV digital elevation models and orthoimagery for environmental applications: data accuracy evaluation and potential for river flood risk modelling. *International journal of remote sensing*, 38(8-10), 3159-3180.
48. Langhammer, J., Bernsteinová, J., & Miřijovský, J. (2017). Building a high-precision 2D hydrodynamic flood model using UAV photogrammetry and sensor network monitoring. *Water*, 9(11), 861.
49. Ajayi, O. G., Palmer, M., & Salubi, A. A. (2018). Modelling farmland topography for suitable site selection of dam construction using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 220-230.





***CAPÍTULO 2***

---

**ANTECEDENTES**

<b>CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>36</b>
<b>2.1. Introducción .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2. Materiales y métodos.....</b>	<b>38</b>
<b>2.3. Resultados .....</b>	<b>40</b>
2.3.1. Categorías científicas .....	40
2.3.2. Países, afiliaciones y sus temas .....	42
<b>2.4. Análisis de comunidades científicas .....</b>	<b>44</b>
<b>2.5. Discusiones.....</b>	<b>56</b>
<b>2.6. Conclusiones.....</b>	<b>59</b>
<b>2.7. Referencias bibliográficas .....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2. 1. Metodología. (Nota: Para las consultas el * significa cualquier carácter o caracteres después del último definido antes del *).</b> .....	<b>39</b>
<b>Figura 2. 2. Evolución de las publicaciones sobre líneas de transmisión eléctrica. (La línea azul representa las publicaciones por año, y la línea de puntos la tendencia estimada, cuya fórmula matemática se muestra en la Figura 2.2).</b> .....	<b>40</b>
<b>Figura 2. 3. Evolución y distribución de las publicaciones sobre líneas de transmisión eléctrica por categorías científicas.</b> .....	<b>41</b>
<b>Figura 2. 4. Distribución geográfica de las publicaciones sobre líneas de transmisión eléctrica.</b> .....	<b>42</b>
<b>Figura 2. 5. Detección de comunidades en las publicaciones sobre líneas de transmisión eléctrica. (A) Relaciones entre todas las publicaciones; (B) Relaciones entre las publicaciones que forman parte de los clústers identificados.</b> .....	<b>44</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1. Principales afiliaciones y sus palabras clave</b> .....	<b>43</b>
<b>Tabla 2. 2. Cluster 0: Power Transmission Line Inspection</b> .....	<b>45</b>
<b>Tabla 2. 3. Clúster 1: Leakage Current.</b> .....	<b>46</b>
<b>Tabla 2. 4. Cluster 2: Magnetic Fields.</b> .....	<b>48</b>
<b>Tabla 2. 5. Cluster 3: Fault Location.</b> .....	<b>49</b>
<b>Tabla 2. 6. Cluster 4: Transmission Line Icing</b> .....	<b>49</b>
<b>Tabla 2. 7. Cluster 5: Overhead Power Transmission Lines Design</b> .....	<b>50</b>
<b>Tabla 2. 8. Cluster 6: Transmission Lines and Natural Disasters.</b> .....	<b>51</b>
<b>Tabla 2. 9. Cluster 7: Temperature.</b> .....	<b>52</b>
<b>Tabla 2. 10. Cluster 8: Half-wavelength Power Transmission Line.</b> .....	<b>52</b>
<b>Tabla 2. 11. Cluster 9: Arc Flash.</b> .....	<b>53</b>
<b>Tabla 2. 12. Cluster 10: Mathematical Pattern Recognition.</b> .....	<b>54</b>
<b>Tabla 2. 13. Cluster 11: AI (Artificial Intelligence)</b> .....	<b>55</b>
<b>Tabla 2. 14. Cluster ranking</b> .....	<b>57</b>

## CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.

### 2.1. Introducción

La energía eléctrica es la variante energética ideal para la distribución y el transporte de energía desde los puntos de producción hasta los de consumo [1]. La no coincidencia de las instalaciones de producción (renovables o no renovables) y los centros de consumo hace necesario el transporte de la energía generada. Este transporte se realiza mediante líneas de transmisión de energía, que pueden ser aéreas o subterráneas.

Una línea de transporte de energía puede tener dos funciones diferentes, transporte e interconexión, aunque de hecho se pueden encontrar solapadas en la misma línea de transporte de energía [2]. Se trata de una línea de transmisión de energía cuando conecta una instalación de producción de energía con un punto de consumo, fluyendo en este caso la energía siempre en la misma dirección y variando su valor en función de la demanda energética del punto de consumo [3]. Una línea de interconexión conecta dos centros de producción y, por lo tanto, la potencia que fluye por la línea de interconexión puede ir en direcciones opuestas. En la mayoría de los casos, las líneas de transmisión de energía son de gran longitud, ya que suelen conectar centrales de generación que pueden estar a cientos de kilómetros de los centros de consumo [4].

Por ello, a la hora de transmitir la energía, se utiliza alta tensión y baja intensidad para que haya menos pérdidas en el cable, ya que la resistencia varía en función de la longitud, y como estas líneas son muy largas, las pérdidas de energía por calentamiento serían muy elevadas [5]. Los niveles de tensión utilizados en el transporte e interconexión son, por ejemplo: España (400 y 220 kV), Francia (400, 225 y 150 kV), Inglaterra (400, 275 y 150 kV), Alemania (400, 220 y 110 kV), Rusia (1150, 750, 500, 400, 330 y 220 kV), Estados Unidos (800, 765, 500, 460, 400, 345, 287 y 230 kV), Canadá (735, 315 y 120 kV). En todos estos países la frecuencia es de 50 Hz, a excepción de EE.UU., que utiliza 60 Hz. Los intercambios de energía entre países europeos a través de las líneas de interconexión se deben a diversas causas como, por ejemplo: desplazamientos de los picos de consumo (por ejemplo, Francia e Inglaterra) [6], estructuras diferentes en los medios de producción (por ejemplo, Suiza y Alemania, o Suiza y Francia [7]), o diferencias en los flujos hidráulicos (por ejemplo, entre Francia y España) [8,9]. En Europa, la tensión de transmisión se fija en 400 kV para que los intercambios de energía eléctrica sean económicos [10], ya que la energía eléctrica no puede almacenarse en grandes cantidades.

Otra de las principales líneas de investigación en líneas de transmisión de energía es el tipo de estructura, donde se distinguen tres tipos principales: abierta o radial, cerrada

o anillada y mallada. El primer tipo no es muy frecuente; es la red con menor coste e índice de seguridad, utilizándose en sistemas receptores de baja potencia y muy baja densidad en cuanto a puntos de recepción. En el segundo tipo, el coste es mayor que en la radial, pero su seguridad es mucho mayor, quedando asegurada la instalación incluso en caso de fallos en las líneas de interconexión. Por último, el tercer tipo es el más complejo, presenta las mismas ventajas que las redes en anillo, pero es el más caro y el más seguro. Por lo tanto, este último se recomienda cuando una red eléctrica tiene una gran densidad de receptores y, por lo tanto, la seguridad del suministro también debe ser alta, cubriendo zonas de gran potencia.

El diseño de las líneas de transmisión de energía podría suponer que son conductores ideales si las líneas tuvieran distancias cortas, pero en realidad ocurre lo contrario, ya que los puntos de generación de energía están alejados de los puntos de consumo. Es importante destacar que hay cuatro fenómenos físicos a tener en cuenta, en función de la distancia y la tensión: efecto resistivo, efecto inductivo, efecto capacitivo y efecto conductor.

El efecto resistivo, responsable del calentamiento del hilo y de la caída de tensión a lo largo de la línea de transmisión, depende principalmente del material del hilo y de su grosor. El efecto inductivo empieza a considerarse en las líneas de transmisión en las que la reactancia inductiva es comparable a la resistencia reactiva. A medida que aumenta el nivel de tensión de los conductores, la resistencia de éstos es mucho menor que la reactancia inductiva. Por ejemplo, para una línea de transmisión de 230 kV la relación  $X1/R1$  es 8, o para una línea de 500 kV es 14. Obsérvese que en las líneas de transmisión de alta tensión el efecto inductivo es el factor limitante de la transferencia de potencia activa.

El efecto capacitivo se debe al efecto de derivación entre los conductores, y entre los conductores y el suelo. Este efecto se tiene en cuenta en las líneas de más de 80 km de longitud. El efecto conductor se debe a las corrientes de fuga debidas al aislamiento y, a menudo, al entorno que rodea al cable. El más conocido es el efecto corona y se tiene en cuenta en la selección de los cables de las líneas eléctricas de alta tensión.

En el diseño de la transmisión de energía, el rendimiento energético debe ser proporcional a los costes de inversión a realizar para materializar dicha transmisión. Por ello, el factor de pérdidas y el rendimiento deben determinarse para diferentes tipos de líneas, considerando en primera aproximación que las pérdidas de la línea son exclusivamente pérdidas Joule, que se originan en los conductores de la misma [11]. De

hecho, en las líneas de corriente alterna aparecen otras pérdidas, pero en principio, las pérdidas por efecto Joule siguen siendo las principales. De aquí se puede deducir qué tipo de línea es la más ventajosa. Este será el tipo de línea utilizado para hacer posible el transporte de energía. En este sentido, las líneas eléctricas a estudiar son: Líneas de corriente continua, Líneas de corriente alterna monofásica y Líneas de corriente alterna trifásica. Además de las pérdidas debidas al efecto Joule, es necesario tener en cuenta que existen otras pérdidas tales como: pérdidas producidas por el campo magnético [12], pérdidas producidas por el campo eléctrico [13], o pérdidas como consecuencia de la imperfección de los materiales aislantes [14].

Este capítulo pretende destacar las principales tendencias mundiales de investigación en líneas de transmisión eléctrica y detectar cuáles son las áreas emergentes. El manuscrito abarca tres aspectos principales. En primer lugar, se consideran las principales categorías científicas de estas publicaciones y sus tendencias temporales. En segundo lugar, se identifican los países y afiliaciones que contribuyen a la investigación y sus principales temas de investigación. En tercer lugar, se delimitan las principales tendencias en el campo, utilizando la detección de comunidades científicas mediante el método de agrupamiento.

## 2.2. Materiales y métodos

De las dos principales bases de datos científicas, Web of Science y Scopus, se ha comprobado que en las áreas científicas tienen un solapamiento del 90%, por lo que cualquiera de ellas es útil para un estudio bibliométrico [15]. Para alcanzar los objetivos propuestos, se realizó un análisis de todas las publicaciones científicas indexadas en la base de datos Scopus con la búsqueda TITLE-ABS-KEY ("power transmission line\*"). La búsqueda se limitó al periodo comprendido entre 1970 y el último año completo, es decir, 2021. Esta metodología ha demostrado su utilidad para el análisis de tendencias científicas en energía [16] y otras ciencias [17,18].

La Figura 2.1 muestra la metodología secuencial utilizada, en la que, partiendo de la descarga de datos de Scopus, se ha llevado a cabo el análisis de datos con una hoja de cálculo y se ha utilizado un software especializado en análisis de redes, Gephi. (<https://gephi.org/> (consultado el 1 de julio de 2022)).

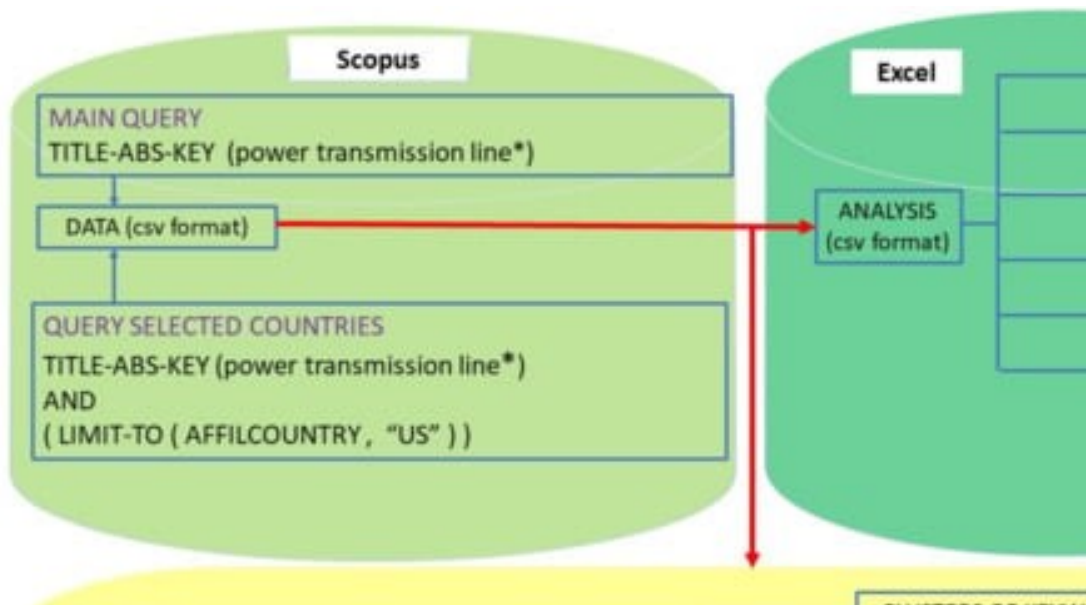


Figura 2. 1. Metodología. (Nota: Para las consultas el \* significa cualquier carácter o caracteres después del último definido antes del \*).

Con esta consulta de búsqueda se han encontrado más de 4600 publicaciones, distribuidas como muestra la Figura 2.2. a lo largo del tiempo. La línea azul representa las publicaciones por año, y la línea de puntos la tendencia estimada, cuya fórmula matemática se muestra en la Figura 2.2. Desde 1970 se ha producido un aumento constante y exponencial en este tema, alcanzando más de 50 publicaciones por año en 1998, y 100 en 2003, continuando la trayectoria ascendente hasta que el último año estudiado se alcanzaron más de 370 publicaciones.

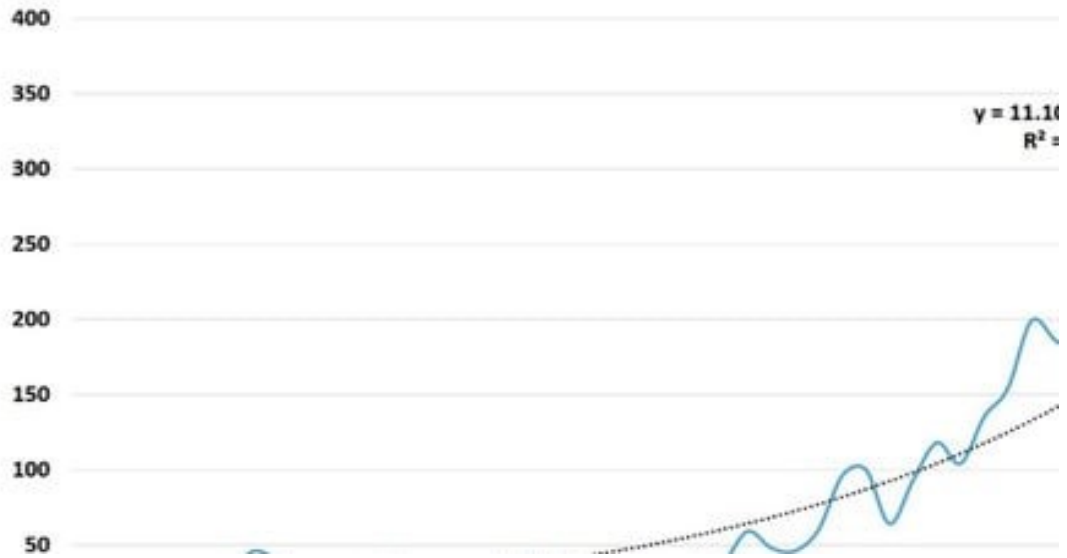


Figura 2. 2. Evolución de las publicaciones sobre líneas de transmisión eléctrica. (La línea azul representa las publicaciones por año, y la línea de puntos la tendencia estimada, cuya fórmula matemática se muestra en la Figura 2.2).

Estas publicaciones se redactaron en 24 idiomas diferentes: Inglés, chino, ruso, japonés, francés, portugués, alemán, polaco, turco, español, coreano, persa, húngaro, noruego, checo, finlandés, italiano, esloveno, ucraniano, afrikaans, bosnio, búlgaro, croata y sueco. La mayoría se publicaron en forma de artículos de revistas (54%), de los cuales sólo el 1% eran artículos de revisión. El 45% se publicó en congresos y el 1% restante en libros y capítulos de libros. El alto porcentaje de congresos indica que éste sigue siendo un tema de investigación en auge.

## 2.3. Resultados

### 2.3.1. Categorías científicas

La distribución de los trabajos publicados por categorías científicas representa una primera clasificación del ámbito de estudio de estas publicaciones. La Figura 2.3 muestra la distribución en las categorías científicas y la evolución temporal de las tres categorías más relevantes. Así, se observa que Ingeniería es la categoría dominante con un 41% del total de publicaciones, seguida de la categoría Energía con un 18%, y en tercer lugar Informática con un 11%.



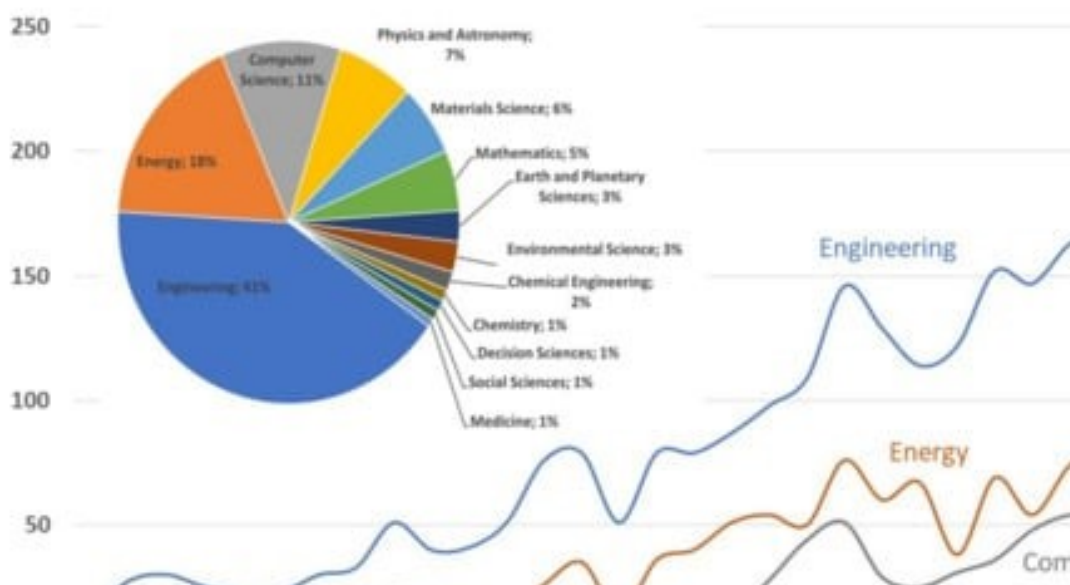


Figura 2. 3. Evolución y distribución de las publicaciones sobre líneas de transmisión eléctrica por categorías científicas.

En otras palabras, estas tres categorías representan el 70% de las publicaciones. Las demás categorías son de menor relevancia y siguen esta secuencia Física y Astronomía, Ciencia de Materiales, Matemáticas, Ciencias de la Tierra y Planetarias, Ciencias Ambientales, Ingeniería Química, Química, Ciencias de la Decisión, Ciencias Sociales y Medicina.

La evolución temporal de las principales categorías se muestra en la Figura 3 desde 1990, que es cuando empiezan a observarse diferencias. La categoría que siempre ha ocupado la primera posición es Ingeniería, que alcanzó las 50 publicaciones en 1998, mientras que para Energía este hito se produjo en 2007, y para Informática en 2010. La categoría de Energía ha sido la segunda hasta el año 2020, momento a partir del cual ha sido superada por Informática (año 2021); de esta forma se puede observar la relevancia de este campo científico en la investigación de líneas de transmisión eléctrica.

Como curiosidad, la categoría de Ciencias Medioambientales trata temas como el modo en que los factores medioambientales afectan al deterioro de las líneas de transmisión eléctrica. Estos factores van, por ejemplo, desde el transporte de arena y el enterramiento de dunas en regiones desérticas áridas [19] hasta la formación de niebla y hielo en climas fríos [20].

En la categoría de Medicina, la atención se centra en las posibles influencias de la proximidad a las líneas de transmisión eléctrica debido a la exposición a campos electromagnéticos de alta frecuencia [21]. Los ejemplos van desde síntomas depresivos

y dolores de cabeza [22] hasta aspectos indirectos como el uso de herbicidas para el control de la vegetación bajo estas líneas [23].

### 2.3.2. Países, afiliaciones y sus temas

La distribución de las publicaciones por países y sus afiliaciones indica qué países están realizando un mayor esfuerzo científico en este campo de investigación. La figura 2. 4 muestra los 108 países que han publicado sobre líneas de transmisión eléctrica. Estas publicaciones están encabezadas por China, seguida de EE.UU. y con Rusia en tercera posición. La publicación más citada de China trata de la fabricación de una superficie superhidrofóbica sobre aluminio [24]. Este estudio proporciona información sobre el comportamiento antihielo de la superficie de aluminio superhidrofóbica y puede favorecer la aplicación de la superficie de aluminio estructurada en líneas de transmisión eléctrica contra la acumulación de hielo. La publicación más citada de EE.UU. trata del modelado de fallos en cascada en la red eléctrica [25]. Además, el artículo más citado de Rusia se refiere a un diseño nanoestructural para producir aleaciones de Al de alta resistencia con conductividad eléctrica mejorada [26].

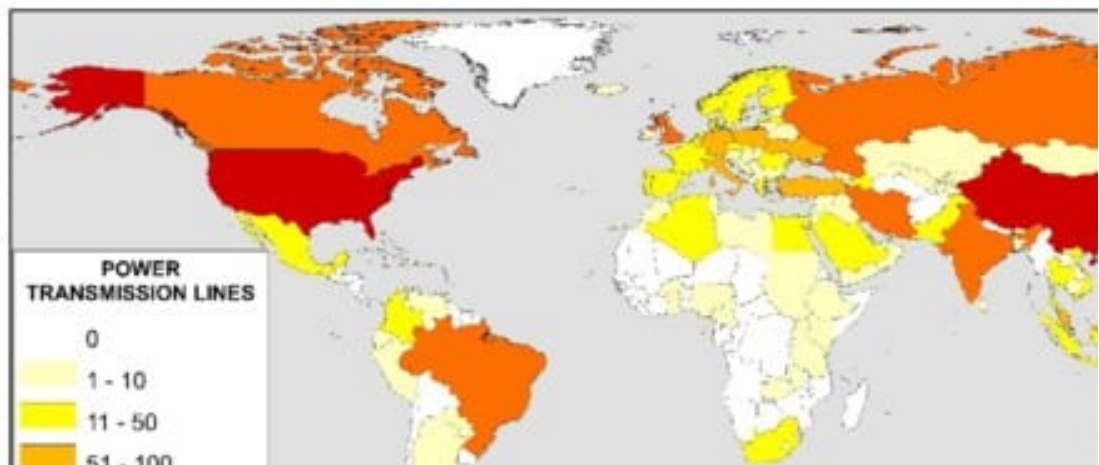


Figura 2. 4. Distribución geográfica de las publicaciones sobre líneas de transmisión eléctrica.

Por continentes, hay poco interés por parte de los países africanos y de Oceanía. En el caso de África, sólo destacan Egipto, con 40, Sudáfrica, con 31, y Argelia, con 19. La publicación más citada de Egipto trata de la geometría de las líneas, en particular de

los efectos de las configuraciones de los vanos y de la flecha de los conductores en la distribución del campo eléctrico bajo las líneas aéreas de transporte [27]. La publicación más citada de Sudáfrica trata de los transformadores deslizantes para el suministro lineal de energía sin contacto [28]. La de Argelia se refiere al aprendizaje profundo mediante clasificación y regresión LSTM para la detección de fallos en líneas de transmisión [29].

En el caso de Sudamérica, Brasil es el único país con más de 100 publicaciones, y su publicación más importante trata sobre las corrientes inducidas geomagnéticamente en un sistema de transmisión de energía eléctrica [30].

Entre las afiliaciones más productivas, se analizarán aquellas con más de 50 publicaciones, y sus temas de interés se determinarán por las principales palabras clave asociadas a estas investigaciones. Estos resultados se muestran en la Tabla 2.1. Las 10 primeras instituciones son de China, como era de esperar dado que China es el país más productivo del mundo en este campo. Se encontraron seis palabras clave para todas estas instituciones: Líneas eléctricas, Transmisión de energía, Transmisión de energía eléctrica, Teoría de las líneas de transmisión, Inspección y Robots. En este sentido, la tendencia más importante se centró en la Inspección Robótica.

Affiliation	Country	N	1	2	3	4
China Electric Power Research Institute	China	121	Electric Lines	Power Transmission	Electric Power Transmission	Transmissions
Chinese Academy of Sciences	China	116	Electric Lines	Power Transmission	Inspection	Robots
North China Electric Power University	China	103	Electric Lines	Power Transmission	Transmission Line Theory	Electric Power Transmission
Tsinghua University	China	84	Electric Lines	Power Transmission	Transmission Line Theory	Electric Power Transmission
State Grid Corporation of China	China	64	Electric Lines	Power Transmission	Transmissions	Electric Power Transmission
Xi'an Jiaotong University	China	64	Electric Lines	Power Transmission	Power Transmission Lines	Electric Power Transmission
Chongqing University	China	64	Electric Lines	Power Transmission	Transmission Line Theory	Electric Power Transmission
Wuhan University	China	57	Electric Lines	Power Transmission	Transmission Line Theory	Electric Power Transmission
University of Chinese Academy of Sciences	China	54	Electric Lines	Power Transmission	Robots	Inspection
Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Sciences	China	52	Electric Lines	Robots	Inspection	Power Transmission

Tabla 2. 1. Principales afiliaciones y sus palabras clave

## 2.4. Análisis de comunidades científicas

Tras analizar todas las publicaciones mediante el software Gephi, se obtienen los resultados que se muestran en la Figura 4.5. En la Figura 4.5A se muestra el número total de publicaciones, donde sólo las publicaciones que ocupan el núcleo están directamente relacionadas entre sí por los temas afines, es decir, forman una comunidad científica o clúster. En la Figura 4.5B, se representan en distintos colores doce clústers representativos: Inspección de líneas, Corriente de fuga, Campos magnéticos, Localización de averías, Heladas, Diseño de líneas, Desastres naturales, Temperatura, Media onda, Relámpago de arco, Reconocimiento de patrones e Inteligencia artificial.

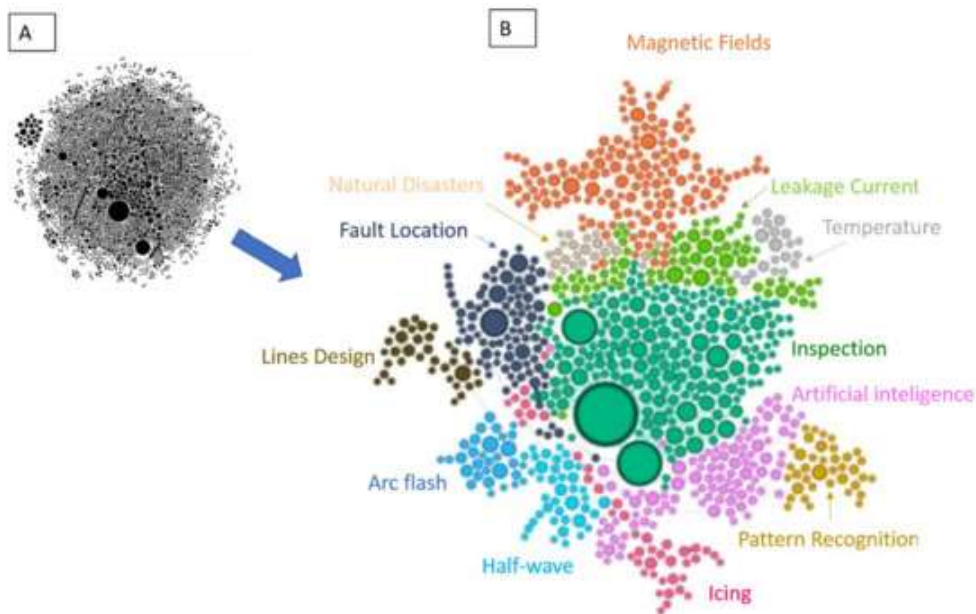


Figura 2. 5. Detección de comunidades en las publicaciones sobre líneas de transmisión eléctrica. (A) Relaciones entre todas las publicaciones; (B) Relaciones entre las publicaciones que forman parte de los clústers identificados.

Cada país debe definir cómo entiende las líneas de alta tensión. En España, por ejemplo, se entiende por Líneas Eléctricas de Alta Tensión las líneas trifásicas de corriente alterna a 50 Hz de frecuencia, cuya tensión nominal efectiva entre fases sea superior a 1000 V. Estas líneas eléctricas de alta tensión pueden ser aéreas o subterráneas. La normativa específica de cada país regula cuándo deben realizarse las inspecciones periódicas; en el caso de España, por ejemplo, son cada 3 años. La Tabla 2.2. resume las

principales palabras clave del Clúster 0, centrado en la Inspección de Líneas de Transmisión Eléctrica. Se puede entender que comenzó en 1989 con la publicación de un estudio de investigación cuyo objetivo final era la automatización de la detección de fallos en imágenes infrarrojas de líneas de transmisión eléctrica [31]. Unos años más tarde, se propuso automatizar la inspección de equipos de líneas de transmisión eléctrica mediante un robot móvil desatendido por un operador humano [32]. Esta línea de investigación se ha continuado a lo largo del tiempo introduciendo mejoras como la inducción de tensión en las líneas de transmisión como fuente de energía para el robot [33], o la detección de obstáculos [34,35]. Se puede observar que este clúster, además de ser el más relevante, es el que ocupa la posición central y, por tanto, es el punto de enlace entre los demás clústeres.

<b>Keyword</b>	<b>732</b>	<b>%</b>
<b>Power Transmission Lines</b>	42	5.74
<b>Inspection Robot</b>	40	5.46
<b>Mobile Robot</b>	19	2.60
<b>Inspection</b>	13	1.78
<b>Insulators</b>	9	1.23
<b>Mechanism Design</b>	6	0.82
<b>Robot</b>	6	0.82
<b>Transmission Lines</b>	6	0.82
<b>Expert System</b>	5	0.68
<b>Obstacle Navigation</b>	5	0.68
<b>Power Line Inspection</b>	5	0.68
<b>Battery</b>	4	0.55
<b>Deep Learning</b>	4	0.55
<b>Insulator Inspection</b>	4	0.55
<b>Inverse Kinematics</b>	4	0.55
<b>Obstacle-navigation Control</b>	4	0.55
<b>Power Transmission Line Inspection</b>	4	0.55
<b>Robotics</b>	4	0.55
<b>Centroid Adjustment</b>	3	0.41
<b>Contamination</b>	3	0.41

Tabla 2. 2. Cluster 0: Power Transmission Line Inspection

El grupo 1 se centra en la corriente de fuga. La Tabla 2.3 resume las principales palabras clave de este clúster. Debido a la contaminación atmosférica a lo largo de los años, especialmente en los países en vías de desarrollo, la contaminación de los aisladores de alta tensión ha sido una limitación importante para el funcionamiento seguro y fiable de las líneas de transmisión eléctrica [36]. Esto está estrechamente relacionado con el arcoflash, entendido como una descarga eléctrica anormal (como a través del aire hacia el suelo desde una fuente de alto potencial o entre dos partes conductoras de una estructura). Para la predicción del arcoflash por contaminación, los métodos de medición de la corriente

de fuga utilizan generalmente el valor máximo de los pulsos de corriente de fuga, la amplitud de las corrientes de fuga antes de aproximarse al arcoflash y los valores eficaces de la corriente de fuga [37].

<b>Keyword</b>	<b>389</b>	<b>%</b>
<b>Power Transmission Lines</b>	42	5.74
<b>Inspection Robot</b>	40	5.46
<b>Mobile Robot</b>	19	2.60
<b>Inspection</b>	13	1.78
<b>Insulators</b>	9	1.23
<b>Mechanism Design</b>	6	0.82
<b>Robot</b>	6	0.82
<b>Transmission Lines</b>	6	0.82
<b>Expert System</b>	5	0.68
<b>Obstacle Navigation</b>	5	0.68
<b>Power Line Inspection</b>	5	0.68
<b>Battery</b>	4	0.55
<b>Deep Learning</b>	4	0.55
<b>Insulator Inspection</b>	4	0.55
<b>Inverse Kinematics</b>	4	0.55
<b>Obstacle-navigation Control</b>	4	0.55
<b>Power Transmission Line Inspection</b>	4	0.55
<b>Robotics</b>	4	0.55
<b>Centroid Adjustment</b>	3	0.41
<b>Contamination</b>	3	0.41
<b>Power Line Inspection</b>	5	0.68
<b>Battery</b>	4	0.55
<b>Deep Learning</b>	4	0.55
<b>Insulator Inspection</b>	4	0.55
<b>Inverse Kinematics</b>	4	0.55
<b>Obstacle-navigation Control</b>	4	0.55
<b>Power Transmission Line Inspection</b>	4	0.55
<b>Robotics</b>	4	0.55
<b>Centroid Adjustment</b>	3	0.41
<b>Contamination</b>	3	0.41
<b>Insulator Inspection</b>	4	0.55

Tabla 2. 3. Clúster 1: Leakage Current.

El grupo 2 se centra en los campos magnéticos. La Tabla 2.4 resume las principales palabras clave de este clúster. Uno de los aspectos medioambientales más estudiados en relación con el transporte de energía es el de los campos eléctricos y magnéticos debido al interés y preocupación social que genera su posible impacto sobre la salud. Un campo electromagnético es un área donde existen campos eléctricos y magnéticos, creados por cargas eléctricas y su movimiento, respectivamente. Este clúster tiene implicaciones en los métodos de medición de la distribución del campo electromagnético bajo las líneas de transmisión eléctrica en condiciones reales de campo [38]. La primera publicación de esta

agrupación se remonta a 1966, y describe la medición del ángulo de rotación de Faraday de un rayo láser sobre una varilla de vidrio de sílex. Se obtuvo el campo magnético instantáneo adyacente a un cable de transmisión, y se propuso como dispositivo de medida de corriente aplicable a una línea de transmisión eléctrica de muy alta tensión, superior a 500 kV [39]. Los campos electromagnéticos se generan por el movimiento de cargas eléctricas y nuestro cuerpo está acostumbrado a convivir con ellos. Los sistemas eléctricos generan campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50 Hz o 60 Hz) y, por lo tanto, transmiten muy poca energía [40,41]. El campo electromagnético de las líneas de transmisión eléctrica de alta tensión es inferior al de los aparatos domésticos de uso común, como los televisores, por ejemplo, los teléfonos móviles (cerca de 1900 MHz) o los hornos microondas (de 2400 a 2500 MHz) [42]. Para obtener una referencia de los límites recomendados, es posible consultar los límites de la I.C.N.I.R.P. (Comisión Internacional sobre Protección contra la Radiación No Ionizante) (<https://www.icnirp.org> (consultado el 1 de julio de 2022)). Dentro de este grupo, el método de los elementos finitos es ampliamente utilizado [43,44]. Por ejemplo, en el caso de España, las líneas de transmisión eléctrica proporcionan valores máximos (en el punto más cercano desde el suelo a los conductores) que oscilan entre 3-5 kV/m para el campo eléctrico y 1-15  $\mu$ T para el campo magnético en líneas de 400 kV. Además, la intensidad de campo disminuye muy rápidamente a medida que aumenta la distancia a los conductores, siendo inversamente proporcional al cuadrado de la distancia: a 30 m de distancia los niveles de campo eléctrico y magnético oscilan entre 0,2-2,0 kV/m y 0,1-3,0  $\mu$ T respectivamente, mientras que los niveles suelen ser inferiores a 0,2 kV/m y 0,3  $\mu$ T a 100 m de distancia. Las directrices de exposición profesional de la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) son de 10 kV/m para campos eléctricos y 100  $\mu$ T magnéticos para líneas aéreas de transmisión de energía de 400 kV. Estudios especializados realizados en Finlandia encuentran valores cercanos a esta recomendación sólo en algunas subestaciones de 400 kV, pero siempre con valores inferiores [45] para los campos magnéticos. Un estudio realizado en Libia muestra valores de 8,3  $\mu$ T (doble circuito a 1 m del suelo e  $I_0 = 215$  A), y 38,6  $\mu$ T (doble circuito a 4 m del suelo e  $I_0 = 1000$  A) [46].

Keyword	597	%
<b>Power Transmission Lines</b>	43	7.20
<b>Magnetic Fields</b>	28	4.69
<b>Finite Element Method</b>	17	2.85
<b>Electromagnetic Field</b>	16	2.68
<b>Transmission Lines</b>	14	2.35
<b>Pipelines</b>	9	1.51
<b>Power Line</b>	8	1.34
<b>Inductive Coupling</b>	8	1.34
<b>Maxwell's Equations</b>	8	1.34

<b>Variable Step Size</b>	6	1.01
<b>Overhead Transmission Line</b>	5	0.84
<b>Boundary Conditions</b>	5	0.84
<b>Electromagnetic Transient Analysis</b>	5	0.84
<b>Finite Difference Method</b>	5	0.84
<b>Finite Element Method (fem)</b>	5	0.84
<b>Magnetic Field Effects</b>	5	0.84
<b>Nonhomogeneous Earth</b>	5	0.84
<b>Fault Location</b>	4	0.67
<b>Electric Field</b>	4	0.67
<b>High Voltage</b>	4	0.67

Tabla 2. 4. Cluster 2: Magnetic Fields.

El clúster 3 se centra en la localización de fallos. La Tabla 5 resume las principales palabras clave de este grupo. Una avería es un contacto de cortocircuito no deseado entre dos fases de cable o entre una fase de cable y la tierra [47]. Existen diferentes tipos de fallos que se producen de forma repentina, como los provocados por la fuerza de la naturaleza, mecánicos, causados por animales, etc. Las averías en las líneas de transmisión suelen generar graves pérdidas económicas y problemas sociales. Cuanto más precisa sea la detección y localización de averías, mejor se podrá realizar la tarea de inspección, mantenimiento y reparación de la línea. El rápido restablecimiento del servicio podría disminuir las reclamaciones de los clientes, el tiempo de interrupción, la pérdida de ingresos y los costes de reparación del personal. Todas estas cuestiones son cada vez más importantes para los inversores [48]. Existen diferentes métodos que se utilizan para la localización de averías en las líneas de transmisión, por ejemplo, los principios de superposición como la transformada de Fourier [49], la transformada de Laplace [50] o la transformada wavelet [51], métodos basados en datos medidos en un solo extremo. Para mejorar el cálculo de la localización de fallos, muchos autores propusieron utilizar la información de ambos extremos de la línea (medición en dos extremos) [52]. Recientemente, se han implementado técnicas computacionales modernas para ayudar en estos estudios de investigación, como las Redes Neuronales Artificiales [53].

<b>Keyword</b>	<b>345</b>	<b>%</b>
<b>Fault Location</b>	35	10.14
<b>Transmission Lines</b>	27	7.83
<b>Power Transmission Lines</b>	17	4.93
<b>Simulation</b>	11	3.19
<b>Distance Protection</b>	7	2.03
<b>Algorithms</b>	7	2.03
<b>Traveling Waves</b>	5	1.45
<b>Statistics</b>	5	1.45
<b>Artificial Neural Network</b>	4	1.16
<b>Wavelet Transform</b>	4	1.16
<b>Two-end Measurement</b>	4	1.16
<b>Fault Analysis</b>	3	0.87



CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES.

<b>Fault</b>	3	0.87
<b>Unsynchronized Measurements</b>	3	0.87
<b>Symmetrical Components</b>	2	0.58
<b>Neural Networks</b>	2	0.58
<b>Matlab</b>	2	0.58
<b>Substations</b>	2	0.58
<b>Unmanned Aerial Vehicles</b>	2	0.58
<b>Travelling Wave</b>	2	0.58

Tabla 2. 5. Cluster 3: Fault Location.

El clúster 4 se centra en el hielo en las líneas de transmisión. El Cuadro 6 resume las principales palabras clave de este clúster. La congelación de las líneas eléctricas aéreas es un gran problema para las compañías eléctricas. Las cargas resultantes de los conductores congelados dependen del grosor del hielo. Algunos autores han investigado el reconocimiento de imágenes para estudiar el espesor del hielo [54]. Por lo tanto, el diseñador de la línea de transmisión debe tener en cuenta la ubicación específica y el riesgo de heladas y, a continuación, establecer los niveles de rendimiento de las líneas de transmisión que se van a construir en su ubicación [55]. Algunos autores afirman que es posible encontrar más de treinta técnicas de deshielo en diferentes fases de desarrollo que pueden garantizar la protección contra el hielo [56]. Destacan los estudios que emplean modernas técnicas matemáticas para establecer modelos predictivos [57], por ejemplo, Deep Learning [58] o BP Neural Network [59].

<b>Keyword</b>	<b>182</b>	<b>%</b>
<b>Power Transmission Lines</b>	11	6.04
<b>De-icing</b>	4	2.20
<b>Icing Thickness</b>	4	2.20
<b>Smart Grid</b>	3	1.65
<b>Wireless Sensor Network</b>	3	1.65
<b>Power Transmission Meteorological Factors</b>	3	1.65
<b>Ice</b>	3	1.65
<b>Internet Of Things</b>	3	1.65
<b>Overhead Transmission Line</b>	2	1.10
<b>Deep Learning</b>	2	1.10
<b>Risk Analysis</b>	2	1.10
<b>Bp Neural Networks</b>	2	1.10
<b>Convolutional Neural Network</b>	2	1.10
<b>Data-driven</b>	2	1.10
<b>Power System Security</b>	2	1.10
<b>Power Transmission Line Icing</b>	2	1.10
<b>Prediction Model</b>	2	1.10
<b>Transmission Line Glaze Ice Accretion and De-icing</b>	2	1.10
<b>Transmission Line Icing</b>	2	1.10
<b>Visualization</b>	2	1.10

Tabla 2. 6. Cluster 4: Transmission Line Icing

El grupo 5 se centra en el diseño de líneas aéreas de transmisión de energía. La Tabla 7 resume las principales palabras clave de este clúster. Este grupo está relacionado principalmente con los grupos de localización de averías y formación de hielo. Una de las principales cuestiones de este clúster es el coste de la propia línea [60]. Se puede acceder en línea a los principales códigos de diseño de los principales países [61], que incluyen: cargas y filosofías de diseño, estructuras de transmisión, diseño y comportamiento de los conductores, cimentaciones y construcción. Las limitaciones medioambientales de las líneas eléctricas aéreas y las posibles soluciones han sido objeto de estudio para el diseño de estas líneas [62,63].

Keyword	175	%
<b>Power Transmission Lines</b>	11	6.04
<b>De-icing</b>	4	2.20
<b>Icing Thickness</b>	4	2.20
<b>Smart Grid</b>	3	1.65
<b>Wireless Sensor Network</b>	3	1.65
<b>Power Transmission Meteorological Factors</b>	3	1.65
<b>Ice</b>	3	1.65
<b>Internet Of Things</b>	3	1.65
<b>Overhead Transmission Line</b>	2	1.10
<b>Deep Learning</b>	2	1.10
<b>Risk Analysis</b>	2	1.10
<b>Bp Neural Networks</b>	2	1.10
<b>Convolutional Neural Network</b>	2	1.10
<b>Data-driven</b>	2	1.10
<b>Power System Security</b>	2	1.10
<b>Power Transmission Line Icing</b>	2	1.10
<b>Prediction Model</b>	2	1.10
<b>Transmission Line Glaze Ice Accretion And De-icing</b>	2	1.10
<b>Transmission Line Icing</b>	2	1.10
<b>Visualization</b>	2	1.10

Tabla 2. 7. Cluster 5: Overhead Power Transmission Lines Design

El clúster 6 se centra en las líneas de transmisión y las catástrofes naturales. El Cuadro 8 resume las principales palabras clave de este clúster. Este clúster está vinculado a los de localización de averías, corriente de fuga y campos magnéticos. Las principales líneas de investigación están vinculadas a la predicción [64] y a la resiliencia o capacidad de las líneas para resistir catástrofes naturales [65]. Los desastres naturales analizados son de naturaleza muy diversa: tifón [66], tornado [67,68], terremoto [69,70], tormenta de hielo [71,72], rayo [73,74], viento/lluvia [75,76] o incendio forestal [77,78].

Keyword	102	%
Transmission Lines	6	5.88
Fault Location	5	4.90
Power Transmission Lines	3	2.94
Wildfire	3	2.94
Power Grid	2	1.96
Adaptive Dynamic Threshold	2	1.96
Ice Disaster	2	1.96
Natural Disaster	2	1.96
Wildfire Near Transmission Lines	2	1.96
Overhead Power Transmission Lines	1	0.98
Icing Thickness	1	0.98
Wireless Sensor Network	1	0.98
Deep Learning	1	0.98
Wavelet Transform	1	0.98
Insulators	1	0.98
Optimal Power Flow	1	0.98
Travelling Wave	1	0.98
Image Recognition	1	0.98
Transmission Line Icing	2	1.10
Visualization	2	1.10

Tabla 2. 8. Cluster 6: Transmission Lines and Natural Disasters.

El clúster 7 se centra en la Temperatura. La Tabla 9 resume las principales palabras clave de este clúster. Este clúster está relacionado con el de Corriente de fuga. La temperatura ambiente afecta al tendido de las líneas eléctricas, ya que las tensiones de los cables dependen de ella. En determinadas ocasiones, se eligen longitudes especiales en función de la geometría y la dilatación del cable [79]. Por lo tanto, el modelado de las líneas de transmisión es una de las principales preocupaciones de este grupo basado en la temperatura, como la corriente de carga [80], o bajo flujos de potencia fluctuantes [81]. En ocasiones, estos estudios incluyen técnicas de teledetección como el estudio aéreo LiDAR [82] o un sensor de infrarrojos [83].

