



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

**ADAPTACIÓN DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN
PARA LA CONSERVACIÓN DEL
ÁGUILA AZOR (HIERAAETUS FASCIATUS):
EL CASO DE LA ZONA CRÍTICA DE ALCAÑIZ-CASPE**

Autor/es

Alejandro Escartín Cerra

Director/es

Antonio Usón Sardaña



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Escuela de Ingeniería y Arquitectura – Universidad de Zaragoza

2023

RESUMEN

Las líneas aéreas de distribución de alta tensión son un elemento vertebrador que permiten el transporte de energía eléctrica procedente de las plantas generadoras, pero también suponen un riesgo para la supervivencia de la avifauna y el entorno natural por el que discurren. Este trabajo tiene como objeto analizar el impacto de un tendido eléctrico de alta tensión que discurre a lo largo de una zona con gran presencia de la especie *Hieraaetus Fasciatus*, comúnmente denominada como Águila-Azor perdicera. El estudio recoge tres factores perniciosos para la supervivencia de este rapaz: la colisión, la electrocución y la exposición a campos no ionizantes, para los que se propone una serie de recomendaciones para mitigar su impacto.

ABSTRACT

High-voltage overhead distribution lines are a backbone element that allows the transport of electricity from power plants, but they also represent a risk for the survival of birdlife and the natural environment through which they run. The aim of this project is to analyse the impact of a high-voltage power line that runs along an area with a large presence of the species *Hieraaetus fasciatus*, commonly known as Bonelli's Eagle. The study covers three pernicious factors for the survival of this bird of prey: collision, electrocution, and exposure to non-ionising fields, and proposes a series of recommendations to mitigate their impact.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	8
2.	OBJETO	9
3.	ÁGUILA-AZOR PERDICERA	10
3.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁGUILA-AZOR PERDICERA	10
3.1.1	HÁBITAT	10
3.1.2	ALIMENTACIÓN.....	10
3.2	NORMATIVA ÁGUILA-AZOR	11
3.2.1	REAL DECRETO 1432/2008	11
3.2.2	DECRETO 326/2011 DEL GOBIERNO DE ARAGÓN	12
3.3	ÁGUILA-AZOR EN LA ZONA CRÍTICA DEL BAJO ARAGÓN	14
3.3.1	ZONA CRÍTICA	14
3.3.2	EJEMPLARES	15
3.3.3	NIDIFICACIONES.....	16
4.	ANÁLISIS LÍNEA ELÉCTRICA “SALTO NUEVO”	17
4.1	APOYO CON ARMADO HORIZONTAL	17
4.2	APOYO CON ARMADO TRIÁNGULO	18
4.3	APOYO CON ARMADO BÓVEDA.....	19
4.4	APOYO CON ARMADO AL TRESBOLILLO	19
4.5	MEDIDAS CORRECTORAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN	20
4.5.1	ARMADO HORIZONTAL.....	20
4.5.2	ARMADO TRIÁNGULO	20
4.5.3	ARMADO BÓVEDA	21
4.5.4	ARMADO TRESBOLILLO	21
4.5.4	TRANSFORMADORES.....	22
4.6	MEDIDAS CORRECTORAS CONTRA LA COLISIÓN	23
5.	ANÁLISIS CAMPOS NO IONIZANTES	24
5.1	SIMULACIÓN CAMPOS ELÉCTRICOS	24
5.1.1	CAMPO ELÉCTRICO EN CRUCETA.....	25
5.2	SIMULACIÓN CAMPOS MAGNÉTICOS	26
5.2.1	CAMPO MAGNÉTICO EN CRUCETA.....	27
5.3	NORMATIVA CAMPOS NO IONIZANTES	27
5.3.1	APLICACIÓN DE LA NORMATIVA DE CAMPOS NO IONIZANTES A LA LÍNEA ELÉCTRICA “SALTO NUEVO”	28
6.	CONCLUSIONES	30
6.1	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS	30
7.	BIBLIOGRAFÍA	31

ANEXOS

ANEXO I MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVES

1.	MEDIDAS CORRECTORAS ANTIELECTROCUCIÓN	2
1.1	FORRO AISLADORES Y CONDUCTORES.....	2
1.2	FORRO GRAPAS DE AMARRE.....	2
1.3	FORRADO DE BORNAS DE TRANSFORMADORES	3
2.	MEDIDAS CORRECTORAS ANTICOLISIÓN	4
2.1	ESPIRAL DE POLIPROPILENO	4

ANEXO II ANÁLISIS DETALLADO LÍNEA 15 kV “SALTO NUEVO”

1.	ÁNÁLISIS LÍNEA ELÉCTRICA “SALTO NUEVO”	2
1.1	APOYO 18 – APOYO 28	3
1.2	APOYO 29 – APOYO 30	6
1.3	APOYO 31	8
1.4	APOYO 32 – APOYO 43	11
1.5	APOYO 44 Y APOYO 45	11
1.6	APOYO 46 – APOYO 49	13
1.7	APOYO 50 Y APOYO 51	14
1.8	APOYO 52 – FIN DE LÍNEA	16
1.9	APOYOS DE INTERÉS TRAMO EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA (EA)	18

ANEXO III PRESUPUESTO

1.	PRESUPUESTO ELECTROCUCIÓN	2
1.1	APOYOS	2
1.2	TRANSFORMADORES.....	2
2.	PRESUPUESTO COLISIÓN	2
3.	RESUMEN.....	3

ANEXO IV ANÁLISIS MODELO OPERA

1.	SOFTWARE OPERA.....	2
2.	MODELO APOYO.....	2
3.	MODELO ELECTROSTÁTICO	5
4.	MODELO MAGNETOSTÁTICO	9
5.	DISTRIBUCIÓN DE CAMPOS.....	11
5.1	DISTRIBUCIÓN CAMPO ELÉCTRICO	11
5.2	DISTRIBUCIÓN CAMPO MAGNÉTICO	12

LISTADO DE FIGURAS

MEMORIA

Fig. 1: <i>Águila-Azor perdicera (Hieraetus fasciatus)</i>	10
Fig. 2: <i>Águila-Azor perdicera alimentando a su cría</i>	11
Fig. 3: <i>Ámbito de aplicación del Plan de recuperación del águila-azor perdicera (Hieraetus fasciatus) en Aragón</i>	13
Fig. 4: <i>Ámbito de aplicación del Plan de recuperación del águila-azor perdicera (Hieraetus fasciatus) en la provincia de Teruel</i>	13
Fig. 5: <i>Situación zona crítica del Águila-Azor₂</i>	14
Fig. 6: <i>Emplazamiento zona crítica del Águila-Azor₂</i>	15
Fig. 7: <i>Telemetría Águila-Azor en la zona crítica₂</i>	15
Fig. 8: <i>Nidificaciones Águila-Azor en la zona crítica₂</i>	16
Fig. 9: <i>Trazado principal línea 15 kV</i>	17
Fig. 10: <i>Armados tipo horizontal</i>	18
Fig. 11: <i>Armado triángulo</i>	18
Fig. 12: <i>Armados tipo bóveda</i>	19
Fig. 13: <i>Armado al tresbolillo</i>	19
Fig. 14: <i>Aislamiento cadenas de amarre</i>	20
Fig. 15: <i>Aislamiento armado triángulo</i>	21
Fig. 16: <i>Aislamiento armado tresbolillo</i>	22
Fig. 17: <i>Aislamiento transformador</i>	23
Fig. 18: <i>Líneas geométricas de las zonas de interés, modelo electrostático</i>	25
Fig. 19: <i>Campo eléctrico en la cruceta del apoyo</i>	25
Fig. 20: <i>Líneas geométricas de las zonas de interés, modelo magnetostático</i>	26
Fig. 21: <i>Campo magnético en la cruceta del apoyo</i>	27
ANEXO I: MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVES	
Fig. 22: <i>Forros de aisladores y conductores[C1]</i>	2
Fig. 23: <i>Forro grapas de amarre[C2]</i>	3
Fig. 24: <i>Forrado de bornas de transformadores [I] [C3]</i>	4
Fig. 25: <i>Forrado de bornas de transformadores [II] [C4]</i>	4
Fig. 26: <i>Espiral de polipropileno anticollisión [C5]</i>	5
ANEXO II: ANÁLISIS DETALLADO LÍNEA 15 kV "SALTO NUEVO"	
Fig. 27: <i>Trazado línea "SALTO NUEVO"</i>	2
Fig. 28: <i>Apoyo 18</i>	3
Fig. 29: <i>Apoyo 19</i>	4
Fig. 30: <i>Apoyo 20</i>	4
Fig. 31: <i>Apoyo 27</i>	5
Fig. 32: <i>Apoyo 28</i>	5
Fig. 33: <i>Apoyo 29</i>	7
Fig. 34: <i>Apoyo 30</i>	7
Fig. 35: <i>Apoyo 31</i>	9
Fig. 36: <i>Apoyo 31, conexión a central hidráulica</i>	9
Fig. 37: <i>Conexión a central hidráulica</i>	10
Fig. 38: <i>Apoyo 44 y Apoyo 45</i>	12
Fig. 39: <i>Apoyo 46</i>	13
Fig. 40: <i>Cruzamiento línea "SALTO NUEVO" con el río Guadalope</i>	15
Fig. 41: <i>Apoyo 50</i>	15
Fig. 42: <i>Apoyo 52</i>	17
Fig. 43: <i>Trazado línea "SALTO NUEVO" con derivación a EA</i>	18
Fig. 44: <i>Apoyo 01 EA</i>	19
Fig. 45: <i>Apoyo 02 EA</i>	19