Keyword	78	%
Power Transmission Lines	7	8.97
Transmission Line Modeling	4	5.13
Conductor Temperature	4	5.13
Distributed Parameter Circuits	3	3.85
Ambient Temperature	3	3.85
Nonuniform Transmission Lines	3	3.85
Power Transmission Meteorological Factors	2	2.56
Phasor Measurement Unit (pmu)	2	2.56
Clearance	2	2.56
Power System Modeling	2	2.56
Transmission Lines	1	1.28
Overhead Power Transmission Lines	1	1.28
Temperature	1	1.28
Tension	1	1.28
Power Line	1	1.28
Power System	1	1.28
Short-circuit Current	1	1.28
Overhead Power Line	1	1.28
Power System Stability	1	1.28
Remote Sensing	1	1.28

Tabla 2. 9. Cluster 7: Temperature.

El grupo 8 se centra en las líneas de transmisión eléctrica de media longitud de onda y está vinculado a los grupos de relámpago de arco y formación de hielo. La tabla 10 resume las principales palabras clave de este grupo. Cuando la central de generación de energía y los lugares de consumo están muy alejados, los proyectos de transmisión a distancias extralargas (como miles de kilómetros, por ejemplo), se utiliza esta solución técnica (líneas de media longitud de onda (HWLL)) para transportar la energía eléctrica. Se considera la única técnica de transmisión que no requiere equipos sofisticados ni en los terminales de la línea ni en los puntos intermedios [84]. La línea de transmisión de media longitud de onda es un tipo de transmisión de CA trifásica en la que la longitud de la línea entre sus extremos transmisor y receptor es aproximadamente la mitad de la longitud de onda (es decir, 3000 km para 50 Hz). En la literatura especializada, Wolf y Shcherbachev fueron los primeros en estudiar este método en la Unión Soviética [85]. Estas transmisiones de potencia se utilizan normalmente para tensiones UHV (Ultra Alta Tensión) en el rango de 800 kV a 1200 kV. Este método se propuso tanto para sistemas de CA [86] como de CC [87]. Algunos autores proponen un método de localización de fallos para los HWTL con el fin de garantizar un funcionamiento seguro y fiable [88]. En la actualidad, algunos autores analizan la inviabilidad de este enfoque [89].

Keyword	109	%
<b>Transmission Lines</b>	4	3.67
<b>Power Transmission Lines</b>	3	2.75
<b>Power Transmission</b>	3	2.75
<b>Half-wave Power Transmission Line</b>	3	2.75
<b>Half-wavelength Transmission Line</b>	3	2.75
<b>Physical Analogy</b>	3	2.75
<b>Fault Location</b>	2	1.83
<b>Traveling Waves</b>	2	1.83
<b>Chained Number</b>	2	1.83
<b>Faulted Phase Selection</b>	2	1.83
<b>Half Wavelength</b>	2	1.83
<b>Half-wavelength Lines</b>	2	1.83
<b>Line Parameter Compensation</b>	2	1.83
<b>Lumped-circuits</b>	2	1.83
<b>Power Take-off</b>	2	1.83
<b>Thyristor Parameter Stabilizer</b>	2	1.83
<b>Transient Stability</b>	2	1.83
<b>UHV</b>	2	1.83
<b>UHV DC System</b>	2	1.83
<b>UHV Half-wavelength AC Power Transmission Line</b>	2	1.83

Tabla 2. 10. Cluster 8: Half-wavelength Power Transmission Line.

El grupo 9 se centra en el Arc flash. La Tabla 11 resume las principales palabras clave de este clúster. El arco eléctrico puede definirse como el fenómeno provocado por los cables eléctricos, que consiste en la ionización del aire cuando se vence la resistencia eléctrica del aire; y se produce cuando hay una tensión eléctrica muy alta (voltaje). Según los expertos, es visible a un nivel superior a 30.000 voltios. Los fallos de arco se producen cuando hay una alta tensión en un hueco o rotura del circuito [90]. La investigación sobre arcos secundarios está encabezada por estudios como "Arc effect on single-phase reclosing time of a UHV power transmission line" [91] o "New approach to adaptive single pole auto-reclosing of power transmission lines" [92]. Casi el 80% de los fallos de las líneas de transmisión eléctrica de alta tensión en los sistemas eléctricos interconectados son intrínsecamente transitorios [63]. Aun así, muchos estudios se centran en distinguir si el tipo de fallo es transitorio o permanente [64]. Otras líneas principales de investigación se centran en algoritmos para el reconocimiento de fallos de arco (transitorios) y la determinación del tiempo muerto para el autoreconexión adaptativa [93,94]. Este grupo se aproxima al de diseño de líneas y al de media onda. Los diseñadores de líneas deben determinar el peor escenario posible, ya que las tensiones durante este tipo de fallo dependen de muchos parámetros, como la ubicación del fallo o la carga previa al fallo [95].

<b>Keyword</b>	<b>82</b>	<b>%</b>
<b>Secondary Arc</b>	11	13.41
<b>Transmission Lines</b>	7	8.54
<b>Power Transmission Lines</b>	7	8.54
<b>Transient and Permanent Fault</b>	6	7.32
<b>Power Transmission</b>	5	6.10
<b>Dead Time</b>	3	3.66
<b>Single Phase Auto-reclosure</b>	3	3.66
<b>Transient Stability</b>	2	2.44
<b>Power System</b>	2	2.44
<b>Optimization</b>	2	2.44
<b>Transient Analysis</b>	2	2.44
<b>Permanent Faults</b>	2	2.44
<b>AC Reclosing</b>	2	2.44
<b>Adaline</b>	2	2.44
<b>Arc Column Form</b>	2	2.44
<b>Arc Discharges</b>	2	2.44
<b>Arc Model</b>	2	2.44
<b>Four-phase Ac Transmission</b>	2	2.44
<b>Line Loadability</b>	2	2.44
<b>Motion Characteristics</b>	2	2.44

Tabla 2. 11. Cluster 9: Arc Flash.

El clúster 10 se centra en el Reconocimiento Matemático de Patrones y está muy cerca del clúster IA (Inteligencia Artificial). La Tabla 12 resume las principales palabras clave de este clúster. El uso de la morfología matemática (MM) en el sistema energético es una técnica de análisis relativamente reciente [96]. La morfología matemática se desarrolla a partir de la teoría de conjuntos y la geometría integral, y recibe su nombre porque se ocupa de la forma de las señales. A diferencia de la transformada de Fourier o la transformada wavelet, que extraen la información frecuencial de las señales, se denomina MM porque se ocupa de la forma de las señales [97]. La otra técnica más utilizada en las averías de las líneas de transmisión es la transformada Wavelet [98,99]. El Reconocimiento de Patrones es importante en el reconocimiento y clasificación de fallos en líneas de transmisión [100,101]. Nótese que ATP (Alternate Transients Program) es una herramienta de software que permite la simulación digital de fenómenos transitorios de naturaleza electromagnética y electromecánica con fines de diseño, especificación de equipos o definición de parámetros eléctricos. Así, ATP se utiliza para comprobar algoritmos de localización precisa de fallos [102,103].

<b>Keyword</b>	<b>117</b>	<b>%</b>
<b>Power Transmission Lines</b>	11	1.50
<b>Mathematical Morphology</b>	9	1.23
<b>Wavelet Transform</b>	6	0.82
<b>Transmission Lines</b>	4	0.55
<b>Fault Location</b>	4	0.55
<b>Ultra-high-speed Protection</b>	4	0.55
<b>Transient Based Protection</b>	3	0.41
<b>Fault Detection</b>	2	0.27
<b>Accelerated Trip</b>	2	0.27
<b>Series Multi-resolution Morphological Gradient</b>	2	0.27
<b>Travelling Wave</b>	2	0.27
<b>Pattern Recognition</b>	1	0.14
<b>ATP</b>	1	0.14
<b>Biorthogonal Wavelet Analysis</b>	1	0.14
<b>Boundary Fault Detection</b>	1	0.14
<b>Combination Modulus</b>	1	0.14
<b>Complex Wavelet Analysis</b>	1	0.14
<b>Confidence Level Analysis</b>	1	0.14
<b>Current Transients</b>	1	0.14
<b>Current Traveling Wave Polarity</b>	1	0.14

Tabla 2. 12. Cluster 10: Mathematical Pattern Recognition.

El clúster 11 se centra en la IA (Inteligencia Artificial). El Cuadro 13 resume las principales palabras clave de este clúster. La Inteligencia Artificial es un campo especial de la informática que pretende emular la lógica humana en un ordenador. Los sistemas de IA funcionan mediante algoritmos, utilizando técnicas como el aprendizaje automático y el

## CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES.

aprendizaje profundo para demostrar un comportamiento "inteligente". La Inteligencia Artificial puede clasificarse en dos categorías principales: basada en la funcionalidad y basada en la capacidad. El aprendizaje automático es el proceso por el cual los ordenadores adquieren el reconocimiento de patrones, o la capacidad continua de aprender de los datos y hacer predicciones basadas en datos, y pueden realizar mejoras sin estar específicamente programados para ello. El aprendizaje profundo es un subconjunto actual del aprendizaje automático que ha demostrado rendir significativamente mejor que algunos enfoques tradicionales de aprendizaje automático. Por lo tanto, este clúster utiliza técnicas de AI para la detección de fallos [104], la localización [105], el diagnóstico [106] y la clasificación [107]. Una de las técnicas de AI más prometedoras es el aprendizaje automático, que ha demostrado su utilidad para detectar y predecir los tipos y ubicaciones de los fallos en una línea de transmisión eléctrica de 750 kV y 600 km de longitud [108].

<b>Keyword</b>	<b>452</b>	<b>%</b>
<b>Power Transmission Lines</b>	23	5.09
<b>Fault Location</b>	18	3.98
<b>Fault Classification</b>	18	3.98
<b>Transmission Lines</b>	17	3.76
<b>Fault Detection</b>	17	3.76
<b>Wavelet Transform</b>	9	1.99
<b>Support Vector Machine</b>	8	1.77
<b>Artificial Neural Network (ANN)</b>	7	1.55
<b>Transmission Line Protection</b>	6	1.33
<b>Fault Diagnosis</b>	6	1.33
<b>Artificial Neural Network</b>	6	1.33
<b>Unmanned Aerial Vehicles</b>	5	1.11
<b>Discrete Wavelet Transform</b>	4	0.88
<b>Electromagnetic Compatibility</b>	4	0.88
<b>Mathematical Modeling</b>	4	0.88
<b>Power Transmission Faults</b>	4	0.88
<b>Travelling Wave</b>	3	0.66
<b>Power System</b>	3	0.66
<b>Overhead Power Transmission Lines</b>	3	0.66
<b>Machine Learning</b>	3	0.66

Tabla 2. 13. Cluster 11: AI (Artificial Intelligence)

## 2.5. Discusión

Una vez analizados todos los documentos en relación con las líneas de transmisión eléctrica, se observó el fuerte liderazgo de las instituciones chinas en este campo, con las diez primeras instituciones a la cabeza en este campo de investigación. Estas fueron: Instituto de Investigación de Energía Eléctrica de China, Academia de Ciencias de China, Universidad de Energía Eléctrica del Norte de China, Universidad de Tsinghua, Corporación Estatal de Redes de China, Universidad Jiaotong de Xi'an, Universidad de Chongqing, Universidad de Wuhan, Universidad de la Academia de Ciencias de China, Instituto de Automatización de Shenyang Academia de Ciencias de China. La primera institución de Estados Unidos en la lista fue el Instituto de Tecnología de Georgia, y la primera de Rusia, la Universidad Estatal de Ingeniería Energética de Kazán. Estas dos últimas instituciones tienen la mitad de publicaciones que la décima institución china.

Las categorías científicas son una referencia importante del área de conocimiento en la que se desarrolla la investigación. Las tres principales categorías científicas encontradas fueron Ingeniería, Energía e Informática. La primera categoría siempre ha liderado este campo científico. Pero en cuanto al segundo puesto que antes ocupaba la categoría Energía, la tendencia muestra que en los últimos años está siendo sustituida por la categoría Informática. Esto se debe sin duda a la importancia de los temas relacionados con el Reconocimiento de Patrones o la Inteligencia Artificial.

Del análisis de las comunidades científicas se han detectado doce clústeres, que son las tendencias de investigación en este campo científico. Estos son: Inspección de líneas, Corriente de fuga, Campos magnéticos, Localización de averías, Heladas, Diseño de líneas, Desastres naturales, Temperatura, Onda media, Relámpago de arco, Reconocimiento de patrones e Inteligencia artificial.

La Tabla 2. 14 muestra el orden de relevancia por número de publicaciones para cada uno de los clústeres. El clúster principal es el de Inspección de Líneas de Transmisión Eléctrica, que también ocupa un lugar central en todas estas publicaciones. Está rodeado por los grupos de Temperatura, Corriente de fuga, Localización de averías, Catástrofes naturales e Inteligencia artificial.



Rank	Cluster Number	Cluster Name	Related Keywords
1	0	Line Inspection	732
2	2	Magnetic Fields	597
3	11	Artificial Intelligence	452
4	1	Leakage Current	389
5	3	Fault Location	345
6	4	Icing	182
7	5	Lines Design	175
8	10	Pattern Recognition	117
9	8	Half-wave	109
10	6	Natural Disasters	102
11	9	Arc Flash	82
12	7	Temperature	78

Tabla 2. 14. Cluster ranking

El segundo clúster más importante es el de Campos Magnéticos. Este clúster está vinculado a los demás clústeres de investigación a través de los clústeres de Corrientes de Fuga y Catástrofes Naturales. El tercer clúster más importante es el de Inteligencia Artificial; como ya se ha comentado, se trata de un clúster relacionado con la informática. Este clúster está vinculado al clúster central de Inspección de Líneas, y al clúster de Heladas, pero sobre todo actúa como enlace con el clúster de Reconocimiento de Patrones, que está separado del resto salvo por el enlace con este clúster de Inteligencia Artificial.

El cuarto clúster se centra en la Corriente de fuga. Este clúster está vinculado, por un lado, a la Inspección de Líneas y, por otro, a la Temperatura, los Desastres Naturales y los Campos Magnéticos. El quinto clúster, Localización de averías, está vinculado a los clústeres Desastres naturales, Diseño de líneas, Heladas e Inspección. El sexto clúster es el que se centra en el Helamiento. También es un clúster muy transversal, y está relacionado principalmente con los de Inteligencia artificial, Onda media, Relámpago de arco y Diseño de líneas. El séptimo clúster se centra en el Diseño de Líneas. Este clúster sólo está relacionado con el de Localización de Fallas. El octavo grupo más importante es el que se centra en el Reconocimiento Matemático de Patrones, y está vinculado al resto de las publicaciones sólo a través del grupo de Inteligencia Artificial (IA). Estos dos grupos, como ya se ha mencionado, son el resultado de la faceta informática de este campo de investigación.

El noveno clúster se centra en la Onda Media. Este clúster sólo está relacionado con otros tres, principalmente con Arc Flash e Inteligencia Artificial, y en menor medida con Icing. El décimo clúster se centra en las Catástrofes Naturales. Este clúster está estrechamente relacionado con otros tres clústeres principales, Localización de averías, Campos magnéticos y Corriente de fuga. El undécimo clúster está tan poco relacionado

con el centro de las publicaciones que sólo se puede entender la relación con los clústeres Diseño de la línea y Media onda. Por último, el duodécimo clúster es el de Temperatura, que puede considerarse junto con el de Corriente de fuga.

En resumen, se han encontrado tres clústeres muy transversales: Hielo, Corriente de fuga e Inteligencia artificial. Además, se ha observado que el Reconocimiento de Patrones es una próxima línea de investigación, que está emergiendo y estableciendo su propia identidad separada del clúster de Inteligencia Artificial.

## 2.6. Conclusiones

En este capítulo se han analizado todas las publicaciones científicas relacionadas con las líneas de transmisión eléctrica. Como es bien sabido, el transporte de electricidad se realiza a altas tensiones con el fin de transportar la electricidad con las menores pérdidas de energía posibles. En general, la red de transporte de electricidad está mallada, lo que significa que todos los puntos están interconectados y que, si se produce una incidencia en algún punto, el suministro está garantizado ya que la electricidad puede llegar desde otra línea de transporte de electricidad. Además, la red de transmisión se controla a distancia, es decir, los fallos se pueden detectar y aislar desde el centro de control.

Las tres categorías principales en las que se agrupan estos trabajos de investigación son, en primer lugar, Ingeniería, con un 41% del total, seguida de Energía e Informática. Aunque cabe destacar que esta última, Informática, ya ha superado a Energía en el último año en cuanto a número de publicaciones anuales. El gran líder en este campo científico es China, con un 25% del total de publicaciones, seguida de Estados Unidos, con 4 veces menos, y de Rusia. Así pues, no es de extrañar que las 10 principales afiliaciones sean de China. Las tres afiliaciones principales son: Instituto de Investigación de Energía Eléctrica de China, Academia China de Ciencias y Universidad de Energía Eléctrica del Norte de China. Todas las afiliaciones realizan investigaciones relacionadas con 6 palabras clave principales: Líneas Eléctricas, Transmisión de Potencia, Transmisión de Energía Eléctrica, Teoría de Líneas de Transmisión, Inspección y Robots, con un fuerte énfasis en la Inspección Robótica.

El análisis de las tendencias globales de investigación, basado en el análisis de los clústeres que componen el número total de publicaciones, muestra 12 clústeres, de los cuales las tres principales líneas de investigación son por este orden: Inspección de líneas de transmisión eléctrica, Campos magnéticos, Inteligencia artificial. Esta última es la que está emergiendo con fuerza en los últimos tiempos y es la que hace que el campo científico de la informática sea tan relevante dentro de esta disciplina. Las segundas líneas de investigación son las centradas en: Corriente de Fuga, Localización de Fallos, Heladas y Diseño de Líneas. Finalmente, el tercer bloque de agrupaciones, que cuentan con menos publicaciones son: Reconocimiento de patrones, Media onda, Desastres naturales, Temperatura, y Arc flash. Al igual que en el grupo de clústeres principales, hay un clúster centrado en las Ciencias de la Computación, que de hecho está estrechamente vinculado a la Inteligencia Artificial, y parece ser una singularidad de uno, a saber, el Reconocimiento de Patrones.

## 2.7. Referencias bibliográficas

1. Hadjipaschalis, I.; Poullikkas, A.; Efthimiou, V. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2009**, *13*, 1513–1522.
2. Deutsch, A.; Kopcsay, G.V.; Restle, P.J.; Smith, H.H.; Katopis, G.; Becker, W.D.; Knebel, D.R. When are transmission-line effects important for on-chip interconnections? *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* **1997**, *45*, 1836–1846.
3. Kishore, T.S.; Singal, S.K. Optimal economic planning of power transmission lines: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2014**, *39*, 949–974.
4. Zhou, X.; Yi, J.; Song, R.; Yang, X.; Li, Y.; Tang, H. An overview of power transmission systems in China. *Energy* **2010**, *35*, 4302–4312.
5. Wang, W.; Huang, X.; Tan, L.; Guo, J.; Liu, H. Optimization design of an inductive energy harvesting device for wireless power supply system overhead high-voltage power lines. *Energies* **2016**, *9*, 242.
6. Goodrich, F.G.; Andersen, B.R. The 2000 MW HVDC link between England and France. *Power Eng. J.* **1987**, *1*, 69–74.
7. Keles, D.; Dehler-Holland, J.; Densing, M.; Panos, E.; Hack, F. Cross-border effects in interconnected electricity markets-an analysis of the Swiss electricity prices. *Energy Econ.* **2020**, *90*, 104802.
8. Abadie, L.M.; Chamorro, J.M. Evaluation of a cross-border electricity interconnection: The case of Spain-France. *Energy* **2021**, *233*, 121177.
9. Montoya, F.G.; Aguilera, M.J.; Manzano-Agugliaro, F. Renewable energy production in Spain: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2014**, *33*, 509–531.
10. Rosato, V.; Bologna, S.; Tiriticco, F. Topological properties of high-voltage electrical transmission networks. *Electr. Power Syst. Res.* **2007**, *77*, 99–105.
11. Dos Santos, M.L.; Jardini, J.A.; Casolari, R.P.; Vasquez-Arnez, R.L.; Saiki, G.Y.; Sousa, T.; Nicola, G.L.C. Power transmission over long distances: Economic comparison between HVDC and half-wavelength line. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2013**, *29*, 502–509.
12. Adams, H.W.; Trivette, J.D. Evaluation of magnetic field and system loss considerations for changes in transmission network configuration. *IEEE Trans. Power Deliv.* **1996**, *11*, 2036–2041.
13. Al-Hamouz, Z.M. Corona power loss, electric field, and current density profiles in bundled horizontal and vertical bipolar conductors. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **2002**, *38*, 1182–1189.
14. Rayner, E.H. High-voltage tests and energy losses in insulating materials. *J. Inst. Electr. Eng.* **1912**, *49*, 3–71.
15. Salmeron-Manzano, E.; Manzano-Agugliaro, F. The electric bicycle: Worldwide research trends. *Energies* **2018**, *11*, 1894.
16. De la Cruz-Lovera, C.; Perea-Moreno, A.J.; de la Cruz-Fernández, J.L.G.; Montoya, F.; Alcayde, A.; Manzano-Agugliaro, F. Analysis of research topics and scientific collaborations in energy saving using bibliometric techniques and community detection. *Energies* **2019**, *12*, 2030.
17. Salmerón-Manzano, E.; Garrido-Cardenas, J.A.; Manzano-Agugliaro, F. Worldwide research trends on medicinal plants. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 3376.
18. Gimenez, E.; Manzano-Agugliaro, F. DNA damage repair system in plants: A worldwide research update. *Genes* **2017**, *8*, 299.
19. Li, X.R.; Xiao, H.L.; He, M.Z.; Zhang, J.G. Sand barriers of straw checkerboards for habitat restoration in extremely arid desert regions. *Ecol. Eng.* **2006**, *28*, 149–157.
20. Ma, G.-M.; Li, C.-R.; Jiang, J.; Luo, Y.-T.; Cheng, Y.-C. A novel optical load cell used in icing monitoring on overhead transmission lines. *Cold Reg. Sci. Technol.* **2012**, *71*, 67–72.
21. Skotte, J.H. Exposure to power-frequency electromagnetic fields in Denmark. *Scand. J. Work Environ. Health* **1994**, *20*, 132–138.

22. Poole, C.; Kavet, R.; Funch, D.P.; Donelan, K.; Charry, J.M.; Dreyer, N.A. Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternating-current transmission line right-of-way. *Am. J. Epidemiol.* **1993**, *137*, 318–330.
23. Libich, S.; To, J.C.; Frank, R.; Sirons, G.J. Occupational exposure of herbicide applicators to herbicides used along electric power transmission line right-of-way. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **1984**, *45*, 56–62.
24. Liao, R.; Zuo, Z.; Guo, C.; Yuan, Y.; Zhuang, A. Fabrication of superhydrophobic surface on aluminum by continuous chemical etching and its anti-icing property. *Appl. Surf. Sci.* **2014**, *317*, 701–709.
25. Kinney, R.; Crucitti, P.; Albert, R.; Latora, V. Modeling cascading failures in the North American power grid. *Eur. Phys. J. B-Condens. Matter Complex Syst.* **2005**, *46*, 101–107.
26. Valiev, R.Z.; Murashkin, M.Y.; Sabirov, I. A nanostructural design to produce high-strength Al alloys with enhanced electrical conductivity. *Scr. Mater.* **2014**, *76*, 13–16.
27. El Dein, A.Z.; Wahab, M.A.A.; Hamada, M.M.; Emmary, T.H. The effects of the span configurations and conductor sag on the electric-field distribution under overhead transmission lines. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2010**, *25*, 2891–2902.
28. Barnard, J.M.; Ferreira, J.A.; van Wyk, J.D. Sliding transformers for linear contactless power delivery. *IEEE Trans. Ind. Electron.* **1997**, *44*, 774–779.
29. Belagoune, S.; Bali, N.; Bakdi, A.; Baadji, B.; Atif, K. Deep learning through LSTM classification and regression for transmission line fault detection. diagnosis and location in large-scale multi-machine power systems. *Measurement* **2021**, *177*, 109330.
30. Trivedi, N.B.; Vitorello, Í.; Kabata, W.; Dutra, S.L.G.; Padilha, A.L.; Bologna, M.S.; de Pádua, M.B.; Soares, A.P.; Luz, G.S.; Pinto, F.D.A.; et al. Geomagnetically induced currents in an electric power transmission system at low latitudes in Brazil: A case study. *Space Weather* **2007**, *5*, 1–10.
31. Safabakhsh, R. Processing infrared images for high speed power line inspection. In Proceedings of the Thermosense XI: International Conference on Thermal Infrared Sensing for Diagnostics and Control, Orlando, FL, USA, 21 March 1989; Volume 1094, pp. 75–83.
32. Sawada, J.; Kusumoto, K.; Maikawa, Y.; Munakata, T.; Ishikawa, Y. A mobile robot for inspection of power transmission lines. *IEEE Trans. Power Deliv.* **1991**, *6*, 309–315.
33. Peungsungwal, S.; Pungsiri, B.; Chamnongthai, K.; Okuda, M. Autonomous robot for a power transmission line inspection. In Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (Cat. No. 01CH37196), Sydney, Australia, 6–9 May 2001; Volume 3, pp. 121–124.
34. Xiong, X. Automation recognition of obstacles on power transmission line. *Chin. High Technol. Lett.* **2005**, *15*, 39–42.
35. Fu, S.F.; Wang, H.G.; Fang, L.J.; Jiang, Y. On obstacle-navigation control of inspection robot for the extra-high voltage power transmission line. *Robot* **2005**, *2*, 341–346.
36. Li, J.; Sun, C.; Sima, W.; Yang, Q.; Hu, J. Contamination level prediction of insulators based on the characteristics of leakage current. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2009**, *25*, 417–424.
37. Li, J.; Sima, W.; Sun, C.; Sebo, S.A. Use of leakage currents of insulators to determine the stage characteristics of the flashover process and contamination level prediction. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* **2010**, *17*, 490–501.
38. Szafrowski, D.; Gumieła, J.; Wróblewski, Z. Measuring analysis of the distribution of magnetic field free of errors resulting from fluctuation of currents. *People* **2017**, *13*, 14.
39. Saito, S.; Fujii, Y.; Yokoyama, K.; Hamasaki, J.; Ohno, Y. 8C1-The laser current transformer for ehv power transmission lines. *IEEE J. Quantum Electron.* **1966**, *2*, 255–259.
40. Gazquez, J.A.; Garcia, R.M.; Castellano, N.N.; Fernandez-Ros, M.; Perea-Moreno, A.J.; Manzano-Agugliaro, F. Applied engineering using Schumann resonance for earthquakes monitoring. *Appl. Sci.* **2017**, *7*, 1113.

41. Portillo, F.; Alcayde, A.; García, R.M.; Novas, N.; Gázquez, J.A.; Fernández-Ros, M. Grid Frequency Measurement through a PLHR Analysis Obtained from an ELF Magnetometer. *Sensors* **2022**, *22*, 2954.
42. Calabrò, E.; Magazù, S. Monitoring electromagnetic field emitted by high frequencies home utilities. *J. Electromagn. Anal. Appl.* **2010**, *2*, 2771.
43. Wassef, K.; Varadan, V.V.; Varadan, V.K. Magnetic field shielding concepts for power transmission lines. *IEEE Trans. Magn.* **1998**, *34*, 649–654.
44. Xu, X.; Guo, P.; Lu, M.; Zhao, S.; Xu, Z. Optimized portable unilateral magnetic resonance sensor for assessing the aging status of silicon rubber insulators. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **2020**, *70*, 6000211.
45. Isokorpi, J.; Keikko, T.; Korpinen, L. Power frequency electric fields at a 400 kV substation. In Proceedings of the 1999 Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, London, UK, 23–27 August 1999; Volume 2, pp. 107–110. [
46. Ehtaiba, J.M.; Elhabashi, S.M. Magnetic field around the new 400kV OH power transmission lines in Libya. In Proceedings of the Wseas International Conference on Environment, Medicine and Health Sciences; Penang, Malaysia, 23–25 March 2010; pp. 134–139, ISBN 9789604741595.
47. Yadav, A.; Dash, Y. An overview of transmission line protection by artificial neural network: Fault detection, fault classification, fault location and fault direction discrimination. *Adv. Artif. Neural Syst.* **2014**, 230382.
48. Stringfield, T.W.; Marihart, D.J.; Stevens, R.F. Fault location methods for overhead lines. *Trans. Am. Inst. Electr. Eng. Part III Power Appar. Syst.* **1957**, *76*, 518–529.
49. Takagi, T.; Yamakoshi, Y.; Baba, J.; Uemura, K.; Sakaguchi, T. A new algorithm of an accurate fault location for ehv/uhv transmission lines: Part i-fourier transformation method. *IEEE Trans. Power Appar. Syst.* **1981**, *PAS-100*, 1316–1323.
50. Takagi, T.; Yamakoshi, Y.; Baba, J.; Uemura, K.; Sakaguchi, T. A new algorithm of an accurate fault location for EHV/UHV transmission lines: Part II-Laplace transform method. *IEEE Trans. Power Appar. Syst.* **1982**, *PAS-101*, 564–573.
51. Magnago, F.H.; Abur, A. Fault location using wavelets. *IEEE Trans. Power Deliv.* **1998**, *13*, 1475–1480.
52. Jiang, J.-A.; Yang, J.-Z.; Lin, Y.-H.; Liu, C.-W.; Ma, J.-C. An adaptive PMU based fault detection/location technique for transmission lines. I. Theory and algorithms. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2000**, *15*, 486–493.
53. Chen, Z.; Maun, J.C. Artificial neural network approach to single-ended fault locator for transmission lines. *IEEE Trans. Power Syst.* **2000**, *15*, 370–375.
54. Wang, J.; Wang, J.; Shao, J.; Li, J. Image recognition of icing thickness on power transmission lines based on a least squares Hough transform. *Energies* **2017**, *10*, 415.
55. Pohlman, J.C.; Landers, P. Present state-of-the-art of transmission line icing. *IEEE Trans. Power Appar. Syst.* **1982**, *PAS-101*, 2443–2450.
56. Laforte, J.L.; Allaire, M.A.; Laflamme, J. State-of-the-art on power line de-icing. *Atmos. Res.* **1998**, *46*, 143–158.
57. Makkonen, L. Modeling power line icing in freezing precipitation. *Atmos. Res.* **1998**, *46*, 131–142.
58. Sun, W.; Wang, C. Staged icing forecasting of power transmission lines based on icing cycle and improved extreme learning machine. *J. Clean. Prod.* **2019**, *208*, 1384–1392.
59. Chen, S.; Dai, D.; Huang, X.; Sun, M. Short-term prediction for transmission lines icing based on bp neural network. In Proceedings of the 2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Shanghai, China, 27–29 March 2012; pp. 1–5.
60. Teegala, S.K.; Singal, S.K. Economic analysis of power transmission lines using interval mathematics. *J. Electr. Eng. Technol.* **2015**, *10*, 1471–1479.
61. Design Codes, Standards, and Manuals Used in Power Line Systems' Software. Available online: <http://www.powline.com/products/designcodes.html> (accessed on 1 July 2022).
62. Kazerooni, A.K.; Mutale, J. Transmission network planning under security and environmental constraints. *IEEE Trans. Power Syst.* **2010**, *25*, 1169–1178.

63. Song, Y.H.; Yu, I.-K. Dynamic load dispatch with voltage security and environmental constraints. *Electr. Power Syst. Res.* **1997**, *43*, 53–60.
64. Gao, W.; Zhou, R.; Zhao, D. Heuristic failure prediction model of transmission line under natural disasters. *IET Gener. Transm. Distrib.* **2017**, *11*, 935–942.
65. Wang, Y.; Chen, C.; Wang, J.; Baldick, R. Research on resilience of power systems under natural disasters—A review. *IEEE Trans. Power Syst.* **2015**, *31*, 1604–1613.
66. Hou, H.; Yu, S.; Wang, H.; Xu, Y.; Xiao, X.; Huang, Y.; Wu, X. A hybrid prediction model for damage warning of power transmission line under typhoon disaster. *IEEE Access* **2020**, *8*, 85038–85050.
67. Abd-Elaal, E.S.; Mills, J.E.; Ma, X. A review of transmission line systems under downburst wind loads. *J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn.* **2018**, *179*, 503–513.
68. Banik, S.S.; Hong, H.P.; Kopp, G.A. Assessment of tornado hazard for spatially distributed systems in southern Ontario. *J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn.* **2008**, *96*, 1376–1389.
69. Zhang, P.; Song, G.; Li, H.-N.; Lin, Y.-X. Seismic control of power transmission tower using pounding TMD. *J. Eng. Mech.* **2013**, *139*, 1395–1406.
70. Wang, C.; Feng, K.; Zhang, H.; Li, Q. Seismic performance assessment of electric power systems subjected to spatially correlated earthquake excitations. *Struct. Infrastruct. Eng.* **2019**, *15*, 351–361.
71. Kudzys, A. Safety of power transmission line structures under wind and ice storms. *Eng. Struct.* **2006**, *28*, 682–689.
72. Yang, H.; Xu, W.; Zhao, J.; Wang, D.; Dong, Z. Predicting the probability of ice storm damages to electricity transmission facilities based on ELM and Copula function. *Neurocomputing* **2011**, *74*, 2573–2581.
73. Whitehead, J.T.; Chisholm, W.A.; Anderson, J.G.; Clayton, R.; Elahi, H.; Eriksson, A.J.; Renowden, J.R. Estimating lightning performance of transmission line 2—Updates to analytical models. *IEEE Trans. Power Deliv.* **1993**, *8*, 1254–1267.
74. Rachidi, F. A review of field-to-transmission line coupling models with special emphasis to lightning-induced voltages on overhead lines. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.* **2012**, *54*, 898–911.
75. Fu, X.; Li, H.-N.; Li, G.; Dong, Z.-Q.; Zhao, M. Failure analysis of a transmission line considering the joint probability distribution of wind speed and rain intensity. *Eng. Struct.* **2021**, *233*, 111913.
76. Zhou, C.; Liu, Y.; Rui, X. Mechanism and characteristic of rain-induced vibration on high-voltage transmission line. *J. Mech. Sci. Technol.* **2012**, *26*, 2505–2510.
77. Choobineh, M.; Mohagheghi, S. Power grid vulnerability assessment against wildfires using probabilistic progression estimation model. In Proceedings of the 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, USA, 17–21 July 2016; pp. 1–5.
78. Manzano-Agugliaro, F.; Pérez-Aranda, J.; de La Cruz, J.L. Methodology to obtain isochrones from large wildfires. *Int. J. Wildland Fire* **2014**, *23*, 338–349.
79. Manzano-Agugliaro, F.; Alcayde, A.; Montoya, F.G.; Montero, M.A. Sistema on line para la medicion de la temperatura en el tendido de vanos de alta tensión. *DYNA* **2011**, *86*, 89–94.
80. Beryozkina, S.; Sauhats, A.; Vanzovichs, E. Modeling of the load current of the transmission line. In Proceedings of the 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Rome, Italy, 8–11 May 2011; pp. 1–4.
81. Schlapfer, M.; Mancarella, P. Probabilistic modeling and simulation of transmission line temperatures under fluctuating power flows. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2011**, *26*, 2235–2243.
82. Lu, M.L.; Kieloch, Z. Accuracy of transmission line modeling based on aerial LiDAR survey. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2008**, *23*, 1655–1663.
83. He, S.; Yang, D.; Li, W.; Xia, Y.; Tang, Y. Detection and fault diagnosis of power transmission line in infrared image. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems (CYBER), Shenyang, China, 8–12 June 2015; pp. 431–435.
84. Gatta, F.M.; Iliceto, F. Analysis of some operation problems of half-wave length power transmission lines. In Proceedings of the 3D Africon Conference. Africon'92

- Proceedings (Cat. No. 92CH3215), Ezulwini Valley, Switzerland, 22–24 September 1992; pp. 59–64.
85. Wolf, A.A.; Shcherbachev, O.V. On normal working conditions of compensated lines with half-wave characteristics. *Elektrichestvo* **1940**, *1*, 147–158.
  86. Yarong, G.; Zexin, Z.; Xingguo, W.; Huanzhang, L. Time difference method to calculate the optimal differential point of half-wavelength AC transmission line differential protection. In Proceedings of the 2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), Chengdu, China, 21–24 May 2019; pp. 1193–1198.
  87. Liu, Y.; Tian, H.; Liu, Z.; Qin, X. Aspects of ultra-high voltage half-wavelength power transmission technology. *Glob. Energy Interconnect.* **2018**, *1*, 96–102.
  88. Cao, P.; Shu, H.; Yang, B.; An, N.; Qiu, D.; Teng, W.; Dong, J. Voltage distribution-based fault location for half-wavelength transmission line with large-scale wind power integration in China. *Energies* **2018**, *11*, 593.
  89. Xu, Z.; Yang, J.; Sheng, N. Infeasibility analysis of half-wavelength transmission systems. *Energies* **2018**, *11*, 1790.
  90. Doan, D.R.; Derer, R.M. Arc flash calculations for a 13 MW photovoltaic system. In Proceedings of the 2014 IEEE IAS Electrical Safety Workshop, San Diego, CA, USA, 4–7 February 2014; pp. 1–7.
  91. Dudurych, I.M.; Gallagher, T.J.; Rosolowski, E. Arc effect on single-phase reclosing time of a UHV power transmission line. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2004**, *19*, 854–860.
  92. Jamali, S.; Parham, A. New approach to adaptive single pole auto-reclosing of power transmission lines. *IET Gener. Transm. Distrib.* **2010**, *4*, 115–122.
  93. Jannati, M.; Vahidi, B.; Hosseinian, S.H.; Ahadi, S.M. A novel approach to adaptive single phase auto-reclosing scheme for EHV transmission lines. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* **2011**, *33*, 639–646.
  94. Vahidi, B.; Jannati, M.; Hosseinian, S.H. A novel approach to adaptive single phase autoreclosure scheme for EHV power transmission lines based on learning error function of ADALINE. *Simulation* **2008**, *84*, 601–610.
  95. Dudurych, I.; Rosolowski, E. Analysis of overvoltages in overhead ground wires of extra high voltage (EHV) power transmission line under single-phase-to-ground faults. *Electr. Power Syst. Res.* **2000**, *53*, 105–111.
  96. Wu, Q.H.; Zhang, J.F.; Zhang, D.J. Ultra-high-speed directional protection of transmission lines using mathematical morphology. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2003**, *18*, 1127–1133.
  97. Gautam, S.; Brahma, S.M. Overview of mathematical morphology in power systems—A tutorial approach. In Proceedings of the 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Calgary, AB, Canada, 26–30 July 2009; pp. 1–7.
  98. Silveira, P.M.; Seara, R.; Zurn, H.H. An approach using wavelet transform for fault type identification in digital relaying. In Proceedings of the 1999 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Conference Proceedings (Cat. No. 99CH36364), Edmonton, AB, Canada, 18–22 July 1999; Volume 2, pp. 937–942.
  99. Akinci, T.C.; Ekren, N.; Seker, S.; Yildirim, S. Continuous wavelet transform for ferroresonance phenomena in electric power systems. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* **2013**, *44*, 403–409.
  100. Jiang, J.-A.; Chuang, C.-L.; Wang, Y.-C.; Hung, C.-H.; Wang, J.-Y.; Lee, C.-H.; Hsiao, Y.-T. A hybrid framework for fault detection, classification, and location—Part I: Concept, structure, and methodology. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2011**, *26*, 1988–1998.
  101. Liu, Z.; Han, Z.; Zhang, Y.; Zhang, Q. Multiwavelet packet entropy and its application in transmission line fault recognition and classification. *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.* **2014**, *25*, 2043–2052.
  102. Izykowski, J.; Molag, R.; Rosolowski, E.; Saha, M.M. Accurate location of faults on power transmission lines with use of two-end unsynchronized measurements. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2006**, *21*, 627–633.
  103. Wong, S.Y.; Choe, C.W.C.; Goh, H.H.; Low, Y.W.; Cheah, D.Y.S.; Pang, C. Power transmission line fault detection and diagnosis based on artificial intelligence approach and its development in uav: A review. *Arab. J. Sci. Eng.* **2021**, *46*, 9305–9331.



## CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES.

104. Sadeh, J.; Hadjsaid, N.; Ranjbar, A.M.; Feuillet, R. Accurate fault location algorithm for series compensated transmission lines. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2000**, *15*, 1027–1033.
105. Gururajapathy, S.S.; Mokhlis, H.; Illias, H.A. Fault location and detection techniques in power distribution systems with distributed generation: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *74*, 949–958.
106. Singh, S.; Vishwakarma, D.N. Intelligent techniques for fault diagnosis in transmission lines—An overview. In Proceedings of the 2015 International Conference on Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE), Noida, India, 12–13 March 2015; pp. 280–285.
107. Hagh, M.T.; Razi, K.; Taghizadeh, H. Fault classification and location of power transmission lines using artificial neural network. In Proceedings of the 2007 International Power Engineering Conference (IPEC 2007), Singapore, 3–6 December 2007; pp. 1109–1114.
108. Hasan, A.N.; Eboule, P.P.; Twala, B. The use of machine learning techniques to classify power transmission line fault types and locations. In Proceedings of the 2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) & 2017 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP), Brasov, Romania, 25–27 May 2017; pp. 221–226.



***CAPÍTULO 3***

---

**MATERIAL Y MÉTODOS**

<b>CAPÍTULO 3. MATERIAL Y MÉTODOS. ....</b>	<b>69</b>
<b>3.1. Introducción .....</b>	<b>69</b>
<b>3.2. Equipos empleados en las campañas de toma de datos, trabajo de campo. ....</b>	<b>69</b>
3.2.1. Equipo GPS, marca leica, modelo GS14 GNSS. ....	69
3.2.2. Dron DJI Matrice 210 V2 RTLK, cámara X5S.....	82
3.2.3. Distanciómetro láser marca Leica, modelo disto A8.....	89
<b>3.3. Equipos informáticos y software empleados. ....</b>	<b>91</b>
3.3.1. Equipo informático. ....	91
3.3.2. Software de procesado para el control geométrico.....	91
3.3.3. Programas CAD y MDT.....	94
3.3.4. Programa Postemel y Andelec.....	95
3.3.5. Software fotogrametría PIX4D. ....	96
<b>3.4. Metodología. ....</b>	<b>98</b>
3.4.1. Introducción.....	98
3.4.2. Definición de los parámetros a obtener .....	98
3.4.3. Definición de los indicadores de precisión y exactitud .....	100
3.4.4. Definición de los métodos estadísticos empleados. ....	100
3.4.4.1. Regresión lineal simple .....	101
3.4.4.2. Regresión lineal múltiple.....	102
<b>3.5. Referencias bibliográficas. ....</b>	<b>104</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1. Sistema GPS Leica.....	70
Figura 3. 2. Base del GPS, marca leica, modelo 1200.....	71
Figura 3. 3. Antena receptora y base nivelante.....	72
Figura 3. 4. Modem-receptor y radio.....	72
Figura 3. 5. Batería y medidor de altura.....	73
Figura 3. 6. Móvil del GPS, marca leica, modelo 1200.....	73
Figura 3. 7. PDA y nivel para bastón.....	74
Figura 3. 8. Radio-antena del equipo móvil.....	74
Figura 3. 9. Antena receptora GPS.....	75
Figura 3. 10. Imagen con las 22 estaciones que componen la RAP.....	76
Figura 3. 11. Laser marca leica, modelo disto A8.....	89
Figura 3. 12. Medición con láser de la altura de un poste eléctrico.....	90
Figura 3. 13. Descripción de la metodología.....	98
Figura 3. 14. Esquema de la comparación de las LAT en función del tipo de MDT empleado para su diseño.....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1. Especificaciones técnicas equipo leica 1200.....	70
Tabla 3. 2. Especificaciones técnicas del dispositivo de vuelo.....	83
Tabla 3. 3. Especificaciones Técnicas del sistema de visión inferior.....	84
Tabla 3. 4. Especificaciones técnicas sistema de detección de infrarrojos superior.....	84
Tabla 3. 5. Especificaciones técnicas control remoto (GL900A).....	84
Tabla 3. 6. Especificaciones técnicas sistema de visión frontal.....	84
Tabla 3. 7. Batería de Vuelo Inteligente (TB55 - 7660 mAh - 22.8 V).....	85
Tabla 3. 8. Especificaciones generales sistema de visión.....	86
Tabla 3. 9. Especificaciones técnicas cámara fotogrametría.....	88
Tabla 3. 10. Especificaciones estabilizador de la cámara.....	88
Tabla 3. 11. Indicadores de precisión.....	100

## **CAPÍTULO 3. MATERIAL Y MÉTODOS.**

### **3.1. Introducción**

En lo que se refiere a los equipos empleados, se ha utilizado un equipo GPS (Leica, modelo GS14 GNSS) para la toma de todos los puntos que intervienen en las 10 líneas eléctricas que forma para de la presente tesis. Se han utilizado las bases de referencia de la red andaluza de posicionamiento (RAP), empleadas éstas tan sólo para una correcta georreferenciación de los trabajos realizados.

Para la medición de la altura de los apoyos de las líneas de alta tensión existentes, se ha empleado un distanciómetro láser, leica, modelo disto A8.

Para la generación de las ortofotos se ha usado para realizar un vuelo un dron DJI Matrice 210 V2 RTK, con cámara DJI X5S.

### **3.2. Equipos empleados en las campañas de toma de datos, trabajo de campo.**

#### **3.2.1. Equipo GPS, marca leica, modelo GS14 GNSS.**

El equipo GS14 GNSS es un dispositivo GPS (Global Positioning System) fabricado por la compañía Leica. Es un equipo de posicionamiento global que utiliza señales emitidas por satélites para determinar la posición, velocidad y tiempo de un dispositivo receptor. El modelo GS14 es una estación de posicionamiento de alta precisión que utiliza tecnología GNSS (Sistema de Posicionamiento Global) para recibir señales de GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou. Esto permite que el equipo tenga una mayor precisión y disponibilidad en áreas donde la señal del GPS solo puede ser débil. Además, el GS14 es un equipo de campo portátil, con una pantalla táctil y un teclado numérico, lo que lo hace fácil de manejar y utilizar. Además, cuenta con un software de procesamiento de datos y una interfaz de usuario intuitiva, lo que lo hace fácil de utilizar tanto para profesionales como para usuarios novatos.