<i>Fig. 46: Apoyo 03 EA - Fin de línea</i>	20
ANEXO IV: ANÁLISIS MODELO OPERA	
<i>Fig. 47: Mallado del apoyo realizado con Dassault Systemes</i>	2
<i>Fig. 48: Alzado apoyo 20</i>	3
<i>Fig. 49: Alzado apoyo 20, cruceta</i>	3
<i>Fig. 50: Alzado apoyo 20, conductores</i>	4
<i>Fig. 51: Vista de alzado del apoyo modelo</i>	4
<i>Fig. 52: Vista de planta del apoyo modelo</i>	5
<i>Fig. 53: Vista de perfil del apoyo modelo</i>	5
<i>Fig. 54: Onda senoidal trifásica</i>	6
<i>Fig. 55: Background exterior, modelo electrostático</i>	7
<i>Fig. 56: Background interior, modelo electrostático</i>	7
<i>Fig. 57: Mallado modelo electrostático</i>	8
<i>Fig. 58: Resultados modelo electrostático</i>	8
<i>Fig. 59: Background exterior, modelo magnetostático</i>	9
<i>Fig. 60: Background interior, modelo magnetostático</i>	10
<i>Fig. 61: Mallado modelo magnetostático</i>	10
<i>Fig. 62: Resultados modelo magnetostático</i>	11
<i>Fig. 63: Distribución campo eléctrico en plano ZX con y=134 mm [I]</i>	11
<i>Fig. 64: Distribución campo eléctrico en plano ZX con y=134 mm [II]</i>	12
<i>Fig. 65: Distribución campo magnético en plano ZX con y=180 mm [I]</i>	12
<i>Fig. 66: Distribución campo magnético en plano ZX con y=180 mm [II]</i>	13

LISTADO DE TABLAS

MEMORIA

Tabla 1: Valores máximos de campo eléctrico obtenidos numéricamente en el entorno de la cruceta..... 26

Tabla 2: Valores máximos de campo magnético obtenidos numéricamente en el entorno de la cruceta..... 27

Tabla 3: Valores límite de campos no ionizantes (ICNIRP)..... 28

ANEXO II: ANÁLISIS DETALLADO LÍNEA 15 kV "SALTO NUEVO"

Tabla 4: Coordenadas UTM 30 ETRS80 de los apoyos..... 2

Tabla 5: Características Apoyo 18- Apoyo 28 3

Tabla 6: Características Apoyo 29- Apoyo 30 6

Tabla 7: Características Apoyo 31..... 8

Tabla 8: Características Apoyo 32-Apoyo 43 11

Tabla 9: Características Apoyo 44- Apoyo 45 11

Tabla 10: Características Apoyo 46-Apoyo 49 13

Tabla 11: Características Apoyo 50-Apoyo 51 14

Tabla 12: Apoyo 52- Fin de línea..... 16

Tabla 13: Características de los apoyos con derivación a EA..... 18

ANEXO III: PRESUPUESTO

Tabla 14: Desglose Presupuesto electrocución..... 2

Tabla 15: Desglose Presupuesto transformadores 2

Tabla 16: Desglose Presupuesto colisión 2

Tabla 17: Desglose Presupuesto Total 3

ANEXO IV: ANÁLISIS MODELO OPERA

Tabla 18: Tensiones de red [ITC-LAT 07] 6

Tabla 19: Resumen de simulaciones de campo eléctrico..... 7

Tabla 20: Resumen de simulaciones de campo magnético 9

1. INTRODUCCIÓN

En el transcurso de las últimas décadas, el conflicto inherente entre las líneas eléctricas de distribución y la avifauna ha experimentado una revolución legislativa, técnica y social como consecuencia de la conciencia medioambiental, así como del cuidado y preservación de los hábitats naturales que se encuentran en nuestro entorno.

La investigación en relación al impacto de las líneas eléctricas de alta tensión no tiene como objeto exclusivo estudiar su comportamiento desde el punto de vista medioambiental, ya que en los últimos años, como consecuencia del incremento de las grandes plantas generadoras de origen renovable, este tipo de infraestructuras se van a proyectar como un elemento más en el paisaje de forma significativa, al ser necesarias para poder transportar la energía proveniente del nuevo concepto de descentralización de la energía, al contar con plantas generadoras distribuidas a lo largo de todo el territorio a diferencia de las plantas generadoras clásicas (nucleares , térmicas , ...).

El impacto de estos tendidos eléctricos en la naturaleza se reparte en tres bloques fundamentales: el impacto en el paisaje, la contaminación acústica y electromagnética, y la interacción con la avifauna. La principal amenaza que este tipo de estructuras puede repercutir en los ecosistemas son aquellas que transportan grandes cantidades de energía, es decir, los tendidos eléctricos de alta tensión, que se definen como aquellos que superan los 1000 V en corriente alterna y que, por tanto, necesitan de notorias infraestructuras que alteran los hábitats naturales de los seres vivos del entorno.

La preocupación por esta disyuntiva se explica con diversos estudios que señalan como la principal causa de muerte no natural de especies avícolas los accidentes causados a raíz de estos tendidos eléctricos [12], y de sus deficientes medidas de seguridad para evitar incidentes que propician una reducción significativa de poblaciones de aves que cuentan de por sí dificultades para su supervivencia tales como el Águila Imperial, el Águila-Azor perdicera u otras grandes aves rapaces de nuestro país. Bien es cierto, que en la última década los avances a nivel legislativo han permitido que la gran mayoría de líneas de alta tensión cuenten con algún tipo de sistema de protección para la avifauna.

La primera norma legislativa que se introdujo a nivel nacional en España, con actual vigencia, fue a través de la publicación del Real Decreto 1432/2008, del 29 de agosto, en el Boletín Oficial del Estado (BOE), por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión. Esta norma surgió como consecuencia de la Ley 42/2007, del 13 de diciembre, que tiene por objeto el establecimiento de normas de protección, restauración, conservación y mejora de los recursos naturales y, en particular, de los espacios naturales y de la flora y fauna silvestres, pues en su artículo 52 prevé que se adopten las medidas necesarias para garantizar la conservación de las especies que viven en estado silvestre. Es la citada Ley 54/1997, la que presta cobertura al establecimiento de estas medidas, al hacer repetida mención, en sus artículos 21.3, 28.3, 36.6, 40.3, 43.2 y 51.2 f), al cumplimiento de las condiciones de protección del medioambiente y contemplar también al tipificar en sus artículos 59 al 67, la correlativa tipificación de las correspondientes infracciones y sanciones administrativas.

Los antecedentes que guían este trabajo se basan en el interés de reducir, al mínimo posible, las muertes relacionadas con la electrocución y colisión del Águila–Azor perdicera (AAP), de nombre científico *Hieraetus fasciatus*, en el entorno protegido de la región del Bajo Aragón de esta ave en peligro de extinción, en virtud del Decreto 181/2005 del 6 de septiembre del Gobierno de Aragón y del Decreto 49/1995, de 28 de marzo, por los que se modifican y regulan el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón. Según datos recogidos en el Centro de Recuperación de Fauna Silvestre (CRFS) de La Alfranca, entre 1994 y 2009 se recogieron más de 17 ejemplares muertos o heridos por accidentes con tendidos eléctricos.

2. OBJETO

Este trabajo tiene como objetivo realizar un estudio sobre las líneas eléctricas de alta tensión que transcurren a lo largo de la zona protegida del Bajo Aragón del AAP, delimitada en el Decreto 326/2011, del 27 de septiembre, del Gobierno de Aragón para poder estimar, y en su caso, minimizar el impacto de estas infraestructuras en la cría, reproducción y supervivencia de esta especie en peligro de extinción amenazada como causa no natural principal la electrocución y colisión contra tendidos eléctricos.