Características operacionales del receptor:

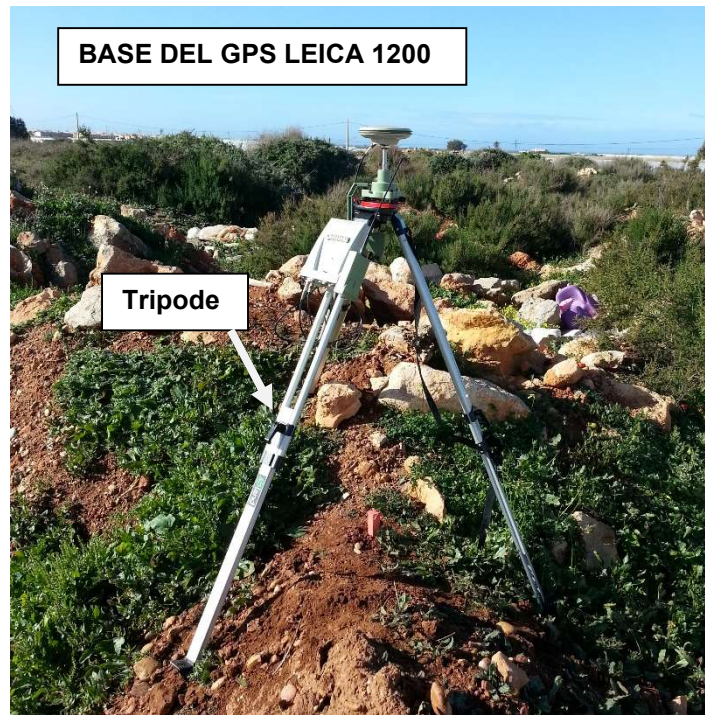
<b>RENDIMIENTO GNSS</b>		
Tecnología GNSS	Leica SmartTrack	Seguimiento avanzado de las cuatro constelaciones
Leica SmartCheck	Verificación continua de la solución RTK	Fiabilidad del 99,99 %
Seguimiento de señales		GPS (L1, L2, L2C), Glonass (L1, L2), BeiDou (B1, B2), Galileo QZSS <sup>1</sup> , SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN)
Número de Canales		120 (hasta 60 satélites simultáneamente en dos frecuencias)
<b>RENDIMIENTO DE MEDICIÓN Y PRECISIONES<sup>2</sup></b>		
Tiempo de inicialización		Normalmente 4 segundos
Tiempo Real cinemático	Línea base individual Red RTK	Hz 8 mm + 1 ppm/V 15 mm + 1 ppm Hz 8 mm + 0,5 ppm/V 15 mm + 0,5 ppm
Postproceso	Estático (fase) con observaciones largas Estático y estático rápido (fase)	Hz 3 mm + 0,1 ppm/V 3,5 mm + 0,4 ppm Hz 3 mm + 0,5 ppm/V 5 mm + 0,5 ppm
Código diferencial	DGPS / RTCM	Típicamente 25 cm
<b>COMUNICACIONES</b>		
Puertos de comunicaciones	Lemo Bluetooth®	USB y RS232 serie Bluetooth® v2.00 + EDR, clase 2
Protocolos de Comunicación	Protocolos de datos RTK Salida NMEA Red RTK	Leica, Leica 4G, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2 MSM NMEA 0183 V 4.00 y propietario Leica VRS, FKP, iMAX, MAC (RTCM SC 104)
Canales de datos integrados	Módems CDMA / 3,75 G GSM / UMTS Radio módem	Antena interna totalmente integrada Antena externa integrada de recepción y transmisión 403 - 470 MHz, potencia de salida de 1 W
Canales de datos externos		GSM / GPRS / UMTS / CDMA y UHF / VHF modems
<b>GENERAL</b>		
Controlador de campo y software	Software Leica SmartWorx Viva	Controlador de campo Leica CS10 y CS15.
Interfaz de usuario	Botones y LEDs Web server	Botones de encendido/apagado y de función, 7 LEDs de estado Información de estado completa y opciones de configuración
Registro de datos	Almacenamiento Tipo de datos y tasa de registro	Tarjeta microSD extraíble, 8 GB Datos brutos GNSS Leica y datos RINEX de hasta 20 Hz
Gestión de energía	Fuente de alimentación interna Alimentación externa Autonomía de trabajo <sup>3</sup>	Batería de Li-Ion intercambiable (2.6 Ah / 7.4 V) Nominal 12 V DC, rango 10.5 - 28 V DC 7 h de recepción de datos (Rx) con radio interna, 5 h de transmisión de datos (Tx) con radio interna, 6 h de recepción/transmisión de datos con módem interno
Peso y Dimensiones	Peso Diámetro y Antura	0,93 kg (GS14) / 2,90 kg en modo bastón RTK 190 mm x 90 mm

Tabla 3. 1. Especificaciones técnicas equipo leica 1200.



Figura 3. 1. Sistema GPS Leica

En las siguientes imágenes (figuras 3.3 a 3.10), se ilustran y se definen cada uno de los componentes de los que constan la base y el móvil del equipo GPS, marca leica 1200.



*Figura 3. 2. Base del GPS, marca leica, modelo 1200.*



**Antena receptora GPS**

**Base nivelante**

Figura 3. 3. Antena receptora y base nivelante.



**Modem-receptor (GX1200)**

**Radio (Satellite 3AS)**

Figura 3. 4. Modem-receptor y radio.





Figura 3. 5. Batería y medidor de altura.



Figura 3. 6. Móvil del GPS, marca leica, modelo 1200.

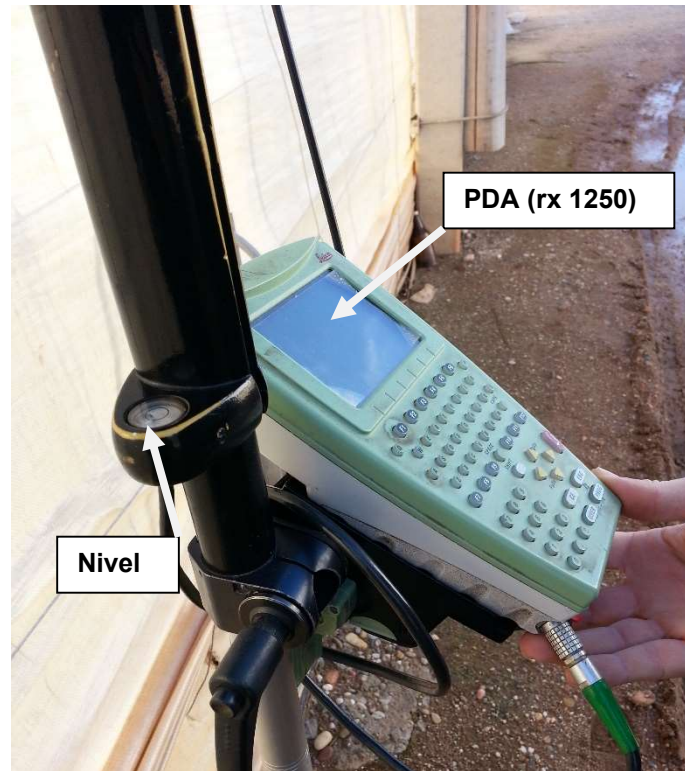


Figura 3. 7. PDA y nivel para bastón.



Figura 3. 8. Radio-antena del equipo móvil.



*Figura 3. 9. Antena receptora GPS.*

#### Calibración con bases de referencia de la RAP.

La medición ha sido georreferenciada con bases de la RAP (Red de Andalucía de Posicionamiento), con esto conseguimos que todo el levantamiento topográfico quede en coordenadas absolutas. Con el posicionamiento en absoluto que se obtiene directamente de la base del equipo GPS bifrecuencia se obtienen errores de entre (1-3 metros), no siendo suficiente la precisión obtenida, por lo que se emplean las bases de la RAP.

La RAP es una red de 22 estaciones permanentes GPS que cubren homogéneamente Andalucía con distancias máximas entre estaciones de 100 Km (Figura nº 3.11), permite obtener correcciones diferencial en tiempo real y en coordenadas absolutas. Esta red crea un marco geodésico de referencia único y estable para Andalucía requerido por el ICA para sus labores cartográficas, pero además ofrece un servicio de descarga de los ficheros RINEX (servicio RAP-FTP) recopilados por cada estación para cálculos de post-proceso y una serie de servicios de envío de correcciones diferenciales (servicios RAP-RTK, RAP-RDS, RAP-GSM y RAP-IP) para mejorar el posicionamiento en tiempo real de cualquier usuario.

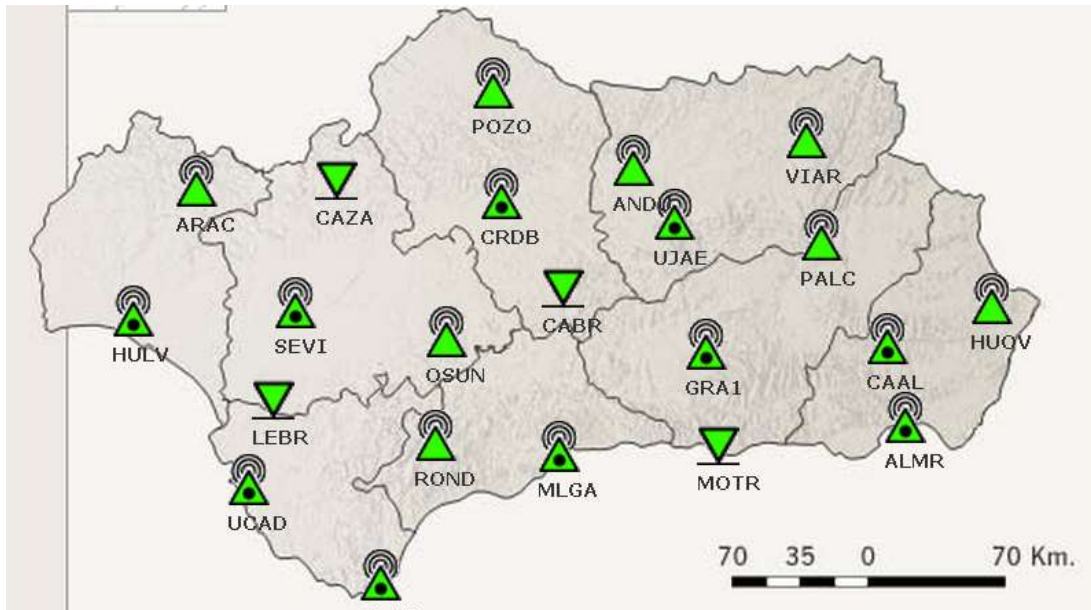


Figura 3. 10. Imagen con las 22 estaciones que componen la RAP.

Los servicios en tiempo real son la clave de este servicio público. Este tipo de red es única en Europa pues no existe ninguna red que albergue todos estos sistemas de envíos de correcciones simultáneamente.

Servicios de correcciones en tiempo real. Sistemas RAP-RDS, RAP-GSM, RAP-IP y RAP-RTK.

La RAP clasifica en cuatro los servicios cuyos nombres están relacionados con el medio que se emplea para hacer llegar las correcciones. Así distinguimos la RAP-RDS que emplea como medio la subportadora RDS de la radio, la RAP-GSM de envío de correcciones vía teléfono móvil, la RAP-IP que emplea Internet como medio de transmisión y por último la RAP-RTK cuyo nombre deriva de las técnicas RTK que emplean las marcas de equipos GPS para el envío de correcciones vía radio.

El sistema empleado para el presente informe es el RAP-IP.

Las bases de la RAP empleadas para la georreferenciación de las 16 líneas eléctricas han sido las bases de Huerca Overa, Calar Alto y Almería situadas las 3 en la provincia de Almería, y las bases de Motril y Granada en la provincia de Granada. Las fichas técnicas de las 5 bases de la RAP empleadas en este trabajo se detallan a continuación, (figuras 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, y 3.16).


## RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO

### Estación permanente de Almería (ALMR)

(Fecha última actualización: 28/04/2010)



Instituto de Cartografía de Andalucía  
CONSEJERÍA DE VIVIENDA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



Laboratorio de Astronomía,  
Geodesia y Cartografía  
Universidad de Cádiz


<b>Vértice</b>	ALMR		
<b>Nº de monolito EUREF</b>	13437M002	<b>ID de red</b>	0007
<b>Ubicación</b>	Hospital Torrecárdenas Paraje Torrecárdenas, sin. C.P.: 04009 – Almería.		
<b>Receptor</b>	Leica GRX 1200 Pro	<b>Antena</b>	LEIAX1202 NONE
<b>Estación meteorológica</b>	Faro científico MET3	<b>Registros</b>	Presión, humedad y temperatura
<b>Coordenadas cartesianas ETRS89</b>	X = 5104673.974 m	Y = -217597.900 m	Z = 3805329.629 m
<b>Coordenadas geodésicas ETRS89</b>	$\Phi = 35^{\circ} 51' 45.6004''$ N	$\lambda = 2^{\circ} 26' 27.1690''$ W	h = 198.77 m
<b>Coordenadas UTM ETRS89</b>	X = 549937.82 m	Y = 4079783.61 m	<b>Huso</b> 30
<b>Tipo de construcción</b>	Soporte metálico cilíndrico de 0.8 m. de altura y 0.09 m de diámetro, dotado con tornillo geodésico y soldada directamente a la estructura del edificio.		
<b>Institución responsable</b>	Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA). Consejería de Obras Públicas y Transportes. C/ San Gregorio, Nº 7. 41071 Sevilla. España.		
<b>Control geodésico</b>	Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía (LAGC). Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias. Campus de Puerto Real. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz). España.		
<b>Correo electrónico y páginas WEB</b>	ICA: cartografia@juntadeandalucia.es LAGC: geodesia@uca.es	<b>Web RAP:</b> <a href="http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/redandaluzadeposicionamiento/">http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/redandaluzadeposicionamiento/</a> <b>Web LAGC:</b> <a href="http://www.uca.es/grup-invest/geodesia/">http://www.uca.es/grup-invest/geodesia/</a>	



ALMR



ALMR



## RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO

### Estación permanente de Calar Alto (CAAL)

(Fecha última actualización: 01/09/2007)



Instituto de Cartografía de Andalucía  
CONSEJERÍA DE VIVIENDA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



Laboratorio de Astronomía,  
Geodesia y Cartografía  
Universidad de Cádiz

<b>Vértice</b>	CAAL		
<b>Nº de monolito EUREF</b>	13474M001	<b>ID de red</b>	0015
<b>Ubicación</b>	Centro astronómico Hispano-Alemán. Ctra. De Calar Alto, s/n. (Pasado el núcleo urbano de Gergal). C.P.: 04080 – Gergal (Almería).		
<b>Receptor</b>	Leica GRX 1200 Pro	<b>Antena</b>	LEIAT504 LEI8
<b>Coordenadas cartesianas ETRS89</b>	X = 5081921.525 m	Y = -226112.457 m	Z = 3838297.598 m
<b>Coordenadas geodésicas ETRS89</b>	$\Phi = 37^{\circ} 13' 15.9239''$ N	$\lambda = 2^{\circ} 32' 51.3935''$ W	h = 2210.67m
<b>Coordenadas UTM ETRS89</b>	X = 540135.22 m	Y = 4119494.90 m	Muro 30
<b>Tipo de construcción</b>	Soporte metálico cilíndrico de 1.80 m. de altura y 0.09 m de diámetro sobre pilar geodésico construido sobre roca.		
<b>Institución responsable</b>	Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA). Consejería de Obras Públicas y Transporte. C/ San Gregorio, Nº 7. 41071 Sevilla. España.		
<b>Control geodésico</b>	Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía (LAGC). Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias. Campus de Puerto Real. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz). España.		
<b>Correo-electrónico y páginas WEB</b>	ICA: cartografia@juntadeandalucia.es LAGC: geodesia@uca.es	<b>Web RAP:</b> <a href="http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/redandaluzadeposicionamiento/">http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/redandaluzadeposicionamiento/</a> <b>Web LAGC:</b> <a href="http://www.uca.es/grup-investig/geodesia/">http://www.uca.es/grup-investig/geodesia/</a>	



## RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO

### Estación permanente de Huercal-Overa (HUOV)

(Fecha última actualización: 01/09/2007)



Instituto de Cartografía de Andalucía  
CONSEJERÍA DE VIVIENDA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



LABORATORIO DE ASTRONOMÍA,  
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA  
Universidad de Cádiz

<b>Vértice</b>	HUOV		
<b>Nº de monolito EUREF</b>	13479M001	<b>ID de red</b>	0022
<b>Ubicación</b>	Hospital Comarcal La Inmaculada Avda. Doctora Parra, s/n. C.P.: 04600 - Huercal-Overa (Almería).		
<b>Receptor</b>	Leica GRX 1200 Pro	<b>Antena</b>	LEIAX1202 NONE
<b>Coordenadas cartesianas ETRS89</b>	X = 5070413.844 m	Y = -171934.990 m	Z = 3853104.551 m
<b>Coordenadas geodésicas ETRS89</b>	$\varphi = 37^{\circ} 24' 5.6154'' N$	$\lambda = 1^{\circ} 56' 31.6490'' W$	h = 352.21 m
<b>Coordenadas UTM ETRS89</b>	X = 593629.70 m	Y = 4139945.26 m	Muro 30
<b>Tipo de construcción</b>	Soporte metálico cilíndrico de 0.5 m. de altura y 0.09 m de diámetro, dotado con tornillo geodésico y fijado a un pilar del edificio en la cubierta.		
<b>Institución responsable</b>	Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA). Consejería de Obras Públicas y Transportes. C/ San Gregorio, Nº 7. 41071 Sevilla, España.		
<b>Control geodésico</b>	Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía (LAGC). Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias. Campus de Puerto Real. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz). España.		
<b>Correo-electrónico y páginas WEB</b>	ICA: cartografia@juntadeandalucia.es LAGC: geodesia@uca.es	<b>Web RAP:</b> <a href="http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/redandaluzadeposicionamiento/">http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/redandaluzadeposicionamiento/</a> <b>Web LAGC:</b> <a href="http://www.uca.es/grup-investi/geodesia/">http://www.uca.es/grup-investi/geodesia/</a>	



## RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO

### Estación permanente de Motril (MOTR)

(Fecha última actualización: 27/09/2007)



Instituto de Cartografía de Andalucía  
CONSEJERÍA DE VIVIENDA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



LABORATORIO DE ASTRONOMÍA,  
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA  
Universidad de Cádiz

<b>Vértice</b>	MOTR		
<b>Nº de monolito EUREF</b>	13478M001	<b>ID de red</b>	0021
<b>Ubicación</b>	Hospital General Básico Santa Ana Avenida E. Martín Cuevas, s/n. C.P.: 18600 – Motril (Granada).		
<b>Receptor</b>	Leica GRX 1200 Pro	<b>Antena</b>	LEIAX1202 NONE
<b>Coordenadas cartesianas ETRS89</b>	X = 5106803.442 m	Y = -314181.536 m	Z = 3795723.027 m
<b>Coordenadas geodésicas ETRS89</b>	$\varphi = 36^{\circ} 45' 17.1472''$ N	$\lambda = 3^{\circ} 31' 13.8807''$ W	h = 166.97 m
<b>Coordenadas UTM ETRS89</b>	X = 453537.47 m	Y = 4067794.30 m	Muro 30
<b>Tipo de construcción</b>	Soporte metálico cilíndrico de 1.0 m. de altura y 0.09 m de diámetro, dotado con tornillo geodésico y fijado a un pilar del edificio en la cubierta.		
<b>Institución responsable</b>	Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA). Consejería de Obras Públicas y Transportes. C/ San Gregorio, Nº 7. 41071 Sevilla, España.		
<b>Control geodésico</b>	Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía (LAGC). Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias. Campus de Puerto Real. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz). España.		
<b>Correo-electrónico y páginas WEB</b>	ICA: cartografia@juntadeandalucia.es LAGC: geodesia@uca.es	<b>Web RAP:</b> <a href="http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/redandaluzadeposicionamiento/">http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/redandaluzadeposicionamiento/</a> <b>Web LAGC:</b> <a href="http://www.uca.es/grup-invest/geodesia/">http://www.uca.es/grup-invest/geodesia/</a>	





## RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO

### Estación permanente de Granada (GRA1)

(Fecha última actualización: 17/05/2010)



Instituto de Cartografía de Andalucía  
CONSEJERÍA DE VIVIENDA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



Laboratorio de Astronomía,  
Geodesia y Cartografía  
Universidad de Cádiz

Vértice	GRA1		
Nº de monolito EUREF	13459M002	ID de red	0024
Ubicación	Instituto Andaluz de Geofísica (IAG) Campus Universitario de Cartuja, s/n. C.P.: 18071 – Granada.		
Receptor	Leica GRX 1200 Pro	Antena	LEIAT504 LEIS
Coordenadas cartesianas ETRS89	X = 5077918,014 m	Y = -319155,702 m	Z = 3834700,964 m
Coordenadas geodésicas ETRS89	$\varphi = 37^{\circ} 11' 23,6392''$ N	$\lambda = 3^{\circ} 35' 47,0601''$ W	h = 823,27 m
Coordenadas UTM ETRS89	X = 447056,18 m	Y = 4116105,44 m	Huso 30
Tipo de construcción	Mástil metálico cilíndrico de 0,30 m. de altura y 0,1 m de diámetro, dotado con tornillo geodésico, fijado a plataforma de hormigón, sobre la terraza del edificio.		
Institución responsable	Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA). Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio. C/ San Gregorio, Nº 7, 41071 Sevilla, España.		
Control geodésico	Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía (LAGC). Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias. Campus de Puerto Real. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz). España.		
Correo-electrónico y páginas WEB	ICA: cartografia@juntadeandalucia.es LAGC: geodesia@uca.es	Web RAP: <a href="http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/redandaluzadeposicionamiento/rap/">http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/redandaluzadeposicionamiento/rap/</a> Web LAGC: <a href="http://lagc.uca.es/">http://lagc.uca.es/</a>	



### 3.2.2. Dron DJI Matrice 210 V2 RTK, cámara X5S.

El DJI Matrice 210 V2 RTK es un dron profesional desarrollado por la compañía DJI para aplicaciones de mapeo y topografía, inspección, construcción, agricultura, entre otras. Es una evolución del modelo anterior DJI Matrice 210, tiene características mejoradas y nuevas funciones.

Entre sus características principales, se encuentra su capacidad para volar en condiciones difíciles, ya que cuenta con un sistema de estabilización de vuelo avanzado, resistencia al viento y al polvo, y una estructura robusta. Además, cuenta con un sistema de posicionamiento RTK (Real Time Kinematic) que proporciona una mayor precisión en la posición y velocidad del dron, especialmente útil para aplicaciones de mapeo y topografía.

El Matrice 210 V2 RTK es compatible con una amplia variedad de cámaras y sensores, como la cámara DJI X5S, que es una cámara con una resolución de 20 megapíxeles, capaz de grabar vídeo en 4K. También cuenta con un sistema de inteligencia artificial para evitar obstáculos y un sistema de seguimiento automático para seguir a un objeto o persona en movimiento.

Además, cuenta con una conectividad inalámbrica y de datos para conectarlo a dispositivos externos y transferir datos, y una aplicación móvil para controlar y monitorear el dron desde un dispositivo móvil.

RPU's	
<b>Dimensiones</b>	<b>M210 RTK V2:</b> Desplegado, hélices y tren de aterrizaje incluidos, 883×886×427 mm Desplegado, hélices y tren de aterrizaje excluidos, 722×282×242 mm
<b>Distancia diagonal entre ejes</b>	643 mm
<b>Peso</b>	M210 RTK V2: Aprox. 4.91 kg (con dos baterías TB55)
<b>Peso máx. de despegue</b>	6.14 kg
<b>Carga máx.</b>	M210 V2: 1.34 kg; M210 RTK V2: 1.23 kg
<b>Frecuencia de funcionamiento</b>	2.4000-2.4835 GHz; 5.725-5.850 GHz
<b>PIRE</b>	2.4 GHz: ≤ 26 dBm (FCC); ≤ 20 dBm (CE) 5.8 GHz: ≤ 26 dBm (FCC); ≤ 14 dBm (CE)
<b>Precisión en vuelo estacionario (Modo-P, con GPS)</b>	Vertical: ±0.5 m (1.64 pies) or ±0.1 m (0.33 pies, Sistema de visión inferior activo )

	Horizontal: $\pm 1.5$ m (4.92 pies) o $\pm 0.3$ m (0.98 pies, Sistema de visión inferior activo)
Precisión en vuelo estacionario (D-RTK, M210 RTK V2)	Vertical: $\pm 0.1$ m ( $\pm 0.33$ pies); Horizontal: $\pm 0.1$ m ( $\pm 0.33$ pies)
Velocidad angular máx.	Inclinación: $300^\circ/s$ Giro: $120^\circ/s$
Ángulo de inclinación máx. (Estabilizador inferior doble/superior único)	Modo S: $30^\circ$ ; Modo P: $30^\circ$ (Sistema de visión frontal activado: $25^\circ$ ), Modo A: $30^\circ$
Ángulo de inclinación máx. (Estabilizador inferior único (Conector I))	Modo S: $35^\circ$ ; Modo P: $30^\circ$ (Sistema de visión frontal activado: $25^\circ$ ), Modo A: $30^\circ$
Velocidad máx. en ascenso	5 m/s (16.4 ft/s)
Velocidad máx. en descenso (vertical)	3 m/s (9.8 ft/s)
Velocidad máx. (Estabilizador inferior doble/superior único)	Modo S/ Modo A: 73.8 km/h (45.9 mph); Modo P: 61.2 km/h (38 mph)
Velocidad máx. (Estabilizador inferior único (Conector I))	Modo S/ Modo A: 81 km/h (50.3 mph) Modo P: 61.2 km/h (38 mph)
Altura máx. de servicio sobre el nivel del mar	3000 m (9842 pies, con hélices 1760S)
Resistencia al viento máx.	12 m/s (39.4 ft/s)
Tiempo de vuelo máx. (con dos baterías TB55)	M210 V2: 34 min (sin carga útil), 24 min (peso de despegue: 6.14 kg) M210 RTK V2: 33 min (sin carga útil), 24 min (peso de despegue: 6.14 kg)
Estabilizadores DJI compatibles	Zenmuse X4S/X5S/X7/XT/XT2/Z30
Posibles configuraciones de estabilizador	Estabilizador inferior único, dos estabilizadores inferiores, estabilizador superior único
Protección Ingress	IP43
GNSS	M210 V2: GPS+GLONASS; M210 RTK V2: GPS+GLONASS+BeiDou+Galileo
Temperatura de funcionamiento	De $-20^\circ\text{C}$ a $50^\circ\text{C}$ (de $-4^\circ\text{F}$ a $122^\circ\text{F}$ )

Tabla 3. 2. Especificaciones técnicas del dispositivo de vuelo

Sistema de visión inferior	
Rango de velocidad	<10 m/s (32.8 p/s) a la altura de 2 m (6.56 pies)
Rango de altitud	<10 m (32.8 pies)
Rango de funcionamiento	<10 m (32.8 pies)
Entorno de funcionamiento	Superficies con patrones definidos y una iluminación adecuada (> 15 lux)

Rango de funcionamiento del sensor ultrasónico	0.1 - 5 m (0.33 - 16.4 pies)
Entorno de funcionamiento del sensor ultrasónico	Materiales no absorbentes, superficies rígidas (la moqueta gruesa en interiores reducirá el rendimiento)

Tabla 3. 3. Especificaciones Técnicas del sistema de visión inferior

Sistema de detección de infrarrojos superior	
Rango de detección de obstáculos	0 - 5 m (0 - 16.4 pies)
Campo de visión	±5°
Entorno de funcionamiento	Obstáculos grandes, difusos y reflectantes (reflectividad >10%)

Tabla 3. 4. Especificaciones técnicas sistema de detección de infrarrojos superior

Control remoto (GL900A)	
Frecuencia de funcionamiento	2.4000-2.4835 GHz; 5.725-5.850 GHz
Alcance máx. de transmisión (sin obstáculos, libre de interferencias)	FCC: 8 km (5 millas); CE: 5 km (3.1 millas)
PIRE	2.4 GHz: ≤ 26 dBm (FCC); ≤ 20 dBm (CE) 5.8 GHz: ≤ 26 dBm (FCC); ≤ 14 dBm (CE)
Fuente de alimentación	Batería Inteligente Ampliada (Modelo: WB37 - 4920 mAh - 7.6 V)
Potencia de salida máx.	13 W (no suministrando energía a un monitor)
Fuente de alimentación USB	1 A, 5.2 V (Máx.)
Monitor CrystalSky	DJI CrystalSky 7.85 pulgadas, Resolución: 2048×1536; Brillo: 2000 cd/m <sup>2</sup> ; Sistema operativo: Android 5.1; Memoria: 128 GB ROM
Temperatura de funcionamiento	De -20 °C a 50 °C (de -4 °F a 122 °F)

Tabla 3. 5. Especificaciones técnicas control remoto (GL900A)

Sistema de visión frontal	
Rango de detección de obstáculos	0.7 - 30 cm (2.3 - 98.4 pies)
Campo de visión	Horizontal: 60°; Vertical: 54°
Entorno de funcionamiento	Superficies con patrones definidos y una iluminación adecuada (> 15 lux)

Tabla 3. 6. Especificaciones técnicas sistema de visión frontal

Batería de Vuelo Inteligente (TB55 - 7660 mAh - 22.8 V)	
Capacidad	7660 mAh
Voltaje	22.8 V
Tipo de Batería	LiPo 6S
Energía	174.6 Wh
Peso neto (solo una)	Aprox. 885 g
Temperatura de funcionamiento	De -20 °C a 50 °C (de -4 °F a 122 °F)
Temperatura de carga	de 5 a 40 °C (de 41 a 104 °F)
Potencia de carga máx.	180 W

Tabla 3. 7. Batería de Vuelo Inteligente (TB55 - 7660 mAh - 22.8 V)

La cámara DJI X5S es una cámara fotográfica y de vídeo de alto rendimiento desarrollada por DJI. Es compatible con el dron Matrice 210 V2 RTK y se utiliza principalmente en aplicaciones de mapeo y topografía, inspección, construcción, agricultura, entre otras.

La cámara cuenta con un sensor de imagen de 20 megapíxeles, que permite capturar imágenes de alta resolución y con un gran rango dinámico. Además, cuenta con una lente intercambiable (se pueden usar varios tipos de lentes con esta cámara) y un mecanismo de estabilización de imagen para minimizar el movimiento del dron y obtener imágenes nítidas.

La X5S tiene la capacidad de grabar vídeo en 4K a 30fps, y también tiene un sistema de grabación de vídeo en ráfaga, que permite capturar una serie de fotografías consecutivas para generar vídeo de alta velocidad. Además, cuenta con un sistema de control remoto que permite controlar la cámara a través del dron, para ajustar los parámetros de la cámara, como el enfoque, la exposición, entre otros, durante el vuelo.

La cámara DJI X5S es una herramienta versátil para profesionales de la fotografía y el vídeo, ya que permite capturar imágenes y vídeos de alta calidad desde una perspectiva aérea. Además, es una herramienta valiosa para aplicaciones de mapeo y topografía, inspección, construcción, agricultura, entre otras, ya que permite capturar imágenes de gran detalle y precisión.



Especificaciones técnicas del dispositivo de fotografía:

GENERAL	
Nombre	Zenmuse X5S
Dimensiones	140×98×132 mm
Peso	461 g

Tabla 3. 8. Especificaciones generales sistema de visión

CÁMARA	
Objetivos compatibles	DJI MFT 15mm/1.7 ASPH (con anillo de equilibrado y parasol) Panasonic Lumix 15mm/1.7 (con anillo de equilibrado y parasol) Panasonic Lumix 20mm/1.7 Panasonic Lumix 14-42mm/3.5-5.6 HD Olympus M.Zuiko 12mm/2.0 (con anillo de equilibrado) Olympus M.Zuiko 17mm/1.8 (con anillo de equilibrado) Olympus M.Zuiko 25mm/1.8 Olympus M.Zuiko 45mm/1.8 Olympus M.Zuiko 14-42mm/3.5-5.6 Ez (con anillo de equilibrado) Olympus M.Zuiko 9-18mm/4.0-5.6
Sensor	CMOS, 4/3" Píxeles efectivos: 20.8MP
FOV (campo de visión)	72° (con DJI MFT 15mm/1.7 ASPH )

<b>Resoluciones fotográficas</b>	<p>4:3, 5280×3956 16:9, 5280×2970</p>
<b>Resoluciones de vídeo</b>	<p><b>H.264</b> C4K: 4096×2160 23.976/24/25/29.97/47.95/50/59.94p @100Mbps 4K: 3840×2160 23.976/24/25/29.97/47.95/50/59.94p @100Mbps 4K: 3840×1572 23.976/24/25/29.97p @100Mbps 2.7K: 2720×1530 23.976/24/25/29.97p @80Mbps 47.95/50/59.94p @100Mbps FHD: 1920×1080 23.976/24/25/29.97p @60Mbps 47.95/50/59.94p @80Mbps 119.88p @100Mbps</p> <p><b>H.265</b> C4K: 4096×2160 23.976/24/25/29.97p @100Mbps 4K: 3840×2160 23.976/24/25/29.97p @100Mbps 4K: 3840×1572 23.976/24/25/29.97p @100Mbps 2.7K: 2720×1530 23.976/24/25/29.97p @65Mbps 47.95/50/59.94p @80Mbps FHD: 1920×1080 23.976/24/25/29.97p @50Mbps 47.95/50/59.94p @65Mbps 119.88p @100Mbps</p> <p><b>C-DNG RAW</b> 5.2K: 5280×2972 23.976/24/25/29.97p, up to 4.2Gbps 4K: 4096×2160, 3840×2160 23.976/24/25/29.97p, up to 2.4Gbps 4K: 4096×2160, 3840×2160 50/59.94p, up to 4.0Gbps</p> <p><b>Apple ProRes</b> 5.2K: 5280×2160 23.976/24/25/29.97p, 422 HQ @1.3Gbps 4K: 3840×2160 23.976/24/25/29.97p, 422 HQ @900Mbps 4K: 3840×2160 23.976/24/25/29.97p, 4444 XQ @2.0Gbps</p>
<b>Formatos fotográficos</b>	DNG, JPEG, DNG+JPEG
<b>Formatos de vídeo</b>	SSD: RAW, ProRes SD: MOV, MP4
<b>Modos de funcionamiento</b>	Captura, grabación, reproducción

<b>Modos de fotografía</b>	Disparo único, ráfaga: Disparo de ráfaga de 3/5/7/10/14 fotografías, Horquilla de exposición automática (AEB), 3/5 fotografías en horquilla de exposición a 0.7EV Bias, Intervalo
<b>Modo de exposición</b>	Automático, Manual, Prioridad del obturador, Prioridad de la apertura
<b>Compensación de exposición</b>	±3.0 (incrementos de 1/3)
<b>Modo de medición</b>	Medición con ponderación central, Medición puntual (opción de área de 12x8)
<b>Bloqueo AE</b>	Compatible
<b>Velocidad obturador electrónico</b>	8-1/8000s
<b>Balance de blancos</b>	Automático, soleado, nublado, incandescente, neón Personalizado (2000K - 10000K)
<b>Rango de ISO</b>	100 – 6400 (Vídeo) 100 – 25600 (Foto)
<b>Leyendas de vídeo</b>	Compatible
<b>Antiparpadeo</b>	Auto, 50Hz, 60Hz
<b>PAL/NTSC</b>	Compatible

Tabla 3. 9. Especificaciones técnicas cámara fotogrametría

<b>ESTABILIZADOR</b>	
<b>Rango de vibración angular</b>	±0.01°
<b>Soporte</b>	Desmontable
<b>Rango controlable</b>	Inclinación: +30° a -90°, Giro: ±320°
<b>Rango mecánico</b>	Inclinación: +50° a -140°, Giro: ±330°, Alabeo: +90° a -50°
<b>Velocidad máx. controlable</b>	Inclinación: 90°/s, Giro: 90°/s

Tabla 3. 10. Especificaciones estabilizador de la cámara



### 3.2.3. Distanciómetro láser marca Leica, modelo disto A8.

Para la medición de los apoyos existentes de líneas de alta tensión, se ha empleado un distanciómetro láser marca leica (figura 3.17), modelo disto A8. El láser nos ha permitido medir de una forma rápida y sencilla las características de los apoyos existentes tales como: altura libre, separación de cruceta, ancho de crucetas, cimentaciones, etc., en el caso de remodelación y levantamiento de líneas existentes.

En la figura 3.18, se ilustra una imagen del momento de la medición de la altura libre de un apoyo de una línea de media tensión.



Figura 3. 11. Laser marca leica, modelo disto A8.



*Figura 3. 12. Medición con láser de la altura de un poste eléctrico.*

### 3.3. Equipos informáticos y software empleados.

#### 3.3.1. Equipo informático.

Para el trabajo de oficina se ha utilizado una estación de trabajo de la marca AZKEN, modelo W35, cuyas características se detallan a continuación:

- Doble monitor color de 27".
- 2 Procesador Intel Xeon® CPU E5-2660.(28 núcleos)
- 256 GB de Memoria RAM.
- Tecnología DDR3 RAM (1,066 MHz).
- SSD 512 GB.
- HD 2 TB
- Tarjea grafica: NVIDIA Quadro P5000
- S.O: Windows 10 pro

#### 3.3.2. Software de procesamiento para el control geométrico.

En el mercado existen multitud de software de procesamiento de datos para el control geométrico disponibles en el mercado, algunos de los cuales son:

- AutoCAD Civil 3D: Es un software de diseño civil y topografía desarrollado por Autodesk. Es una herramienta completa para el diseño, el análisis y la documentación de proyectos civiles, que incluye funciones para el control geométrico.
- MicroSurvey STAR\*NET: Es un software de control geométrico para la toma de puntos con estaciones totales y drones, desarrollado por MicroSurvey. Permite el procesamiento de datos de forma automática y manual, y ofrece herramientas para la creación de mapas, perfiles longitudinales y secciones transversales.
- Trimble Business Center (TBC): Es un software de procesamiento de datos de campo desarrollado por Trimble. Es una herramienta completa para el control

geométrico, que incluye funciones para la creación de mapas, diseño de carreteras y procesamiento de datos de nube de puntos.

- GeoSLAM Hub: Es un software de procesamiento de datos para escaneo 3D, desarrollado por GeoSLAM. Es especialmente útil para la documentación de estructuras, edificios y sitios arqueológicos, y ofrece herramientas para el control geométrico y la creación de mapas.
- Leica Infinity: es un software de procesamiento de datos de campo desarrollado por Leica Geosystems. Es una herramienta completa para el control geométrico y la creación de mapas, que incluye funciones para el procesamiento automático y manual de datos, y herramientas para la creación de perfiles longitudinales y secciones transversales.

Es importante tener en cuenta que cada uno de estos software puede tener características y limitaciones diferentes, y se debe evaluar cuál es el mejor para tus necesidades específicas, en la presente tesis se ha optado por trabajar con el software de Autodesk con el intercambio de mediante ficheros csv, donde se almacenan las distintas coordenadas.

Las coordenadas geográficas son un sistema de posicionamiento global que utiliza un sistema de referencia basado en la Tierra. Se componen de dos elementos: la latitud, que es la distancia en grados desde el ecuador hasta el punto en cuestión, y la longitud, que es la distancia en grados desde el meridiano de Greenwich hasta el punto en cuestión. Este sistema de referencia es global, es decir, se utiliza en todo el mundo.

Por otro lado, las coordenadas UTM son un sistema de coordenadas cartesianas utilizado para representar la posición de un punto en la Tierra. Este sistema se divide en 60 zonas longitudinales, cada una de ellas con una proyección transversal de Mercator y un origen común. Cada zona tiene un ancho de 6 grados de longitud y cubre desde 84 grados de latitud norte hasta 80 grados de latitud sur. Cada zona UTM tiene su propio sistema de coordenadas, que se refiere a un punto en la zona con un par de coordenadas en metros, es decir, la distancia en metros desde el origen de la zona hasta el punto en

cuestión. Este sistema de referencia es regional, es decir, se utiliza en un ámbito regional y no es global, ya que cada zona UTM tiene su propio sistema de coordenadas.

Otra diferencia importante es que las coordenadas geográficas se basan en grados, mientras que las coordenadas UTM se basan en metros. Esto significa que las coordenadas geográficas son una medida angular, mientras que las coordenadas UTM son una medida de distancia en metros.

Además, las coordenadas geográficas pueden variar debido a la variación del campo magnético de la Tierra, mientras que las coordenadas UTM son independientes del campo magnético de la Tierra.

Las coordenadas geográficas son un sistema de referencia global basado en grados, que se utiliza para posicionar puntos en todo el mundo, mientras que las coordenadas UTM son un sistema de referencia regional basado en metros, que se utiliza para posicionar puntos dentro de un ámbito regional específico.

Para representar la altura de un punto tenemos que hacer uso de un modelo de geoide o elipsoide. El elipsoide y el geoide se utilizan en conjunto para medir y representar la forma de la Tierra.

El elipsoide es una representación matemática idealizada de la forma de la Tierra, y se utiliza como una base para el sistema de coordenadas geográficas. El elipsoide es una figura geométrica que se asemeja a una esfera, pero que es ligeramente achatada en los polos y alargada en el ecuador. El elipsoide se utiliza para calcular la distancia entre dos puntos y para convertir las coordenadas geográficas en coordenadas cartesianas.

Por otro lado, el geoide es una representación matemática de la forma real de la Tierra, y se utiliza para calcular la elevación de un punto en relación con el nivel medio del mar. El geoide se basa en mediciones de la gravedad y se utiliza para corregir las mediciones de altitud basadas en el elipsoide.

En resumen, el elipsoide se utiliza como una base para el sistema de coordenadas geográficas y para calcular las distancias entre puntos, mientras que el geoide se utiliza para calcular la elevación de un punto en relación con el nivel medio del mar. Juntos, el elipsoide y el geoide proporcionan una representación precisa y completa de la forma de la Tierra y su elevación.

Existen varios modelos geoide en uso, cada uno con diferentes niveles de precisión y ámbito de aplicación. Algunos de los modelos geoide más comunes son:

- El modelo geoid EGM96: es un modelo global de alta precisión desarrollado por la NASA y el Servicio Geodésico Nacional de los Estados Unidos. Se basa en mediciones de la gravedad y se utiliza para calcular la elevación en todo el mundo.
- El modelo geoide GEOID99: es un modelo global desarrollado por el Servicio Geodésico Nacional de los Estados Unidos. Es menos preciso que EGM96 pero cubre un ámbito más grande
- El modelo geoide EGM2008: es un modelo global desarrollado por la NASA y el Servicio Geodésico Nacional de los Estados Unidos. Es más preciso que EGM96, y se utiliza para aplicaciones críticas donde se requiere una elevación precisa.
- El modelo geoide EGM2020: es el más reciente modelo global desarrollado por la NASA y el Servicio Geodésico Nacional de los Estados Unidos, es el más preciso de todos los modelos geoide.

El elipsoide WGS84 (World Geodetic System 1984) es un elipsoide de referencia utilizado para representar la forma de la Tierra en sistemas de posicionamiento global, como el sistema GPS. Es uno de los elipsoides de referencia más utilizados en todo el mundo, ya que es el elipsoide de referencia utilizado por el sistema GPS.

En este trabajo se ha optado por utilizar coordenadas cartesianas referidas al elipsoide WGS84 y coordenadas UTM, empleado el modelo de geoide EGM2008. Por ser uno de los más usados actualmente.

### 3.3.3. Programas CAD y MDT.

AutoCAD Civil es un software de diseño civil y topografía desarrollado por Autodesk. Es una herramienta completa para el diseño, el análisis y la documentación de proyectos civiles, como carreteras, puentes, edificios, sistemas de alcantarillado, drenaje, entre otros.

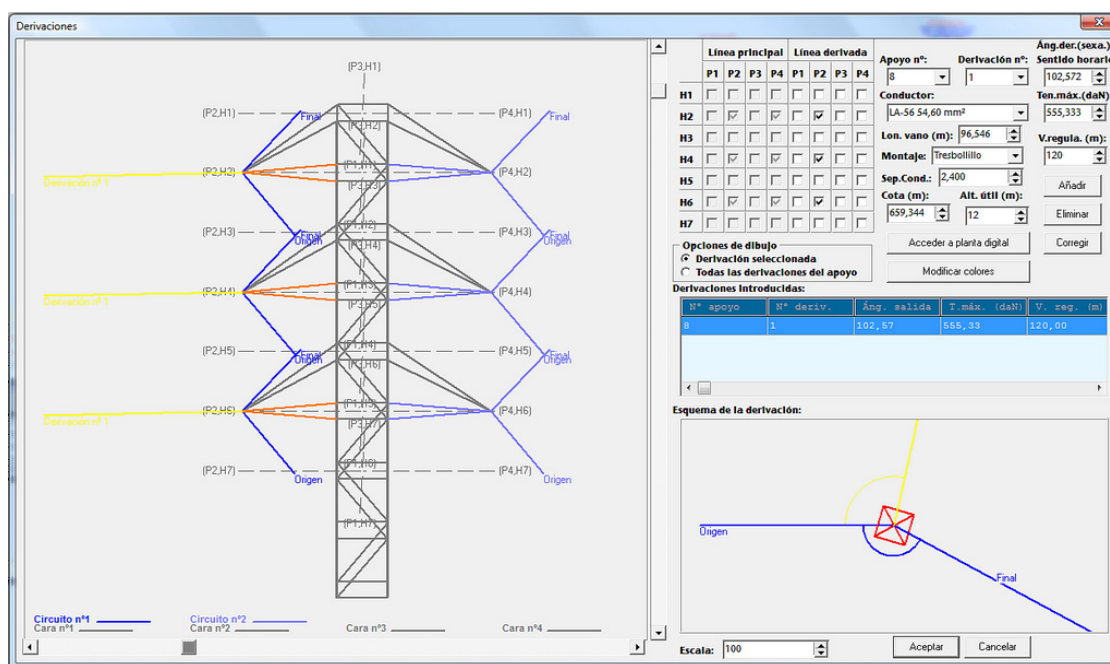
AutoCAD Civil incluye funciones para el control geométrico, modelado de terreno, diseño de carreteras, alcantarillado, drenaje, diseño de estructuras, entre otras. También proporciona herramientas para la creación de mapas, perfiles longitudinales y secciones transversales.