La ejecución de este estudio cuenta con dos ejes principales, siendo el primero el análisis de la situación de los apoyos y cableado de una línea eléctrica que se encuentra en la zona protegida, para su posterior análisis y comprobación del cumplimiento de la normativa, así como la propuesta de sistemas de protección para mejorar su eficacia. El segundo eje del estudio consiste en el análisis electromagnético tridimensional de un apoyo “conflictivo” que se encuentre cerca de un anidamiento, o suponga un riesgo elevado, para el AAP, y así observar los niveles de campo magnético y eléctrico a los que pudiera estar expuesto, con el uso del programa de simulación de elementos finitos Opera.

3. ÁGUILA-AZOR PERDICERA

El AAP es un ave de gran tamaño perteneciente a la familia *Accipitridae*. Esta especie está catalogada como Ave en Peligro de Extinción en la Comunidad Autónoma de Aragón en virtud del Decreto 181/2005 de 6 de septiembre del Gobierno de Aragón, por el que se modificó de forma parcial del Decreto 49/1995 de 28 de marzo de la DGA (Diputación General de Aragón), por el que se regula el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón.[1]

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁGUILA-AZOR PERDICERA

La especie posee una longitud comprendida entre los 60 y 70 centímetros, así como una envergadura de vuelo que se sitúa entre los 150 y 170 cm, ver Fig. 1.[15]



Fig. 1: *Águila-Azor perdicera (Hieraetus fasciatus)*

Nota. Adaptado de *Águila perdicera*, de Paco Gómez, 2008, Flickr (<https://www.flickr.com/photos/saganta/6462235813/>). CC BY-SA 2.0.

3.1.1 HÁBITAT

Se localiza en territorios como sierras, relieves alomados o llanuras que posean cortados rocosos de dimensiones variables para criar, aunque algunas parejas sitúan sus nidos sobre árboles (alcornoques, pinos y eucaliptos) en alguna ocasión [15]. En la provincia de Teruel, de las ocho parejas existentes censadas en el año 2018 únicamente una de ellas nidificó en árbol, concretamente en un Pino Carrasco (*Pinus halepensis*). El resto de las parejas lo hicieron en roquedos (peñasco o roca) [14].

3.1.2 ALIMENTACIÓN

Su dieta se basa en mamíferos y aves de tamaño medio, y también, aunque en menor medida, en reptiles. En época de cría, el conejo (*Oryctolagus cuniculus*) desempeña un papel fundamental para su alimentación [15], ver Fig. 2.



Fig. 2:Águila-Azor perdicera alimentando a su cría

Nota. Adaptado de *Águila perdicera alimentando a su aguilucho con una perdiz*, de Leonardo Fernández Lázaro, 2015, Trabajo propio. CC BY-SA 4.0.

3.2 NORMATIVA ÁGUILA-AZOR

Como consecuencia de la conciencia ambiental y de la importancia de la biodiversidad por parte de la sociedad y asociaciones y grupos ecologistas, surgen leyes y normativas que tienen como objetivo establecer mecanismos que, a través de la adaptación de tendidos eléctricos más respetuosos con la avifauna o la limitación de su construcción en zonas con alta biodiversidad de aves, repercutan de la forma menos intrusiva posible en los hábitats de estas.

Respecto al AAP, la primera norma que establece la importancia de su conservación es el ya comentado Decreto 181/2005 de 6 de septiembre del Gobierno de Aragón, que cataloga a esta como una Especie en Peligro de Extinción [1].

3.2.1 REAL DECRETO 1432/2008

El RD 1432/2008 del 29 de agosto [11], fue la primera norma legislativa que se introdujo en España que establece medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión. Esta norma sigue vigente en la actualidad.

El ámbito de aplicación de esta norma es para líneas eléctricas de alta tensión, tanto existentes como de nueva construcción o ampliación, que se ubiquen en zonas de protección:

- ZEPA (Zonas de Especial Protección para las Aves).
- Áreas prioritarias de reproducción, alimentación, dispersión y concentración local de aquellas especies de aves incluidas en el Catálogo Español de Especies Amenazadas, o en los catálogos autonómicos.
- Zonas de ámbitos de aplicación de los planes de recuperación y conservación elaborados por las comunidades autónomas para las especies de aves incluidas en el Catálogo Español de Especies Amenazadas o en los catálogos autonómicos.

Las medidas que recoge este Real Decreto contra la electrocución de aves se pueden resumir en lo siguiente:

- Priorizar el uso de cadenas de aisladores suspendidos.
- Diseño de apoyos puentes, seccionadores, fusibles, transformadores de distribución, de derivación, anclaje, amarre, especiales, ángulo y fin de línea que eviten sobrepasar con elementos en tensión las crucetas o semicrucetas no auxiliares de los apoyos.
- Aislamiento de los puentes de unión entre los elementos de tensión.
- Establecimiento de distancias mínimas de seguridad entre elementos de los apoyos.
- Diseño de protecciones que eviten que las aves se posen.

Las medidas que recoge este Real Decreto contra la colisión de aves en tendidos de nueva construcción se pueden resumir en lo siguiente:

- Inserción de salvapájaros o señalizadores si lo estima oportuno el órgano competente de la comunidad autónoma.
- Establecimiento de distancias mínimas de señalizadores a lo largo de los tendidos eléctricos.
- Establecimiento de las dimensiones mínimas de los salvapájaros en espiral y señalizadores de 2 tiras en X.

3.2.2 DECRETO 326/2011 DEL GOBIERNO DE ARAGÓN

El Decreto 326/2011, de 27 de septiembre, del Gobierno de Aragón establece por primera vez un régimen de protección al AAP, así como la aprobación de un Plan de Recuperación en la Comunidad Autónoma de Aragón [2].

Esta legislación introduce la definición de dos nuevos tipos de áreas de interés para la conservación del AAP: zona crítica y zona sensible. Los términos se describen a continuación:

-Zona crítica: “Zona vital para la persistencia y recuperación de la especie, que incluyen las áreas de nidificación y sus zonas de influencia (áreas de alimentación, descanso o campeo de las parejas reproductoras)”.

-Zona sensible: “Zonas que contaban históricamente con parejas de Águila-Azor Perdicera reproductoras, ahora desaparecidas, y aquellas potenciales de establecimiento de la especie”.

En la Fig. 3 se muestran las zonas de interés establecidas en la Comunidad Autónoma de Aragón.[3]

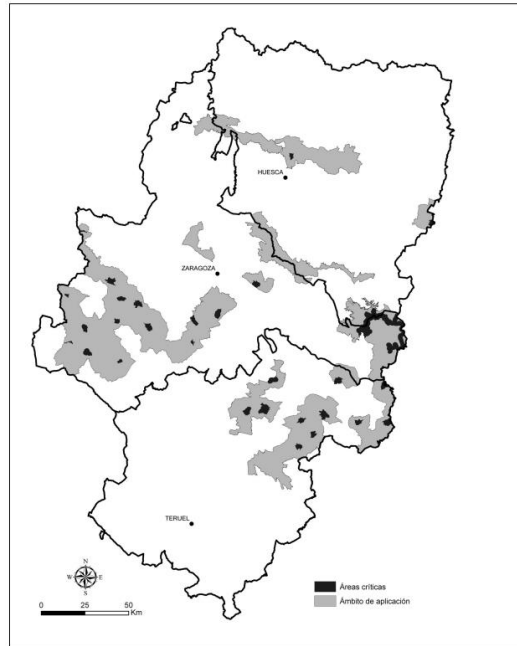


Fig. 3:Ámbito de aplicación del Plan de recuperación del águila-azor perdicera (*Hieraetus fasciatus*) en Aragón

La zona que aúna este estudio se encuentra en la zona norte de la comarca del Bajo Aragón (Teruel), que como se puede observar en la Fig. 4 cuenta con las nuevas áreas establecidas por este decreto:

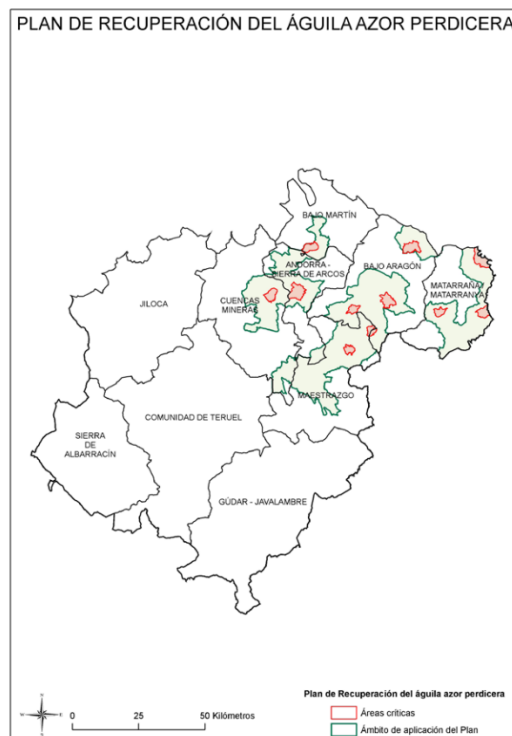


Fig. 4:Ámbito de aplicación del Plan de recuperación del águila-azor perdicera (*Hieraetus fasciatus*) en la provincia de Teruel

Además, establece un plan de actuaciones que tiene como objetivo reducir los factores de mortalidad no natural causados, principalmente, por accidentes con tendidos eléctricos. La norma incluso incluye lo siguiente en el plan: “*Modificar los tendidos eléctricos existentes en las*

áreas críticas y en las áreas sensibles para la especie, de acuerdo con las exigencias de conservación del águila-azor perdicera, ..., implicando para ello a las compañías eléctricas y a otras entidades involucradas". [2]

3.3 ÁGUILA-AZOR EN LA ZONA CRÍTICA DEL BAJO ARAGÓN

3.3.1 ZONA CRÍTICA

El alcance de este trabajo, como se ha comentado anteriormente, es examinar una zona crítica relativa al AAP de acuerdo con el Decreto 326/2011 del Gobierno de Aragón.

El área crítica que se va a estudiar pertenece a la comarca del Bajo Aragón (Teruel), situada entre los términos municipales de Caspe y Alcañiz. Además de esta, se encuentran dos zonas críticas más en la comarca.

Se compone de una superficie de 21,08 km² y un perímetro de 27,65 km. Se encuentra enclavada por el Río Guadalope y sus meandros. En la Fig. 5 se muestra su situación y emplazamiento dentro de la comarca.

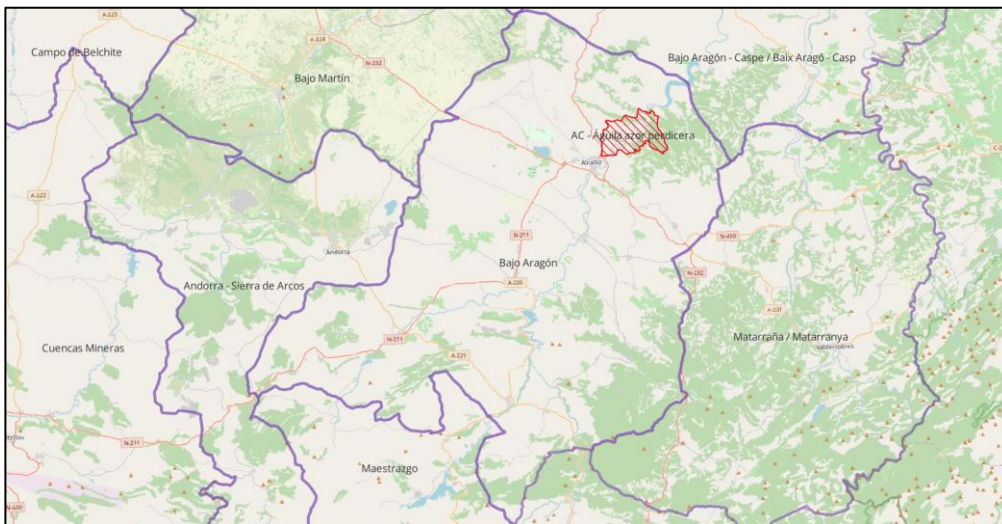


Fig. 5: Situación zona crítica del Águila-Azor₂

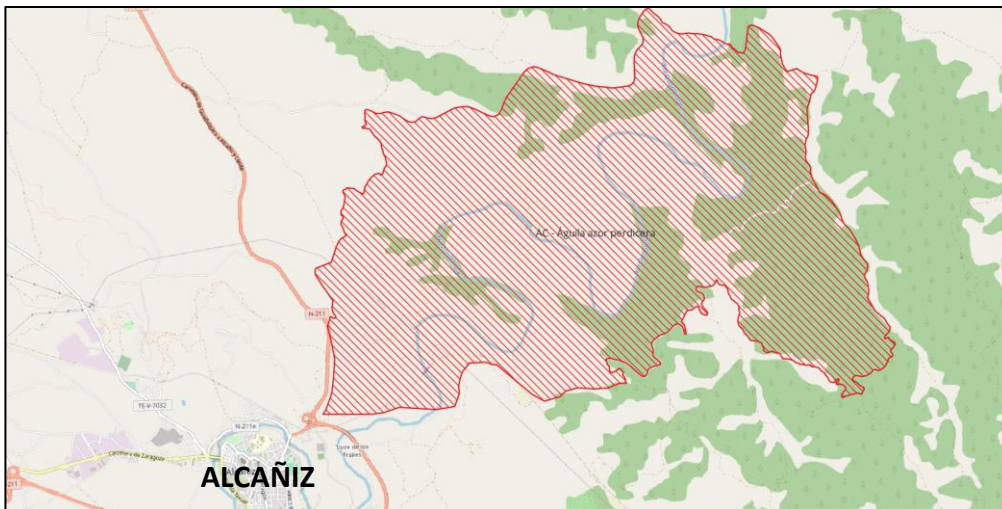


Fig. 6:Emplazamiento zona crítica del Águila-Azor₂

Como bien se aprecia, la región está a pocos kilómetros de la ciudad de Alcañiz, una población que cuenta con 16.054 habitantes [9] y que supone también un factor relevante en términos de supervivencia del AAP, pues los elevados niveles de ruido y actividad humana provocan una reducción de posibles asentamientos en la zona Suroeste de la zona crítica.

3.3.2 EJEMPLARES

El número de parejas estimadas que se encuentran en el ámbito de la zona crítica del Bajo Aragón son once (11)[14]. Se trata de una aproximación debido a que algunos de estos ejemplares comparten territorio con la comunidad autónoma de Cataluña, y no todas las parejas constan de seguimiento.

Sin embargo, su presencia en la zona es más que evidente. Como muestra de ello, se muestra en la Fig. 7 una representación del recorrido y localización del ave realizados a través de la telemetría₁.

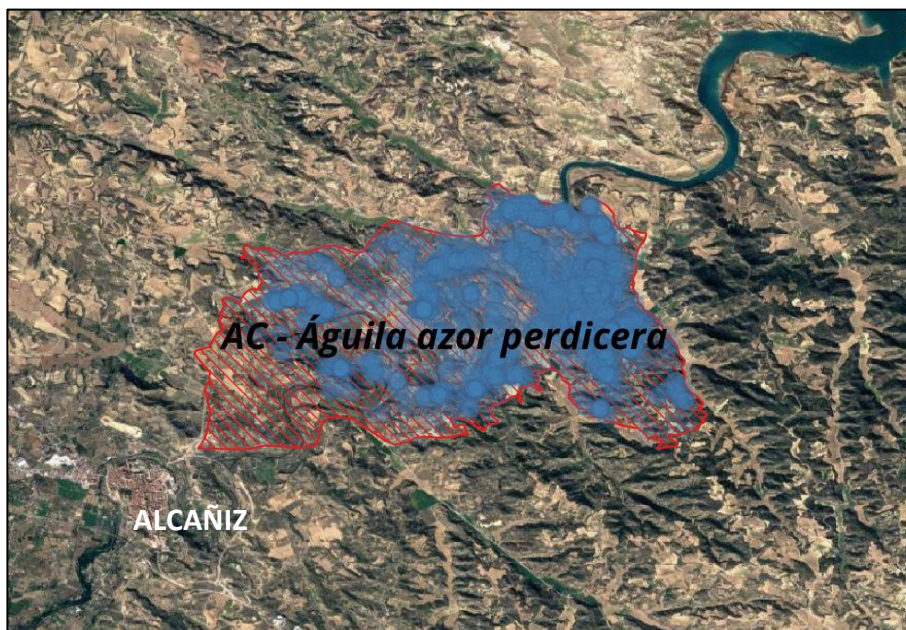


Fig. 7:Telemetría Águila-Azor en la zona crítica₂

¹**Telemetría:** La telemetría es una tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema.

Como se observa, su presencia es mayor en la zona Este de la zona crítica. Una posible explicación sería debido a la menor presencia humana en ese terreno, pues la población de Alcañiz se encuentra muy próxima a la zona acotada.

El sombreado azul de la Fig. 7 indica la posición del AAP captada por el receptor correspondiente en algún momento, bien sea por establecimiento del ave en la zona, o como parte de su recorrido.

3.3.3 NIDIFICACIONES

Los datos disponibles acerca de las nidificaciones en la zona crítica del Bajo Aragón son escasos y no tienen más que un valor demostrativo para exponer la situación del ave.

A continuación, en la Fig. 8 se muestran dos áreas de nidificaciones históricas en la zona delimitada en la siguiente figura.