Además, AutoCAD Civil es compatible con otras aplicaciones y programas de diseño, lo que permite un flujo de trabajo más eficiente y una mayor colaboración entre equipos.

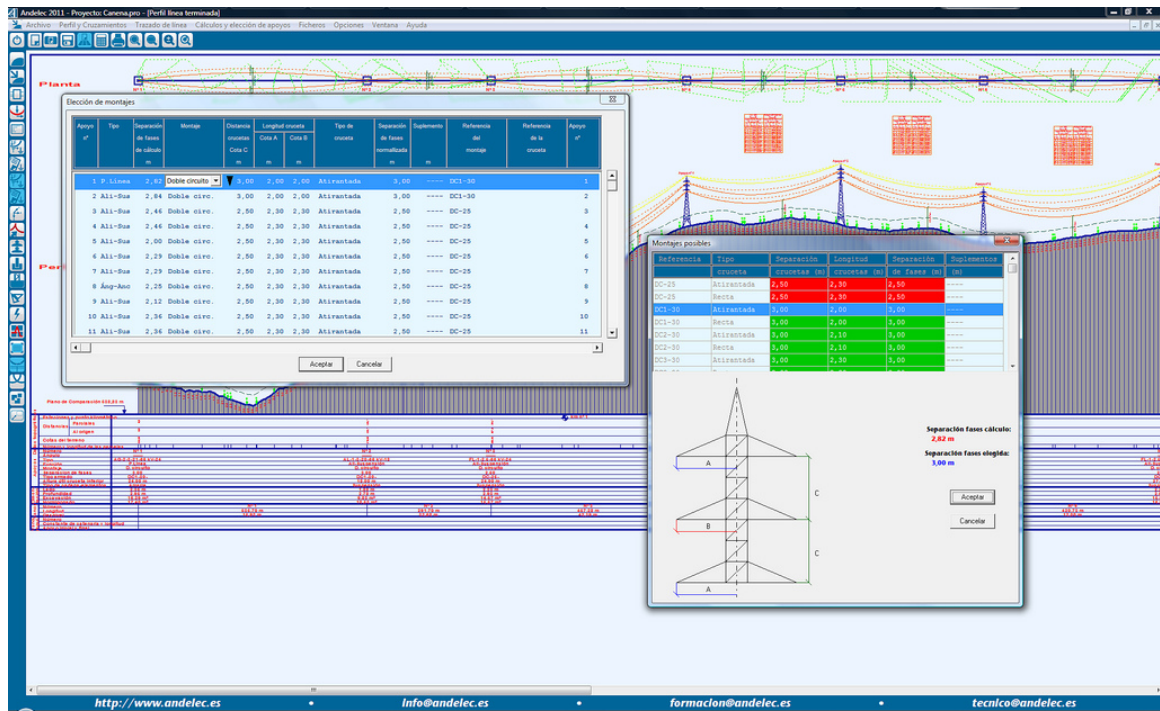
AutoCAD Civil es ampliamente utilizado en la industria de diseño civil y topografía, ya que es una herramienta de diseño potente y fácil de usar, con una gran variedad de funciones y opciones de personalización, así como una gran cantidad de recursos y tutoriales disponibles en línea.

### 3.3.4. Programa Postemel y Andelec.

Para el cálculo mecánico de las líneas eléctricas que componen la presente tesis, se han empleado 2 software comerciales de 2 marcas de apoyos españolas como son Postemel y Andelec.



Captura de pantalla del SW Andelec (Definición de derivaciones en tres dimensiones)



Captura de pantalla del SW Andelec (Elección y adaptación de crucetas a las necesidades del usuario)

### 3.3.5. Software fotogrametría PIX4D.

Pix4D es un software de procesamiento de imágenes y modelado 3D para la industria de la topografía, la agricultura, la minería, la construcción, la arqueología, entre otras. Es desarrollado por la compañía suiza Pix4D.

Pix4D es capaz de generar mapas de alta precisión y modelos 3D a partir de imágenes tomadas con cámaras de fotos y drones. El software utiliza técnicas de procesamiento de imágenes y estereoscopia para generar mapas y modelos con una alta precisión geométrica.

Entre las funciones principales del software se encuentran:

- Procesamiento de imágenes para generar mapas ortofotos y modelos 3D.
- Medición de volúmenes, áreas y distancias a partir de los modelos generados.
- Generación de mapas temáticos a partir de la clasificación automática o semiautomática de imágenes.



- Compatibilidad con una amplia variedad de cámaras y drones.
- Integración con otras herramientas de diseño y SIG.

### 3.4. Metodología.

#### 3.4.1. Introducción

La metodología para comparar modelos digitales del terreno obtenidos con GPS y con drones implica una cuidadosa planificación y ejecución de los levantamientos topográficos, seguida de un procesamiento y evaluación rigurosa de los datos para determinar las fortalezas y limitaciones de cada método en función de las necesidades específicas de la aplicación. La comparación de modelos digitales del terreno obtenidos a partir de levantamientos topográficos con GPS y con drones requiere una metodología sistemática que permita evaluar la precisión y exactitud de cada uno de ellos. Véase figura 3.13.

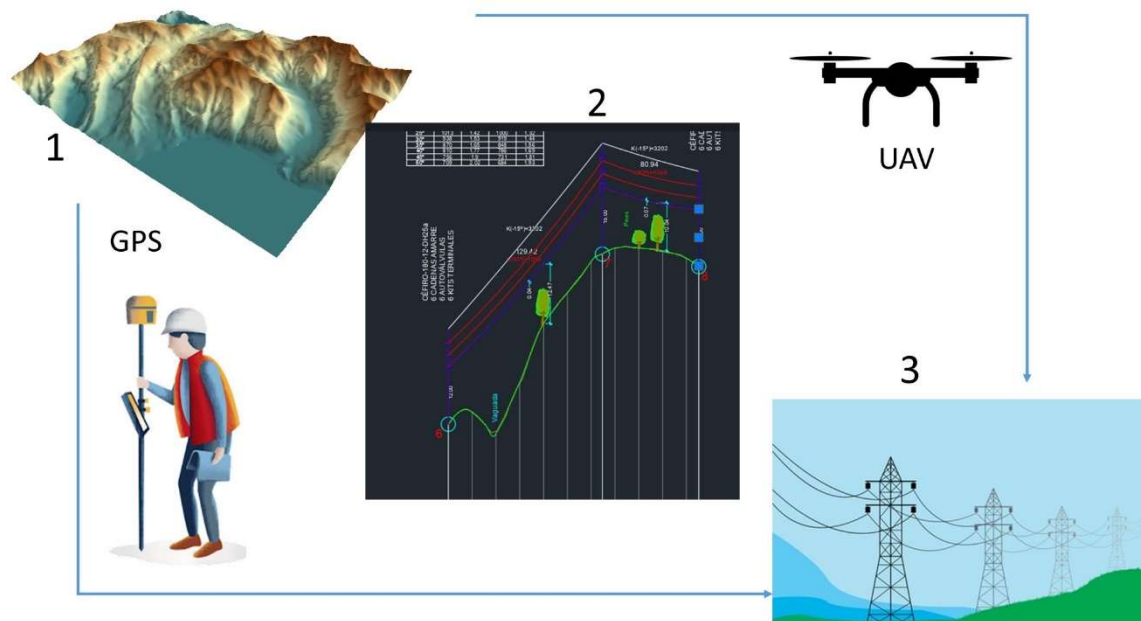


Figura 3. 13. Descripción de la metodología

#### 3.4.2. Definición de los parámetros a obtener

En esta metodología para el análisis de los resultados se han seguido los siguientes pasos.

1. Diseño de la línea de alta tensión (LAT): Se tiene el punto de inicio y de fin de la LAT según los criterios definidos Red Eléctrica. El camino a seguir viene marcado como objetivo de diseño y no es susceptible de ser modificado.
2. Adquisición de datos con GPS: Se ha realizado el levantamiento topográfico con GPS, que es el método empleado de manera tradicional y servirá como método de control. Para ello se emplean los protocolos y procedimientos adecuados, y asegurándose de obtener un número suficiente de puntos para representar adecuadamente el terreno. El método empleado fue GPS en modo RTK y conexión a la RAP, que asegura la precisión centimétrica en planimetría y altimetría.
3. Adquisición de datos con dron: Se ha realizado el vuelo con el dron siguiendo la ruta previamente definida y ajustando los parámetros de la cámara para obtener una buena resolución espacial y una adecuada superposición de imágenes.
4. Procesamiento de datos: Una vez procesados los datos obtenidos por ambos métodos utilizando software especializado, se generan modelos digitales del terreno con la resolución y precisión máxima que permiten ambos métodos.
5. Representación de las LAT por ambos métodos para evaluar la precisión.
6. Evaluación de la precisión y exactitud: Se comparan las posiciones de las LAT en los modelos digitales del terreno obtenidos con ambos métodos utilizando medidas de precisión y exactitud. Los indicadores de precisión y exactitud empleados son los de la tabla 3.1. Entiéndase por exactitud la posición absoluta y por precisión la posición relativa entre los apoyos.
7. Análisis de resultados: Se analizarán los resultados (precisión y exactitud) obtenidos y ver la posible dependencia de las variables analizadas para ello se empleará un análisis de regresión en función, donde la variable dependiente será la variación de la altura de la catenaria de cada vano en función del número de variables dependientes: longitud del vano o el incremento relativo de la altura.

8. Determinar las ventajas y desventajas de cada método en función de la precisión, la exactitud, el costo y el tiempo de adquisición de los datos.

### 3.4.3. Definición de los indicadores de precisión y exactitud

Se van a determinar por cada una de las líneas los indicadores de precisión y exactitud expresados en la tabla 3.1, referidos a la figura 3.2. Además, para cada vano se va a determinar su longitud para establecer posibles relaciones en la precisión.

Indicador de precisión	Parámetro	Ecuación
Errores altimétricos absolutos de la cota de los apoyos	$e_z$	$e_z = Z_{GPS} - Z_{DRON}$
Errores altimétricos absolutos de la <u>cota mínima de la catenaria</u>	$e_{z-CAT}$	$e_{z-CAT} = Z_{GPS-CAT} - Z_{DRON-CAT}$
Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos	$e_{\Delta Z}$	$\Delta Z_{GPS} = Z_{i+1} - Z_i$ $\Delta Z_{DRON} = Z_{i+1} - Z_i$ $e_{\Delta Z} = \Delta Z_{GPS} - \Delta Z_{DRON}$

Tabla 3. 11. Indicadores de precisión

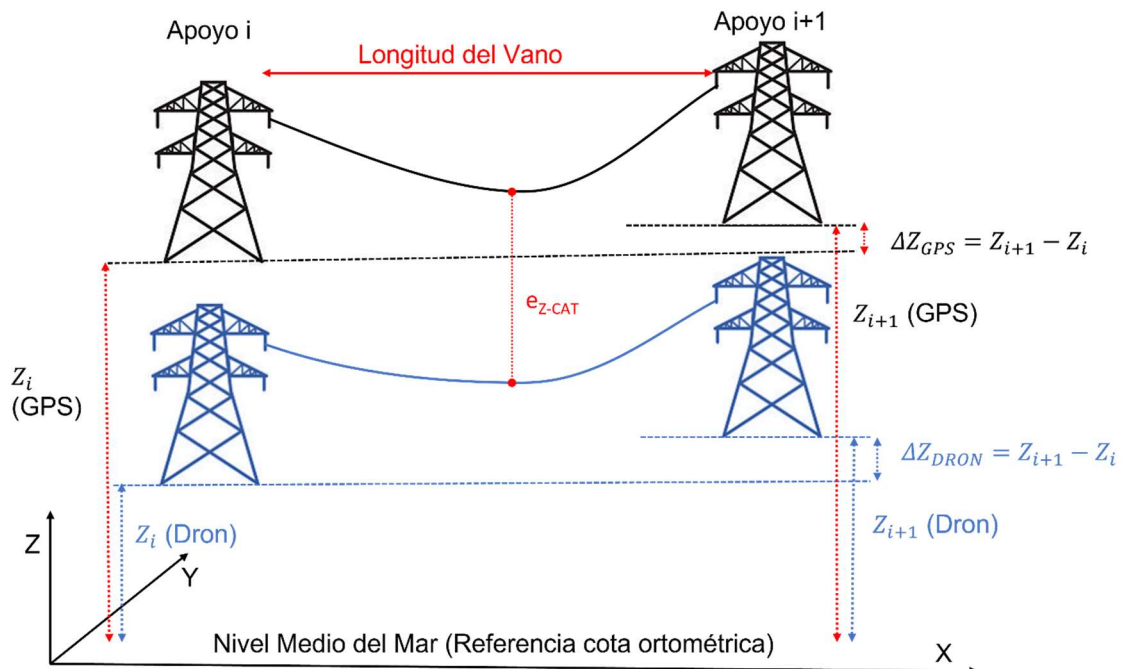


Figura 3. 14. Esquema de la comparación de las LAT en función del tipo de MDT empleado para su diseño.

### 3.4.4. Definición de los métodos estadísticos empleados.

### 3.4.4.1. Regresión lineal simple

Estos indicadores de precisión se analizarán estadísticamente por el método de regresión lineal. El análisis de regresión con una variable explicativa, también conocido como regresión lineal simple, es una técnica estadística utilizada para modelar la relación entre una variable dependiente y una variable independiente. El objetivo del análisis de regresión es determinar si existe una relación significativa entre las variables y cuantificar la fuerza y la dirección de esta relación.

Para analizar estadísticamente la regresión con una variable explicativa, se utiliza un modelo matemático que representa la relación entre las variables. En el caso de la regresión lineal simple, el modelo es una línea recta que se ajusta a los datos.

El modelo de regresión lineal simple se puede representar matemáticamente como:

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \varepsilon$$

Donde:

y es la variable dependiente (en nuestro caso el indicador de precisión)

x es la variable independiente (explicativa), en nuestro caso: la cota absoluta del apoyo, el incremento de cota del vano o entre apoyos, o la longitud del vano

$\beta_0$  es la ordenada al origen (valor de y cuando x es igual a cero)

$\beta_1$  es la pendiente de la línea (la cantidad que y cambia por cada unidad de cambio en x)

$\varepsilon$  es el error aleatorio (la parte de la variación de y que no se explica por la variable x)

El análisis de regresión implica la estimación de los parámetros del modelo ( $\beta_0$  y  $\beta_1$ ) a partir de los datos y la evaluación de la significancia de estos parámetros y de la bondad de ajuste del modelo.

Para evaluar la significancia de los parámetros, se utiliza la prueba t de Student para comprobar si la estimación de cada parámetro es significativamente diferente de cero. Se utiliza un nivel de significancia (alfa) de 0.05 para determinar si se rechaza o no la hipótesis nula de que el parámetro es igual a cero.

Además, se utiliza el coeficiente de determinación  $R^2$  para evaluar la bondad de ajuste del modelo.  $R^2$  es una medida de la proporción de la variación total de  $y$  que se explica por la variable  $x$ .  $R^2$  varía entre 0 y 1, y cuanto más cercano a 1 sea, mejor es el ajuste del modelo.

En resumen, para analizar estadísticamente la regresión con una variable explicativa, se utiliza un modelo matemático que representa la relación entre las variables, se estiman los parámetros del modelo a partir de los datos y se evalúa la significancia de los parámetros y la bondad de ajuste del modelo utilizando pruebas estadísticas y medidas de ajuste.

En nuestro caso las variables explicativas serán: Longitud del vano, incremento altimétrico relativo entre apoyos.

#### 3.4.4.2. Regresión lineal múltiple

Este análisis se hará extensivo a dos variables. El análisis de regresión con dos variables explicativas, también conocido como regresión lineal múltiple, es una técnica estadística utilizada para modelar la relación entre una variable dependiente y dos o más variables independientes. El objetivo del análisis de regresión múltiple es determinar si existe una relación significativa entre las variables y cuantificar la fuerza y la dirección de esta relación.

Para analizar estadísticamente la regresión con dos variables explicativas, se utiliza un modelo matemático que representa la relación entre las variables. En el caso de la regresión lineal múltiple, el modelo es una ecuación lineal que incluye dos o más variables independientes.

El modelo de regresión lineal múltiple se puede representar matemáticamente como:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon$$

Donde:

$y$  es la variable dependiente

$X_1$  y  $X_2$  son las variables independientes

$\beta_0$  es la ordenada al origen (valor de  $y$  cuando ambas variables independientes son iguales a cero)

$\beta_1$  y  $\beta_2$  son las pendientes de las variables  $X_1$  y  $X_2$  (la cantidad que  $y$  cambia por cada unidad de cambio en cada variable)

$\varepsilon$  es el error aleatorio (la parte de la variación de  $y$  que no se explica por las variables independientes)

El análisis de regresión múltiple implica la estimación de los parámetros del modelo ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ ) a partir de los datos y la evaluación de la significancia de estos parámetros y de la bondad de ajuste del modelo.

Para evaluar la significancia de los parámetros, se utiliza la prueba  $t$  de Student para comprobar si la estimación de cada parámetro es significativamente diferente de cero. Se utiliza un nivel de significancia (alfa) de 0.05 para determinar si se rechaza o no la hipótesis nula de que el parámetro es igual a cero.

Además, se utiliza el coeficiente de determinación  $R^2$  para evaluar la bondad de ajuste del modelo.  $R^2$  es una medida de la proporción de la variación total de  $y$  que se explica por las variables independientes.  $R^2$  varía entre 0 y 1, y cuanto más cercano a 1 sea, mejor es el ajuste del modelo.

En resumen, para analizar estadísticamente la regresión con dos variables explicativas, se utiliza un modelo matemático que representa la relación entre las variables, se estiman los parámetros del modelo a partir de los datos y se evalúa la significancia de los parámetros y la bondad de ajuste del modelo utilizando pruebas estadísticas y medidas de ajuste.

En nuestro caso las variables explicativas serán: Longitud del vano y el incremento altimétrico relativo entre apoyos.

### 3.5. Referencias bibliográficas.

1. Manzano et al. 2011. Sistema On-Line para la medición de temperatura en el tendido topográfico de vanos de alta tensión. Revista Dyna. Volúmen 86, 71/72.
2. Reglamento de Líneas de Alta Tensión (ITC-LAT 01 a 09, RD 223/08 de 15 de Febrero).





***CAPÍTULO 4***

---

**FASE EXPERIMENTAL**

<b>CAPÍTULO 4. FASE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>108</b>
<b>4.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>108</b>
<b>4.2. LÍNEA 1. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. DOBLE CIRCUITO, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, EN PARAJE “TURRO”, T.M. CACÍN, GRANADA. ....</b>	<b>109</b>
<b>4.3. LÍNEA 2. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 66 KV, SIMPLE CIRCUITO. LAS GABIAS, GRANADA. ....</b>	<b>111</b>
<b>4.4. LÍNEA 3. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 220 KV. SIMPLE CIRCUITO, EN TÉRMINO MUNICIPAL DE CARMONA, SEVILLA.....</b>	<b>114</b>
<b>4.5. LÍNEA 4. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN TRIPLE CIRCUITO, 30 KV. DOBLE CIRCUITO Y CIRCUITO 66 KV PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, T.M. BENAHDUX, ALMERÍA. ....</b>	<b>116</b>
<b>4.6. LÍNEA 5. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. SIMPLE CIRCUITO HASTA SUBESTACIÓN, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE GAUCÍN, JIMENA DE LA FRONTERA, MÁLAGA Y CÁDIZ.....</b>	<b>118</b>
<b>4.7. LÍNEA 6. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. DOBLE CIRCUITO HASTA SUBESTACIÓN, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE ANTAS, ALMERÍA. ....</b>	<b>120</b>
<b>4.8. LÍNEA 7. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 132 KV SIMPLE CIRCUITO, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE GÁDOR Y BENAHDUX, ALMERÍA. ....</b>	<b>123</b>
<b>4.9. LÍNEA 8. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 20 KV SIMPLE CIRCUITO DESDE FOTOVOLTAICA HASTA SUBESTACIÓN, EN LA PEDANÍA HERNÁN VALLE DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE GUADIX, GRANADA. .</b>	<b>125</b>
<b>4.10. LÍNEA 9. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 132 KV. EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE VERA, ALMERÍA. </b>	<b>127</b>
<b>4.11. LÍNEA 10. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 20 KV EN TÉRMINO MUNICIPAL DE MENGÍBAR, JAÉN. </b>	<b>129</b>
<b>4.12. RESUMEN DE LAS LÍNEAS ESTUDIADAS.....</b>	<b>131</b>

**INDICE DE FIGURAS.**

Figura 4.1. Localización de la línea Cacín, Granada .....	109
Figura 4. 2. Tramo de perfil desde el apoyo 11 al 13 de la línea Cacín-Granada. ....	110
Figura 4.3. Localización de la línea las Gabias, Granada.....	111
Figura 4. 4. Tramo de perfil de la línea Las Eras Granada, desde el apoyo 7 al 9. ....	112
Figura 4. 5. Longitud de vuelo entre apoyos 7 al 9 línea Las Gabias.....	113
Figura 4.6. Localización de LAT en el término municipal de Carmona, Sevilla. ....	114
Figura 4. 7. Tramo de perfil de la línea desaladora Balanegra.....	115
Figura 4. 8. Localización de la línea evacuación parque FV T.M. Benahadux, Almería.....	116
Figura 4. 9. Tramo de perfil de la línea Benahadux 30-60kV.....	117
Figura 4. 10. Localización de la línea evacuación Gaucín, Jimena de la Frontera, Cádiz.....	118
Figura 4. 11. Tramo de perfil de la línea la línea Gaucín - Jimena de la Frontera.....	119
Figura 4. 12. Localización de la línea evacuación planta F.V. Antas, Almería. ....	120
Figura 4. 13. Tramo de perfil de la línea 30kV Antas.....	122
Figura 4. 14. Línea evacuación parque fotovoltaico, en los términos municipales de Gádor y Benahadux, Almería .....	123
Figura 4. 15. Tramo de perfil de la línea Gádor-Benahadux.....	124
Figura 4. 16. Línea evacuación parque fotovoltaico, en el término municipal de Guadix, Granada.....	125
Figura 4. 17. Tramo de perfil de la línea FV Hernán Valle.....	126
Figura 4.18. Localización de la línea de evacuación 132kV en el término municipal de Vera. ....	127
Figura 4. 19. Figura 4.8.3.: Tramo de perfil de la línea LAT Vera. ....	128
Figura 4. 20. Localización de la línea Mengíbar, Jaén. ....	129
Figura 4. 21. Tramo del perfil de la línea 20kV Mengíbar, Jaen .....	130
Figura 4. 22. Localización general de las líneas analizadas.....	132

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 4. 1. Característica de la línea Cacín, Granada.....	109
Tabla 4. 2. Característica de la línea Las Eras, Granada .....	111
Tabla 4. 3. Características de la línea 220kV, Carmona. ....	114
Tabla 4. 4. Características de la línea evacuación parque FV T.M. Benahadux, Almería .....	116
Tabla 4. 5. Características de la línea evacuación Gaucín, Jimena de la Frontera, Málaga y ádz .....	118
Tabla 4. 6. Características de la línea evacuación planta F.V. en Antas.....	120
Tabla 4. 7. Características de la línea evacuación parque fotovoltaico, en los términos municipales de Gádor y Benahadux, Almería .....	123
Tabla 4. 8. Línea evacuación parque fotovoltaico, en el término municipal de Hernán Valle, Granada.....	125
Tabla 4. 9. Características de la línea de 132 kV Vera, Almería .....	127
Tabla 4. 10. Características de la línea Mengíbar, Jaen .....	129
Tabla 4. 11. Resumen de las características principales de las líneas estudiadas.....	131

## **CAPÍTULO 4. FASE EXPERIMENTAL.**

### **4.1. Introducción.**

En este trabajo se han desarrollado diez líneas de alta tensión en diferentes ubicaciones de España con el fin de evacuar la energía producida por parques fotovoltaicos. En el capítulo 3, se describe en detalle cada una de estas líneas, indicando su voltaje, tipo de circuito y ubicación geográfica. Cada una de estas líneas ha sido diseñada y construida de acuerdo a las normativas y regulaciones aplicables para garantizar su seguridad y eficiencia en la evacuación de energía eléctrica.

Además de cumplir con las normativas y regulaciones aplicables, en el desarrollo de estas líneas de alta tensión también se han utilizado técnicas avanzadas como el vuelo con drones y el uso de GPS para levantar la topografía del terreno y garantizar la precisión y eficiencia en la planificación y construcción de cada una de las líneas. Gracias a estos métodos, se ha logrado obtener una visión detallada y actualizada de las condiciones del terreno, lo que ha permitido minimizar posibles inconvenientes durante el proceso de construcción y asegurar el correcto funcionamiento de las líneas una vez en servicio.

El objetivo de este trabajo es comparar el uso del vuelo con drones y el uso de GPS para levantar la topografía del terreno en el desarrollo de líneas de alta tensión destinadas a la evacuación de energía producida por parques fotovoltaicos. A través del análisis detallado de cada una de las diez líneas desarrolladas, se ha evaluado la eficiencia y precisión de cada uno de estos métodos para poder determinar cual de ellos ofrece mayores beneficios en términos de tiempo y costo en la planificación y construcción de las líneas de alta tensión, así como en la calidad de los resultados.

## 4.2. LÍNEA 1. Línea de alta tensión 30 kV. doble circuito, para evacuación parque fotovoltaico, en paraje “TURRO”, T.M. Cacín, Granada.

La situación geográfica se puede observar en la figura 4.1 Los datos en cuanto a provincia y término municipal por el que discurre, longitud de la línea y características de los vanos se detallan en la tabla 4.1.

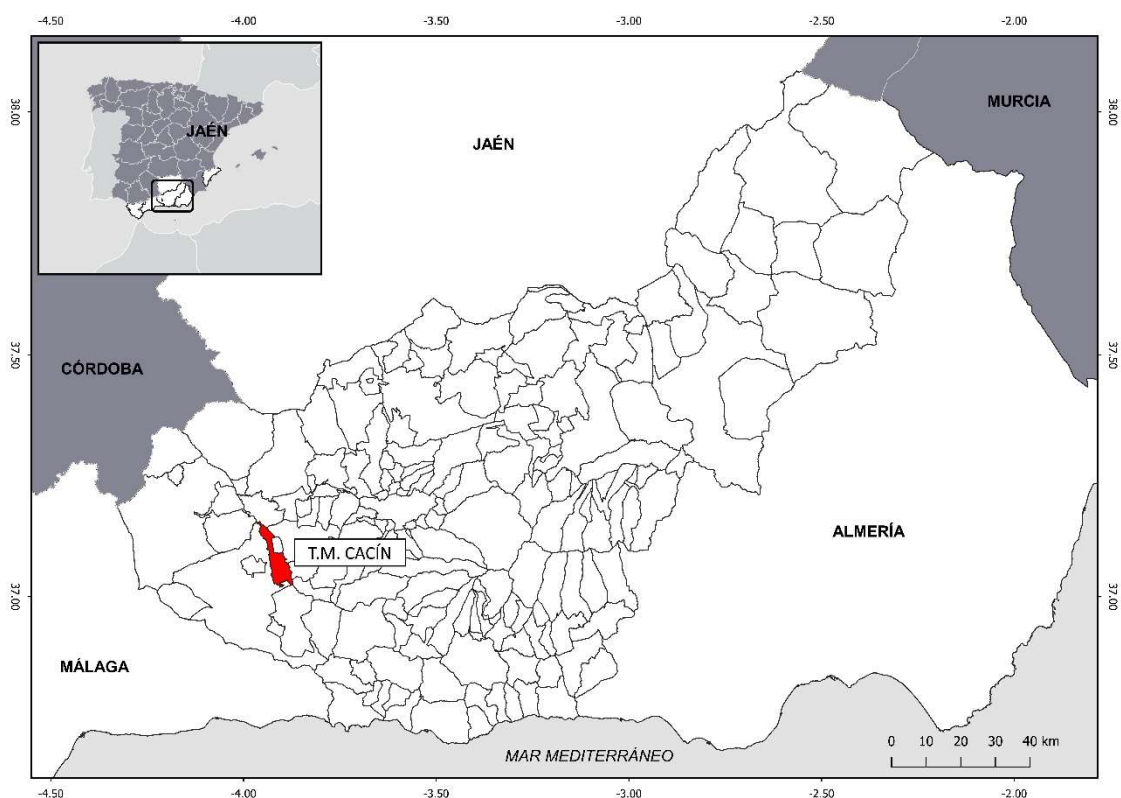


Figura 4.1. Localización de la línea Cacín, Granada

Zona	B
Provincia	<b>GRANADA</b>
Término Municipal	<b>Cacín</b>
Longitud total de la línea (m)	<b>1500</b>
Número de vanos	<b>12</b>
Número de apoyos	<b>13</b>
Vano máximo (m)	<b>262,4</b>
Vano mínimo (m)	<b>58,59</b>

Tabla 4. 1. Característica de la línea Cacín, Granada

A modo de ejemplo se muestran los apoyos del 11 al 13 de uno de los tramos de la línea Cacín, Granada.

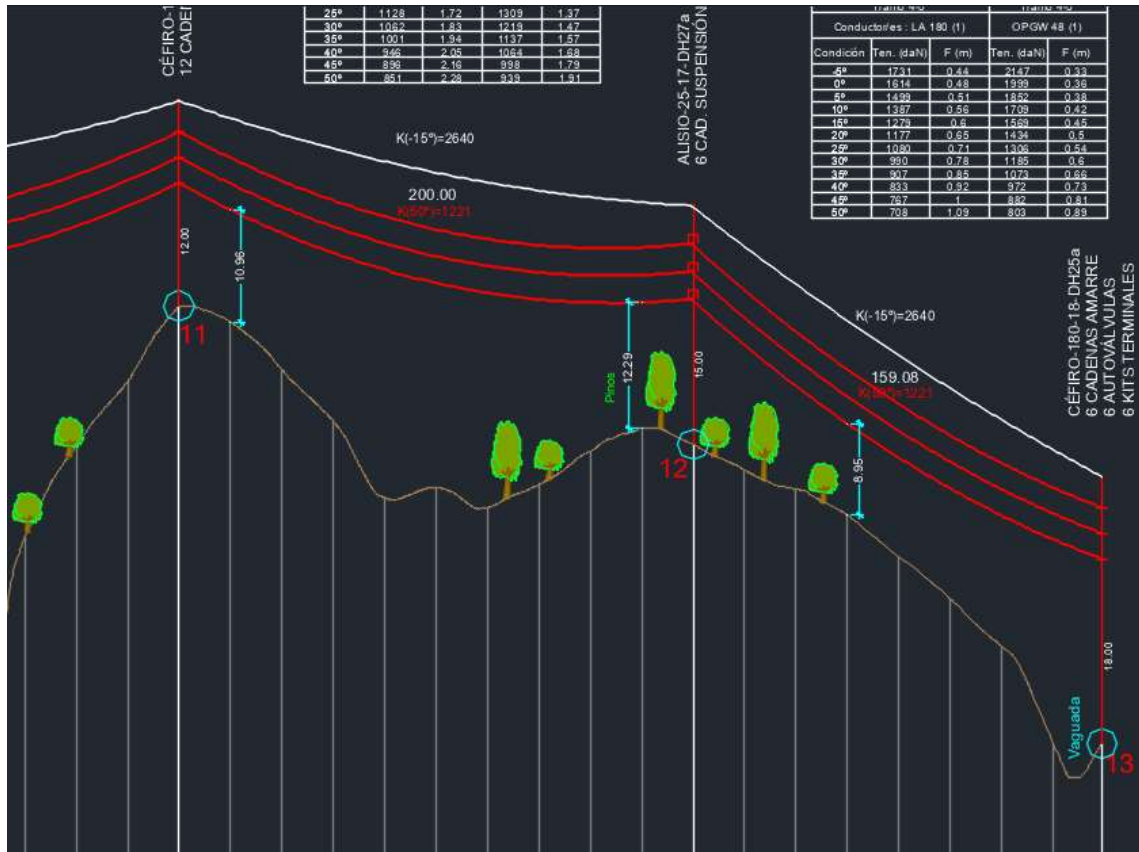


Figura 4. 2. Tramo de perfil desde el apoyo 11 al 13 de la línea Cacín-Granada.

### 4.3. LÍNEA 2. Línea de alta tensión 66 kV, simple circuito. Las Gabias, Granada.

La situación geográfica se puede observar en la figura 4.3. Los datos en cuanto a provincia y término municipal por el que discurre, longitud de la línea y características de los vanos se detallan en la tabla 4.2.

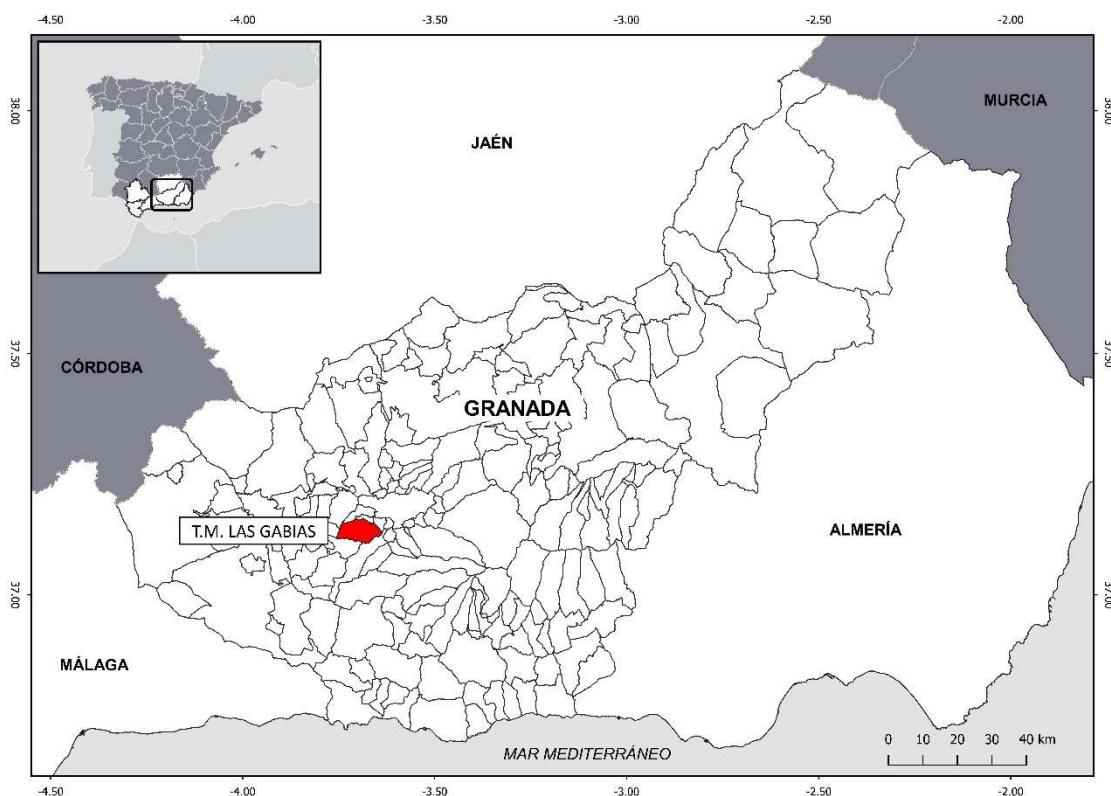


Figura 4.3. Localización de la línea las Gabias, Granada

Zona	B
Provincia	<b>GRANADA</b>
Término Municipal	<b>Las Gabias</b>
Longitud total de la línea (m)	<b>2016,36</b>
Número de vanos	<b>11</b>
Número de apoyos	<b>12</b>
Vano máximo (m)	<b>367,1</b>
Vano mínimo (m)	<b>38,4</b>

Tabla 4. 2. Característica de la línea Las Eras, Granada

A modo de ejemplo del perfil de la línea Las Eras, Granada, se ilustra un tramo en la figura 4.4., tramo comprendido entre los apoyos 7 al 9.

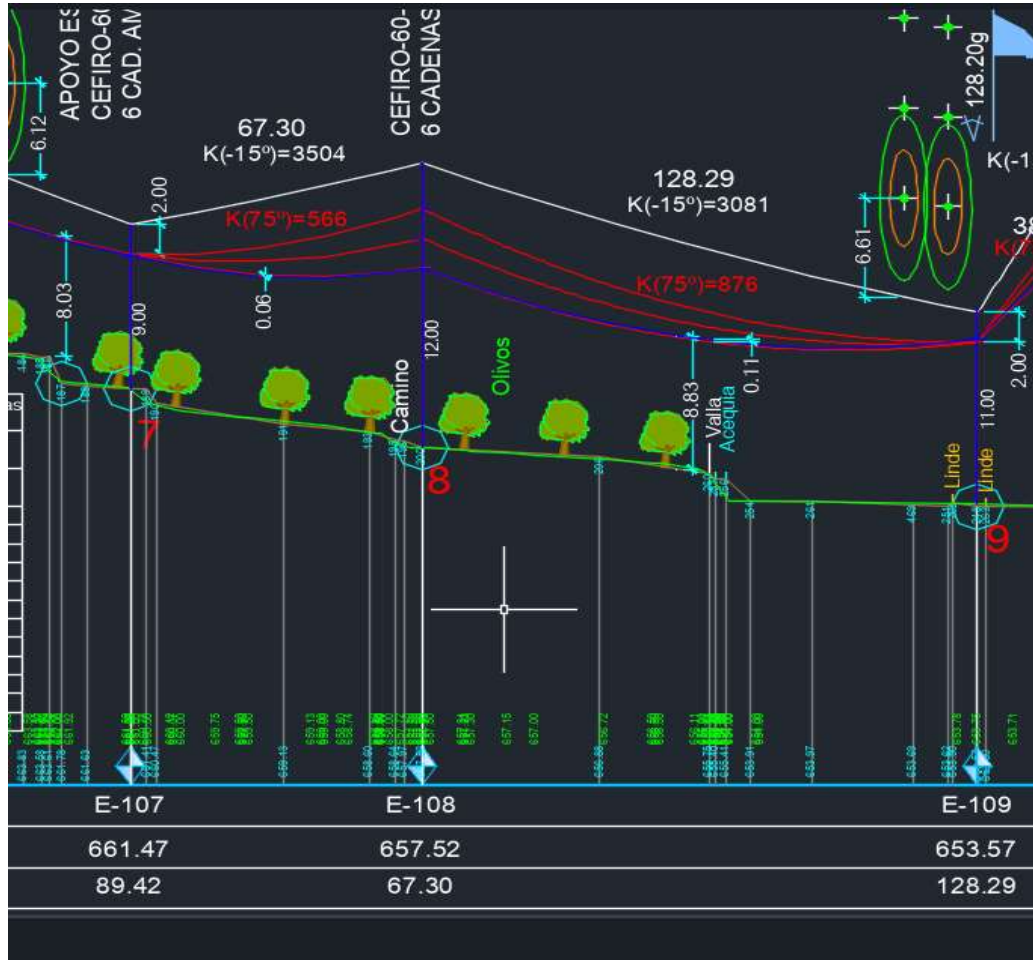


Figura 4. 4. Tramo de perfil de la línea Las Eras Granada, desde el apoyo 7 al 9.



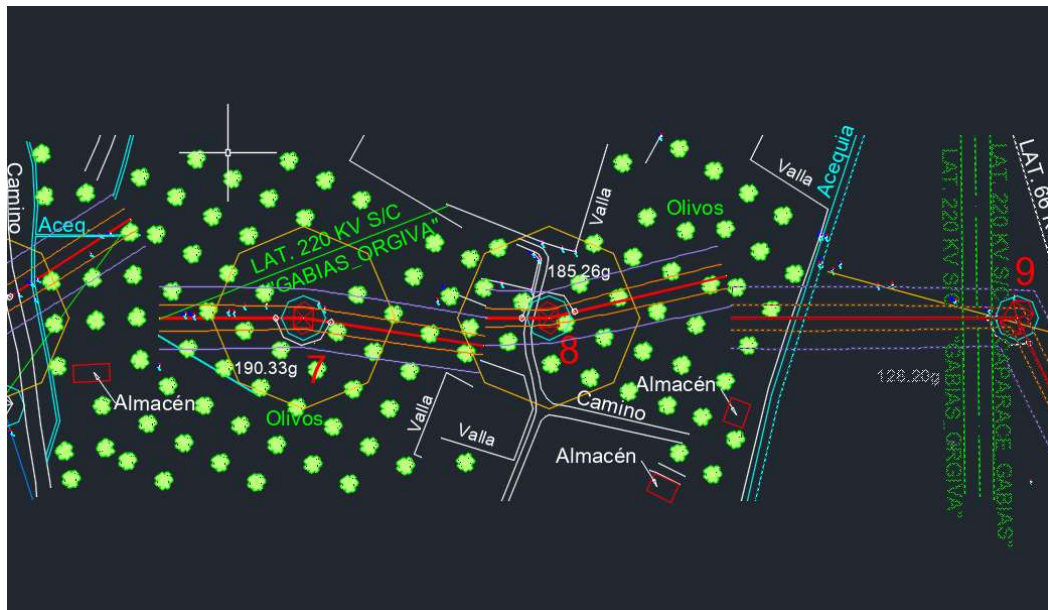


Figura 4. 5. Longitud de vuelo entre apoyos 7 al 9 línea Las Gabias.

#### 4.4. LÍNEA 3. Línea de alta tensión 220 kV. simple circuito, en término municipal de Carmona, Sevilla.

La situación geográfica se puede observar en la figura 4.6. Los datos en cuanto a provincia y término municipal por el que discurre, longitud de la línea y características de los vanos se detallan en la tabla 4.3.

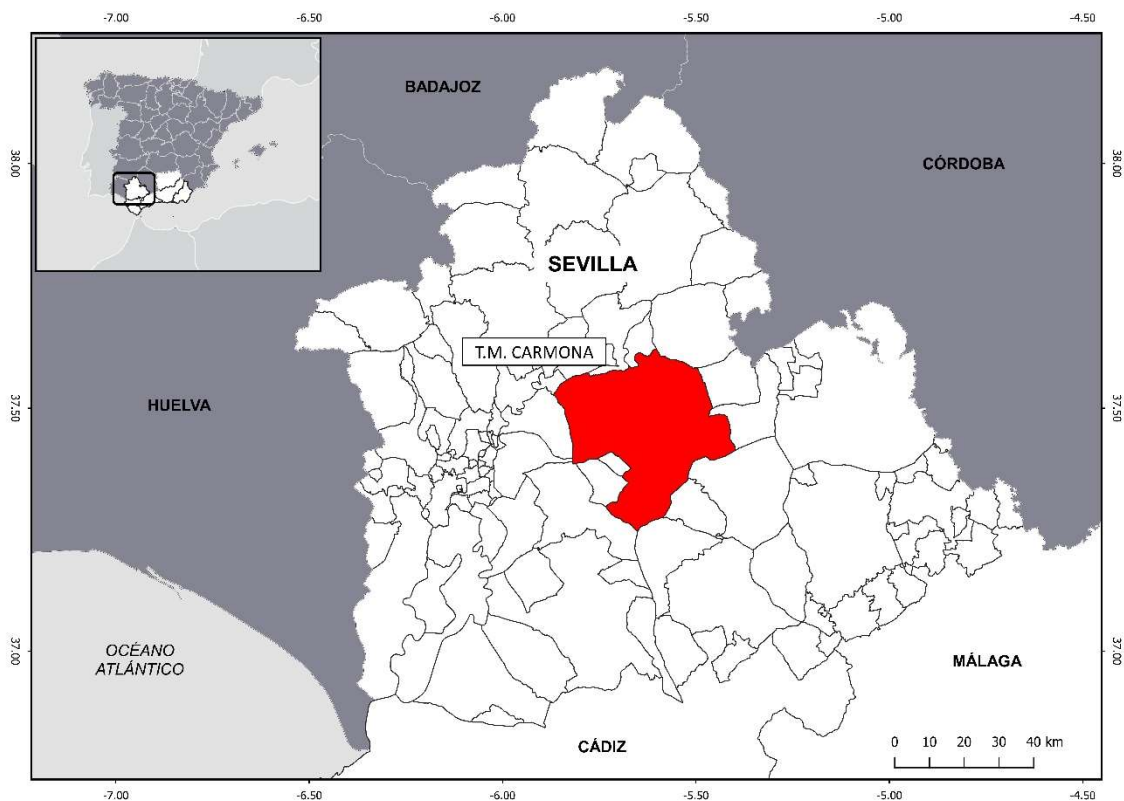


Figura 4.6. Localización de LAT en el término municipal de Carmona, Sevilla.

Zona	A
Provincia	<b>SEVILLA</b>
Término Municipal	<b>Carmona</b>
Longitud total de la línea (m)	<b>1370,4</b>
Número de vanos	<b>5</b>
Número de apoyos	<b>6</b>
Vano máximo (m)	<b>455</b>
Vano mínimo (m)	<b>13</b>

Tabla 4. 3. Características de la línea 220kV, Carmona.

A modo de ejemplo del perfil de la línea, se ilustra un tramo en la figura 4.7., tramo comprendido entre los apoyos 2 al 4.