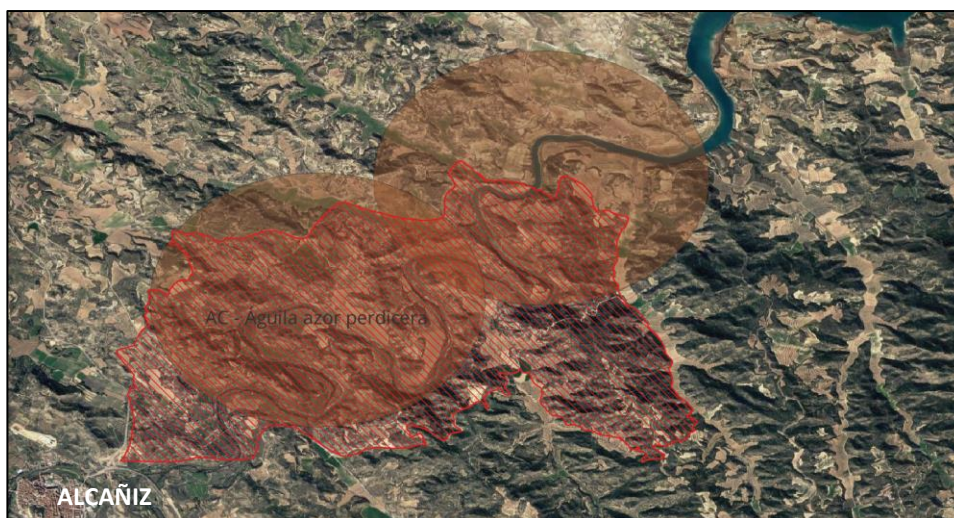


Fig. 8: Nidificaciones Águila-Azor en la zona crítica²

Como se observa en la Fig. 8, la presencia de nidos en la zona delimitada ocupa en su mayoría toda el área crítica, siendo su presencia menor en la región limítrofe con la población de Alcañiz y en la zona Sureste.

²**Nota:** Toda la información expuesta en este apartado 3.3 perteneciente al *Capítulo 3: Águila-Azor perdicera* de este trabajo en lo referente a las figuras que se incluyen ha sido extraída a través de una consulta de información ambiental solicitada al Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente remitida por la Dirección General de Medio Natural y Gestión Forestal.

4. ANÁLISIS LÍNEA ELÉCTRICA “SALTO NUEVO”

Para el análisis de tendidos eléctricos en este estudio, se ha decidido tomar una línea de 15 kV, que se encuentra en el entorno del Río Guadalope, en el T.M de Alcañiz (Teruel) y que cuenta con una longitud de 7,7 kilómetros.

El análisis va a tener en cuenta una pequeña muestra de apoyos que se consideran de interés debido a su cercanía a nidificaciones históricas o frecuentadas por parte del AAP. Los apoyos de su trazado que se van a analizar se enmarcan entre el apoyo 18 y el apoyo 52, es decir, un total de 35 apoyos. Ver Fig. 9.

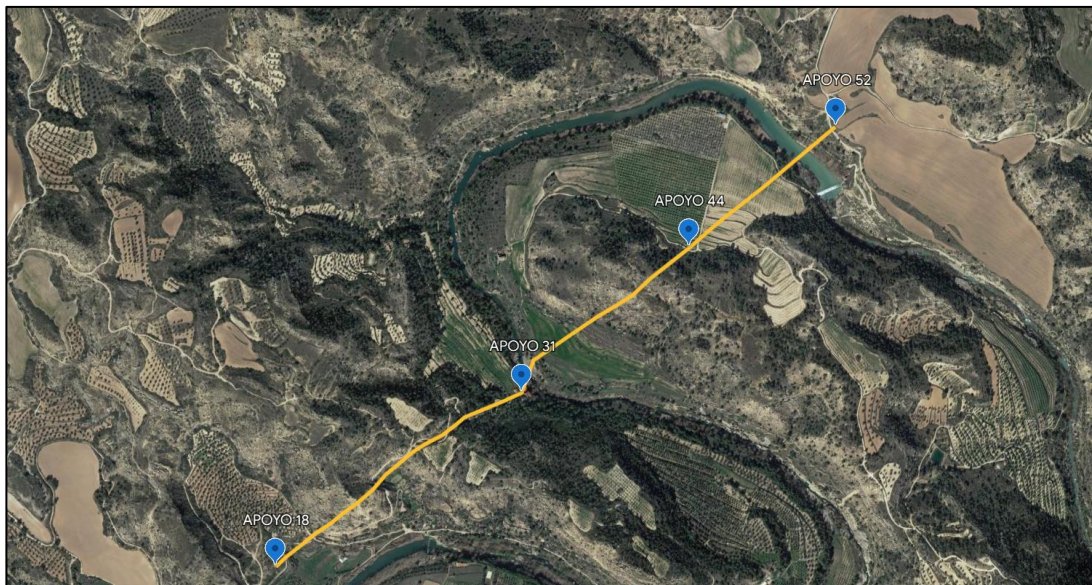


Fig. 9: Trazado principal línea 15 kV

La línea cuenta con cuatro tipos de armados diferentes:

- Armado horizontal
- Armado triángulo
- Armado bóveda
- Armado al tresbolillo

4.1 APOYO CON ARMADO HORIZONTAL

El armado horizontal se caracteriza por tener en el mismo plano y altura los aisladores de las tres fases de línea. Su peligrosidad es elevada, aunque depende del tipo de ave y de la longitud de los aisladores [7]. Ver Fig. 10.

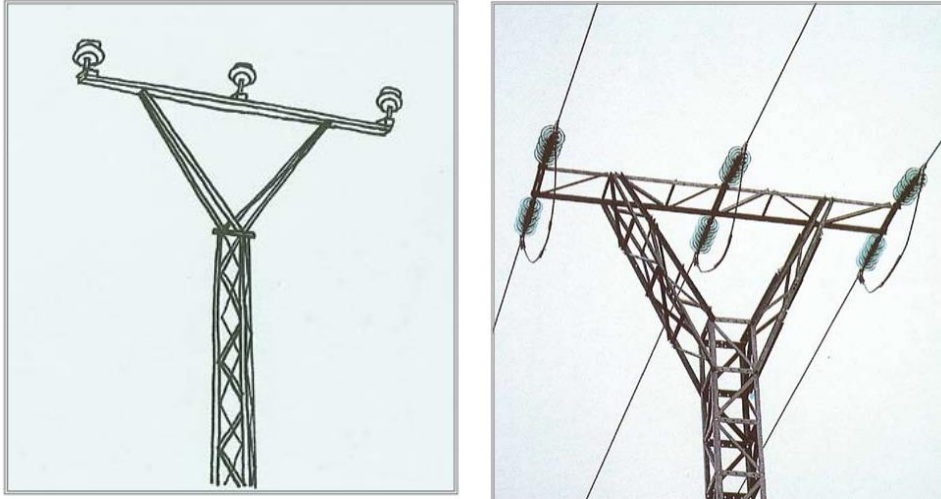


Fig. 10: Armados tipo horizontal

Nota. Adaptado de Aves y tendidos eléctricos. Del conflicto a la solución (p. 140, p.144), por M. Á. Baena, 2012, Fundación Migres.

La muestra de la línea cuenta con cuatro apoyos de este tipo en su trazado (apoyo 29, apoyo 30, apoyo 31 y apoyo 50). Todos cuentan con cadenas de amarre y montaje en celosía, a excepción del apoyo 30 que es con poste de hormigón. Además, están cimentados en suelo rocoso y sobre terreno agrícola.

4.2 APOYO CON ARMADO TRIÁNGULO

El armado en triángulo se caracteriza por tener las tres fases de la línea situadas en dos planos, cuya fase central está más elevada que las otras dos. Como sucede con el apoyo anterior, su peligrosidad es elevada [7]. Ver Fig. 11.

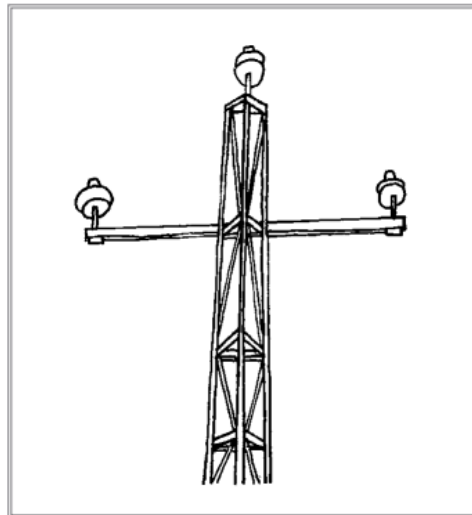


Fig. 11: Armado triángulo

Nota. Adaptado de Aves y tendidos eléctricos. Del conflicto a la solución (p. 141), por M. Á. Baena, 2012, Fundación Migres.