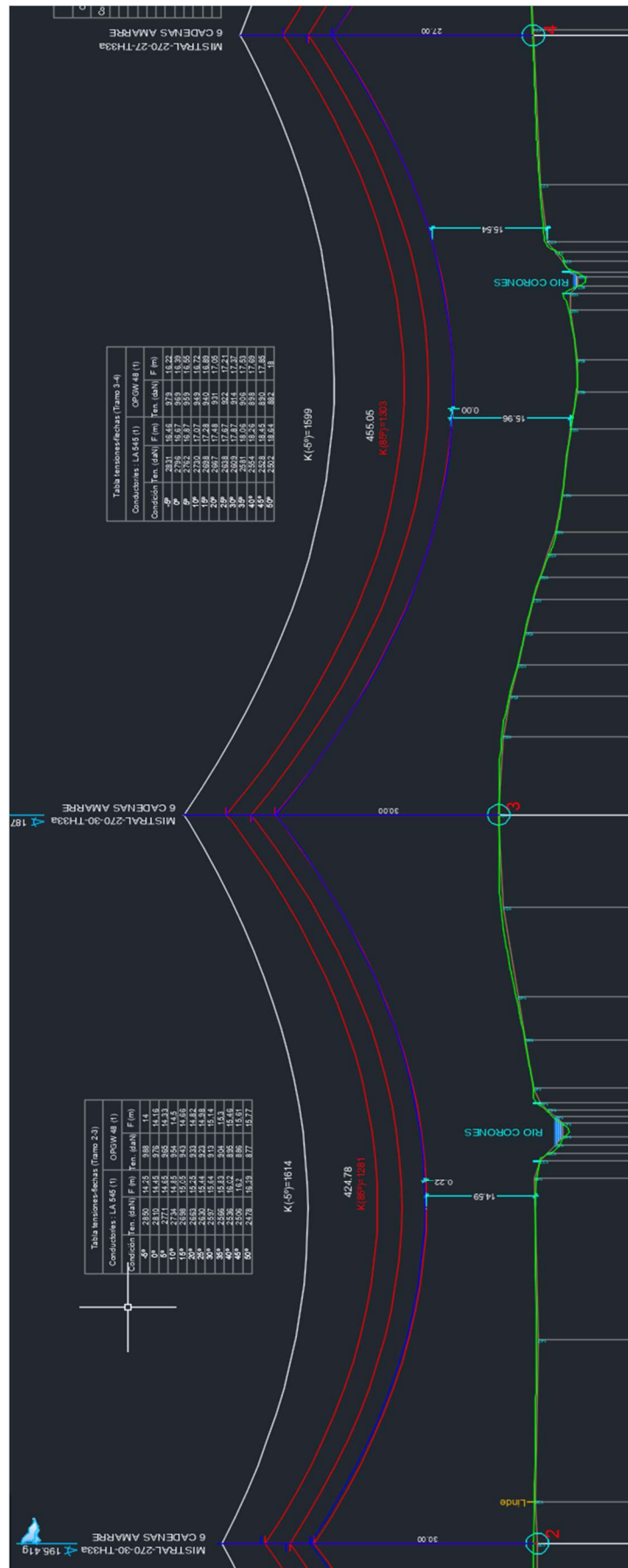


Figura 4. 7. Tramo de perfil de la línea desaladora Balanegra.

#### 4.5. LÍNEA 4. Línea de alta tensión triple circuito, 30 kV. Doble circuito y circuito 66 kV para evacuación parque fotovoltaico, T.M. Benahadux, Almería.

La situación geográfica se puede observar en la figura 4.8. Los datos en cuanto a provincia y término municipal por el que discurre, longitud de la línea y características de los vanos se detallan en la tabla 4.4.

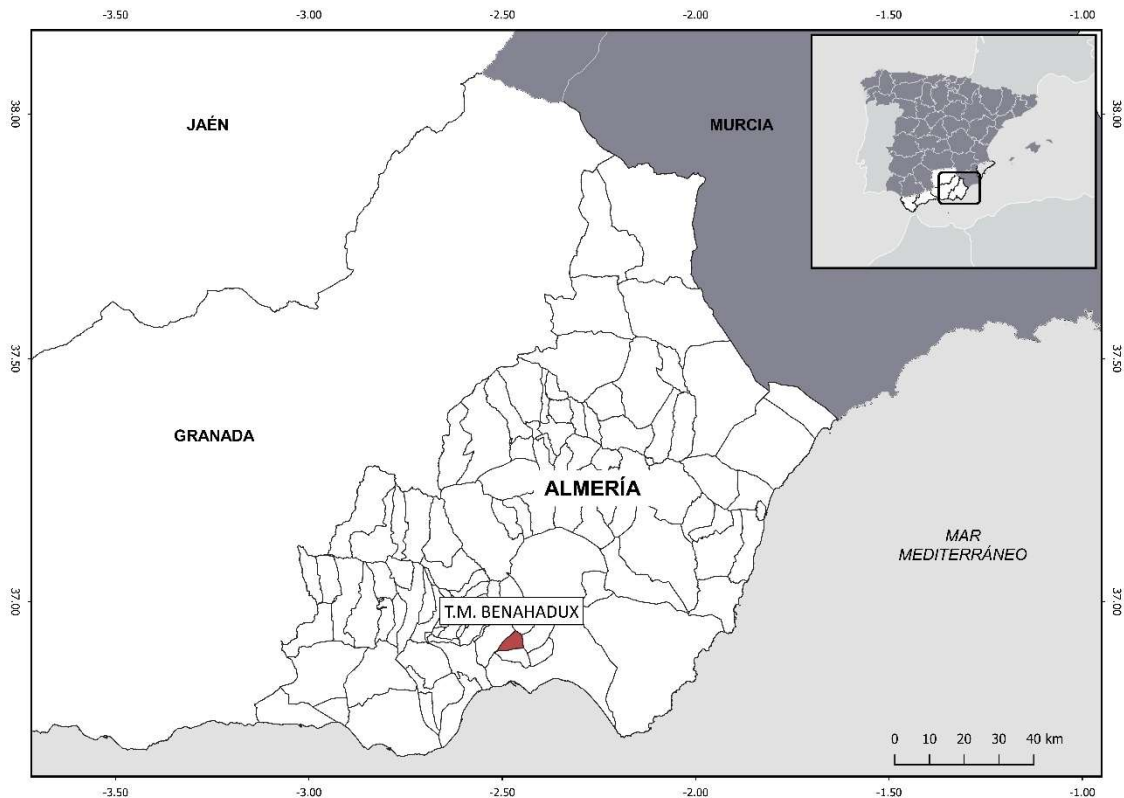


Figura 4. 8. Localización de la línea evacuación parque FV T.M. Benahadux, Almería

Zona	A
Provincia	<b>ALMERÍA</b>
Término Municipal	<b>Benahadux</b>
Longitud total de la línea (m)	<b>2606,83</b>
Número de vanos	<b>16</b>
Número de apoyos	<b>17</b>
Vano máximo (m)	<b>342,30</b>
Vano mínimo (m)	<b>59,40</b>

Tabla 4. 4. Características de la línea evacuación parque FV T.M. Benahadux, Almería

A modo de ejemplo del perfil de la línea, se ilustra un tramo en la figura 4.9., tramo comprendido entre los apoyos 34 al 36.

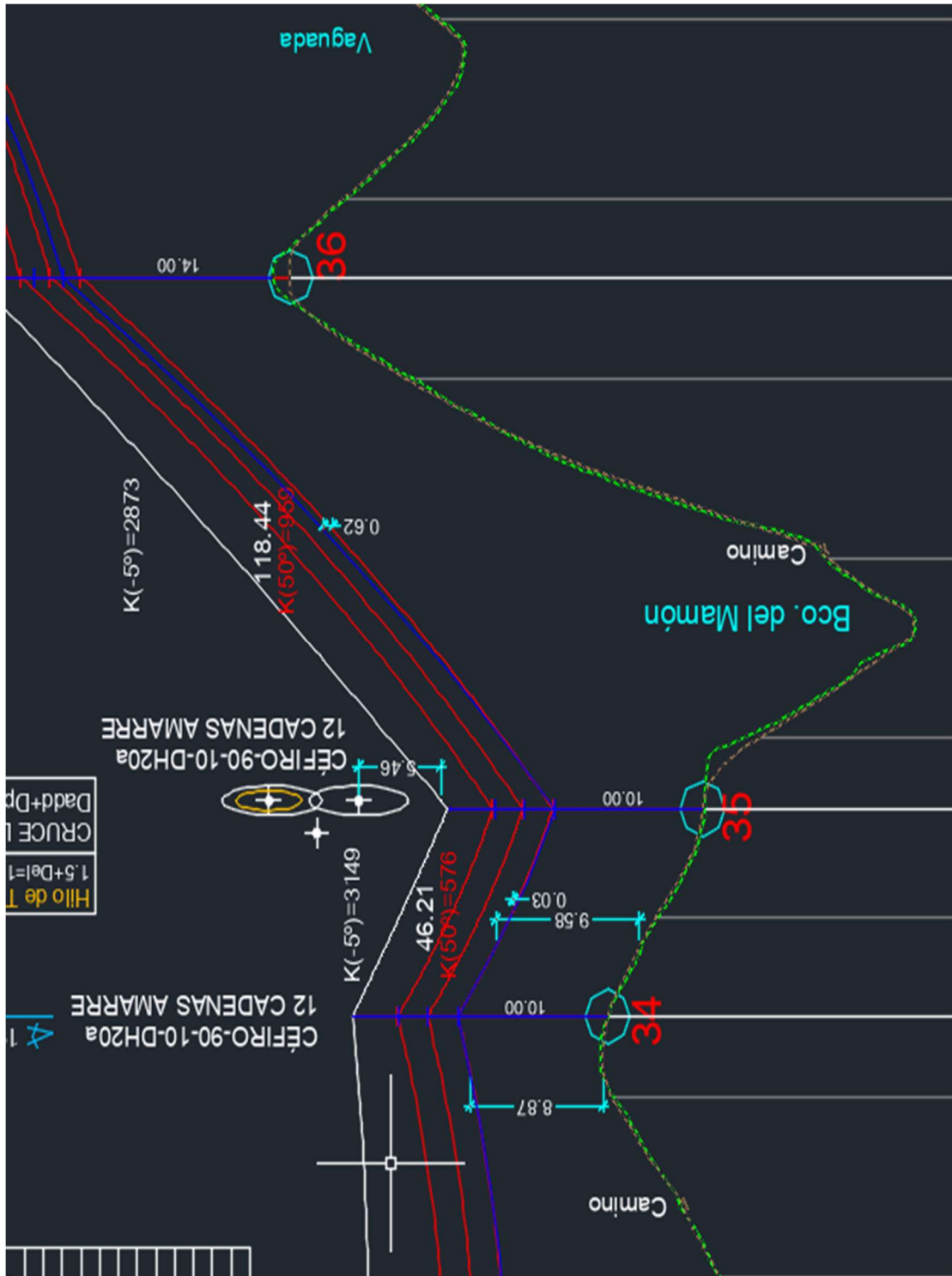


Figura 4. 9. Tramo de perfil de la línea Benhadux 30-60kV.

#### 4.6. LÍNEA 5. Línea de alta tensión 30 kV. simple circuito hasta subestación, para evacuación parque fotovoltaico en los términos municipales de Gaucín, Jimena de la Frontera, Málaga y Cádiz.

La situación geográfica se puede observar en la figura 4.10. Los datos en cuanto a provincia y término municipal por el que discurre, longitud de la línea y características de los vanos se detallan en la tabla 4.5.

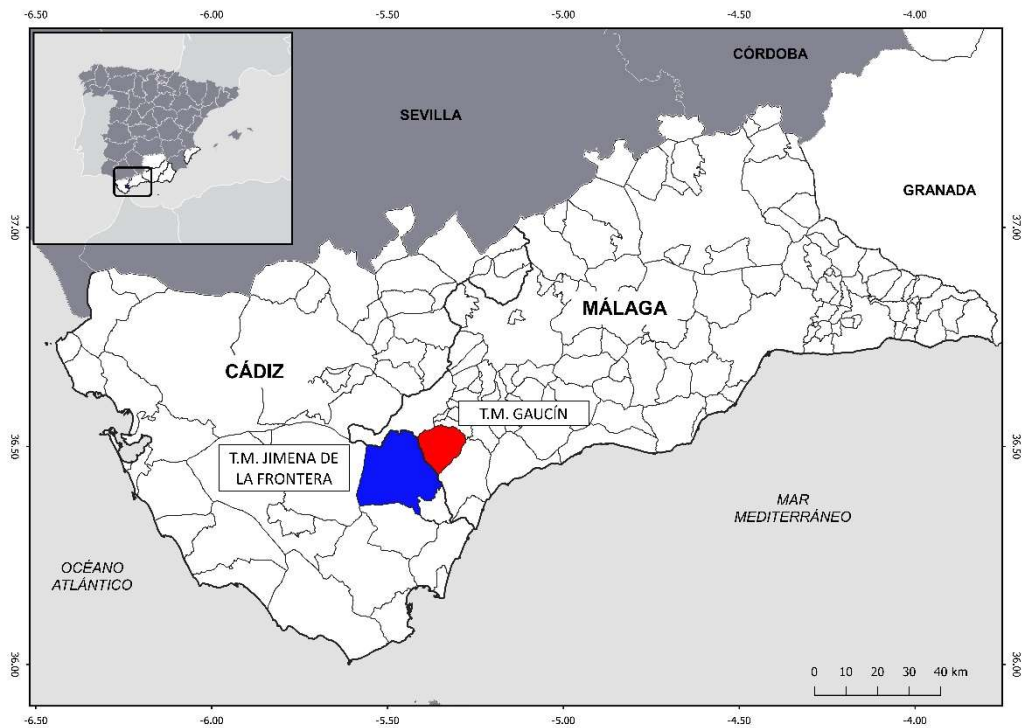


Figura 4. 10. Localización de la línea evacuación Gaucín, Jimena de la Frontera, Cádiz

Zona	A
Provincia	<b>Málaga y Cádiz</b>
Término Municipal	<b>Gaucín, Jimena de la Frontera</b>
Longitud total de la línea (m)	<b>8453,17</b>
Número de vanos	<b>36</b>
Número de apoyos	<b>37</b>
Vano máximo (m)	<b>480,2</b>
Vano mínimo (m)	<b>49,6</b>

Tabla 4. 5. Características de la línea evacuación Gaucín, Jimena de la Frontera, Málaga yádiz

A modo de ejemplo del perfil de la línea Gaucín - Jimena de la Frontera, se ilustra un tramo en la figura 4.11., tramo comprendido entre los apoyos 17 al 21.

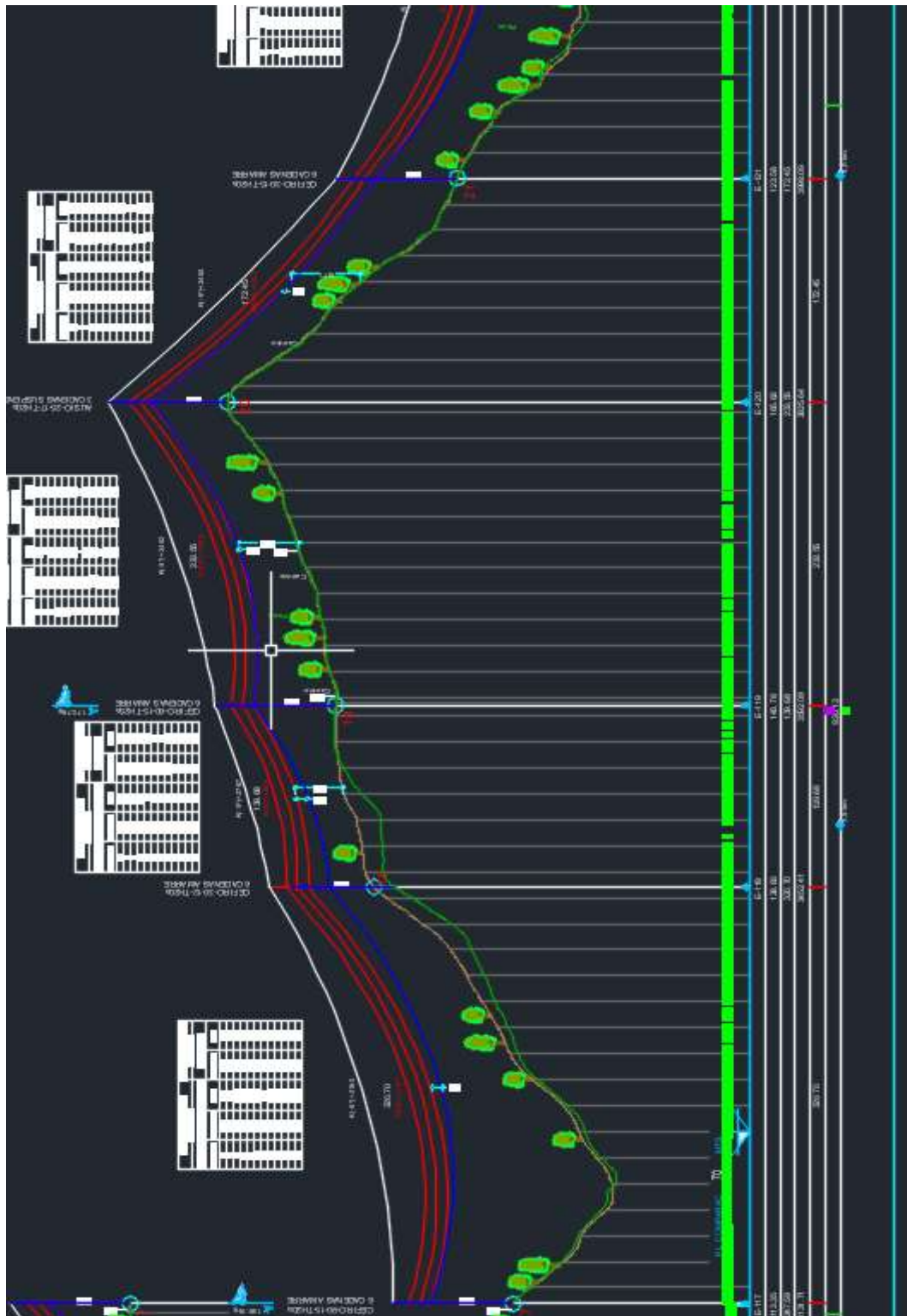


Figura 4. 11. Tramo de perfil de la línea la línea Gaucín - Jimena de la Frontera.

#### 4.7. LÍNEA 6. Línea de alta tensión 30 kV. doble circuito hasta subestación, para evacuación parque fotovoltaico en los términos municipales de Antas, Almería.

La situación geográfica se puede observar en la figura 4.12. Los datos en cuanto a provincia y término municipal por el que discurre, longitud de la línea y características de los vanos se detallan en la tabla 4.6.

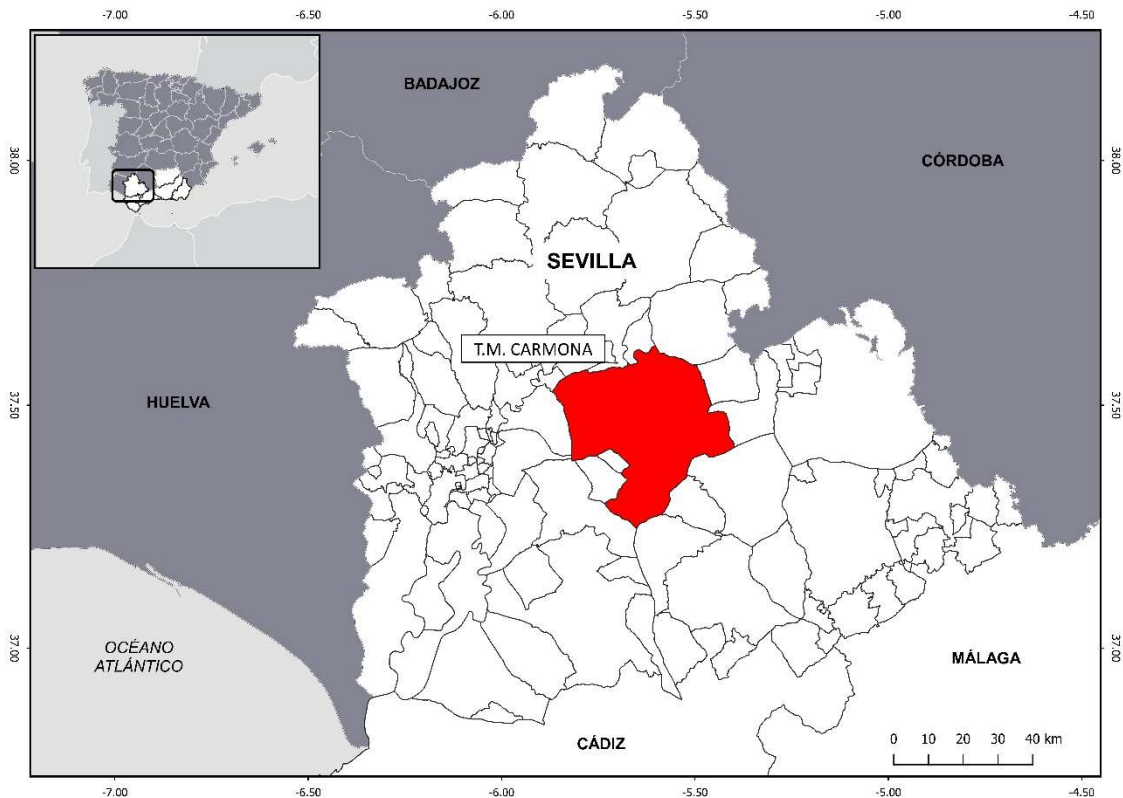


Figura 4. 12. Localización de la línea evacuación planta F.V. Antas, Almería.

Zona	A
Provincia	<b>Almería</b>
Término Municipal	<b>Antas</b>
Longitud total de la línea (m)	<b>1765,34</b>
Número de vanos	<b>10</b>
Número de apoyos	<b>9</b>
Vano máximo (m)	<b>349,1</b>
Vano mínimo (m)	<b>15</b>

Tabla 4. 6. Características de la línea evacuación planta F.V. en Antas



A modo de ejemplo del perfil de la línea FV. ANTAS, se ilustra un tramo en la figura 4.13., tramo comprendido entre los apoyos 6 al 8.

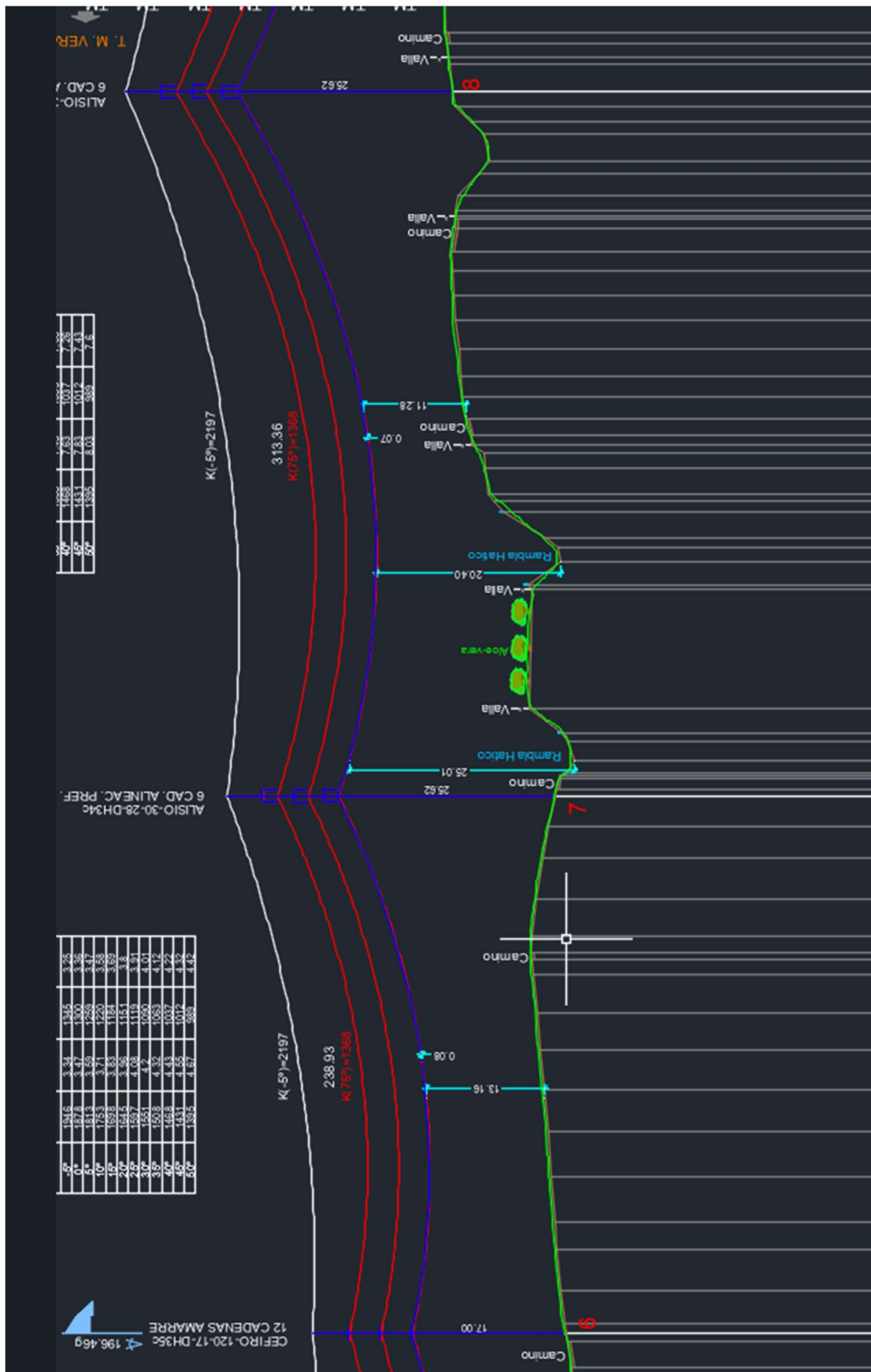


Figura 4. 13. Tramo de perfil de la línea 30kV Antas.

#### 4.8. LÍNEA 7. Línea de alta tensión 132 kV simple circuito, para evacuación parque fotovoltaico, en los términos municipales de Gádor y Benahadux, Almería.

La situación geográfica se puede observar en la figura 4.14. Los datos en cuanto a provincia y término municipal por el que discurre, longitud de la línea y características de los vanos se detallan en la tabla 4.7.

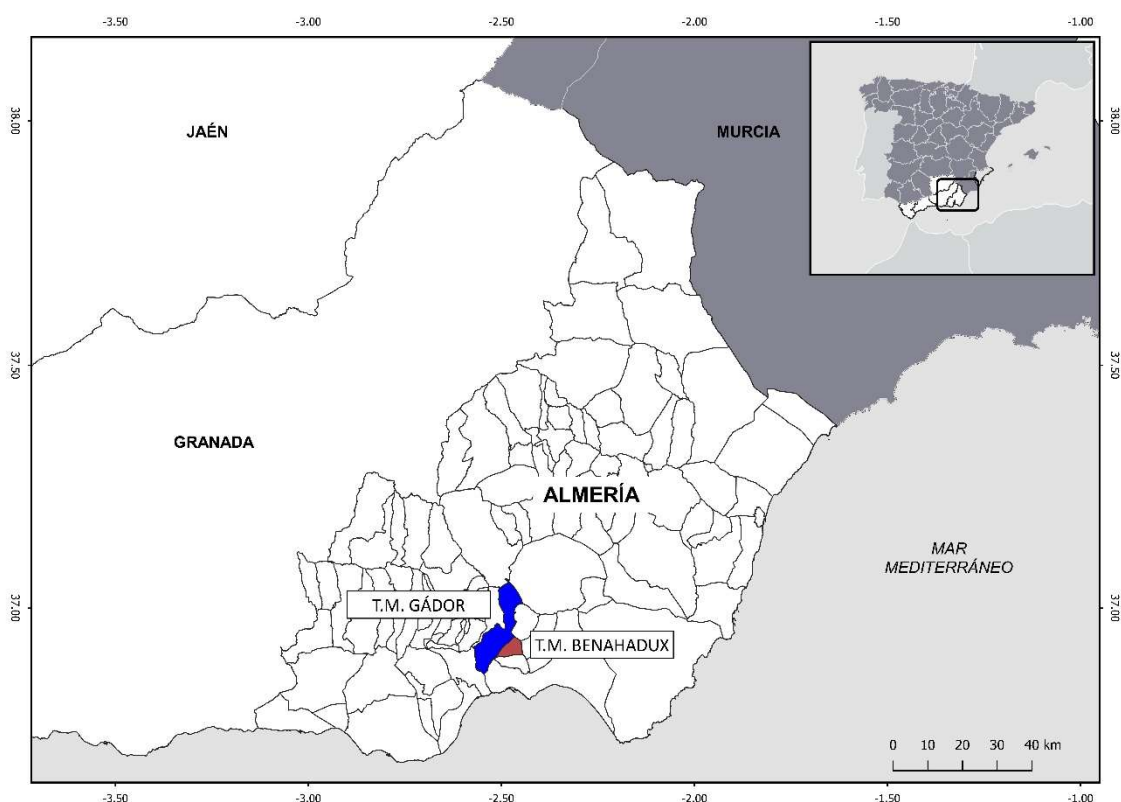


Figura 4. 14. Línea evacuación parque fotovoltaico, en los términos municipales de Gádor y Benahadux, Almería

Zona	A
Provincia	<b>ALMERÍA</b>
Término Municipal	<b>Gádor y Benahadux</b>
Longitud total de la línea (m)	<b>6266,99</b>
Número de vanos	<b>23</b>
Número de apoyos	<b>24</b>
Vano máximo (m)	<b>659,3</b>
Vano mínimo (m)	<b>28,2</b>

Tabla 4. 7. Características de la línea evacuación parque fotovoltaico, en los términos municipales de Gádor y Benahadux, Almería

A modo de ejemplo del perfil de la línea Gádor-Benahadux, se ilustra un tramo en la figura 4.15., tramo comprendido entre los apoyos 16 al 18.

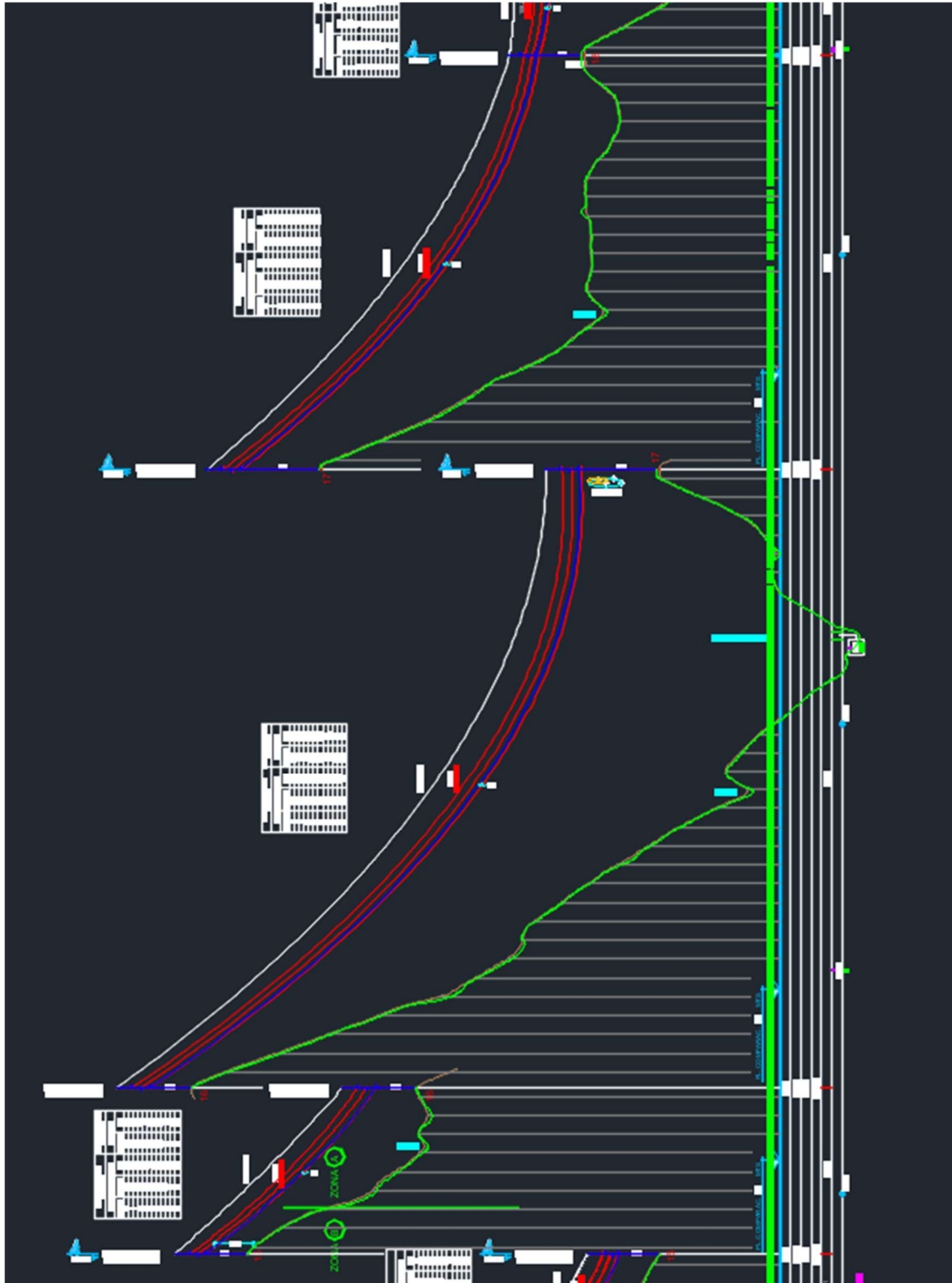


Figura 4. 15. Tramo de perfil de la línea Gádor-Benahadux.

#### 4.9. LÍNEA 8. Línea de alta tensión 20 kV simple circuito desde fotovoltaica hasta subestación, en la pedanía Hernán Valle del término municipal de Guadix, Granada.

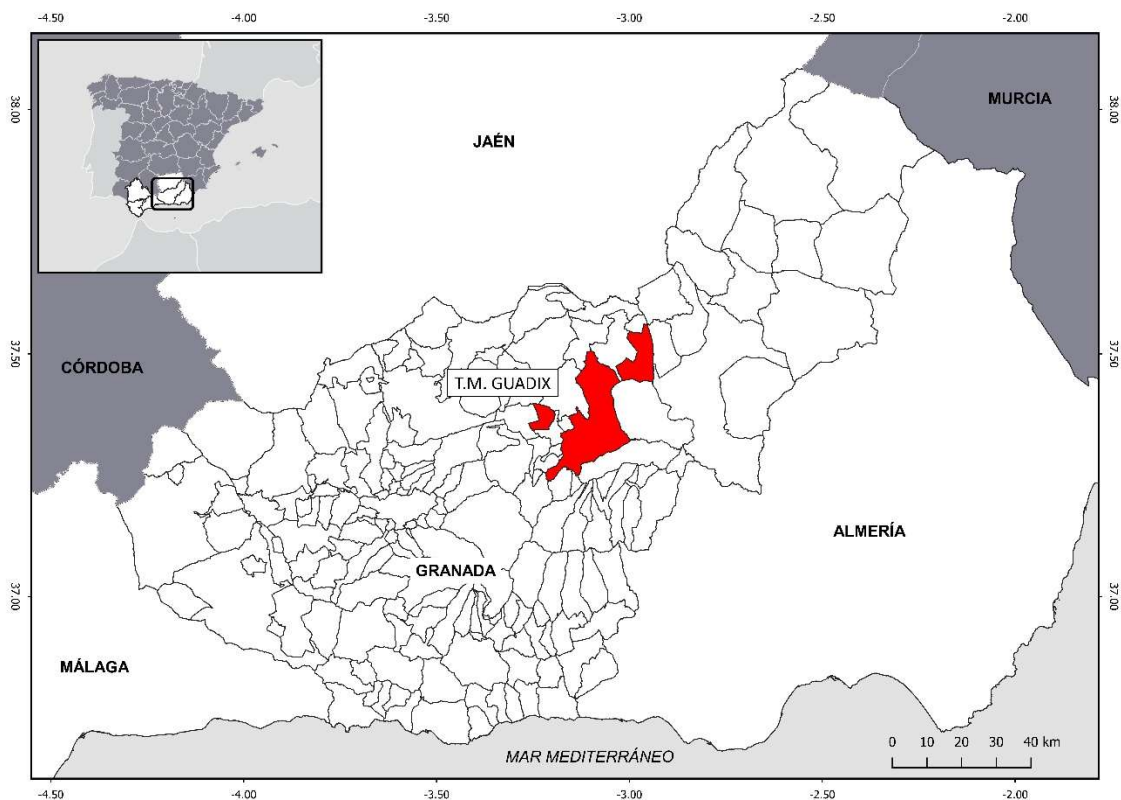


Figura 4. 16. Línea evacuación parque fotovoltaico, en el término municipal de Guadix, Granada.

La situación geográfica se puede observar en la figura 4.16. Los datos en cuanto a provincia y término municipal por el que discurre, longitud de la línea y características de los vanos se detallan en la figura 4.8.

Zona	C
Provincia	<b>GRANADA</b>
Término Municipal	<b>Hernán Valle (Guadix)</b>
Longitud total de la línea (m)	<b>3102,91</b>
Número de vanos	<b>21</b>
Número de apoyos	<b>22</b>
Vano máximo (m)	<b>217,2</b>
Vano mínimo (m)	<b>17,5</b>

Tabla 4. 8. Línea evacuación parque fotovoltaico, en el término municipal de Hernán Valle, Granada.

A modo de ejemplo del perfil de la línea FV. Hernán Valle, se ilustra un tramo en la figura 4.17., tramo comprendido entre los apoyos 9 al 12.

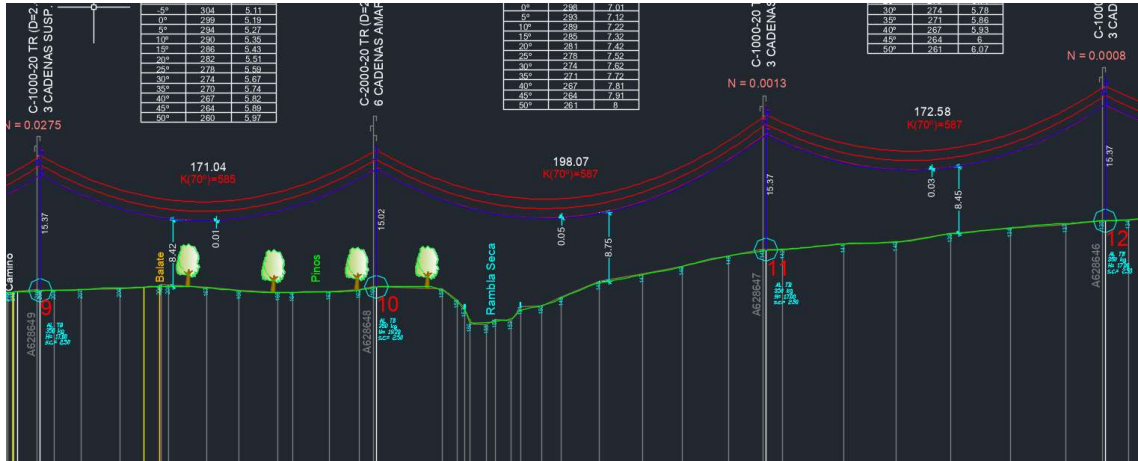


Figura 4.17. Tramo de perfil de la línea FV Hernán Valle.

## 4.10. LÍNEA 9. Línea de alta tensión 132 kV. en los términos municipales de Vera, Almería.

La situación geográfica se puede observar en la imagen 4.18. Los datos en cuanto a provincia y término municipal por el que discurre, longitud de la línea y características de los vanos se detallan en la figura 4.9.

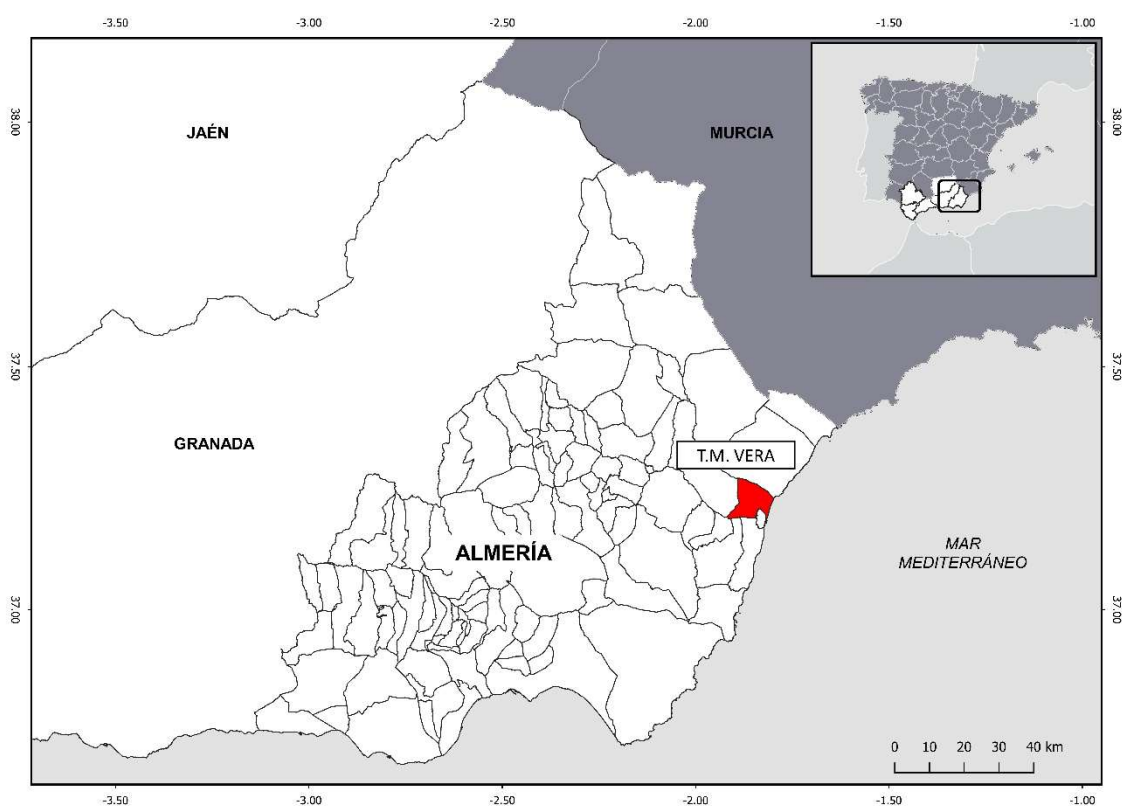


Figura 4.18. Localización de la línea de evacuación 132kV en el término municipal de Vera.

Zona	A
Provincia	<b>ALMERÍA</b>
Término Municipal	<b>VERA</b>
Longitud total de la línea (m)	<b>2526,12</b>
Número de vanos	<b>10</b>
Número de apoyos	<b>9</b>
Vano máximo (m)	<b>442,1</b>
Vano mínimo (m)	<b>197,8</b>

Tabla 4. 9. Características de la línea de 132 kV Vera, Almería

A modo de ejemplo del perfil de la línea, se ilustra un tramo en la figura 4.19., tramo comprendido entre los apoyos 4 al 6.

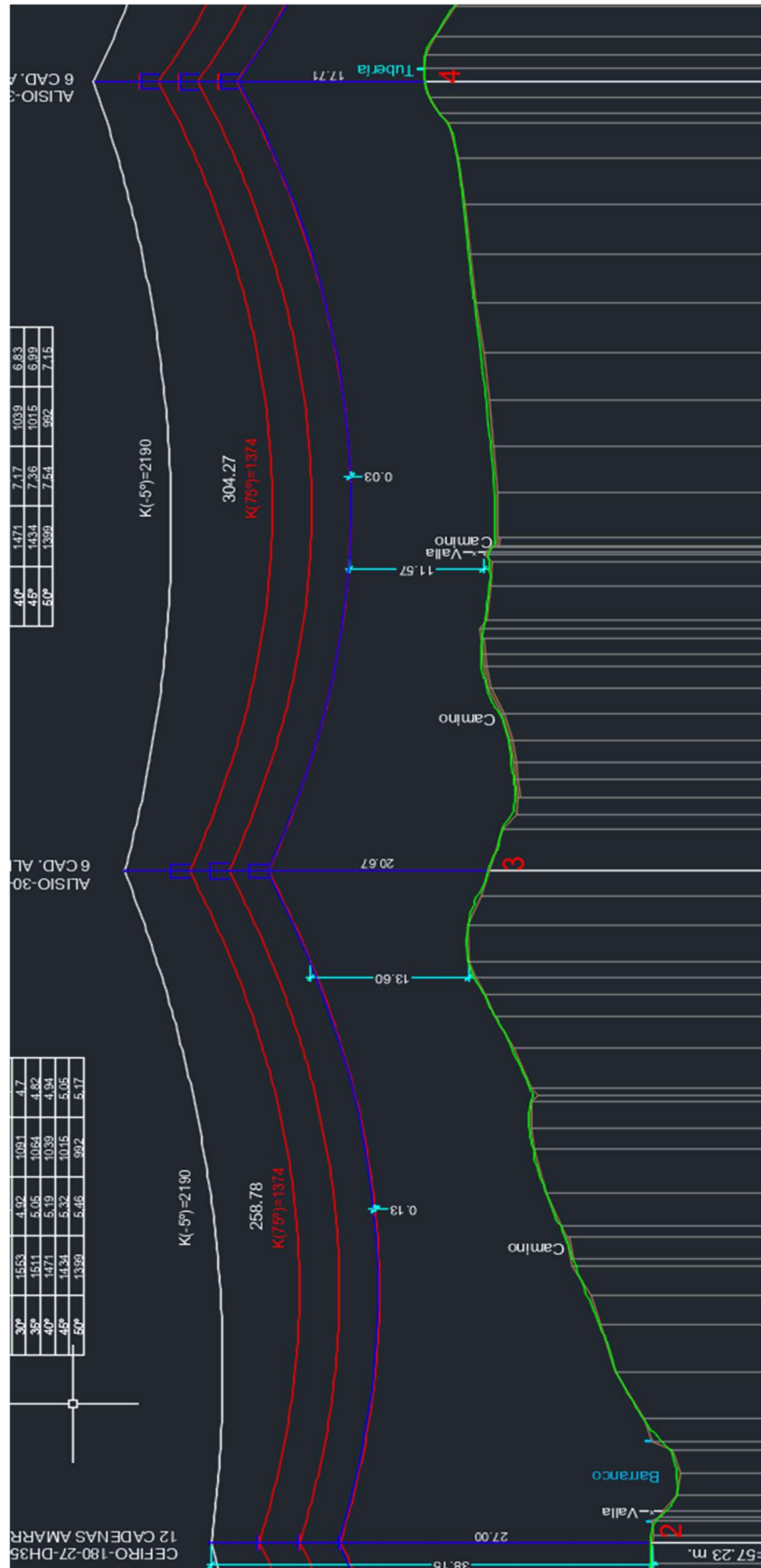


Figura 4. 19. Figura 4.8.3.: Tramo de perfil de la línea LAT Vera.