Es el tipo de apoyo más común en el trazado de la línea, con 29 apoyos. Todos poseen poste de madera y aisladores rígidos, estando su mayoría cimentados en terrenos arcillosos-pedregosos de monte bajo.

4.3 APOYO CON ARMADO BÓVEDA

Los apoyos con armado tipo bóveda tienen las tres fases dispuestas en dos planos horizontales, con la fase central elevada respecto a las otras. Están tensionadas por cadenas de amarre en ambos lados de la cruceta en forma de bóveda con puentes por debajo. Su peligrosidad es elevada, aunque depende del tipo de ave y de la longitud de los aisladores [7]. Ver Fig. 12.

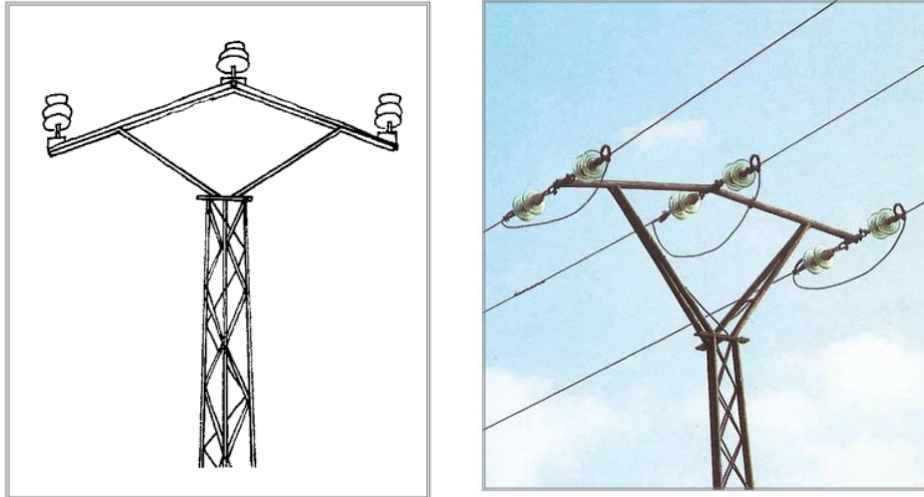


Fig. 12: Armados tipo bóveda

Nota. Adaptado de Aves y tendidos eléctricos. Del conflicto a la solución (p. 139, p.143), por M. Á. Baena, 2012, Fundación Migres.

La muestra de la línea solo cuenta con un armado tipo bóveda, el apoyo 51. Este apoyo se caracteriza por tener aisladores rígidos y montaje en celosía, su cimentación está ubicada en terreno agrícola.

4.4 APOYO CON ARMADO AL TRESBOLILLO

El armado dispuesto al tresbolillo cuenta con un plano horizontal diferente para cada fase tensionados con cadenas de amarre. Su peligrosidad es moderada, aunque puede llegar a ser de alta peligrosidad si la distancia entre conductor y cruceta superior es insuficiente [7]. Ver Fig. 13.

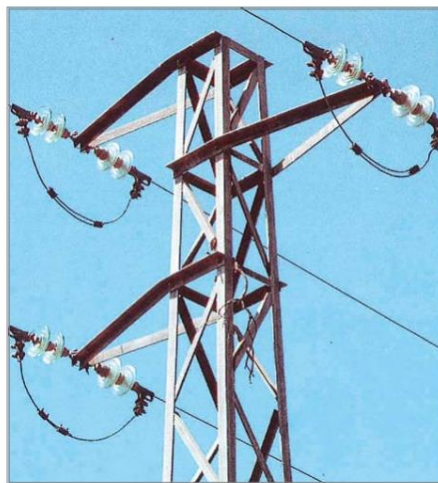


Fig. 13: Armado al tresbolillo

Nota. Adaptado de Aves y tendidos eléctricos. Del conflicto a la solución (p. 142), por M. Á. Baena, 2012, Fundación Migres.

El apoyo al tresbolillo lo encontramos únicamente en el apoyo 52, el fin de la línea. Se caracteriza por tener cadenas de amarre y montaje en celosía. Su cimentación se ubica en terreno agrícola.

La descripción detallada de todos los apoyos que se analizan de la línea “Salto Nuevo” se encuentra en el **Anexo II: ANÁLISIS DETALLADO LÍNEA 15 KV “SALTO NUEVO”**.

4.5 MEDIDAS CORRECTORAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN

Ante el elevado riesgo que presenta esta línea de 3ª categoría, se van a hacer una serie de recomendaciones que podrían llevarse a cabo para minimizar el impacto que esta infraestructura pueda tener sobre el AAP. El objetivo es evitar que aves como esta de gran tamaño puedan colisionar con los conductores de la línea, que, al ser de reducida sección, pueden presentar un riesgo notable para motivar un accidente, o puedan verse sometidos a algún tipo de electrocución a través de su posado en los distintos apoyos.

Para cada uno de los tipos de apoyos descritos que contiene la línea, se van a proponer unas medidas correctoras particulares para así aumentar la eficacia de la adaptación.

4.5.1 ARMADO HORIZONTAL

El armado horizontal que presenta la línea tiene como principal peligro el contacto fase-tierra que se puede producir a través del posado del ave con la propia estructura, o bien, con las cadenas de amarre que esta presenta.

Por ello, se propone en este tipo de armado la instalación de forros de silicona en los aisladores rígidos al igual que los puentes que los unen. Además, se recomienda el aislamiento de los conductores en ambos lados del armado para evitar cualquier tipo de electrocución entre fases o en contacto fase-tierra. Ver Fig. 14.



Fig. 14: Aislamiento cadenas de amarre

Nota. Adaptado de “Catálogo Avifauna Envertec” (p. 82), por Envertec, 2016, Catálogo Avifauna Envertec 2023.

La descripción detallada de los sistemas de protección se encuentra en el **Anexo I: “MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVES”**.

4.5.2 ARMADO TRIÁNGULO

El armado en triángulo es el tipo de montaje más frecuente de la línea, presenta como principal peligro el contacto fase-tierra que se puede producir a través del posado del ave con la propia estructura, o bien, en el aislador central donde se suelen apoyar.

Para evitar posibles accidentes se propone la instalación de forros de silicona en la parte superior de los aisladores, así como el aislamiento de los conductores en ambos lados del aislador para mayor protección en los contactos fase-tierra o fase-fase. Ver Fig. 15.



Fig. 15: Aislamiento armado triángulo

Nota. Adaptado de "Catálogo Avifauna Envertec" (p. 50), por Envertec, 2016, Catálogo Avifauna Envertec 2023.

La descripción detallada de los sistemas de protección se encuentra en el **Anexo I: "MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVES"**.

4.5.3 ARMADO BÓVEDA

El armado tipo bóveda que presenta la línea tiene como principal peligro el contacto fase-tierra que se puede producir a través del posado del ave con la propia estructura, o bien, con los aisladores que esta presenta. Este tipo de apoyos también muestran un peligro adicional dado que existe la posibilidad de posado en la cruceta de la bóveda, que facilita el contacto del ave con las fases de la línea.

Para evitar posibles accidentes se propone la instalación de forros de silicona en la parte superior de los aisladores, así como el aislamiento de los conductores en ambos lados del aislador para mayor protección en los contactos fase-tierra o fase-fase. Como medida adicional, se propone el aislamiento de la cruceta.

La descripción detallada de los sistemas de protección se encuentra en el **Anexo I: "MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVES"**.

4.5.4 ARMADO TRESBOLILLO

El armado al tresbolillo que presenta la línea no es de una peligrosidad muy elevada debido a la disposición propia del montaje de la estructura. Su principal peligro el contacto fase-tierra que se puede producir a través del posado del ave con la propia estructura, o bien, con los aisladores que esta presenta.

Por ello, se propone en este tipo de armado la instalación de forros de silicona en los aisladores rígidos al igual que los puentes que los unen. Además, se recomienda el aislamiento de los conductores para evitar cualquier tipo de electrocución por contacto fase-tierra. Ver Fig. 16.



Fig. 16: Aislamiento armado tresbolillo

Nota. Adaptado de "Catálogo Avifauna Envertec" (p. 81), por Envertec, 2016, Catálogo Avifauna Envertec 2023.

La descripción detallada de los sistemas de protección se encuentra en el **Anexo I: "MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVES"**.

4.5.4 TRANSFORMADORES

En el **Anexo II: ANÁLISIS DETALLADO LÍNEA 15 kV "SALTO NUEVO"**, se describe la existencia de dos transformadores que se encuentran en el apoyo **31** y en el apoyo **03 EA**. Además de la aparamenta de la propia línea, las conexiones a los transformadores están al descubierto y por tanto existe la posibilidad de electrocución.

Para ello, se propone la instalación de forros aisladores que proporcionen rigidez dieléctrica suficiente para evitar cualquier tipo de descarga o cortocircuito, ver Fig. 17.



Fig. 17: Aislamiento transformador

Nota. Adaptado de "Catálogo Avifauna Envertec" (p. 73), por Envertec, 2016, Catálogo Avifauna Envertec 2023.

La descripción detallada de los sistemas de protección se encuentra en el **Anexo I: "MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVES"**.

4.6 MEDIDAS CORRECTORAS CONTRA LA COLISIÓN

El fenómeno de la colisión de aves contra tendidos eléctricos es local, es decir, no se produce en cualquier escenario ya que las aves pueden distinguir los conductores [7]. Sin embargo, en líneas de 3ª categoría como esta, los conductores tienen una sección tan pequeña que el riesgo de colisión aumenta considerablemente.

Como nos encontramos en una zona denominada de protección y esencial para la supervivencia del AAP, se propone la instalación de espirales de polipropileno en los conductores para facilitar su visionado por parte de la especie. Es importante subrayar que se consideran esenciales en los conductores que se encuentran muy próximos al cauce del Río Guadaloque.

La descripción detallada de los sistemas de protección se encuentra en el **Anexo I: "MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVES"**.

Se ha considerado un presupuesto orientativo del coste que supondría la adaptación de las medidas propuestas en este trabajo de **50.076,99 €**.

Su desglose y descripción en detalle se encuentra en el **Anexo III: "PRESUPUESTO"**.

5. ANÁLISIS CAMPOS NO IONIZANTES

La segunda parte de este trabajo consiste en el análisis de otro componente que puede afectar negativamente a la supervivencia del AAP, así como otras aves y seres vivos del entorno. Se trata de investigar la radiación no ionizante que producen las infraestructuras eléctricas, es decir, los campos eléctricos y los campos magnéticos.

El estudio que se va a realizar en este apartado tiene como objetivo calcular numéricamente y representar gráficamente la radiación no ionizante procedente de la línea eléctrica analizada en el apartado anterior, en los puntos donde la probabilidad de que se pose el AAP sea más elevada. Para ello, se ha hecho uso de un programa de análisis de elementos finitos en 3D para el cálculo de los campos. El software referido es el programa Opera, desarrollado por SIMULIA (Dassault Systemes).

Se ha decidido analizar el apoyo más frecuente que encontramos en la línea “Salto Nuevo”, un apoyo de madera con armado dispuesto en triángulo con aisladores rígidos de vidrio. Concretamente, se ha tomado como modelo el apoyo nº20 debido a que es un apoyo accesible del que ha sido posible extraer las dimensiones y características para su simulación en el software utilizado. Las dimensiones y vistas del apoyo se describen detalladamente en el **Anexo IV: “ANÁLISIS MODELO OPERA”**.

Las zonas del apoyo donde un ave es más propenso a posarse en este tipo de apoyo son la cruceta y los conductores próximos al apoyo, debido a su mayor estabilidad. Para ambos análisis, eléctrico y magnético, estas zonas serán las elegidas para observar los diferentes niveles de campo.

La descripción detallada de las distintas simulaciones realizadas se encuentra en el **Anexo IV: “ANÁLISIS MODELO OPERA”**.

5.1 SIMULACIÓN CAMPOS ELÉCTRICOS

En el análisis de campos eléctricos en el apoyo y zonas de interés se van a realizar seis simulaciones para los distintos tiempos que experimenta un periodo la onda senoidal de la tensión a la frecuencia de 50 Hz. Estas seis simulaciones representan el pico de onda en las que se encuentran las tres fases, es decir, los instantes en los que cada una de ellas sea de polaridad positiva o negativa se encuentran en el máximo de la onda.

La Fig. 18 muestra las líneas geométricas que se han estudiado en esta simulación de campos eléctricos, que definen las zonas de interés descritas anteriormente. En la esquina inferior izquierda de la figura se representa el apoyo en planta.

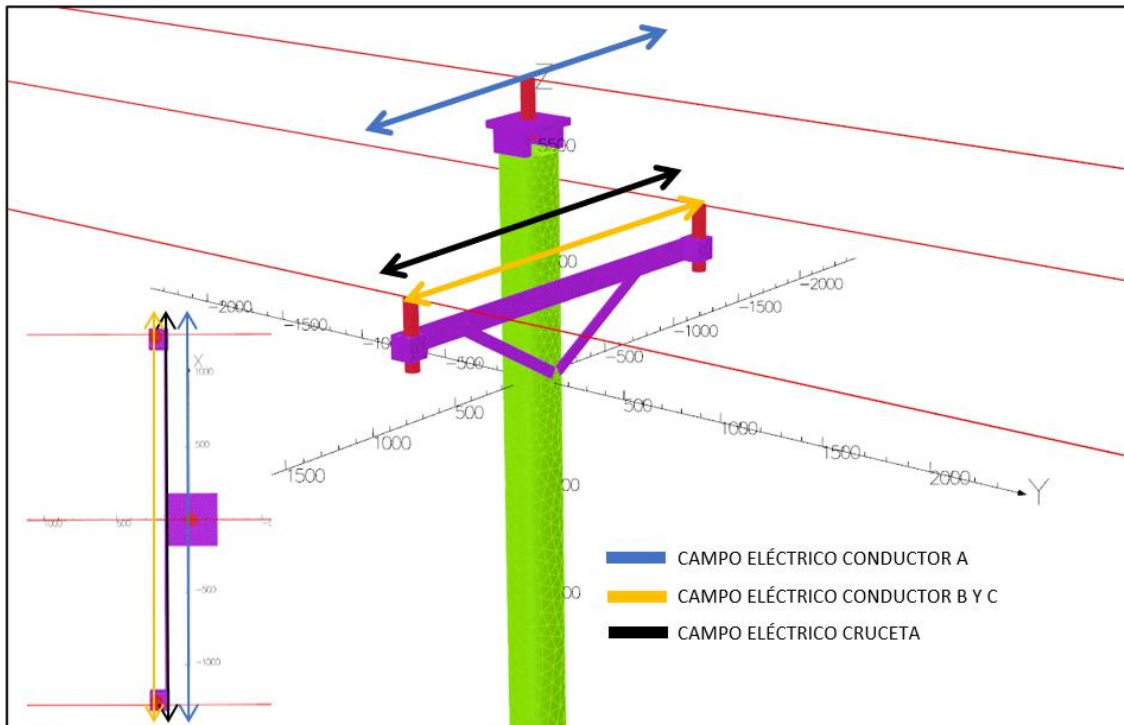


Fig. 18: Líneas geométricas de las zonas de interés, modelo electrostático

5.1.1 CAMPO ELÉCTRICO EN CRUCETA

Para observar los niveles de campo eléctrico a los que podría estar expuesto el AAP, se ha realizado una gráfica (ver Fig.19) que representa la distribución del módulo del vector intensidad de campo eléctrico a lo largo del eje X, a la altura que alcanzaría la cabeza del AAP en caso de que se apoyase en la cruzeta del apoyo.

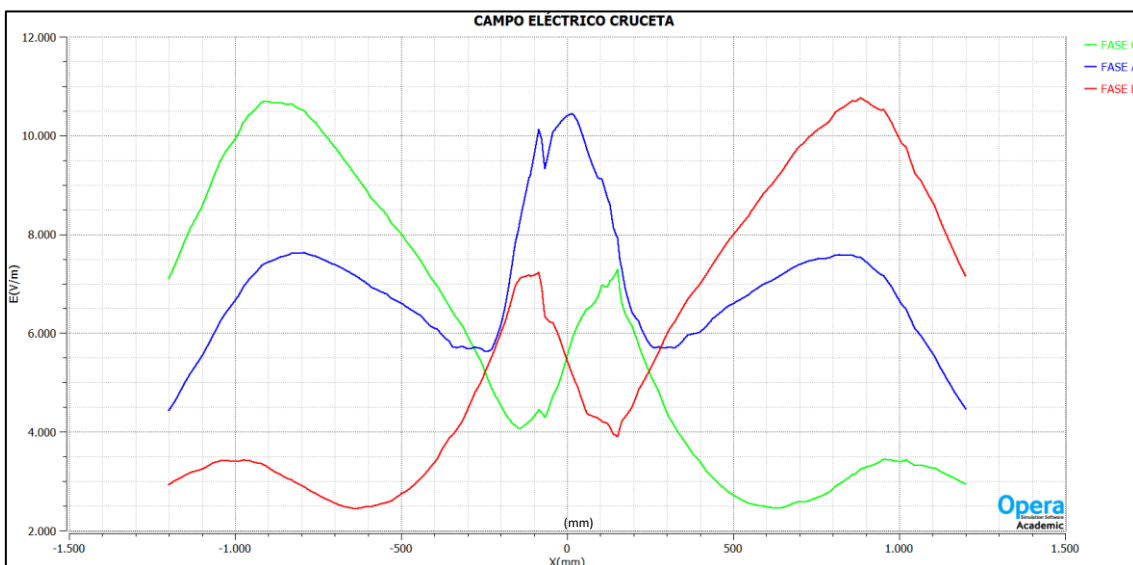


Fig. 19: Campo eléctrico en la cruzeta del apoyo

La variación del vector intensidad en la Fig.19 corresponde en cada caso a la distribución de este cuando cada una de las fases alcanzan su máximo a lo largo de la onda senoidal, es decir, cuando la fase central (línea azul) alcanza el valor de pico o cuando una de las

fases laterales (línea roja para la fase B y línea verde para la fase C) alcanza ese valor máximo de tensión.