### 4.11. LÍNEA 10. Línea de alta tensión 20 KV en término municipal de Mengíbar, JAÉN.

La situación geográfica se puede observar en la figura 4.20. Las características en cuanto a provincia y término municipal por el que discurre, longitud de la línea y características de los vanos se detallan en la figura 4.10.

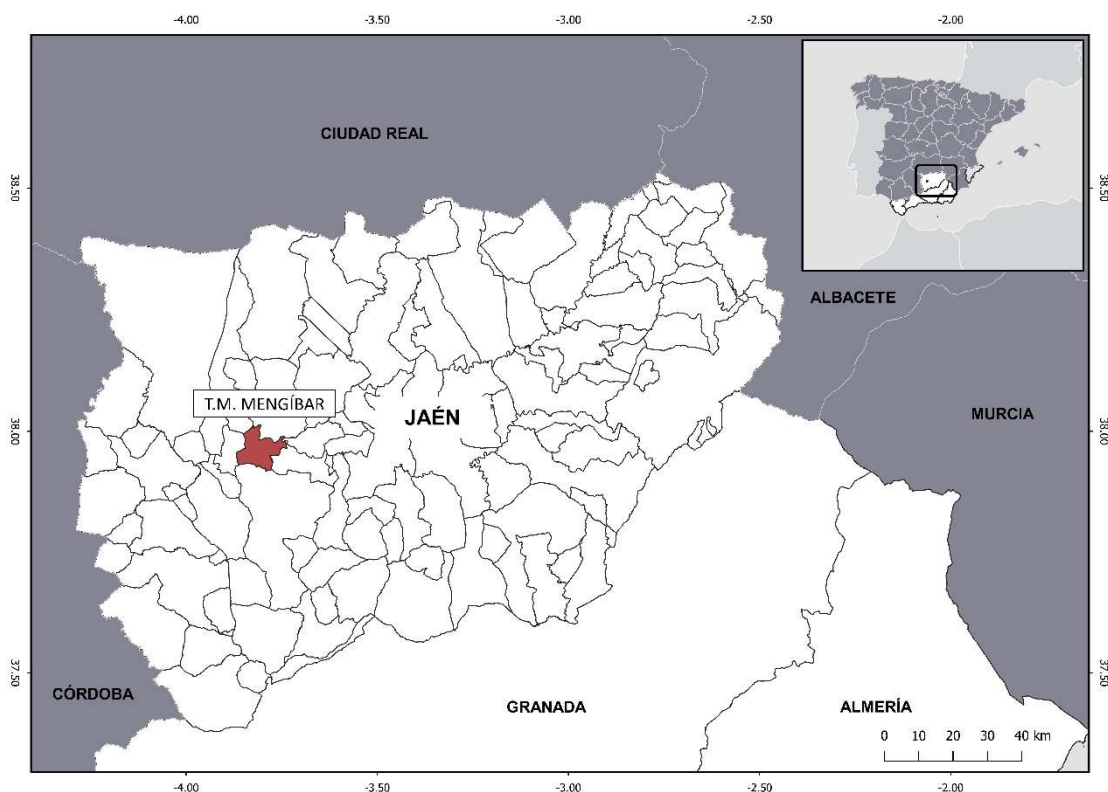


Figura 4. 20. Localización de la línea Mengíbar, Jaén.

Zona	B
Provincia	<b>JAEN</b>
Término Municipal	<b>Mengíbar</b>
Longitud total de la línea (m)	<b>4445,44</b>
Número de vanos	<b>22</b>
Número de apoyos	<b>23</b>
Vano máximo (m)	<b>493,8</b>
Vano mínimo (m)	<b>54,2</b>

Tabla 4. 10. Características de la línea Mengíbar, Jaen

A modo de ejemplo del perfil de la línea Mengíbar, se ilustra un tramo en la figura 4.21., tramo comprendido entre los apoyos 6 al 9.

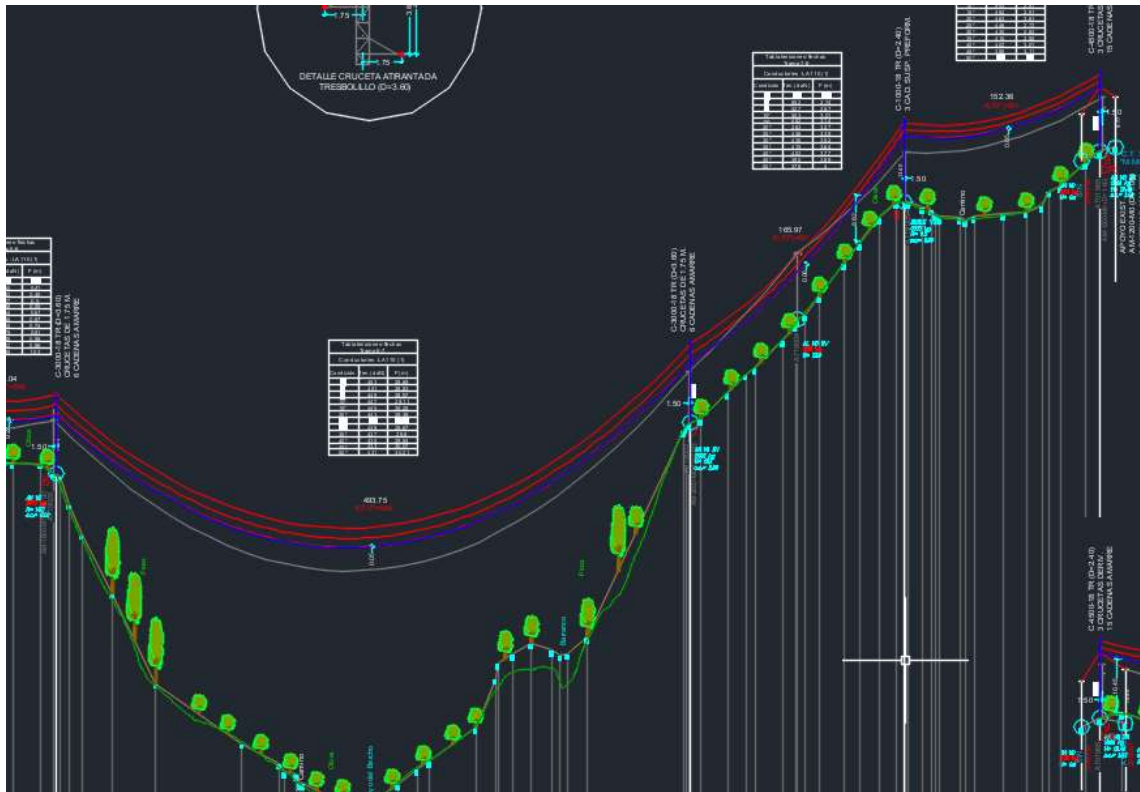


Figura 4. 21. Tramo del perfil de la línea 20kV Mengibar, Jaen

## 4.12. Resumen de las líneas estudiadas.

En la tabla 4.11 se resumen las líneas estudiadas levantadas con GPS para la presente tesis doctoral

Línea	Voltaje	Número de postes	Número de vanos	Longitud total	Long max	Long min
	(kV)			(m)	(m)	(m)
Línea 1	30	13	12	1500	262,4	58,59
Línea 2	66	12	11	2016,36	367,1	38,4
Línea 3	220	6	5	1370,4	455	13,5
Línea 4	30	17	16	2606,83	342,3	59,4
Línea 5	30	37	36	8553,17	480,2	49,6
Línea 6	30	10	9	1765,34	349,1	15
Línea 7	132	24	23	6266,99	659,3	28,2
Línea 8	20	21	22	3102,91	217,2	17,5
Línea 9	132	10	9	2526,12	442,1	197,8
Línea 10	20	22	23	4445,44	493,8	542,2
<b>TOTAL</b>		172	166	34153,56		

Tabla 4. 11. Resumen de las características principales de las líneas estudiadas

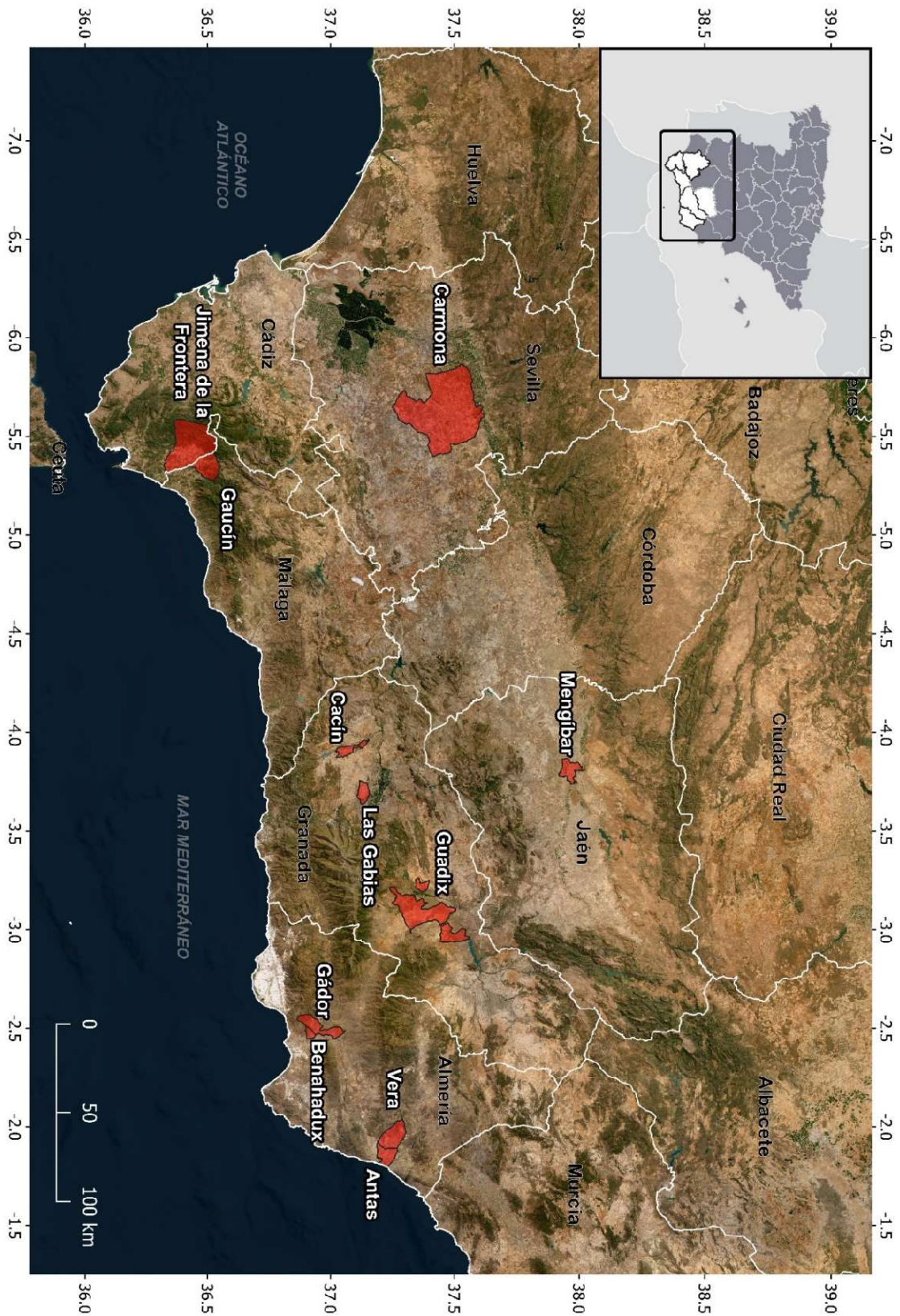


Figura 4. 22. Localización general de las líneas analizadas



***CAPÍTULO 5***

---

**RESULTADOS**

<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....</b>	<b>138</b>
<b>5.1. LÍNEA 1. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. DOBLE CIRCUITO, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, EN PARAJE “TURRO”, T.M. CACÍN, GRANADA. ....</b>	<b>138</b>
5.1.1. Indicadores de precisión. ....	138
5.1.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	139
5.1.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	140
5.1.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	141
<b>5.2. LÍNEA 2. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 66 KV, SIMPLE CIRCUITO. LAS GABIAS, GRANADA. ....</b>	<b>142</b>
5.2.1. Indicadores de precisión. ....	142
5.2.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	143
5.2.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	144
5.2.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	144
<b>5.3. LÍNEA 3. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 220 KV. SIMPLE CIRCUITO, EN TÉRMINO MUNICIPAL DE CARMONA, SEVILLA.....</b>	<b>145</b>
5.3.1. Indicadores de precisión. ....	145
5.3.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	145
5.3.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	146
<b>5.4. LÍNEA 4. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN TRIPLE CIRCUITO, 30 KV. DOBLE CIRCUITO Y CIRCUITO 66 KV PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, T.M. BENAHADUX, ALMERÍA. ....</b>	<b>147</b>
5.4.1. Indicadores de precisión. ....	147
5.4.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	148
5.4.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	148
5.4.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	149
<b>5.5. LÍNEA 5. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. SIMPLE CIRCUITO HASTA SUBESTACIÓN, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE GAUCÍN, JIMENA DE LA FRONTERA, MÁLAGA Y CÁDIZ.....</b>	<b>150</b>
5.5.1. Indicadores de precisión. ....	150
5.5.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	151
5.5.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	151

5.5.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ) .....	152
<b>5.6. LÍNEA 6. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 30 KV. DOBLE CIRCUITO HASTA SUBESTACIÓN, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE ANTAS, ALMERÍA. ....</b>	<b>153</b>
5.6.1. Indicadores de precisión. ....	153
5.6.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	154
5.6.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	154
5.6.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	155
<b>5.7. LÍNEA 7. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 132 KV SIMPLE CIRCUITO, PARA EVACUACIÓN PARQUE FOTOVOLTAICO, EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE GÁDOR Y BENAHADUX, ALMERÍA. ....</b>	<b>156</b>
5.7.1. Indicadores de precisión. ....	156
5.7.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	157
5.7.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	158
5.7.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	159
<b>5.8. LÍNEA 8. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 20 KV SIMPLE CIRCUITO DESDE FOTOVOLTAICA HASTA SUBESTACIÓN, EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE GUADIX, GRANADA. ....</b>	<b>160</b>
5.8.1. Indicadores de precisión. ....	160
5.8.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	161
5.8.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	161
5.8.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	162
<b>5.9. LÍNEA 9. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 132 KV. EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE VERA, ALMERÍA. 163</b>	
5.9.1. Indicadores de precisión. ....	163
5.9.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	164
5.9.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	165
5.9.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ).....	165
<b>5.10. LÍNEA 10. LÍNEA DE ALTA TENSIÓN 20 KV EN TÉRMINO MUNICIPAL DE MENGÍBAR, JAÉN. 167</b>	
5.10.1. Indicadores de precisión. ....	167
5.10.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	168

5.10.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (e $\Delta$ Z).....	169
5.10.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (e $\Delta$ Z) .....	170
<b>5.11. TODAS LAS LÍNEAS.....</b>	<b>171</b>
5.11.1. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano.....	171
5.11.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (e $\Delta$ Z).....	172
5.11.3. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (e $\Delta$ Z) .....	173
5.12. Análisis de la viabilidad: costes, rapidez, seguridad.....	176



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 5. 1. Resultados línea 30 kV LAT Cacín Granda .....</b>	<b>138</b>
<b>Tabla 5. 2. Resultados línea LAT 66kV. Las Gabias Granada. ....</b>	<b>142</b>
<b>Tabla 5. 3. Resultados línea LAT 220kV. Carmona - Sevilla .....</b>	<b>145</b>
<b>Tabla 5. 4. Resultados línea LAT 30 y 66 kV. Parque FV Benahadux - Almería .....</b>	<b>147</b>
<b>Tabla 5. 5. Resultados línea LAT 30kV Gaucín y Jimena de La Frontera. Málaga - Cádiz .....</b>	<b>150</b>
<b>Tabla 5. 6. Resultados línea LAT 30kV, Antas - Almería .....</b>	<b>153</b>
<b>Tabla 5. 7. Resultados línea LAT 132 kV Gádor y Benahadux, Almería.....</b>	<b>157</b>
<b>Tabla 5. 8. Resultados línea LAT 20kV Guadix, Granada .....</b>	<b>160</b>
<b>Tabla 5. 9. Resultados LAT 132 kV Vera - Almería .....</b>	<b>163</b>
<b>Tabla 5. 10. Resultados línea Mengíbar 20kV.....</b>	<b>167</b>
<b>Tabla 5. 11. Costes de las líneas estudiadas levantadas con GPS y con dron (UAV). ....</b>	<b>179</b>
<b>Tabla 5. 12. Datos de la rapidez del levantamiento de líneas estudiadas levantadas con GPS y con dron (UAV).....</b>	<b>180</b>

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS.

### 5.1. LÍNEA 1. línea de alta tensión 30 kV. doble circuito, para evacuación parque fotovoltaico, en paraje “turro”, T.M. Cacín, Granada.

#### 5.1.1. Indicadores de precisión.

Los resultados del análisis de los indicadores de precisión para esta LAT se muestran en la tabla 5.1.

APOYO	$Z_{GPS}$	$Z_{DRON}$	LONGITUD	$\Delta Z_{GPS}$	$\Delta Z_{DRON}$	$e_z$	$e_{\Delta z}$	$e_{z-CAT}$
1	665,54	665,64	59,91			-0,10	0,00	0,02
2	668,86	668,73	134,58	3,32	3,09	0,13	0,23	0,04
3	673,73	673,89	152,88	4,87	5,16	-0,16	-0,29	0,23
4	679,45	679,70	95,71	5,72	5,81	-0,25	-0,09	0,18
5	666,30	666,33		-13,15	-13,37	-0,03	0,22	-
6	671,57	671,40	129,42	5,27	5,07	0,17	0,20	0,04
7	707,25	707,36	80,94	35,68	35,96	-0,11	-0,28	0,07
8	704,63	704,69		-2,62	-2,67	-0,06	0,05	-
9	702,92	702,64	262,36	-1,71	-2,05	0,28	0,34	0,17
10	703,07	702,95	254,92	0,15	0,31	0,12	-0,16	0,01
11	716,98	717,07	200,00	13,91	14,12	-0,09	-0,21	0,10
12	703,50	703,50	159,08	-13,48	-13,57	0,00	0,09	0,27
13	674,35	674,57		-29,15	-28,93	-0,22	-0,22	-

Tabla 5. 1. Resultados línea 30 kV LAT Cacín Granda

## 5.1.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,76549486
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,58598238
R <sup>2</sup> ajustado	0,526837
Error típico	0,06360459
Observaciones	9

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,04008119	0,04008119	9,90749278	0,01620588
Residuos	7	0,02831881	0,00404554		
Total	8	0,0684			

Este análisis de varianza presenta dos fuentes de variación: la regresión y los residuos, y se utiliza para evaluar si la variable predictora (regresión) tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta (residuos).

En la tabla, los grados de libertad son 1 para la regresión y 7 para los residuos, lo que indica que se están comparando ocho grupos en total. La suma de cuadrados es la cantidad total de la variación en la variable de respuesta que puede ser explicada por la variable predictora (regresión) y la cantidad que no puede ser explicada por la variable predictora (residuos). La suma de cuadrados de la regresión es de 0,04008119 y la suma de cuadrados de los residuos es de 0,02831881. La suma total de cuadrados es de 0,0684.

El promedio de los cuadrados (Mean Square) es la suma de cuadrados dividida por los grados de libertad correspondientes. Para la regresión, el promedio de los cuadrados es de  $0,04008119/1=0,04008119$  y para los residuos, es de  $0,02831881/7=0,00404554$ .

El valor de F se calcula dividiendo el promedio de los cuadrados de la regresión por el promedio de los cuadrados de los residuos. En este caso, el valor de F es 9,90749278. Para evaluar si este valor de F es significativo, se compara con el valor crítico de F, que en este caso es de 0,01620588.

El valor de F (9,90749278) es mayor que el valor crítico de F (0,01620588), lo que indica que hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de que la variable predictora no tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta. En otras palabras, **se puede concluir que la variable predictora tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta.**

### 5.1.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,05405709
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,00292217
R <sup>2</sup> ajustado	-0,13951752
Error típico	0,098706
Observaciones	9

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,00019988	0,00019988	0,02051513	0,89014361
Residuos	7	0,06820012	0,00974287		
Total	8	0,0684			

Este análisis de varianza presenta dos fuentes de variación: la regresión y los residuos, y se utiliza para evaluar si la variable predictora (regresión) tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta (residuos).

En la tabla, los grados de libertad son 1 para la regresión y 7 para los residuos, lo que indica que se están comparando ocho grupos en total. La suma de cuadrados es la cantidad total de la variación en la variable de respuesta que puede ser explicada por la variable predictora (regresión) y la cantidad que no puede ser explicada por la variable predictora (residuos). La suma de cuadrados de la regresión es de 0,00019988 y la suma de cuadrados de los residuos es de 0,06820012. La suma total de cuadrados es de 0,0684.

El promedio de los cuadrados (Mean Square) es la suma de cuadrados dividida por los grados de libertad correspondientes. Para la regresión, el promedio de los cuadrados es de  $0,00019988/1=0,00019988$  y para los residuos, es de  $0,06820012/7=0,00974287$ .

El valor de F se calcula dividiendo el promedio de los cuadrados de la regresión por el promedio de los cuadrados de los residuos. En este caso, el valor de F es 0,02051513. Para evaluar si este valor de F es significativo, se compara con el valor crítico de F, que en este caso es de 0,89014361.

El valor de F (0,02051513) es menor que el valor crítico de F (0,89014361), lo que indica que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de que la variable predictora no tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta. En otras palabras, **no se puede concluir que la variable predictora tenga un efecto significativo sobre la variable de respuesta.**

### 5.1.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria ( $eZ$ -CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos ( $e\Delta Z$ )

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,80852578
Coeficiente de determinación $R^2$	0,65371394
$R^2$ ajustado	0,53828526
Error típico	0,06283041
Observaciones	9

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,04471403	0,02235702	5,66335778	0,04152456
Residuos	6	0,02368597	0,00394766		
Total	8	0,0684			

Este análisis de varianza presenta dos fuentes de variación: la regresión y los residuos, y se utiliza para evaluar si la variable predictora (regresión) tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta (residuos).

En la tabla, los grados de libertad son 2 para la regresión y 6 para los residuos, lo que indica que se están comparando ocho grupos en total. La suma de cuadrados es la cantidad total de la variación en la variable de respuesta que puede ser explicada por la variable predictora (regresión) y la cantidad que no puede ser explicada por la variable predictora (residuos). La suma de cuadrados de la regresión es de 0,04471403 y la suma de cuadrados de los residuos es de 0,02368597. La suma total de cuadrados es de 0,0684.

El promedio de los cuadrados (Mean Square) es la suma de cuadrados dividida por los grados de libertad correspondientes. Para la regresión, el promedio de los cuadrados es de  $0,04471403/2=0,02235702$  y para los residuos, es de  $0,02368597/6=0,00394766$ .

El valor de F se calcula dividiendo el promedio de los cuadrados de la regresión por el promedio de los cuadrados de los residuos. En este caso, el valor de F es 5,66335778. Para evaluar si este valor de F es significativo, se compara con el valor crítico de F, que en este caso es de 0,04152456.

El valor de F (5,66335778) es mayor que el valor crítico de F (0,04152456), lo que indica que hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de que la variable predictora no tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta. En otras palabras, se puede concluir que la variable predictora tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta.

## 5.2. LÍNEA 2. Línea de alta tensión 66 kV, simple circuito. Las Gabias, Granada.

### 5.2.1. Indicadores de precisión.

Los resultados del análisis de los indicadores de precisión para esta LAT se muestran en la tabla 5.2.

APOYO	$Z_{GPS}$	$Z_{DRON}$	LONGITUD	$\Delta Z_{GPS}$	$\Delta Z_{DRON}$	$e_Z$	$e_{\Delta Z}$	$e_{Z-CAT}$
1	687,74	687,64	288,51			0,10	0,00	0,07
2	693,65	693,56	233,24	5,91	5,92	0,09	-0,01	0,02
3	708,01	708,02	225,43	14,36	14,46	-0,01	-0,10	0,04
4	697,48	697,50	367,14	-10,53	-10,52	-0,02	-0,01	0,03
5	692,79	692,83	174,01	-4,69	-4,67	-0,04	-0,02	0,06
6	672,06	672,14	89,42	-20,73	-20,69	-0,08	-0,04	0,01
7	661,47	661,37	67,30	-10,59	-10,77	0,10	0,18	0,06
8	657,52	657,50	128,29	-3,95	-3,87	0,02	-0,08	0,11
9	653,57	653,75	38,38	-3,95	-3,75	-0,18	-0,20	0,12
10	653,48	653,56	153,80	-0,09	-0,19	-0,08	0,10	0,09
11	652,30	652,02	251,05	-1,18	-1,54	0,28	0,36	0,25
12	651,23	651,01		-1,07	-1,01	0,22	-0,06	-
13	679,09	679,00	142,71	27,86	27,99	0,09	-0,13	0,20
14	671,66	671,38	123,57	-7,43	-7,62	0,28	0,19	0,11
15	674,92	674,90	114,10	3,26	3,52	0,02	-0,26	0,13
16	674,87	674,62		-0,05	-0,28	0,25	0,23	-

Tabla 5. 2. Resultados línea LAT 66kV. Las Gabias Granada.

## 5.2.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,40017454
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,16013966
R <sup>2</sup> ajustado	0,08378872
Error típico	0,0676401
Observaciones	13

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,00959606	0,00959606	2,09741575	0,17544562
Residuos	11	0,05032702	0,00457518		
Total	12	0,05992308			

En la tabla, los grados de libertad son 1 para la regresión y 11 para los residuos, lo que indica que se están comparando doce grupos en total. La suma de cuadrados es la cantidad total de la variación en la variable de respuesta que puede ser explicada por la variable predictora (regresión) y la cantidad que no puede ser explicada por la variable predictora (residuos). La suma de cuadrados de la regresión es de 0,00959606 y la suma de cuadrados de los residuos es de 0,05032702. La suma total de cuadrados es de 0,05992308.

El promedio de los cuadrados (Mean Square) es la suma de cuadrados dividida por los grados de libertad correspondientes. Para la regresión, el promedio de los cuadrados es de  $0,00959606/1=0,00959606$  y para los residuos, es de  $0,05032702/11=0,00457518$ .

El valor de F se calcula dividiendo el promedio de los cuadrados de la regresión por el promedio de los cuadrados de los residuos. En este caso, el valor de F es 2,09741575. Para evaluar si este valor de F es significativo, se compara con el valor crítico de F, que en este caso es de 0,17544562.

El valor de F (2,09741575) es mayor que el valor crítico de F (0,17544562), aunque no se cumple la condición de que el valor de F sea significativamente mayor que el valor crítico de F. Esto sugiere que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que la variable predictora no tiene un efecto significativo sobre la variable de respuesta. En otras palabras, **no se puede concluir que la variable predictora tenga un efecto significativo sobre la variable de respuesta.**

### 5.2.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,09496957
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,00901922
R <sup>2</sup> ajustado	-0,08106994
Error típico	0,07347394
Observaciones	13

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,00054046	0,00054046	0,10011435	0,7576157
Residuos	11	0,05938262	0,00539842		
Total	12	0,05992308			

En este análisis de varianza, se observa que el modelo de regresión tiene un valor F de 0.1, lo que sugiere que la relación entre la variable dependiente y la variable independiente no es significativa. Además, el valor crítico de F es 0.7576, lo que indica que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay relación entre las variables. La suma de cuadrados para la regresión es bastante baja en comparación con la suma de cuadrados de los residuos y el total, lo que sugiere que la varianza explicada por el modelo es insignificante en comparación con la varianza no explicada. En general, **este análisis no ofrece evidencia para apoyar la idea de que la variable independiente tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente.**

### 5.2.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,43761713
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,19150875
R <sup>2</sup> ajustado	0,02981051
Error típico	0,06960408
Observaciones	13

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,01147579	0,0057379	1,18435887	0,34544317
Residuos	10	0,04844728	0,00484473		
Total	12	0,05992308			



En este análisis de varianza, se observa que el modelo de regresión tiene un valor F de 1.184, lo que sugiere que la relación entre la variable dependiente y las dos variables independientes no es significativa. Además, el valor crítico de F es 0.3454, lo que indica que no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay relación entre las variables. La suma de cuadrados para la regresión es bastante baja en comparación con la suma de cuadrados de los residuos y el total, lo que sugiere que la varianza explicada por el modelo es insignificante en comparación con la varianza no explicada. En general, **este análisis no ofrece evidencia para apoyar la idea de que las variables independientes tienen un efecto significativo sobre la variable dependiente.**

### 5.3. LÍNEA 3. Línea de alta tensión 220 kV. Simple circuito, en término municipal de Carmona, Sevilla.

#### 5.3.1. Indicadores de precisión.

Los resultados del análisis de los indicadores de precisión para esta LAT se muestran en la tabla 5.3.

APOYO	Z <sub>GPS</sub>	Z <sub>DRON</sub>	LONGITUD	ΔZ <sub>GPS</sub>	ΔZ <sub>DRON</sub>	eZ	eΔZ	eZ-CAT
1	44,66	44,38				0,28	0,00	0,00
2	44,40	44,92	355,65	-0,26	0,54	-0,52	-0,80	0,22
3	49,60	49,50	424,78	5,20	4,58	0,10	0,62	0,00
4	44,96	45,04	455,05	-4,64	-4,46	-0,08	-0,18	0,01
5	47,50	46,95	121,93	2,54	1,91	0,55	0,63	-

Tabla 5. 3. Resultados línea LAT 220kV. Carmona - Sevilla

#### 5.3.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,84916437
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,72108014
R <sup>2</sup> ajustado	0,44216027
Error típico	0,09278646
Observaciones	3

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,02225734	0,02225734	2,58525916	0,35421224
Residuos	1	0,00860933	0,00860933		
Total	2	0,03086667			

En este análisis de varianza, se observa que el modelo de regresión tiene un valor F de 2.585, lo que sugiere que la relación entre la variable dependiente y la variable independiente es significativa. Además, el valor crítico de F es 0.3542, lo que indica que se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay relación entre las variables. La suma de cuadrados para la regresión es mayor que la suma de cuadrados de los residuos, lo que sugiere que la varianza explicada por el modelo es significativa en comparación con la varianza no explicada. En general, **estos resultados indican que hay evidencia suficiente para afirmar que la variable independiente tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente.**

### 5.3.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ)

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,94213118
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,88761117
R <sup>2</sup> ajustado	0,77522233
Error típico	0,0588988
Observaciones	3

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,0273976	0,0273976	7,8976811	0,21763781
Residuos	1	0,00346907	0,00346907		
Total	2	0,03086667			

En este análisis de varianza, se evaluó la relación entre dos variables y se encontró una diferencia significativa entre ellas. La regresión tuvo un valor de F de 7,8976811 con un valor crítico de F de 0,21763781, lo que indica que existe una diferencia significativa entre las variables evaluadas.

La suma de cuadrados para la regresión fue de 0,0273976, lo que significa que la varianza en la variable dependiente puede ser explicada por la variable independiente. Por otro lado, la suma de cuadrados para los residuos fue de 0,00346907, lo que indica que la varianza no explicada en la variable dependiente se debe a factores aleatorios.

En general, estos resultados indican **que la variable independiente es un buen predictor de la variable dependiente y que la relación entre ellas es significativa.**

#### 5.4. LÍNEA 4. Línea de alta tensión triple circuito, 30 kV. Doble circuito y circuito 66 kV para evacuación parque fotovoltaico, T.M. Benahadux, Almería.

##### 5.4.1. Indicadores de precisión.

Los resultados del análisis de los indicadores de precisión para esta LAT se muestran en la tabla 5.4.

APOYO	$Z_{GPS}$	$Z_{DRON}$	LONGITUD	$\Delta Z_{GPS}$	$\Delta Z_{DRON}$	ez	e $\Delta z$	ez-CAT
30	252,50	252,79				-0,29		
31	219,00	219,10	308,50	-33,50	-33,69	-0,10	0,19	0,19
32	220,44	220,57	298,56	1,44	1,47	-0,13	-0,03	0,15
33	213,26	213,20	115,50	-7,18	-7,37	0,06	0,19	0,03
34	209,83	209,82	218,06	-3,43	-3,38	0,01	-0,05	0,03
35	203,49	203,34	46,21	-6,34	-6,48	0,15	0,14	0,03
36	231,00	232,10	118,44	27,51	28,76	-1,10	-1,25	0,62
37	261,50	261,47	170,51	30,50	29,37	0,03	1,13	0,62
38	297,95	298,63	143,65	36,45	37,16	-0,68	-0,71	0,48
39	281,24	281,13	143,12	-16,71	-17,50	0,11	0,79	0,37
40	238,66	238,90	243,06	-42,58	-42,23	-0,24	-0,35	0,14
41	250,02	250,00	248,18	11,36	11,10	0,02	0,26	0,16
42	275,47	275,22	115,98	25,45	25,22	0,25	0,23	0,12
43	290,75	291,12	303,13	15,28	15,90	-0,37	-0,62	0,03
44	279,99	281,05	69,26	-10,76	-10,07	-1,06		0,15

Tabla 5. 4. Resultados línea LAT 30 y 66 kV. Parque FV Benahadux - Almería

### 5.4.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,00762363
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	5,812E-05
R <sup>2</sup> ajustado	-0,08327037
Error típico	0,22080378
Observaciones	14

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	3,4005E-05	3,4005E-05	0,00069748	0,9793646
Residuos	12	0,58505171	0,04875431		
Total	13	0,58508571			

En este análisis de varianza, se tiene un modelo de regresión con una sola variable independiente y se desea evaluar si la variable explicativa es significativa en la explicación de la variable dependiente. En este caso, se observa que el valor F de la regresión es muy bajo y el valor crítico de F es alto, lo que sugiere que la variable independiente no es significativa en la explicación de la variable dependiente. Además, la suma de cuadrados del residuo es mucho mayor que la suma de cuadrados de la regresión, lo que indica que la mayor parte de la variabilidad de la variable dependiente no se puede explicar por la variable independiente. Por lo tanto, se podría concluir que **la variable independiente no es un buen predictor de la variable dependiente en este modelo.**

### 5.4.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,17938495
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,03217896
R <sup>2</sup> ajustado	-0,04847279
Error típico	0,21722843
Observaciones	14

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,01882745	0,01882745	0,39898651	0,53946003
Residuos	12	0,56625826	0,04718819		
Total	13	0,58508571			

El análisis de varianza muestra que la suma de cuadrados de la regresión y la suma de cuadrados residuales son iguales a la suma total de cuadrados, lo que es consistente con el modelo de regresión lineal simple. La regresión en sí misma no parece ser significativa en estos resultados, ya que el valor de F (0,39898651) es menor que el valor crítico de F (0,53946003) para un nivel de significancia del 0,05. Además, el promedio de los cuadrados de la regresión (0,01882745) y de los residuales (0,04718819) es relativamente similar, lo que indica que no hay un efecto significativo de la variable independiente en la variable dependiente. En general, estos resultados sugieren que el modelo de regresión lineal simple no es adecuado para describir la relación entre las variables en cuestión.

#### 5.4.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria ( $eZ$ -CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos ( $e\Delta Z$ )

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,17938609
Coefficiente de determinación $R^2$	0,03217937
$R^2$ ajustado	-0,14378802
Error típico	0,22688764
Observaciones	14

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,01882769	0,00941384	0,18287121	0,83535642
Residuos	11	0,56625803	0,051478		
Total	13	0,58508571			

En este análisis de varianza, se han utilizado dos variables predictoras, lo que se indica por los dos grados de libertad en la sección de "Regresión". La tabla muestra que la suma de los cuadrados de la regresión es de 0.01882769 y la suma de los cuadrados residuales es de 0.56625803. El valor del promedio de los cuadrados de la regresión se calcula dividiendo la suma de los cuadrados de la regresión por el número de grados de libertad, lo que da como resultado 0.00941384. El valor de F se calcula dividiendo el promedio de los cuadrados de la regresión por el promedio de los cuadrados residuales, lo que da como resultado 0.18287121.

El valor crítico de F se utiliza para determinar si el valor de F es significativo. En este caso, el valor crítico de F es de 0.83535642. Como el valor de F es menor que el valor crítico, se puede concluir que no hay una relación significativa entre las variables predictoras y la variable de respuesta. En otras palabras, la regresión no es significativa.

Por lo tanto, en este análisis de varianza, no se encontró evidencia de que las variables predictoras estén relacionadas con la variable de respuesta.

## 5.5. LÍNEA 5. Línea de alta tensión 30 kV. Simple circuito hasta subestación, para evacuación parque fotovoltaico en los términos municipales de Gaucín, Jimena de la Frontera, Málaga y Cádiz.

### 5.5.1. Indicadores de precisión.

Los resultados del análisis de los indicadores de precisión para esta LAT se muestran en la tabla 5.5.

APOYO	$Z_{GPS}$	$Z_{DRON}$	LONGITUD	$\Delta Z_{GPS}$	$\Delta Z_{DRON}$	$e_z$	$e_{\Delta Z}$	$e_{z-CAT}$
1	665,54	665,64	59,91			-0,10	0,00	0,02
2	668,86	668,73	134,58	3,32	3,09	0,13	0,23	0,04
3	673,73	673,89	152,88	4,87	5,16	-0,16	-0,29	0,23
4	679,45	679,70	95,71	5,72	5,81	-0,25	-0,09	0,18
5	666,30	666,33		-13,15	-13,37	-0,03	0,22	-
6	671,57	671,40	129,42	5,27	5,07	0,17	0,20	0,04
7	707,25	707,36	80,94	35,68	35,96	-0,11	-0,28	0,07
8	704,63	704,69		-2,62	-2,67	-0,06	0,05	-
9	702,92	702,64	262,36	-1,71	-2,05	0,28	0,34	0,17
10	703,07	702,95	254,92	0,15	0,31	0,12	-0,16	0,01
11	716,98	717,07	200,00	13,91	14,12	-0,09	-0,21	0,10
12	703,50	703,50	159,08	-13,48	-13,57	0,00	0,09	0,27
13	674,35	674,57		-29,15	-28,93	-0,22	-0,22	-

Tabla 5. 5. Resultados línea LAT 30kV Gaucín y Jimena de La Frontera. Málaga - Cádiz

### 5.5.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,76549486
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,58598238
R <sup>2</sup> ajustado	0,526837
Error típico	0,06360459
Observaciones	9

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,04008119	0,04008119	9,90749278	0,01620588
Residuos	7	0,02831881	0,00404554		
Total	8	0,0684			

El análisis de varianza indica que hay una relación significativa entre las variables analizadas. La suma de cuadrados de la regresión es mayor que la suma de cuadrados de los residuos, lo que sugiere que la regresión explica una cantidad significativa de la variabilidad en los datos. El valor de F es alto y el valor crítico de F es bajo, lo que sugiere que la regresión es significativa al nivel de confianza seleccionado. Además, el promedio de los cuadrados de la regresión es mucho mayor que el promedio de los cuadrados de los residuos, lo que indica que la regresión explica la mayoría de la varianza en los datos. En resumen, los resultados sugieren que **la variable independiente tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente.**

### 5.5.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,05405709
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,00292217
R <sup>2</sup> ajustado	-0,13951752
Error típico	0,098706
Observaciones	9

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,00019988	0,00019988	0,02051513	0,89014361
Residuos	7	0,06820012	0,00974287		
Total	8	0,0684			

El análisis de varianza muestra que la suma total de cuadrados es 0.0684, de los cuales 0.00019988 se deben a la regresión y 0.06820012 a los residuos. La regresión tiene un promedio de cuadrados de 0.00019988 y los residuos tienen un promedio de cuadrados de 0.00974287. El valor F calculado es 0.02051513 y el valor crítico de F es 0.89014361. Como el valor F es menor que el valor crítico de F, no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los coeficientes de regresión son iguales a cero. Esto indica que la regresión no es significativa y que **la variable independiente no tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente.**

#### 5.5.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria ( $eZ$ -CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos ( $e\Delta Z$ )

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,80852578
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,65371394
R <sup>2</sup> ajustado	0,53828526
Error típico	0,06283041
Observaciones	9

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,04471403	0,02235702	5,66335778	0,04152456
Residuos	6	0,02368597	0,00394766		
Total	8	0,0684			

En este análisis de varianza se encontraron tres fuentes de variación: la regresión, los residuos y el total. La regresión tiene dos grados de libertad y muestra que la suma de cuadrados de la regresión es de 0,0447 y el promedio de los cuadrados es de 0,0224. El valor de F obtenido es de 5,6634, lo que indica que hay una diferencia significativa entre los grupos. Además, el valor p obtenido es de 0,0415, lo que es menor que el nivel de significancia comúnmente utilizado de 0,05, lo que sugiere que la relación entre las variables independientes y la dependiente es significativa. Por otro lado, la suma de cuadrados de los residuos es de 0,0237, lo que indica que la mayor parte de la variación en la variable dependiente no puede ser explicada por la variable independiente. En general, se puede concluir que hay una relación significativa entre las variables independientes y la dependiente, aunque esta relación no explica toda la variabilidad en la variable dependiente.



## 5.6. LÍNEA 6. Línea de alta tensión 30 kV. Doble circuito hasta subestación, para evacuación parque fotovoltaico en el término municipal de Antas, Almería.

### 5.6.1. Indicadores de precisión.

Los resultados del análisis de los indicadores de precisión para esta LAT se muestran en la tabla 5.6.

APOYO	$Z_{GPS}$	$Z_{DRON}$	LONGITUD	$\Delta Z_{GPS}$	$\Delta Z_{DRON}$	$e_Z$	$e_{\Delta Z}$	$e_{Z-CAT}$
1	223,58	223,59				-0,01	0,00	0,03
2	227,53	227,50	180,45	3,95	3,91	0,03	0,04	0,03
3	235,19	235,18	237,78	7,66	7,68	0,01	-0,02	0,03
4	270,19	270,04	211,07	35,00	34,86	0,15	0,14	0,30
5	269,69	269,21	387,93	-0,50	-0,83	0,48	0,33	0,25
6	251,40	251,29	79,42	-18,29	-17,92	0,11	-0,37	0,02
7	201,73	201,77	201,73	-49,67	-49,52	-0,04	-0,15	-
8	223,61	223,63				-0,02	0,00	0,02
2	221,60	221,50	207,92	-2,01	-2,13	0,10	0,12	0,08
10	219,98	219,91	271,23	-1,62	-1,59	0,07	-0,03	0,05
11	216,09	216,00	220,51	-3,89	-3,91	0,09	0,02	0,02
12	214,80	214,81	349,13	-1,29	-1,19	-0,01	-0,10	0,26
13	195,00	194,35	268,25	-19,80	-20,46	0,65	0,66	0,28
14	193,00	193,00	184,82	-2,00	-1,35	0,00	-0,65	0,10
15	195,50	195,26	185,50	2,50	2,26	0,24	0,24	-

Tabla 5. 6. Resultados línea LAT 30kV, Antas - Almería

### 5.6.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,46624096
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,21738063
R <sup>2</sup> ajustado	0,13042292
Error típico	0,10902444
Observaciones	11

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,02971396	0,02971396	2,49984312	0,14831601
Residuos	9	0,10697695	0,01188633		
Total	10	0,13669091			

Este análisis de varianza tiene un modelo de regresión con una variable independiente y una variable dependiente. El F estadístico para la regresión es 2,4998 con un valor p de 0,1483. Esto indica que el modelo de regresión no es significativo al nivel de significancia del 5% (valor crítico de F). Por lo tanto, **la variable independiente no parece tener una relación lineal significativa con la variable dependiente**. El coeficiente de determinación (R cuadrado) no se presenta en esta tabla, pero se puede calcular como el cociente de la suma de cuadrados de la regresión y la suma de cuadrados total. En este caso, R cuadrado es 0,78, lo que indica que el modelo explica el 78% de la variabilidad en la variable dependiente. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el modelo de regresión no es significativo, por lo que es posible que este valor no tenga mucho valor predictivo. La tabla también presenta los resultados para los residuos, que se utilizan para evaluar si el modelo de regresión es una buena descripción de los datos. En este caso, los residuos tienen un promedio de cuadrados de 0,0119, lo que indica que el modelo no está capturando toda la variabilidad en los datos. En resumen, aunque el coeficiente de determinación es alto, el modelo de regresión no es significativo y no se ajusta bien a los datos.

### 5.6.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,59243098
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,35097447
R <sup>2</sup> ajustado	0,27886052
Error típico	0,09928404
Observaciones	11

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,04797502	0,04797502	4,86694288	0,0547914
Residuos	9	0,08871589	0,00985732		
Total	10	0,13669091			

En este análisis de varianza, se está evaluando la relación entre dos variables, y se han obtenido los siguientes resultados:

- Los grados de libertad corresponden a la cantidad de datos que se tienen y las restricciones que se han impuesto en el análisis. En este caso, se tienen 1 y 9 grados de libertad para la regresión y los residuos, respectivamente.
- La suma de cuadrados para la regresión es 0.04797502, lo que indica la cantidad de variación en la variable dependiente que se puede explicar por la variable independiente. La suma de cuadrados para los residuos es 0.08871589, que es la cantidad de variación en la variable dependiente que no puede ser explicada por la variable independiente.
- El promedio de los cuadrados para la regresión es 0.04797502, lo que indica la cantidad de variación explicada por cada grado de libertad en la regresión. El promedio de los cuadrados para los residuos es 0.00985732, que es la cantidad de variación no explicada por cada grado de libertad en los residuos.
- La estadística F es la relación entre la varianza explicada por la regresión y la varianza no explicada por los residuos. Un valor alto de F indica que la variable independiente está relacionada significativamente con la variable dependiente. En este caso, la estadística F es 4.86694288, que es mayor que el valor crítico de F (0.0547914) para un nivel de significancia del 5%.

En conclusión, se puede decir que **la variable independiente tiene una relación significativa con la variable dependiente, lo que sugiere que la variable independiente es un predictor importante de la variable dependiente.**

#### 5.6.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria ( $eZ$ -CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos ( $e\Delta Z$ )

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,59487608
Coefficiente de determinación $R^2$	0,35387755
$R^2$ ajustado	0,19234694
Error típico	0,10507085
Observaciones	11

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	0,04837184	0,02418592	2,19077699	0,17428473
Residuos	8	0,08831907	0,01103988		
Total	10	0,13669091			

En este análisis de varianza se observa que hay una regresión con dos grados de libertad, una suma de cuadrados de 0.04837184 y un promedio de cuadrados de 0.02418592. El valor F es de 2.19077699 y el valor crítico de F es de 0.17428473. El valor F es menor que el valor crítico de F, lo que indica que la regresión no es estadísticamente significativa. Además, se observa que la suma de cuadrados de los residuos es mayor que la suma de cuadrados de la regresión, lo que indica que gran parte de la variabilidad de los datos no se puede explicar mediante la regresión. En resumen, se puede decir que **la regresión no es significativa y no es un buen ajuste para los datos.**

## 5.7. LÍNEA 7. Línea de alta tensión 132 kV simple circuito, para evacuación parque fotovoltaico, en los términos municipales de Gádor y Benahadux, Almería.

### 5.7.1. Indicadores de precisión.

Los resultados del análisis de los indicadores de precisión para esta LAT se muestran en la tabla 5.7.

APOYO	Z <sub>GPS</sub>	Z <sub>DRON</sub>	LONGITUD	$\Delta Z_{GPS}$	$\Delta Z_{DRON}$	ez	eZ	ez-CAT
1	543,47	543,62				-0,15	0,00	0,02
2	549,40	549,28	77,47	5,93	5,66	0,12	0,27	0,21
3	559,59	559,28	483,96	10,19	10,00	0,31	0,19	0,26
4	584,05	583,90	180,71	24,46	24,62	0,15	-0,16	0,04
5	584,89	584,90	170,61	0,84	1,00	-0,01	-0,16	0,02
6	619,66	619,50	343,44	34,77	34,60	0,16	0,17	0,07
7	670,41	670,34	300,21	50,75	50,84	0,07	-0,09	0,05
8	671,88	671,76	284,65	1,47	1,42	0,12	0,05	0,12
9	617,32	617,22	488,49	-54,56	-54,54	0,10	-0,02	0,05
10	609,26	609,30	263,16	-8,06	-7,92	-0,04	-0,14	0,30
11	621,83	621,80	717,62	12,57	12,50	0,03	0,07	0,40
12	609,54	608,54	388,05	-12,29	-13,26	1,00	0,97	0,53

<b>13</b>	583,44	583,30	146,53	-26,10	-25,24	0,14	-0,86	0,21
<b>14</b>	531,57	531,71	494,32	-51,87	-51,59	-0,14	-0,28	0,04
<b>15</b>	522,17	521,88	68,61	-9,40	-9,83	0,29	0,43	0,13
<b>16</b>	476,47	476,64	176,57	-45,70	-45,24	-0,17	-0,46	1,01
<b>17</b>	352,00	352,65	659,29	-124,47	-123,99	-0,65	-0,48	1,11
<b>18</b>	282,00	283,00	440,61	-70,00	-69,65	-1,00	-0,35	0,67
<b>19</b>	262,46	262,60	108,21	-19,54	-20,40	-0,14	0,86	0,38
<b>20</b>	251,40	251,32	121,57	-11,06	-11,28	0,08	0,22	0,20
<b>21</b>	232,47	232,04	160,04	-18,93	-19,28	0,43	0,35	0,67
<b>22</b>	227,15	226,26	160,38	-5,32	-5,78	0,89	0,46	-

Tabla 5. 7. Resultados línea LAT 132 kV Gádor y Benahadux, Almería

### 5.7.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,12753333
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,01626475
R <sup>2</sup> ajustado	-0,03838721
Error típico	0,32836015
Observaciones	20

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,03208799	0,03208799	0,29760599	0,59208404
Residuos	18	1,94076701	0,10782039		
Total	19	1,972855			

En este análisis de varianza, se ha examinado la relación entre dos variables, una dependiente y otra independiente. Los resultados indican que el modelo de regresión lineal no es estadísticamente significativo ya que el valor de F es menor que el valor crítico de F a un nivel de significación del 5% o del 1%, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de que no hay relación entre las variables. Además, se puede observar que la suma de cuadrados de los residuos es mucho mayor que la suma de cuadrados de la regresión, lo que sugiere que el modelo no explica adecuadamente la variabilidad de los datos. En resumen, se puede concluir que no hay suficiente evidencia para demostrar una relación significativa entre las variables examinadas en este análisis de varianza.

### 5.7.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria ( $e_Z$ -CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos ( $e_{\Delta Z}$ )

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,25021053
Coefficiente de determinación $R^2$	0,06260531
$R^2$ ajustado	0,01052783
Error típico	0,32053287
Observaciones	20

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,1235112	0,1235112	1,202157	0,28734385
Residuos	18	1,8493438	0,10274132		
Total	19	1,972855			

El análisis estadístico que se presenta muestra los resultados de un Análisis de Varianza (ANOVA) que tiene como objetivo determinar si hay diferencias significativas entre los grupos o tratamientos. En este caso, se han calculado los grados de libertad, la suma de cuadrados, el promedio de los cuadrados, el valor F y el valor crítico de F para la regresión, los residuos y el total.

En particular, se puede observar que el modelo de regresión explica una pequeña pero significativa parte de la variabilidad en los datos, ya que el valor F es mayor que el valor crítico de F ( $1.202 > 0.287$ ). El promedio de los cuadrados para la regresión (0.1235112) indica que la variabilidad explicada por el modelo es mayor que la variabilidad no explicada por el modelo (0.10274132).

Por otro lado, los residuos representan la variabilidad no explicada por el modelo y se han obtenido 18 grados de libertad para ellos. La suma de cuadrados de los residuos es de 1.8493438, lo que indica que hay una cantidad considerable de variabilidad no explicada por el modelo.

En resumen, se puede afirmar que el modelo de regresión tiene un efecto estadísticamente significativo en los datos, pero que la cantidad de variabilidad explicada por el modelo es relativamente baja. Es importante tener en cuenta que estos resultados deben interpretarse en el contexto del problema y los datos específicos que se están analizando.

#### 5.7.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria ( $eZ$ -CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos ( $e\Delta Z$ )

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,26306745
Coefficiente de determinación $R^2$	0,06920448
$R^2$ ajustado	-0,04030087
Error típico	0,32866258
Observaciones	20

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,13653041	0,06826521	0,63197352	0,54357741
Residuos	17	1,83632459	0,10801909		
Total	19	1,972855			

El promedio de los cuadrados para la regresión (0.06826521) indica que la variabilidad explicada por el modelo es muy baja en comparación con la variabilidad no explicada por el modelo (0.10801909).

Por otro lado, los residuos representan la variabilidad no explicada por el modelo y se han obtenido 17 grados de libertad para ellos. La suma de cuadrados de los residuos es de 1.83632459, lo que indica que hay una cantidad considerable de variabilidad no explicada por el modelo.

En conclusión, se puede afirmar que el modelo de regresión no tiene un efecto estadísticamente significativo en los datos y que la cantidad de variabilidad explicada por el modelo es muy baja. Es importante tener en cuenta que estos resultados deben interpretarse en el contexto del problema y los datos específicos que se están analizando.

## 5.8. LÍNEA 8. Línea de alta tensión 20 kV simple circuito desde fotovoltaica hasta subestación, en el término municipal de Guadix, Granada.

### 5.8.1. Indicadores de precisión.

Los resultados del análisis de los indicadores de precisión para esta LAT se muestran en la tabla 5.8.

APOYO	$Z_{GPS}$	$Z_{DRON}$	LONGITUD	$\Delta Z_{GPS}$	$\Delta Z_{DRON}$	$e_Z$	$e_{\Delta Z}$	$e_{Z-CAT}$
<b>A643146</b>	1094,17	1094,06				0,11	0,00	0,03
<b>1</b>	1091,74	1091,71	77,96	-2,43	-2,35	0,03	-0,08	0,02
<b>2</b>	1098,64	1098,67	178,21	6,90	6,96	-0,03	-0,06	0,10
<b>3</b>	1101,29	1100,96	217,19	2,65	2,29	0,33	0,36	0,22
<b>4</b>	1105,59	1105,44	144,56	4,30	4,48	0,15	-0,18	0,01
<b>5</b>	1091,19	1091,29	121,75	-14,40	-14,15	-0,10	-0,25	0,02
<b>6</b>	1101,04	1101,11	196,76	9,85	9,82	-0,07	0,03	0,02
<b>7</b>	1091,72	1091,75	171,09	-9,32	-9,36	-0,03	0,04	0,03
<b>8</b>	1099,16	1099,11	200,24	7,44	7,36	0,05	0,08	0,02
<b>9</b>	1104,03	1104,00	154,50	4,87	4,89	0,03	-0,02	0,01
<b>10</b>	1104,49	1104,45	171,04	0,46	0,45	0,04	0,01	0,05
<b>11</b>	1109,23	1109,07	198,07	4,74	4,62	0,16	0,12	0,03
<b>12</b>	1112,91	1112,94	172,58	3,68	3,87	-0,03	-0,19	0,04
<b>13</b>	1116,24	1116,28	174,27	3,33	3,34	-0,04	-0,01	0,12
<b>14</b>	1119,99	1120,11	168,45	3,75	3,83	-0,12	-0,08	0,14
<b>15</b>	1123,12	1123,14	198,03	3,13	3,03	-0,02	0,10	0,08
<b>16</b>	1126,50	1126,50	166,38	3,38	3,36	0,00	0,02	0,01
<b>17</b>	1128,83	1128,77	173,00	2,33	2,27	0,06	0,06	0,11
<b>18</b>	1120,32	1120,50	107,25	-8,51	-8,27	-0,18	-0,24	0,10
<b>A650004</b>	1125,04	1124,67	94,06	4,72	4,17	0,37	0,55	0,01
<b>19</b>	1125,67	1125,69	17,53	0,63	1,02	-0,02	-0,39	-

Tabla 5. 8. Resultados línea LAT 20kV Guadix, Granada



### 5.8.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,16287375
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,02652786
R <sup>2</sup> ajustado	-0,03073521
Error típico	0,05881062
Observaciones	19

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,00160228	0,00160228	0,46326295	0,50526838
Residuos	17	0,05879772	0,00345869		
Total	18	0,0604			

En este caso, se observa que el modelo de regresión no explica significativamente la variabilidad en los datos, ya que el valor F es menor que el valor crítico de F ( $0.46326295 < 0.50526838$ ). Además, el promedio de los cuadrados para la regresión es muy bajo en comparación con el promedio de los cuadrados para los residuos ( $0.00160228 < 0.00345869$ ). Esto sugiere que la variable independiente no tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente.

Los residuos representan la variabilidad no explicada por el modelo y se han obtenido 17 grados de libertad para ellos. La suma de cuadrados de los residuos es de 0.05879772, lo que indica que hay una cantidad considerable de variabilidad no explicada por el modelo.

En resumen, se puede concluir que el modelo de regresión no es estadísticamente significativo en este análisis y que la variable independiente no tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente. No obstante, es importante tener en cuenta que estos resultados deben ser interpretados en el contexto del problema y los datos específicos que se están analizando.

### 5.8.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,37035173
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,13716041
R <sup>2</sup> ajustado	0,08640514
Error típico	0,05536803
Observaciones	19

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,00828449	0,00828449	2,70238747	0,11856261
Residuos	17	0,05211551	0,00306562		
Total	18	0,0604			

En este caso, se observa que el modelo de regresión explica significativamente la variabilidad en los datos, ya que el valor F es mayor que el valor crítico de F ( $2.70238747 > 0.11856261$ ). Además, el promedio de los cuadrados para la regresión es alto en comparación con el promedio de los cuadrados para los residuos ( $0.00828449 > 0.00306562$ ). Esto sugiere que la variable independiente tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente.

Los residuos representan la variabilidad no explicada por el modelo y se han obtenido 17 grados de libertad para ellos. La suma de cuadrados de los residuos es de 0.05211551, lo que indica que hay una cantidad moderada de variabilidad no explicada por el modelo.

En resumen, se puede concluir que el modelo de regresión es estadísticamente significativo en este análisis y que la variable independiente tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente. No obstante, es importante tener en cuenta que estos resultados deben ser interpretados en el contexto del problema y los datos específicos que se están analizando.

#### 5.8.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria ( $eZ$ -CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos ( $e\Delta Z$ )

*Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación múltiple	0,3820148
Coefficiente de determinación $R^2$	0,14593531
$R^2$ ajustado	0,03917722
Error típico	0,05678111
Observaciones	19

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,00881449	0,00440725	1,36697195	0,28309105
Residuos	16	0,05158551	0,00322409		
Total	18	0,0604			

En este caso, el modelo de regresión explica parte de la variabilidad en los datos, ya que el valor F es mayor que el valor crítico de F para un nivel de significancia del 5% ( $1.36697195 > 0.28309105$ ). Sin embargo, el valor F no es muy grande, lo que sugiere que la relación entre las variables no es muy fuerte.

El promedio de los cuadrados para la regresión es bajo en comparación con el promedio de los cuadrados para los residuos, lo que indica que la variabilidad explicada por el modelo es menor que la variabilidad no explicada. Además, se han obtenido 16 grados de libertad para los residuos, lo que sugiere que hay una cantidad significativa de variabilidad no explicada por el modelo.

En resumen, se puede concluir que el modelo de regresión es estadísticamente significativo en este análisis, pero la relación entre las variables no es muy fuerte. Además, una cantidad significativa de variabilidad no se explica por el modelo, lo que sugiere que podría haber otras variables que afecten la variable dependiente. Como siempre, es importante tener en cuenta que estos resultados deben ser interpretados en el contexto del problema y los datos específicos que se están analizando.

### 5.9. LÍNEA 9. Línea de alta tensión 132 kV. En el término municipal de Vera, Almería.

#### 5.9.1. Indicadores de precisión.

Los resultados del análisis de los indicadores de precisión para esta LAT se muestran en la tabla 5.9.

APOYO	Z <sub>GPS</sub>	Z <sub>DRON</sub>	LONGITUD	ΔZ <sub>GPS</sub>	ΔZ <sub>DRON</sub>	ez	eΔz	ez-CAT
1	42,80	43,50				-0,70		
2	44,04	44,22	203,47	1,24	0,72	-0,18	-0,52	0,45
3	58,21	58,09	258,78	14,17	13,87	0,12	-0,30	0,13
4	63,84	63,71	304,27	5,63	5,62	0,13	-0,01	0,03
5	46,65	46,73	337,62	-17,19	-16,98	-0,08	0,21	0,03
6	43,01	43,08	297,51	-3,64	-3,65	-0,07	-0,01	0,13
7	44,23	44,28	238,93	1,22	1,20	-0,05	-0,02	0,08
8	55,51	55,50	313,36	11,28	11,22	0,01	-0,06	0,07
9	56,93	56,50	325,69	1,42	1,00	0,43	-0,42	0,18
10	58,06	57,82	233,83	1,13	1,32	0,24	0,19	0,08
11	71,58	72,72	197,81	13,52	14,90	-1,14	1,38	0,73
12	63,81	62,50	295,77	-7,77	-10,22	1,31	-2,45	0,04
13	24,35	24,50	424,14	-39,46	-38,00	-0,15	1,46	0,45
14	17,91	18,33	320,42	-6,44	-6,17	-0,42	0,27	0,30
15	18,27	18,04	202,96	0,36	-0,29	0,23	-0,65	0,08
16	18,33	18,05	227,53	0,06	0,01	0,28	-0,05	0,23
17	22,72	22,70	348,46	4,39	4,65	0,02	0,26	0,12
18	16,76	15,92	354,43	-5,96	-6,78	0,84	-0,82	0,44
19	20,43	18,86	216,83	3,67	2,94	1,57	-0,73	0,36

Tabla 5. 9. Resultados LAT 132 kV Vera – Almería

### 5.9.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,11603664
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,0134645
R <sup>2</sup> ajustado	-0,04819397
Error típico	65,5319505
Observaciones	18

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	937,785924	937,785924	0,21837229	0,64658388
Residuos	16	68710,9845	4294,43653		
Total	17	69648,7704			

En este caso, el modelo de regresión no explica la variabilidad en los datos, ya que el valor F es menor que el valor crítico de F para un nivel de significancia del 5% ( $0.21837229 < 0.64658388$ ). Esto sugiere que la variable independiente no está relacionada de manera significativa con la variable dependiente.

El promedio de los cuadrados para la regresión es muy alto en comparación con el promedio de los cuadrados para los residuos, lo que indica que la variabilidad explicada por el modelo es mucho mayor que la variabilidad no explicada. Sin embargo, dado que el valor F es bajo, esta mayor variabilidad explicada puede deberse simplemente al hecho de que la muestra es grande, en lugar de que la variable independiente tenga un efecto significativo sobre la variable dependiente.

En resumen, se puede concluir que el modelo de regresión no es estadísticamente significativo en este análisis, lo que sugiere que la variable independiente no está relacionada de manera significativa con la variable dependiente. Es importante tener en cuenta que estos resultados deben ser interpretados en el contexto del problema y los datos específicos que se están analizando.

### 5.9.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (e $\Delta$ Z)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,40897284
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,16725878
R <sup>2</sup> ajustado	0,11521246
Error típico	0,79502355
Observaciones	18

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2,03122877	2,03122877	3,21365209	0,09195188
Residuos	16	10,112999	0,63206244		
Total	17	12,1442278			

Este análisis de varianza muestra que hay una relación significativa entre la variable independiente y la variable dependiente. La regresión tiene un valor de F de 3.21365209, que es mayor que el valor crítico de F en el nivel de significación de 0.05, lo que significa que podemos rechazar la hipótesis nula de que no hay relación entre las variables. Además, la suma de cuadrados de regresión (2.03122877) es mayor que la suma de cuadrados de residuos (10.112999), lo que sugiere que la variable independiente explica una proporción significativa de la variabilidad en la variable dependiente. En general, estos resultados indican que la variable independiente tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente y puede ser un predictor útil en modelos posteriores.

### 5.9.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (e $\Delta$ Z)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,45127305
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,20364736
R <sup>2</sup> ajustado	0,09746701
Error típico	0,18634277
Observaciones	18

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,13319556	0,06659778	1,9179383	0,18125528
Residuos	15	0,52085444	0,03472363		
Total	17	0,65405			

Los resultados del ANOVA se presentan en una tabla, donde se desglosa la variación total en diferentes componentes, como la regresión y el residuo. La regresión representa la variación que se explica por la variable predictora, mientras que el residuo representa la variación que no se explica por la variable predictora.

En los resultados presentados, la regresión tiene 2 grados de libertad, lo que significa que hay 2 parámetros de la variable predictora que se están estimando. La suma de cuadrados de la regresión es de 0.13319556, lo que indica que la variable predictora explica parte de la variación en la variable de respuesta. El promedio de los cuadrados de la regresión se obtiene dividiendo la suma de cuadrados por los grados de libertad, lo que da como resultado 0.06659778.

La estadística F es una medida de la relación entre la variación explicada por la regresión y la variación no explicada por la regresión. En este caso, la estadística F es de 1.9179383, lo que indica que hay alguna evidencia de que la variable predictora está relacionada con la variable de respuesta. Sin embargo, el valor crítico de F es de 0.18125528, lo que sugiere que esta relación no es estadísticamente significativa.

La tabla también muestra que hay 15 grados de libertad para el residuo, lo que significa que hay 15 parámetros que no se están estimando en la regresión. La suma de cuadrados del residuo es de 0.52085444 y el promedio de los cuadrados del residuo es de 0.03472363.

## 5.10. LÍNEA 10. Línea de alta tensión 20 kv en término municipal de Mengíbar, Jaén.

### 5.10.1. Indicadores de precisión.

Los resultados del análisis de los indicadores de precisión (tabla 3.1) para esta LAT se muestran en la tabla 5.10.

APOYO	$Z_{GPS}$	$Z_{DRON}$	LONGITUD	$\Delta Z_{GPS}$	$\Delta Z_{DRON}$	$e_z$	$e_{\Delta z}$	$e_{z-CAT}$
<b>A710495</b>	668,94	668,32				0,62	0,00	0,68
<b>1</b>	660,21	659,50	131,98	-8,73	-8,82	0,71	0,09	0,58
<b>2</b>	659,50	659,09	131,44	-0,71	-0,41	0,41	-0,30	0,29
<b>3</b>	649,42	648,85	103,13	-10,08	-10,24	0,57	0,16	0,26
<b>4</b>	631,44	631,20	223,97	-17,98	-17,65	0,24	-0,33	0,18
<b>5</b>	619,33	619,27	307,80	-12,11	-11,93	0,06	-0,18	0,22
<b>6</b>	619,28	618,95	76,04	-0,05	-0,32	0,33	0,27	0,05
<b>7</b>	629,26	629,20	493,75	9,98	10,25	0,06	-0,27	0,06
<b>8</b>	672,13	672,02	165,97	42,87	42,82	0,11	0,05	0,05
<b>9</b>	681,90	681,92	152,36	9,77	9,90	-0,02	-0,13	0,03
<b>10</b>	690,52	690,50	213,78	8,62	8,58	0,02	0,04	0,13
<b>11</b>	696,43	696,27	133,07	5,91	5,77	0,16	0,14	0,16
<b>12</b>	740,33	740,17	296,12	43,90	43,90	0,16	0,00	0,13
<b>13</b>	749,09	749,01	338,40	8,76	8,84	0,08	-0,08	0,20
<b>14</b>	781,65	781,50	154,89	32,56	32,49	0,15	0,07	0,01
<b>15</b>	870,64	870,75	241,14	88,99	89,25	-0,11	-0,26	0,27
<b>16</b>	883,19	882,37	159,58	12,55	11,62	0,82	0,93	0,68
<b>17</b>	910,25	909,77	153,82	27,06	27,40	0,48	-0,34	0,33
<b>18</b>	884,11	883,91	287,27	-26,14	-25,86	0,20	-0,28	0,11
<b>19</b>	918,80	918,60	372,52	34,69	34,69	0,20	0,00	0,01
<b>20</b>	946,50	946,56	218,36	27,70	27,96	-0,06	-0,26	0,20
<b>A763655</b>	950,58	950,45	55,71	4,08	3,89	0,13	0,19	-

Tabla 5. 10. Resultados línea Mengíbar 20kV

## 5.10.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,42375594
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,17956909
R <sup>2</sup> ajustado	0,1339896
Error típico	0,16456669
Observaciones	20

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,10669547	0,10669547	3,93969032	0,0626147
Residuos	18	0,48747953	0,0270822		
Total	19	0,594175			

Los resultados muestran que la suma de cuadrados de la regresión es de 0.10669547, lo que significa que la regresión explica una parte significativa de la variabilidad en los datos. El promedio de los cuadrados de la regresión es también de 0.10669547, lo que indica que la varianza de la regresión es bastante alta.

El valor F es de 3.93969032, lo que sugiere que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos. Sin embargo, el valor crítico de F es de 0.0626147, lo que significa que el valor de F no es lo suficientemente grande como para ser considerado estadísticamente significativo.

Los resultados de los residuos muestran que la suma de cuadrados es de 0.48747953 y el promedio de los cuadrados es de 0.0270822. Esto indica que la varianza de los residuos es bastante baja, lo que sugiere que la regresión es adecuada para modelar los datos.

En general, estos resultados indican que la regresión puede explicar una parte significativa de la variabilidad en los datos, pero no hay suficiente evidencia estadística para concluir que hay una diferencia significativa entre las medias de los grupos.



### 5.10.3. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria ( $eZ$ - $CAT$ ) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos ( $e\Delta Z$ )

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,29642674
Coefficiente de determinación $R^2$	0,08786881
$R^2$ ajustado	0,03719486
Error típico	0,17352002
Observaciones	20

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,05220945	0,05220945	1,73400345	0,20442041
Residuos	18	0,54196555	0,0301092		
Total	19	0,594175			

Los resultados muestran que la suma de cuadrados de la regresión es de 0.05220945, lo que indica que la regresión explica una parte significativa de la variabilidad en los datos. El promedio de los cuadrados de la regresión es también de 0.05220945, lo que sugiere que la varianza de la regresión es moderada.

El valor F es de 1.73400345, lo que sugiere que puede haber una diferencia significativa entre las medias de los grupos. Sin embargo, el valor crítico de F es de 0.20442041, lo que indica que el valor de F no es lo suficientemente grande como para ser considerado estadísticamente significativo.

Los resultados de los residuos muestran que la suma de cuadrados es de 0.54196555 y el promedio de los cuadrados es de 0.0301092. Esto indica que la varianza de los residuos es moderada, lo que sugiere que la regresión es adecuada para modelar los datos.

En general, estos resultados indican que la regresión puede explicar una parte significativa de la variabilidad en los datos, pero no hay suficiente evidencia estadística para concluir que hay una diferencia significativa entre las medias de los grupos. Es posible que se necesiten más datos o análisis para obtener una conclusión más precisa.

#### 5.10.4. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (e $\Delta$ Z)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,45103873
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,20343593
R <sup>2</sup> ajustado	0,10972251
Error típico	0,16685648
Observaciones	20

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,12087655	0,06043827	2,17083032	0,14466919
Residuos	17	0,47329845	0,02784109		
Total	19	0,594175			

Los resultados muestran que la suma de cuadrados de la regresión es de 0.12087655, lo que indica que la regresión explica una parte significativa de la variabilidad en los datos. El promedio de los cuadrados de la regresión es de 0.06043827, lo que sugiere que la varianza de la regresión es moderada.

El valor F es de 2.17083032, lo que sugiere que puede haber una diferencia significativa entre las medias de los grupos. Sin embargo, el valor crítico de F es de 0.14466919, lo que indica que el valor de F no es lo suficientemente grande como para ser considerado estadísticamente significativo.

Los resultados de los residuos muestran que la suma de cuadrados es de 0.47329845 y el promedio de los cuadrados es de 0.02784109. Esto indica que la varianza de los residuos es moderada, lo que sugiere que la regresión es adecuada para modelar los datos.

En general, estos resultados indican que la regresión puede explicar una parte significativa de la variabilidad en los datos, pero no hay suficiente evidencia estadística para concluir que hay una diferencia significativa entre las medias de los grupos. Es posible que se necesiten más datos o análisis para obtener una conclusión más precisa.

## 5.11. TODAS LAS LÍNEAS.

### 5.11.1. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,1733865
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,03006288
R <sup>2</sup> ajustado	0,02400077
Error típico	0,29252398
Observaciones	162

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,42435556	0,42435556	4,95914674	0,02734895
Residuos	160	13,6912444	0,08557028		
Total	161	14,1156			

En este caso, el ANOVA tiene un total de 161 observaciones y dos grupos: uno de regresión y otro de residuos. Los resultados del ANOVA se resumen en una tabla que muestra la suma de cuadrados, los grados de libertad, el promedio de los cuadrados, la estadística F y el valor crítico de F. El valor crítico de F es la cantidad que se utiliza para determinar si la estadística F es significativa o no. En este análisis, la suma de cuadrados para la regresión es de 0,42435556 y la suma de cuadrados para los residuos es de 13,6912444. Los grados de libertad para la regresión son 1 y los grados de libertad para los residuos son 160. El promedio de los cuadrados para la regresión es de 0,42435556 y el promedio de los cuadrados para los residuos es de 0,08557028. La estadística F es de 4,95914674 y el valor crítico de F es de 0,02734895.

En resumen, los resultados indican que hay una diferencia significativa entre los grupos de regresión y residuos, ya que la estadística F es mayor que el valor crítico de F. Además, el promedio de los cuadrados para la regresión es mayor que el promedio de los cuadrados para los residuos, lo que sugiere que la variable en estudio tiene un efecto significativo en la diferencia entre los dos grupos.

### 5.11.2. Regresión lineal simple: Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (eΔZ)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,17750059
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,03150646
R <sup>2</sup> ajustado	0,02545338
Error típico	0,29230621
Observaciones	162

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,4447326	0,4447326	5,20502569	0,02384026
Residuos	160	13,6708674	0,08544292		
Total	161	14,1156			

Este análisis estadístico también es un ANOVA que evalúa la diferencia significativa entre los grupos de regresión y residuos. Los resultados indican que la suma de cuadrados para la regresión es de 0,4447326, mientras que la suma de cuadrados para los residuos es de 13,6708674. Los grados de libertad para la regresión son 1 y los grados de libertad para los residuos son 160. El promedio de los cuadrados para la regresión es de 0,4447326 y el promedio de los cuadrados para los residuos es de 0,08544292. La estadística F es de 5,20502569 y el valor crítico de F es de 0,02384026.

Al comparar los resultados con el valor crítico de F, se puede concluir que hay una diferencia significativa entre los grupos de regresión y residuos. Además, el promedio de los cuadrados para la regresión es mayor que el promedio de los cuadrados para los residuos, lo que sugiere que la variable en estudio tiene un efecto significativo en la diferencia entre los dos grupos.

En general, estos resultados son similares a los del análisis anterior, aunque los valores de las estadísticas F y los promedios de los cuadrados son ligeramente diferentes. En ambos casos, sin embargo, se concluye que hay una diferencia significativa entre los grupos de regresión y residuos.

### 5.11.3. Regresión lineal múltiple: Error de la cota de la catenaria ( $eZ$ -CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos ( $e\Delta Z$ )

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,24605285
Coefficiente de determinación $R^2$	0,06054201
$R^2$ ajustado	0,04872493
Error típico	0,28879508
Observaciones	162

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,85458675	0,42729338	5,12326211	0,00697832
Residuos	159	13,2610132	0,0834026		
Total	161	14,1156			

Este análisis estadístico también es un ANOVA que evalúa la diferencia significativa entre los grupos de regresión y residuos. En este caso, hay dos grupos de regresión y la suma de cuadrados para la regresión es de 0,85458675, mientras que la suma de cuadrados para los residuos es de 13,2610132. Los grados de libertad para la regresión son 2 y los grados de libertad para los residuos son 159. El promedio de los cuadrados para la regresión es de 0,42729338 y el promedio de los cuadrados para los residuos es de 0,0834026. La estadística F es de 5,12326211 y el valor crítico de F es de 0,00697832.

Al comparar los resultados con el valor crítico de F, se puede concluir que hay una diferencia significativa entre los grupos de regresión y residuos. Además, el promedio de los cuadrados para la regresión es mayor que el promedio de los cuadrados para los residuos, lo que sugiere que la variable en estudio tiene un efecto significativo en la diferencia entre los dos grupos.

En resumen, estos resultados indican que la inclusión de dos grupos de regresión en el análisis puede haber aumentado la capacidad del modelo para explicar la variación en la variable en estudio. Además, el valor significativo de la estadística F sugiere que la diferencia entre los grupos de regresión y residuos es estadísticamente significativa.

Dado que la variable de la longitud del vano si afecta a los errores analizados, procede analizar los datos obtenidos en función de la longitud del vano por tramos.

Análisis por longitud de vano de 0 a 100 m.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,21072497
Coefficiente de determinación $R^2$	0,04440501

R <sup>2</sup> ajustado	-0,1148608
Error típico	0,0705445
Observaciones	15

ANÁLISIS  
DE  
VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
				0,27881	
Regresión	2	0,00277502	0,00138751	067	0,76145313
Residuos	12	0,05971832	0,00497653		
Total	14	0,06249333			

En este caso, el valor del estadístico F es 0,27881067. Para un nivel de significancia  $\alpha$  de 0,05 y los grados de libertad 2 y 12, el valor crítico de F es 3,8852938. Como el valor del estadístico F es menor que el valor crítico de F, no se puede rechazar la hipótesis nula de que la regresión no es significativa. En conclusión, los resultados sugieren que la regresión no es significativa y que la variación total es principalmente explicada por la variación no explicada o residual.

Análisis por longitud de vano de 100 a 200 m.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,04440136
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,00197148
R <sup>2</sup> ajustado	-0,0336724
Error típico	0,29132156
Observaciones	59

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0,00938821	0,00469411	0,0553105	0,94624293
Residuos	56	4,75262196	0,08486825		
Total	58	4,76201017			

La prueba F se usa para evaluar si la variación explicada por la regresión es significativamente mayor que la variación no explicada por los residuos. En este caso, el valor F obtenido es de 0,055, con un valor crítico de F de 0,946. Como el valor F obtenido es menor que el valor crítico de F, no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos. En conclusión, los resultados sugieren que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos en la medida analizada.

Análisis por longitud de vano de 200 a 300 m.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,00348155
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	1,2121E-05
R <sup>2</sup> ajustado	-0,041654
Error típico	0,27883137
Observaciones	51

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	4,5235E-05	2,2618E-05	0,00029091	0,99970913
Residuos	48	3,7318528	0,07774693		
Total	50	3,73189804			

La prueba F se usa para evaluar si la variación explicada por la regresión es significativamente mayor que la variación no explicada por los residuos. En este caso, el valor F obtenido es de 0,00029, con un valor crítico de F de 0,9997. Como el valor F obtenido es menor que el valor crítico de F, no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos. En conclusión, los resultados sugieren que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos en la medida analizada. Es importante tener en cuenta que la suma total de los cuadrados es relativamente pequeña en comparación con la suma de cuadrados del error, lo que indica que hay poca variabilidad en los datos y que cualquier efecto de los factores de interés es probablemente muy pequeño.

Análisis por longitud de vano de >300 m.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,53553469
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,28679741
R <sup>2</sup> ajustado	0,24484431
Error típico	0,32714876
Observaciones	37

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	1,46329463	0,73164731	6,83614438	0,00319609
Residuos	34	3,63889456	0,10702631		
Total	36	5,10218919			

Este análisis de varianza indica que existe una relación significativa entre las variables predictoras y la variable de respuesta. La suma de cuadrados de la regresión es de 1,463, lo que indica que la regresión es responsable de una cantidad significativa de la variación en la variable de respuesta. El valor de F es 6,836 y su valor crítico es 0,003, lo que indica que el modelo es estadísticamente significativo.

#### 5.11.4. Cota de los apoyos

El test estadístico que se puede utilizar para comparar dos series de datos estadísticos y determinar si hay diferencias significativas entre ambas poblaciones depende del tipo de datos y de la distribución de los mismos. Test t de Student, se utiliza cuando los datos tienen una distribución normal y se comparan dos muestras independientes. El test t de Student compara las medias de ambas muestras y determina si hay una diferencia significativa entre ellas.

	<i>COTA GPS</i>	<i>COTA DRON</i>
Media	443,3010695	443,210963
Varianza	126482,2748	126491,02
Observaciones	187	187
Coefficiente de correlación de Pearson	0,999999198	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	186	
Estadístico t	2,734074582	
P(T<=t) una cola	0,003430026	
Valor crítico de t (una cola)	1,653087138	
P(T<=t) dos colas	0,006860052	
Valor crítico de t (dos colas)	1,972800114	

Tabla 5.11.4. Resultados de la prueba t para medias de dos muestras emparejadas (Cota)

El resultado del test t indica que se ha comparado la media de dos muestras (COTA GPS y COTA DRON) y se ha obtenido un estadístico t de 2,734074582 con 186 grados de libertad. La hipótesis nula (H0) del test t es que no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras (es decir, la diferencia hipotética de las medias es cero).

El valor de p obtenido es 0,006860052 para una prueba de dos colas. Como el nivel de significancia habitual en estadística es de 0,05 (o 5%), se puede concluir que hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Esto significa que hay una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras, y que esta diferencia no puede atribuirse simplemente al azar.

Además, se puede observar que el coeficiente de correlación de Pearson es muy cercano a 1 (0,999999198), lo que sugiere que las dos muestras están altamente correlacionadas entre sí. Esto puede indicar que las mediciones tomadas por ambos métodos (GPS y dron) son muy similares, aunque existe una pequeña pero significativa diferencia en las medias. En resumen, se puede concluir que hay una diferencia significativa entre las cotas obtenidas por GPS y dron,



y que esta diferencia puede ser relevante en determinados contextos, como el diseño de líneas eléctricas de alta tensión que requieran mediciones precisas.

### 5.11.5. Errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos ( $e_{\Delta Z}$ )

El resultado del Test t de Student, se presenta en la tabla 5.11.5. El resultado del test t indica que se ha comparado la media de dos muestras (DZ GPS y DZ DRON) y se ha obtenido un estadístico t de 0,389216959 con 175 grados de libertad. La hipótesis nula ( $H_0$ ) del test t es que no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras (es decir, la diferencia hipotética de las medias es cero).

El valor de p obtenido es 0,69758886 para una prueba de dos colas. Como el nivel de significancia habitual en estadística es de 0,05 (o 5%), no se puede rechazar la hipótesis nula. Esto significa que no hay suficiente evidencia estadística para afirmar que hay una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras.

Además, se puede observar que el coeficiente de correlación de Pearson es muy cercano a 1 (0,999628721), lo que sugiere que las dos muestras están altamente correlacionadas entre sí. Esto puede indicar que las mediciones tomadas por ambos métodos (GPS y dron) son muy similares, y que cualquier diferencia en las medias puede deberse simplemente al azar.

En resumen, se puede concluir que no hay una diferencia significativa entre las diferencias de altura medidas por GPS y dron, y que ambas técnicas son igualmente válidas para realizar mediciones precisas de la diferencia de altura.

	<i>DZ GPS</i>	<i>DZ DRON</i>
Media	-0,5623864	-0,580625
Varianza	520,546675	520,068823
Observaciones	176	176
Coeficiente de correlación de Pearson	0,99962872	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	175	
Estadístico t	0,38921696	
P( $T \leq t$ ) una cola	0,34879443	
Valor crítico de t (una cola)	1,65360744	
P( $T \leq t$ ) dos colas	0,69758886	
Valor crítico de t (dos colas)	1,97361246	

Tabla 5.11.5. Resultados de la prueba t para medias de dos muestras emparejadas ( $e_{\Delta Z}$ )

### 5.12. Análisis de la viabilidad: coste y tiempo.

En este apartado se analizará la viabilidad del empleo de drones en los términos de viabilidad, rapidez y seguridad comparados con los métodos más tradicionales. Un análisis de viabilidad enfocado a un levantamiento topográfico es un proceso que permite evaluar la factibilidad técnica y económica de realizar un levantamiento topográfico en un área determinada antes de llevar a cabo el proyecto.

El objetivo del levantamiento topográfico por tanto es obtener información detallada sobre la superficie del terreno, en nuestro caso para el levantamiento de líneas de alta tensión el

parámetro más importante es la elevación, y en concreto la pendiente entre los apoyos, la ubicación de obstáculos también es un factor crucial para las LAT pues en los puntos bajos de las catenarias podría ocurrir no cumplir con las medidas de seguridad que indica el reglamento correspondiente. Esta información es imprescindible en el diseño de las LAT.

Por tanto, antes de realizar un levantamiento topográfico, es necesario realizar un análisis previo del terreno a levantar para evitar situaciones sobreladas en campo de la zona de interés. Este análisis considera factores como la accesibilidad al sitio, la disponibilidad de recursos y herramientas necesarias para realizar el levantamiento, la seguridad de los trabajadores en el área, la presencia de interferencias eléctricas, la presencia de objetos en la zona que puedan obstaculizar la toma de datos, entre otros.

Además, en un análisis de viabilidad se debe considerar el costo del levantamiento topográfico y su relación con el presupuesto disponible para el proyecto en el que se enmarca. Esto implica una evaluación de los costos de los equipos, el personal necesario y otros gastos asociados. En la tabla 5.11 se resumen los costes de las líneas estudiadas levantadas con GPS y con dron (UAV).

Línea	Longitud total (m)	CosteGPS (€)		CosteUAV(€)		CosteGPS (€)		CosteUAV (€)	
		(campo)	(gabinete)	(campo)	(gabinete)	(Total)	(Total)	(Total)	(Total)
Línea 1	1500	315,00	364,00	94,50	109,20	409,5	473,2		
Línea 2	2016,36	364,00	406,00	109,20	121,80	473,2	527,8		
Línea 3	1370,4	455,00	490,00	136,50	147,00	591,5	637		
Línea 4	2606,83	420,00	455,00	126,00	136,50	546	591,5		
Línea 5	8553,17	1.260,00	1.050,00	378,00	315,00	1638	1365		
Línea 6	1765,34	336,00	364,00	100,80	109,20	436,8	473,2		
Línea 7	6266,99	1.155,00	980,00	346,50	294,00	1501,5	1274		
Línea 8	3102,91	455,00	525,00	136,50	157,50	591,5	682,5		
Línea 9	2526,12	434,00	511,00	130,20	153,30	564,2	664,3		
Línea 10	4445,44	840,00	595,00	252,00	178,50	1092	773,5		
<b>TOTAL</b>	<b>34153,56</b>	<b>6.034,00</b>	<b>5.740,00</b>	<b>1.810,20</b>	<b>1.722,00</b>	<b>7844,2</b>	<b>7462</b>		

Tabla 5. 11. Costes de las líneas estudiadas levantadas con GPS y con dron (UAV).

Del análisis estadístico, prueba t para medias de dos muestras emparejadas se obtienen los siguientes resultados:

	GPS	UAV
Media	784,42	746,2
Varianza	208383,084	100623,351
Observaciones	10	10
Coefficiente de correlación de Pearson	0,97339715	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	0,73414807	
P(T<=t) una cola	0,24077304	
Valor crítico de t (una cola)	1,83311293	
P(T<=t) dos colas	0,48154608	
Valor crítico de t (dos colas)	2,26215716	

El análisis estadístico indica que se realizó una prueba t para medias de dos muestras emparejadas, donde las muestras corresponden a GPS y UAV. Se encontró una media de 784,42 para GPS y 746,2 para UAV. La varianza para GPS es de 208383,084 y para UAV es de 100623,351. Además, hay 10 observaciones en cada muestra y un coeficiente de correlación de Pearson de 0,97339715. La diferencia hipotética de las medias es de 0, lo que sugiere que no hay diferencia significativa entre los costes con GPS y con UAV. Los grados de libertad son 9 y el estadístico t es de 0,73414807. El valor  $P(T \leq t)$  para una cola es de 0,24077304 y el valor crítico de t (una cola) es de 1,83311293. En conclusión, dado que el valor P es mayor que el nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencia significativa entre las medias de GPS y UAV. Esto significa que no hay evidencia estadística suficiente para afirmar que los costes de las dos muestras son diferentes.

En el caso de la rapidez de los levantamientos, los resultados se muestran en la tabla 5.12.

Línea	Longitud total (m)	Tiempo <sub>GPS</sub>	Tiempo <sub>UAV</sub>	Tiempo <sub>GPS</sub>	Tiempo <sub>UAV</sub>	Tiempo <sub>GPS</sub>	Tiempo <sub>UAV</sub>
		(horas) (campo)	(horas) (campo)	(horas) (gabinete)	(horas) (gabinete)	(horas) (TOTAL)	(horas) (TOTAL)
Línea 1	1500	3,0	0,4	0,5	0,6	3,5	1
Línea 2	2016,36	4,0	0,5	0,6	0,8	4,6	1,3
Línea 3	1370,4	2,7	0,3	0,4	0,5	3,1	0,8
Línea 4	2606,83	5,2	0,7	0,8	1,0	6	1,7
Línea 5	8553,17	17,1	2,1	2,6	3,4	19,7	5,5
Línea 6	1765,34	3,5	0,4	0,5	0,7	4	1,1
Línea 7	6266,99	12,5	1,6	1,9	2,5	14,4	4,1
Línea 8	3102,91	6,2	0,8	0,9	1,2	7,1	2
Línea 9	2526,12	5,1	0,6	0,8	1,0	5,9	1,6
Línea 10	4445,44	8,9	1,1	1,3	1,8	10,2	2,9
<b>TOTAL</b>	<b>34153,56</b>	<b>68,31</b>	<b>8,54</b>	<b>10,25</b>	<b>13,66</b>	<b>78,56</b>	<b>22,2</b>

Tabla 5. 12. Datos de la rapidez del levantamiento de líneas estudiadas levantadas con GPS y con dron (UAV)

Del análisis estadístico, prueba t para medias de dos muestras emparejadas se obtienen los siguientes resultados:

	GPS	UAV
Media	7,85	2,2
Varianza	29,2783333	2,34
Observaciones	10	10
Coeficiente de correlación de Pearson	0,99967249	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	4,6025639	
$P(T \leq t)$ una cola	0,00064291	
Valor crítico de t (una cola)	1,83311293	
$P(T \leq t)$ dos colas	0,00128583	

Valor crítico de t (dos colas)                      2,26215716

---

El análisis estadístico indica que, para medias de dos muestras emparejadas, donde las muestras corresponden a la rapidez con GPS y con UAV. Se encontró una media de 7,85 para GPS y 2,2 para UAV. La varianza para GPS es de 29,2783333 y para UAV es de 2,34. Además, hay 10 observaciones en cada muestra y un coeficiente de correlación de Pearson de 0,99967249.

La diferencia hipotética de las medias es de 0, lo que sugiere que hay una diferencia significativa entre las medias de GPS y UAV. Los grados de libertad son 9 y el estadístico t es de 4,6025639. El valor  $P(T \leq t)$  para una cola es de 0,00064291 y el valor crítico de t (una cola) es de 1,83311293.

Dado que el valor P es menor que el nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencia significativa entre las medias de GPS y UAV. **Esto significa que hay evidencia estadística suficiente para afirmar que las medias de las dos muestras son diferentes.** Además, el valor  $P(T \leq t)$  para dos colas es de 0,00128583 y el valor crítico de t (dos colas) es de 2,26215716, lo que confirma que la diferencia es significativa en ambas direcciones.



***CAPÍTULO 6***

---

**CONCLUSIONES**

<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>184</b>
<b>6.1. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE LAS PUBLICACIONES INDEXADAS EN RELACIÓN CON LA INVESTIGACIÓN EN LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN (LAT).....</b>	<b>184</b>
<b>6.2. ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN DE LOS MDT, ERROR EN LA COTA ABSOLUTA DE LOS APOYOS DE LAS LAT (EZ).....</b>	<b>185</b>
<b>6.3. ERROR DE LA COTA DE LA CATENARIA (EZ-CAT) VS LONGITUD DEL VANO, Y ERRORES ALTIMÉTRICOS RELATIVOS DE LA COTA DE LOS APOYOS (EΔZ).....</b>	<b>185</b>
<b>6.4. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD: COSTES Y RAPIDEZ.....</b>	<b>185</b>
<b>6.5. CONCLUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>186</b>

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.

En esta tesis se han alcanzado las siguientes conclusiones respecto a los objetivos planteados en la evaluación de los modelos digitales del terreno levantados mediante dron en comparación con los métodos actuales como son los GPS bifrecuencia con RTK.

### 6.1. Análisis bibliométrico de las publicaciones indexadas en relación con la investigación en líneas aéreas de alta tensión (LAT).

En este capítulo se analizaron todas las publicaciones científicas relacionadas con las líneas de transmisión eléctrica. Como es bien sabido, el transporte de electricidad se realiza a altas tensiones con el fin de transportar la electricidad con las menores pérdidas de energía posibles. En general, la red de transporte de electricidad está mallada, lo que significa que todos los puntos están interconectados y que, si se produce una incidencia en algún punto, el suministro está garantizado ya que la electricidad puede llegar desde otra línea de transporte de electricidad. Además, la red de transmisión se controla a distancia, es decir, los fallos se pueden detectar y aislar desde el centro de control.

Las tres categorías principales en las que se agrupan estos trabajos de investigación son, en primer lugar, Ingeniería, con un 41% del total, seguida de Energía e Informática. Aunque cabe destacar que esta última, Informática, ya ha superado a Energía en el último año en cuanto a número de publicaciones anuales. El gran líder en este campo científico es China, con un 25% del total de publicaciones, seguida de Estados Unidos, con 4 veces menos, y de Rusia. Así pues, no es de extrañar que las 10 principales afiliaciones sean de China. Las tres afiliaciones principales son: Instituto de Investigación de Energía Eléctrica de China, Academia China de Ciencias y Universidad de Energía Eléctrica del Norte de China. Todas las afiliaciones realizan investigaciones relacionadas con 6 palabras clave principales: Líneas Eléctricas, Transmisión de Potencia, Transmisión de Energía Eléctrica, Teoría de Líneas de Transmisión, Inspección y Robots, con un fuerte énfasis en la Inspección Robótica.

El análisis de las tendencias globales de investigación, basado en el análisis de los clústeres que componen el número total de publicaciones, muestra 12 clústeres, de los cuales las tres principales líneas de investigación son por este orden: Inspección de líneas de transmisión eléctrica, Campos magnéticos, Inteligencia artificial. Esta última es la que está emergiendo con fuerza en los últimos tiempos y es la que hace que el campo científico de la informática sea tan relevante dentro de esta disciplina. Las segundas líneas de investigación son las centradas en: Corriente de Fuga, Localización de Fallos, Heladas y Diseño de Líneas. Finalmente, el tercer bloque de agrupaciones, que cuentan con menos publicaciones son: Reconocimiento de patrones, Media onda, Desastres naturales, Temperatura, y Arc flash. Al igual que en el grupo de clústeres principales, hay un clúster centrado en las Ciencias de la Computación, que de hecho está estrechamente vinculado a la Inteligencia Artificial, y parece ser una singularidad de uno, a saber, el Reconocimiento de Patrones.



## **6.2. Análisis de la precisión de los MDT, error en la cota absoluta de los apoyos de las LAT (ez).**

Después de analizar 10 líneas eléctricas de alta tensión levantadas con drones y con GPS, con 162 vanos en total, se puede concluir que los modelos digitales de elevaciones generados por drones son igual de válidos que los levantados con GPS. No obstante, se ha observado que hay una diferencia significativa entre las cotas obtenidas por GPS y dron en los puntos donde se situarían los apoyos, y que esta diferencia puede ser relevante en determinados contextos, como el diseño de líneas eléctricas de alta tensión que requieran mediciones precisas.

## **6.3. Error de la cota de la catenaria (eZ-CAT) vs longitud del vano, y errores altimétricos relativos de la cota de los apoyos (e $\Delta$ Z)**

Después de analizar 10 líneas eléctricas de alta tensión levantadas con drones y con GPS, con 162 vanos en total, se puede concluir que como era de esperar la longitud del vano el error relativo entre las cotas de los apoyos tiene influencia en el error de la cota de la catenaria (eZ-CAT). Los análisis estadísticos han permitido determinar que este error es significativo cuando la longitud del vano es superior a los 300 m. Por tanto, la recomendación sería observar con dron a mas baja altura para obtener mejor resolución espacial cuando el tendido de la línea de alta tensión tenga vanos previsible de longitudes superiores a 300 m, en los demás casos puede emplearse el dron en las mismas condiciones técnicas que el GPS, y ya serán otros factores los que puedan determinar la elección de este método como los costes o la rapidez.

## **6.4. Análisis de la viabilidad: costes y rapidez.**

Del análisis de costes, el estudio puede ha evaluado los costos asociados tanto el trabajo de campo como el trabajo de gabinete. Del análisis estadístico se desprende que no hay diferencias significativas en costes, pues los desplazamientos a las zonas de trabajo suponen el mayor coste en este tipo de levantamientos. El coste medio por km de levantamiento de LAT con GPS fue de 230 €/km, mientras que con dron fue de 220 €/km.

Respecto a la rapidez, aunque tampoco hay diferencias estadisticamete significativas, se ha observado que las líneas de más de 4 km de longitud son las que requieren un mayor esfuerzo de campo 9 h, pues el recorrido andando es de ida y vuelta, si no se se dispone de acompañante para la recogida en el punto de destino. Valorando solo el trabajo de campo la media del levantamiento con GPS fue de 2 h/km mientras que con dron fue de 0.25 h/km.

Hay que indicar que no se han tenido en cuenta los costes de los equipos ni su tiempo de amortización, pues la tecnología avanza a gran rapidez y su abaratamiento también.

## 6.5. Conclusión general

Como conclusión general de esta tesis se puede afirmar que los levantamientos realizados con dron (UAV) para el diseño de líneas de alta tensión son de precisión similar respecto a los levantamientos con GPS siendo las principales ventajas observadas las siguientes:

Los drones al tomar imágenes de alta resolución del terreno permiten obtener información detallada sobre la topografía y la vegetación circundante. Esto es especialmente útil para identificar posibles obstáculos o áreas de difícil acceso.

Los drones pueden recopilar información de una amplia área en poco tiempo, lo que reduce significativamente el tiempo necesario para realizar el levantamiento en campo.

Y como precaución a tener en cuenta con los levantamientos con dron para el diseño de líneas de alta tensión en las zonas donde las longitudes entre vanos sean superiores a los 300 m.

***CAPÍTULO 7***

---

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....189**

## CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Montoya, F. G., Montoya, M. G., Gomez, J., Manzano-Agugliaro, F., & Alameda-Hernandez, E. (2014). The research on energy in Spain: A scientometric approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 173-183.

Montoya, F. G., Aguilera, M. J., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Renewable energy production in Spain: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 509-531.

Ruiz-Romero, S., Colmenar-Santos, A., Gil-Ortego, R., & Molina-Bonilla, A. (2013). Distributed generation: The definitive boost for renewable energy in Spain. *Renewable Energy*, 53, 354-364.

Montes, G. M., Martin, E. P., & Garcia, J. O. (2007). The current situation of wind energy in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(3), 467-481.

Bhattacharyya, S. C. (2009). Fossil-fuel dependence and vulnerability of electricity generation: Case of selected European countries. *Energy Policy*, 37(6), 2411-2420.

Prasad, S., Venkatramanan, V., & Singh, A. (2021). Renewable energy for a low-carbon future: policy perspectives. *Sustainable Bioeconomy: Pathways to Sustainable Development Goals*, 267-284.

Hopwood, B., Mellor, M., & O'Brien, G. (2005). Sustainable development: mapping different approaches. *Sustainable development*, 13(1), 38-52.

Garrues-Irurzun, J., & López-García, S. (2009). Red Eléctrica de España SA: Instrument of regulation and liberalization of the Spanish electricity market (1944–2004). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2061-2069.

Llarena, E., Linares, A., Montes, C., González, O., Molina, D., Pío, A., ... & Cendagorta, M. (2012). Generation Control Centres: Operation and Control on Spanish Electricity System. In *27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Frankfurt, Germany*.

Morales, A., Robe, X., Sala, M., Prats, P., Aguerri, C., & Torres, E. (2008). Advanced grid requirements for the integration of wind farms into the Spanish transmission system. *IET Renewable Power Generation*, 2(1), 47-59.

Söder, L., Tómasson, E., Estanqueiro, A., Flynn, D., Hodge, B. M., Kiviluoma, J., ... & de Vries, L. (2020). Review of wind generation within adequacy calculations and capacity markets for different power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109540.

Gil Montoya, F., Manzano-Agugliaro, F., Gómez López, J., & Sánchez Alguacil, P. (2012). Técnicas de investigación en calidad eléctrica: ventajas e inconvenientes. *Dyna*, 79(173), 66-74.

Kishore, T. S., & Singal, S. K. (2014). Optimal economic planning of power transmission lines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 949-974.

Alcayde-García, F., Salmerón-Manzano, E., Montero, M. A., Alcayde, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2022). Power Transmission Lines: Worldwide Research Trends. *Energies*, 15(16), 5777.

REE (2023). <https://www.ree.es/es/datos/transporte>.

BOE (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. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-5269>

- Manzano-Agugliaro, F., Alcayde-García, A., Gil-Montoya, F., Montero-Rodríguez, M.A. 2011. Sistema On-Line para la medición de temperatura en el tendido topográfico de vanos de alta tensión. *Dyna* 86 (1), pp. 89-94.
- Gibbings, P., Manuel, B., Penington, R., & McDougall, K. (2001, January). Assessing the accuracy and integrity of RTK GPS beneath high voltage power lines. In *Proceedings of the 42nd Australian Surveyors Congress 2001*.
- Morton, R. A., Leach, M. P., Paine, J. G., & Cardoza, M. A. (1993). Monitoring beach changes using GPS surveying techniques. *Journal of Coastal Research*, 702-720.
- Marín-Buzón, C., Pérez-Romero, A., López-Castro, J. L., Ben Jerbania, I., & Manzano-Agugliaro, F. (2021). Photogrammetry as a new scientific tool in archaeology: Worldwide research trends. *Sustainability*, 13(9), 5319.
- Polat, N., & Uysal, M. (2017). DTM generation with UAV based photogrammetric point cloud. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-4/W6, 77-79.
- Nesbit, P. R., & Hugenholtz, C. H. (2019). Enhancing UAV-SFM 3D model accuracy in high-relief landscapes by incorporating oblique images. *Remote Sensing*, 11(3), 239.
- Casierra, C. B. G., Sanchez, C. G. C., Garcia, J. F. C., & La Rivera, F. M. (2022). Methodology for Infrastructure Site Monitoring using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(3).
- Villa, T. F., Gonzalez, F., Miljjevic, B., Ristovski, Z. D., & Morawska, L. (2016). An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future prospectives. *Sensors*, 16(7), 1072.
- Everaerts, J. (2008). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(2008), 1187-1192.
- Alizadehsalehi, S., Yitmen, I., Celik, T., & Arditi, D. (2020). The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. *International journal of occupational safety and ergonomics*, 26(4), 829-844.
- Famiglietti, N. A., Cecere, G., Grasso, C., Memmolo, A., & Vicari, A. (2021). A test on the potential of a low cost unmanned aerial vehicle RTK/PPK solution for precision positioning. *Sensors*, 21(11), 3882.
- Mugnai, F., Longinotti, P., Vezzosi, F., & Tucci, G. (2022). Performing low-altitude photogrammetric surveys, a comparative analysis of user-grade unmanned aircraft systems. *Applied Geomatics*, 14(Suppl 1), 211-223.
- Zarco-Tejada, P. J., Diaz-Varela, R., Angileri, V., & Loudjani, P. (2014). Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European journal of agronomy*, 55, 89-99.
- Lo Brutto, M., Garraffa, A., & Meli, P. (2014). UAV PLATFORMS FOR CULTURAL HERITAGE SURVEY: FIRST RESULTS. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2(5).
- Feurer, D., Bailly, J. S., Puech, C., Le Coarer, Y., & Viau, A. A. (2008). Very-high-resolution mapping of river-immersed topography by remote sensing. *Progress in Physical Geography*, 32(4), 403-419.
- Mugnai, F., & Tucci, G. (2022). A Comparative Analysis of Unmanned Aircraft Systems in Low Altitude Photogrammetric Surveys. *Remote Sensing*, 14(3), 726.
- El Meouche, R., Hijazi, I., Poncet, P. A., Abunemeh, M., & Rezoug, M. (2016). UAV PHOTOGRAMMETRY IMPLEMENTATION TO ENHANCE LAND SURVEYING,

COMPARISONS AND POSSIBILITIES. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.

Lejot, J., Delacourt, C., Piégay, H., Fournier, T., Trémélo, M. L., & Allemand, P. (2007). Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(11), 1705-1725.

Escobar Villanueva, J. R., Iglesias Martínez, L., & Pérez Montiel, J. I. (2019). DEM generation from fixed-wing UAV imaging and LiDAR-derived ground control points for flood estimations. *Sensors*, 19(14), 3205. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/14/3205>

Zazo, S., Rodríguez-González, P., Molina, J. L., González-Aguilera, D., Agudelo-Ruiz, C. A., & Hernández-López, D. (2018). Flood hazard assessment supported by reduced cost aerial precision photogrammetry. *Remote sensing*, 10(10), 1566.

Brunier, G., Fleury, J., Anthony, E. J., Gardel, A., & Dussouillez, P. (2016). Close-range airborne Structure-from-Motion Photogrammetry for high-resolution beach morphometric surveys: Examples from an embayed rotating beach. *Geomorphology*, 261, 76-88.

Bühler, Y., Marty, M., Egli, L., Veitinger, J., Jonas, T., Thee, P., & Ginzler, C. (2015). Snow depth mapping in high-alpine catchments using digital photogrammetry. *The Cryosphere*, 9(1), 229-243.

Hugenholtz, C. H., Whitehead, K., Brown, O. W., Barchyn, T. E., Moorman, B. J., LeClair, A., ... & Hamilton, T. (2013). Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model. *Geomorphology*, 194, 16-24.

Hugenholtz, C., Brown, O., Walker, J., Barchyn, T., Nesbit, P., Kucharczyk, M., & Myshak, S. (2016). Spatial accuracy of UAV-derived orthoimagery and topography: Comparing photogrammetric models processed with direct geo-referencing and ground control points. *Geomatica*, 70(1), 21-30.

Roze, A., Zufferey, J. C., Beyeler, A., & McClellan, A. (2014). eBee RTK accuracy assessment. *Lausanne, Switzerland*.

Benassi, F., Dall'Asta, E., Diotri, F., Forlani, G., Morra di Cella, U., Roncella, R., & Santise, M. (2017). Testing accuracy and repeatability of UAV blocks oriented with GNSS-supported aerial triangulation. *Remote Sensing*, 9(2), 172.

Leitão, J. P., de Vitry, M. M., Scheidegger, A., & Rieckermann, J. (2016). Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow modelling in urban areas. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4), 1637.

Gindraux, S., Boesch, R., & Farinotti, D. (2017). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on glaciers. *Remote Sensing*, 9(2), 186.

Immerzeel, W. W., Kraaijenbrink, P. D., Shea, J. M., Shrestha, A. B., Pellicciotti, F., Bierkens, M. F., & de Jong, S. M. (2014). High-resolution monitoring of Himalayan glacier dynamics using unmanned aerial vehicles. *Remote Sensing of Environment*, 150, 93-103.

Yilmaz, V., Konakoglu, B., Serifoglu, C., Gungor, O., & Gökalp, E. (2018). Image classification-based ground filtering of point clouds extracted from UAV-based aerial photos. *Geocarto international*, 33(3), 310-320.

Coveney, S., & Roberts, K. (2017). Lightweight UAV digital elevation models and orthoimagery for environmental applications: data accuracy evaluation and potential for river flood risk modelling. *International journal of remote sensing*, 38(8-10), 3159-3180.

Langhammer, J., Bernsteinová, J., & Miřijovský, J. (2017). Building a high-precision 2D hydrodynamic flood model using UAV photogrammetry and sensor network monitoring. *Water*, 9(11), 861.

- Ajayi, O. G., Palmer, M., & Salubi, A. A. (2018). Modelling farmland topography for suitable site selection of dam construction using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *11*, 220-230.
- Hadjipaschalis, I.; Poullikkas, A.; Efthimiou, V. Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2009**, *13*, 1513–1522.
- Deutsch, A.; Kopcsay, G.V.; Restle, P.J.; Smith, H.H.; Katopis, G.; Becker, W.D.; Knebel, D.R. When are transmission-line effects important for on-chip interconnections? *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* **1997**, *45*, 1836–1846.
- Kishore, T.S.; Singal, S.K. Optimal economic planning of power transmission lines: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2014**, *39*, 949–974.
- Zhou, X.; Yi, J.; Song, R.; Yang, X.; Li, Y.; Tang, H. An overview of power transmission systems in China. *Energy* **2010**, *35*, 4302–4312.
- Wang, W.; Huang, X.; Tan, L.; Guo, J.; Liu, H. Optimization design of an inductive energy harvesting device for wireless power supply system overhead high-voltage power lines. *Energies* **2016**, *9*, 242.
- Goodrich, F.G.; Andersen, B.R. The 2000 MW HVDC link between England and France. *Power Eng. J.* **1987**, *1*, 69–74.
- Keles, D.; Dehler-Holland, J.; Densing, M.; Panos, E.; Hack, F. Cross-border effects in interconnected electricity markets-an analysis of the Swiss electricity prices. *Energy Econ.* **2020**, *90*, 104802.
- Abadie, L.M.; Chamorro, J.M. Evaluation of a cross-border electricity interconnection: The case of Spain-France. *Energy* **2021**, *233*, 121177.
- Montoya, F.G.; Aguilera, M.J.; Manzano-Agugliaro, F. Renewable energy production in Spain: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2014**, *33*, 509–531.
- Rosato, V.; Bologna, S.; Tiriticco, F. Topological properties of high-voltage electrical transmission networks. *Electr. Power Syst. Res.* **2007**, *77*, 99–105.
- Dos Santos, M.L.; Jardini, J.A.; Casolari, R.P.; Vasquez-Arnez, R.L.; Saiki, G.Y.; Sousa, T.; Nicola, G.L.C. Power transmission over long distances: Economic comparison between HVDC and half-wavelength line. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2013**, *29*, 502–509.
- Adams, H.W.; Trivette, J.D. Evaluation of magnetic field and system loss considerations for changes in transmission network configuration. *IEEE Trans. Power Deliv.* **1996**, *11*, 2036–2041.
- Al-Hamouz, Z.M. Corona power loss, electric field, and current density profiles in bundled horizontal and vertical bipolar conductors. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **2002**, *38*, 1182–1189.
- Rayner, E.H. High-voltage tests and energy losses in insulating materials. *J. Inst. Electr. Eng.* **1912**, *49*, 3–71.
- Salmeron-Manzano, E.; Manzano-Agugliaro, F. The electric bicycle: Worldwide research trends. *Energies* **2018**, *11*, 1894.
- De la Cruz-Lovera, C.; Perea-Moreno, A.J.; de la Cruz-Fernández, J.L.G.; Montoya, F.; Alcayde, A.; Manzano-Agugliaro, F. Analysis of research topics and scientific collaborations in energy saving using bibliometric techniques and community detection. *Energies* **2019**, *12*, 2030.
- Salmerón-Manzano, E.; Garrido-Cardenas, J.A.; Manzano-Agugliaro, F. Worldwide research trends on medicinal plants. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 3376.
- Gimenez, E.; Manzano-Agugliaro, F. DNA damage repair system in plants: A worldwide research update. *Genes* **2017**, *8*, 299.
- Li, X.R.; Xiao, H.L.; He, M.Z.; Zhang, J.G. Sand barriers of straw checkerboards for habitat restoration in extremely arid desert regions. *Ecol. Eng.* **2006**, *28*, 149–157.
- Ma, G.-M.; Li, C.-R.; Jiang, J.; Luo, Y.-T.; Cheng, Y.-C. A novel optical load cell used in icing monitoring on overhead transmission lines. *Cold Reg. Sci. Technol.* **2012**, *71*, 67–72.



- Skotte, J.H. Exposure to power-frequency electromagnetic fields in Denmark. *Scand. J. Work Environ. Health* **1994**, *20*, 132–138.
- Poole, C.; Kavet, R.; Funch, D.P.; Donelan, K.; Charry, J.M.; Dreyer, N.A. Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternating-current transmission line right-of-way. *Am. J. Epidemiol.* **1993**, *137*, 318–330.
- Libich, S.; To, J.C.; Frank, R.; Sirons, G.J. Occupational exposure of herbicide applicators to herbicides used along electric power transmission line right-of-way. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **1984**, *45*, 56–62.
- Liao, R.; Zuo, Z.; Guo, C.; Yuan, Y.; Zhuang, A. Fabrication of superhydrophobic surface on aluminum by continuous chemical etching and its anti-icing property. *Appl. Surf. Sci.* **2014**, *317*, 701–709.
- Kinney, R.; Crucitti, P.; Albert, R.; Latora, V. Modeling cascading failures in the North American power grid. *Eur. Phys. J. B-Condens. Matter Complex Syst.* **2005**, *46*, 101–107.
- Valiev, R.Z.; Murashkin, M.Y.; Sabirov, I. A nanostructural design to produce high-strength Al alloys with enhanced electrical conductivity. *Scr. Mater.* **2014**, *76*, 13–16.
- El Dein, A.Z.; Wahab, M.A.A.; Hamada, M.M.; Emmary, T.H. The effects of the span configurations and conductor sag on the electric-field distribution under overhead transmission lines. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2010**, *25*, 2891–2902.
- Barnard, J.M.; Ferreira, J.A.; van Wyk, J.D. Sliding transformers for linear contactless power delivery. *IEEE Trans. Ind. Electron.* **1997**, *44*, 774–779.
- Belagoune, S.; Bali, N.; Bakdi, A.; Baadji, B.; Atif, K. Deep learning through LSTM classification and regression for transmission line fault detection, diagnosis and location in large-scale multi-machine power systems. *Measurement* **2021**, *177*, 109330.
- Trivedi, N.B.; Vitorello, Í.; Kabata, W.; Dutra, S.L.G.; Padilha, A.L.; Bologna, M.S.; de Pádua, M.B.; Soares, A.P.; Luz, G.S.; Pinto, F.D.A.; et al. Geomagnetically induced currents in an electric power transmission system at low latitudes in Brazil: A case study. *Space Weather* **2007**, *5*, 1–10.
- Safabakhsh, R. Processing infrared images for high speed power line inspection. In Proceedings of the Thermosense XI: International Conference on Thermal Infrared Sensing for Diagnostics and Control, Orlando, FL, USA, 21 March 1989; Volume 1094, pp. 75–83.
- Sawada, J.; Kusumoto, K.; Maikawa, Y.; Munakata, T.; Ishikawa, Y. A mobile robot for inspection of power transmission lines. *IEEE Trans. Power Deliv.* **1991**, *6*, 309–315.
- Peungsungwal, S.; Pungsiri, B.; Chamnongthai, K.; Okuda, M. Autonomous robot for a power transmission line inspection. In Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (Cat. No. 01CH37196), Sydney, Australia, 6–9 May 2001; Volume 3, pp. 121–124.
- Xiong, X. Automation recognition of obstacles on power transmission line. *Chin. High Technol. Lett.* **2005**, *15*, 39–42.
- Fu, S.F.; Wang, H.G.; Fang, L.J.; Jiang, Y. On obstacle-navigation control of inspection robot for the extra-high voltage power transmission line. *Robot* **2005**, *2*, 341–346.
- Li, J.; Sun, C.; Sima, W.; Yang, Q.; Hu, J. Contamination level prediction of insulators based on the characteristics of leakage current. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2009**, *25*, 417–424.
- Li, J.; Sima, W.; Sun, C.; Sebo, S.A. Use of leakage currents of insulators to determine the stage characteristics of the flashover process and contamination level prediction. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* **2010**, *17*, 490–501.
- Sztafrowski, D.; Gumieła, J.; Wróblewski, Z. Measuring analysis of the distribution of magnetic field free of errors resulting from fluctuation of currents. *People* **2017**, *13*, 14.
- Saito, S.; Fujii, Y.; Yokoyama, K.; Hamasaki, J.; Ohno, Y. 8C1-The laser current transformer for ehv power transmission lines. *IEEE J. Quantum Electron.* **1966**, *2*, 255–259.
- Gazquez, J.A.; Garcia, R.M.; Castellano, N.N.; Fernandez-Ros, M.; Perea-Moreno, A.J.; Manzano-Agugliaro, F. Applied engineering using Schumann resonance for earthquakes monitoring. *Appl. Sci.* **2017**, *7*, 1113.

- Portillo, F.; Alcayde, A.; García, R.M.; Novas, N.; Gázquez, J.A.; Fernández-Ros, M. Grid Frequency Measurement through a PLHR Analysis Obtained from an ELF Magnetometer. *Sensors* **2022**, *22*, 2954.
- Calabrò, E.; Magazù, S. Monitoring electromagnetic field emitted by high frequencies home utilities. *J. Electromagn. Anal. Appl.* **2010**, *2*, 2771.
- Wassef, K.; Varadan, V.V.; Varadan, V.K. Magnetic field shielding concepts for power transmission lines. *IEEE Trans. Magn.* **1998**, *34*, 649–654.
- Xu, X.; Guo, P.; Lu, M.; Zhao, S.; Xu, Z. Optimized portable unilateral magnetic resonance sensor for assessing the aging status of silicon rubber insulators. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **2020**, *70*, 6000211.
- Isokorpi, J.; Keikko, T.; Korpinen, L. Power frequency electric fields at a 400 kV substation. In Proceedings of the 1999 Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, London, UK, 23–27 August 1999; Volume 2, pp. 107–110. [
- Ehtaiba, J.M.; Elhabashi, S.M. Magnetic field around the new 400kV OH power transmission lines in Libya. In Proceedings of the Wseas International Conference on Environment, Medicine and Health Sciences; Penang, Malaysia, 23–25 March 2010; pp. 134–139, ISBN 9789604741595.
- Yadav, A.; Dash, Y. An overview of transmission line protection by artificial neural network: Fault detection, fault classification, fault location and fault direction discrimination. *Adv. Artif. Neural Syst.* **2014**, 230382.
- Stringfield, T.W.; Marihart, D.J.; Stevens, R.F. Fault location methods for overhead lines. *Trans. Am. Inst. Electr. Eng. Part III Power Appar. Syst.* **1957**, *76*, 518–529.
- Takagi, T.; Yamakoshi, Y.; Baba, J.; Uemura, K.; Sakaguchi, T. A new algorithm of an accurate fault location for ehv/uhv transmission lines: Part i-fourier transformation method. *IEEE Trans. Power Appar. Syst.* **1981**, *PAS-100*, 1316–1323.
- Takagi, T.; Yamakoshi, Y.; Baba, J.; Uemura, K.; Sakaguchi, T. A new algorithm of an accurate fault location for EHV/UHV transmission lines: Part II-Laplace transform method. *IEEE Trans. Power Appar. Syst.* **1982**, *PAS-101*, 564–573.
- Magnago, F.H.; Abur, A. Fault location using wavelets. *IEEE Trans. Power Deliv.* **1998**, *13*, 1475–1480.
- Jiang, J.-A.; Yang, J.-Z.; Lin, Y.-H.; Liu, C.-W.; Ma, J.-C. An adaptive PMU based fault detection/location technique for transmission lines. I. Theory and algorithms. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2000**, *15*, 486–493.
- Chen, Z.; Maun, J.C. Artificial neural network approach to single-ended fault locator for transmission lines. *IEEE Trans. Power Syst.* **2000**, *15*, 370–375.
- Wang, J.; Wang, J.; Shao, J.; Li, J. Image recognition of icing thickness on power transmission lines based on a least squares Hough transform. *Energies* **2017**, *10*, 415.
- Pohlman, J.C.; Landers, P. Present state-of-the-art of transmission line icing. *IEEE Trans. Power Appar. Syst.* **1982**, *PAS-101*, 2443–2450.
- Laforte, J.L.; Allaire, M.A.; Laflamme, J. State-of-the-art on power line de-icing. *Atmos. Res.* **1998**, *46*, 143–158.
- Makkonen, L. Modeling power line icing in freezing precipitation. *Atmos. Res.* **1998**, *46*, 131–142.
- Sun, W.; Wang, C. Staged icing forecasting of power transmission lines based on icing cycle and improved extreme learning machine. *J. Clean. Prod.* **2019**, *208*, 1384–1392.
- Chen, S.; Dai, D.; Huang, X.; Sun, M. Short-term prediction for transmission lines icing based on bp neural network. In Proceedings of the 2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Shanghai, China, 27–29 March 2012; pp. 1–5.
- Teegala, S.K.; Singal, S.K. Economic analysis of power transmission lines using interval mathematics. *J. Electr. Eng. Technol.* **2015**, *10*, 1471–1479.

- Design Codes, Standards, and Manuals Used in Power Line Systems' Software. Available online: <http://www.powline.com/products/designcodes.html> (accessed on 1 July 2022).
- Kazerooni, A.K.; Mutale, J. Transmission network planning under security and environmental constraints. *IEEE Trans. Power Syst.* **2010**, *25*, 1169–1178.
- Song, Y.H.; Yu, I.-K. Dynamic load dispatch with voltage security and environmental constraints. *Electr. Power Syst. Res.* **1997**, *43*, 53–60.
- Gao, W.; Zhou, R.; Zhao, D. Heuristic failure prediction model of transmission line under natural disasters. *IET Gener. Transm. Distrib.* **2017**, *11*, 935–942.
- Wang, Y.; Chen, C.; Wang, J.; Baldick, R. Research on resilience of power systems under natural disasters—A review. *IEEE Trans. Power Syst.* **2015**, *31*, 1604–1613.
- Hou, H.; Yu, S.; Wang, H.; Xu, Y.; Xiao, X.; Huang, Y.; Wu, X. A hybrid prediction model for damage warning of power transmission line under typhoon disaster. *IEEE Access* **2020**, *8*, 85038–85050.
- Abd-Elaal, E.S.; Mills, J.E.; Ma, X. A review of transmission line systems under downburst wind loads. *J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn.* **2018**, *179*, 503–513.
- Banik, S.S.; Hong, H.P.; Kopp, G.A. Assessment of tornado hazard for spatially distributed systems in southern Ontario. *J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn.* **2008**, *96*, 1376–1389.
- Zhang, P.; Song, G.; Li, H.-N.; Lin, Y.-X. Seismic control of power transmission tower using pounding TMD. *J. Eng. Mech.* **2013**, *139*, 1395–1406.
- Wang, C.; Feng, K.; Zhang, H.; Li, Q. Seismic performance assessment of electric power systems subjected to spatially correlated earthquake excitations. *Struct. Infrastruct. Eng.* **2019**, *15*, 351–361.
- Kudzys, A. Safety of power transmission line structures under wind and ice storms. *Eng. Struct.* **2006**, *28*, 682–689.
- Yang, H.; Xu, W.; Zhao, J.; Wang, D.; Dong, Z. Predicting the probability of ice storm damages to electricity transmission facilities based on ELM and Copula function. *Neurocomputing* **2011**, *74*, 2573–2581.
- Whitehead, J.T.; Chisholm, W.A.; Anderson, J.G.; Clayton, R.; Elahi, H.; Eriksson, A.J.; Renowden, J.R. Estimating lightning performance of transmission line 2—Updates to analytical models. *IEEE Trans. Power Deliv.* **1993**, *8*, 1254–1267.
- Rachidi, F. A review of field-to-transmission line coupling models with special emphasis to lightning-induced voltages on overhead lines. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.* **2012**, *54*, 898–911.
- Fu, X.; Li, H.-N.; Li, G.; Dong, Z.-Q.; Zhao, M. Failure analysis of a transmission line considering the joint probability distribution of wind speed and rain intensity. *Eng. Struct.* **2021**, *233*, 111913.
- Zhou, C.; Liu, Y.; Rui, X. Mechanism and characteristic of rain-induced vibration on high-voltage transmission line. *J. Mech. Sci. Technol.* **2012**, *26*, 2505–2510.
- Choobineh, M.; Mohagheghi, S. Power grid vulnerability assessment against wildfires using probabilistic progression estimation model. In Proceedings of the 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, USA, 17–21 July 2016; pp. 1–5.
- Manzano-Agugliaro, F.; Pérez-Aranda, J.; de La Cruz, J.L. Methodology to obtain isochrones from large wildfires. *Int. J. Wildland Fire* **2014**, *23*, 338–349.
- Manzano-Agugliaro, F.; Alcayde, A.; Montoya, F.G.; Montero, M.A. Sistema on line para la medicion de la temperatura en el tendido de vanos de alta tensión. *DYNA* **2011**, *86*, 89–94.
- Beryozkina, S.; Sauhats, A.; Vanzovichs, E. Modeling of the load current of the transmission line. In Proceedings of the 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Rome, Italy, 8–11 May 2011; pp. 1–4.
- Schlapfer, M.; Mancarella, P. Probabilistic modeling and simulation of transmission line temperatures under fluctuating power flows. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2011**, *26*, 2235–2243.

- Lu, M.L.; Kieloch, Z. Accuracy of transmission line modeling based on aerial LiDAR survey. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2008**, *23*, 1655–1663.
- He, S.; Yang, D.; Li, W.; Xia, Y.; Tang, Y. Detection and fault diagnosis of power transmission line in infrared image. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems (CYBER), Shenyang, China, 8–12 June 2015; pp. 431–435.
- Gatta, F.M.; Iliceto, F. Analysis of some operation problems of half-wave length power transmission lines. In Proceedings of the 3D Africon Conference. Africon'92 Proceedings (Cat. No. 92CH3215), Ezulwini Valley, Switzerland, 22–24 September 1992; pp. 59–64.
- Wolf, A.A.; Shcherbachev, O.V. On normal working conditions of compensated lines with half-wave characteristics. *Elektrichestvo* **1940**, *1*, 147–158.
- Yarong, G.; Zexin, Z.; Xingguo, W.; Huanzhang, L. Time difference method to calculate the optimal differential point of half-wavelength AC transmission line differential protection. In Proceedings of the 2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), Chengdu, China, 21–24 May 2019; pp. 1193–1198.
- Liu, Y.; Tian, H.; Liu, Z.; Qin, X. Aspects of ultra-high voltage half-wavelength power transmission technology. *Glob. Energy Interconnect.* **2018**, *1*, 96–102.
- Cao, P.; Shu, H.; Yang, B.; An, N.; Qiu, D.; Teng, W.; Dong, J. Voltage distribution-based fault location for half-wavelength transmission line with large-scale wind power integration in China. *Energies* **2018**, *11*, 593.
- Xu, Z.; Yang, J.; Sheng, N. Infeasibility analysis of half-wavelength transmission systems. *Energies* **2018**, *11*, 1790.
- Doan, D.R.; Derer, R.M. Arc flash calculations for a 13 MW photovoltaic system. In Proceedings of the 2014 IEEE IAS Electrical Safety Workshop, San Diego, CA, USA, 4–7 February 2014; pp. 1–7.
- Dudurych, I.M.; Gallagher, T.J.; Rosolowski, E. Arc effect on single-phase reclosing time of a UHV power transmission line. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2004**, *19*, 854–860.
- Jamali, S.; Parham, A. New approach to adaptive single pole auto-reclosing of power transmission lines. *IET Gener. Transm. Distrib.* **2010**, *4*, 115–122.
- Jannati, M.; Vahidi, B.; Hosseinian, S.H.; Ahadi, S.M. A novel approach to adaptive single phase auto-reclosing scheme for EHV transmission lines. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* **2011**, *33*, 639–646.
- Vahidi, B.; Jannati, M.; Hosseinian, S.H. A novel approach to adaptive single phase autoreclosure scheme for EHV power transmission lines based on learning error function of ADALINE. *Simulation* **2008**, *84*, 601–610.
- Dudurych, I.; Rosolowski, E. Analysis of overvoltages in overhead ground wires of extra high voltage (EHV) power transmission line under single-phase-to-ground faults. *Electr. Power Syst. Res.* **2000**, *53*, 105–111.
- Wu, Q.H.; Zhang, J.F.; Zhang, D.J. Ultra-high-speed directional protection of transmission lines using mathematical morphology. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2003**, *18*, 1127–1133.
- Gautam, S.; Brahma, S.M. Overview of mathematical morphology in power systems—A tutorial approach. In Proceedings of the 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Calgary, AB, Canada, 26–30 July 2009; pp. 1–7.
- Silveira, P.M.; Seara, R.; Zurn, H.H. An approach using wavelet transform for fault type identification in digital relaying. In Proceedings of the 1999 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Conference Proceedings (Cat. No. 99CH36364), Edmonton, AB, Canada, 18–22 July 1999; Volume 2, pp. 937–942.
- Akinci, T.C.; Ekren, N.; Seker, S.; Yildirim, S. Continuous wavelet transform for ferroresonance phenomena in electric power systems. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* **2013**, *44*, 403–409.

- Jiang, J.-A.; Chuang, C.-L.; Wang, Y.-C.; Hung, C.-H.; Wang, J.-Y.; Lee, C.-H.; Hsiao, Y.-T. A hybrid framework for fault detection, classification, and location—Part I: Concept, structure, and methodology. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2011**, *26*, 1988–1998.
- Liu, Z.; Han, Z.; Zhang, Y.; Zhang, Q. Multiwavelet packet entropy and its application in transmission line fault recognition and classification. *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.* **2014**, *25*, 2043–2052.
- Izykowski, J.; Molag, R.; Rosolowski, E.; Saha, M.M. Accurate location of faults on power transmission lines with use of two-end unsynchronized measurements. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2006**, *21*, 627–633.
- Wong, S.Y.; Choe, C.W.C.; Goh, H.H.; Low, Y.W.; Cheah, D.Y.S.; Pang, C. Power transmission line fault detection and diagnosis based on artificial intelligence approach and its development in uav: A review. *Arab. J. Sci. Eng.* **2021**, *46*, 9305–9331.
- Sadeh, J.; Hadjsaid, N.; Ranjbar, A.M.; Feuillet, R. Accurate fault location algorithm for series compensated transmission lines. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2000**, *15*, 1027–1033.
- Gururajapathy, S.S.; Mokhlis, H.; Illias, H.A. Fault location and detection techniques in power distribution systems with distributed generation: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *74*, 949–958.
- Singh, S.; Vishwakarma, D.N. Intelligent techniques for fault diagnosis in transmission lines—An overview. In Proceedings of the 2015 International Conference on Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE), Noida, India, 12–13 March 2015; pp. 280–285.
- Hagh, M.T.; Razi, K.; Taghizadeh, H. Fault classification and location of power transmission lines using artificial neural network. In Proceedings of the 2007 International Power Engineering Conference (IPEC 2007), Singapore, 3–6 December 2007; pp. 1109–1114.
- Hasan, A.N.; Eboale, P.P.; Twala, B. The use of machine learning techniques to classify power transmission line fault types and locations. In Proceedings of the 2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) & 2017 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP), Brasov, Romania, 25–27 May 2017; pp. 221–226.
- Manzano et al. 2011. Sistema On-Line para la medición de temperatura en el tendido topográfico de vanos de alta tensión. *Revista Dyna*. Volúmen 86, 71/72.



## ***CAPÍTULO 8***

---

# **PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS**

**CAPÍTULO 8. PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS.....200**

**8.1. PUBLICACIÓN 1. POWER TRANSMISSION LINES: WORLDWIDE RESEARCH  
TRENDS 200**

## CAPÍTULO 8. PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS.

### 8.1. Publicación 1. Power Transmission Lines: Worldwide Research Trends



Review

#### Power Transmission Lines: Worldwide Research Trends

Francisca Alcayde-García <sup>1</sup>, Esther Salmerón-Manzano <sup>2</sup>, Miguel A. Montero <sup>1</sup>, Alfredo Alcayde <sup>1</sup> and Francisco Manzano-Agugliaro <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Engineering, University of Almería, ccaA3, 04120 Almería, Spain

<sup>2</sup> Faculty of Law, Universidad Internacional de La Rioja (UNIR), 26006 Logroño, Spain

\* Correspondence: fmanzano@ual.es

**Abstract:** The importance of the quality and continuity of electricity supply is increasingly evident given the dependence of the world economy on its daily and instantaneous operation. In turn, the network is made up of power transmission lines. This study has been carried out based on the Scopus database, where all the publications, over 5000 documents, related to the topic of the power transmission lines have been analyzed up to the year 2022. This manuscript aims to highlight the main global research trends in power transmission lines and to detect which are the emerging areas. This manuscript cover three main aspects: First, the main scientific categories of these publications and their temporal trends. Second, the countries and affiliations that contribute to the research and their main research topics. Third, identification of the main trends in the field using the detection of scientific communities by means of the clustering method. The three main scientific categories found were Engineering, Energy and Computer Science. This research is most strongly developed in China, as the top 10 institutions are from this country, followed by USA and in third place by Russia. Twelve lines of research have been detected: Line Inspection, Leakage Current, Magnetic Fields, Fault Location, Icing, Lines Design, Natural Disasters, Temperature, Half-wave, Arc Flash, Pattern Recognition, and Artificial Intelligence. This research will open new perspectives for future research on power transmission lines.

**Keywords:** line inspection; leakage current; magnetic fields; fault location; lines design; natural disasters; half-wave; arc flash; pattern recognition; artificial intelligence



Citation: Alcayde-García, F.; Salmerón-Manzano, E.; Montero, M.A.; Alcayde, A.; Manzano-Agugliaro, F. Power Transmission Lines: Worldwide Research Trends. *Energies* 2022, 15, 5777. <https://doi.org/10.3390/en15165777>

Academic Editor: Zheng Xu

Received: 8 July 2022

Accepted: 8 August 2022

Published: 9 August 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

#### 1. Introduction

Electric power is the ideal energy variant for the distribution and transport of energy from production to consumption points [1]. The non-coincidence of the production facilities (renewable or non-renewable) and the consumption centers makes it necessary to transport the generated energy. This transport is carried out with power transmission lines, which can be overhead or underground lines.

A power transmission line can have two different functions, transmission and interconnection, even though in fact they can be found overlapping on the same power transmission line [2]. It is a power transmission line when it connects an energy production facility with a consumption point, the power in this case always flowing in the same direction and its value varying according to the energy demand of the consumption point [3]. An interconnection line connects two production centers and therefore the power flowing through the interconnection line may run in opposite directions. In most cases, transmission power lines are of great length, since they usually connect generation plants that may be hundreds of kilometers away from the consumption centers [4].

Therefore, when transmitting energy, high voltage and low intensity are used so that there are less losses in the wire, since the resistance varies according to the length, and as these lines are very long, the energy losses due to heating would be very high [5]. The voltage levels used in the transport and interconnection are, for example: Spain (400 and 220 kV), France (400, 225 and 150 kV), England (400, 275 and 150 kV), Germany (400, 220



96. Wu, Q.H.; Zhang, J.E.; Zhang, D.J. Ultra-high-speed directional protection of transmission lines using mathematical morphology. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2003**, *18*, 1127–1133. [[CrossRef](#)]
97. Gautam, S.; Brahma, S.M. Overview of mathematical morphology in power systems—A tutorial approach. In Proceedings of the 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Calgary, AB, Canada, 26–30 July 2009; pp. 1–7.
98. Silveira, P.M.; Seara, R.; Zurn, H.H. An approach using wavelet transform for fault type identification in digital relaying. In Proceedings of the 1999 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Conference Proceedings (Cat. No. 99CH36364), Edmonton, AB, Canada, 18–22 July 1999; Volume 2, pp. 937–942.
99. Akinci, T.C.; Ekren, N.; Seker, S.; Yildirim, S. Continuous wavelet transform for ferroresonance phenomena in electric power systems. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* **2013**, *44*, 403–409. [[CrossRef](#)]
100. Jiang, J.-A.; Chuang, C.-L.; Wang, Y.-C.; Hung, C.-H.; Wang, J.-Y.; Lee, C.-H.; Hsiao, Y.-T. A hybrid framework for fault detection, classification, and location—Part I: Concept, structure, and methodology. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2011**, *26*, 1988–1998. [[CrossRef](#)]
101. Liu, Z.; Han, Z.; Zhang, Y.; Zhang, Q. Multiwavelet packet entropy and its application in transmission line fault recognition and classification. *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.* **2014**, *25*, 2043–2052. [[CrossRef](#)]
102. Lzykowski, J.; Molag, R.; Rosolowski, E.; Saha, M.M. Accurate location of faults on power transmission lines with use of two-end unsynchronized measurements. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2006**, *21*, 627–633. [[CrossRef](#)]
103. Wong, S.Y.; Choe, C.W.C.; Goh, H.H.; Low, Y.W.; Cheah, D.Y.S.; Pang, C. Power transmission line fault detection and diagnosis based on artificial intelligence approach and its development in uav: A review. *Arab. J. Sci. Eng.* **2021**, *46*, 9305–9331. [[CrossRef](#)]
104. Sadeh, J.; Hadjsaid, N.; Ranjbar, A.M.; Feuillet, R. Accurate fault location algorithm for series compensated transmission lines. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2000**, *15*, 1027–1033. [[CrossRef](#)]
105. Gururajapathy, S.S.; Mokhlis, H.; Ilias, H.A. Fault location and detection techniques in power distribution systems with distributed generation: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *74*, 949–958. [[CrossRef](#)]
106. Singh, S.; Vishwakarma, D.N. Intelligent techniques for fault diagnosis in transmission lines—An overview. In Proceedings of the 2015 International Conference on Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE), Noida, India, 12–13 March 2015; pp. 280–285.
107. Hagh, M.T.; Razi, K.; Taghizadeh, H. Fault classification and location of power transmission lines using artificial neural network. In Proceedings of the 2007 International Power Engineering Conference (IPEC 2007), Singapore, 3–6 December 2007; pp. 1109–1114.
108. Hasan, A.N.; Eboyle, P.P.; Twala, B. The use of machine learning techniques to classify power transmission line fault types and locations. In Proceedings of the 2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) & 2017 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP), Brasov, Romania, 25–27 May 2017; pp. 221–226.