En la Tabla 1 se resumen los valores máximos alcanzados en las zonas de interés definidas de todas las simulaciones:

	VALORES MÁXIMOS DE CAMPO ELÉCTRICO (kV/m)			
	CRUCETA	CONDUCTOR FASE A	CONDUCTOR FASE B	CONDUCTOR FASE C
SIMULACIÓN FASE A	10,44	159,934	90,020	91,268
SIMULACIÓN FASE B	10,76	80,055	162,080	73,082
SIMULACIÓN FASE C	10,70	79,872	72,078	164,359

Tabla 1: Valores máximos de campo eléctrico obtenidos numéricamente en el entorno de la cruceta

5.2 SIMULACIÓN CAMPOS MAGNÉTICOS

La simulación de campos magnéticos se va a realizar con los mismos parámetros que en la simulación de campos eléctricos. La potencia que transporta esta línea se ha estimado en 500 kW dado que evacúa los 300 kW provenientes de la minicentral hidroeléctrica y da servicio a algunas casas y explotaciones agrícolas.

La Fig. 20 muestra las líneas geométricas que se han estudiado en esta simulación de campos magnéticos, las mismas que en el apartado anterior. En la esquina inferior izquierda de la figura se representa el apoyo en planta.

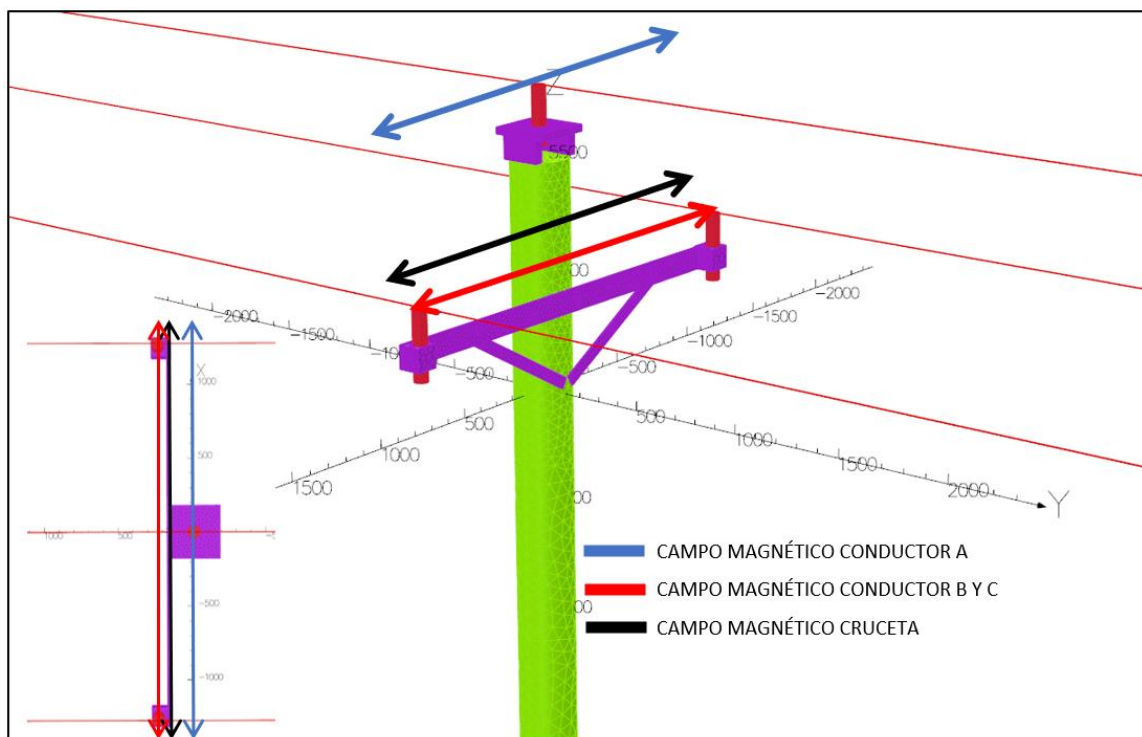


Fig. 20: Líneas geométricas de las zonas de interés, modelo magnetostático

A continuación, se va a representar la distribución del módulo del vector intensidad de campo magnético a lo largo del eje X (ver Fig.21), a la altura que alcanzaría la cabeza del AAP en caso de que se apoyase en la cruceta del apoyo, como en la simulación de campos eléctricos.

5.2.1 CAMPO MAGNÉTICO EN CRUCETA

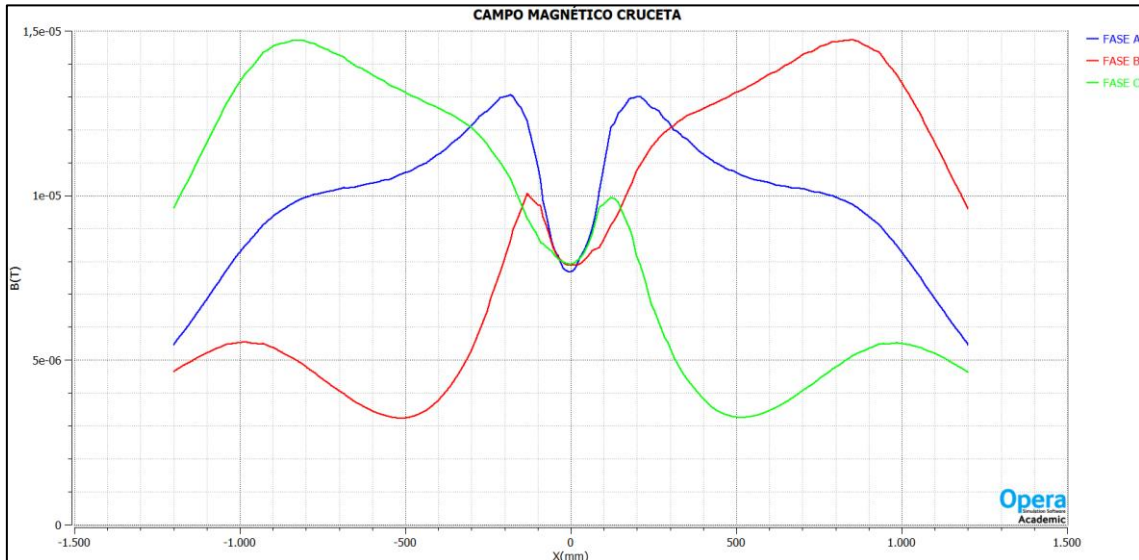


Fig. 21: Campo magnético en la cruceta del apoyo

La variación del vector intensidad en la Fig.21 corresponde a la distribución de este cuando cada una de las fases alcanzan su máximo a lo largo de la onda senoidal, es decir, cuando la fase central (línea azul) alcanza el valor de pico o cuando una de las fases laterales (línea roja para la fase B y línea verde para la fase C) alcanza ese valor máximo de corriente.

En la Tabla 2 se resumen los valores máximos alcanzados en las zonas de interés definidas de todas las simulaciones:

	VALORES MÁXIMOS DE CAMPO MAGNÉTICO (μT)			
	CRUCETA	CONDUCTOR FASE A	CONDUCTOR FASE B	CONDUCTOR FASE C
SIMULACIÓN FASE A	13,05	190,87	99,24	106,33
SIMULACIÓN FASE B	14,72	99,57	188,62	102,04
SIMULACIÓN FASE C	14,67	101,15	89,26	207,46

Tabla 2: Valores máximos de campo magnético obtenidos numéricamente en el entorno de la cruceta

5.3 NORMATIVA CAMPOS NO IONIZANTES

A nivel legislativo, existen una serie de recomendaciones para personas y trabajadores que establecen los límites que no deben superar de campos no ionizantes debido a su peligrosidad y efectos adversos en la salud. Sin embargo, no se hace referencia en estos informes el impacto que puede suponer en los seres vivos a ciertos niveles de exposición.

Existen evidencias lo suficientemente robustas que demuestran que las aves son capaces de percibir los campos eléctricos a causa de los efectos de la carga superficial y cuya exposición puede provocar en ellas agitación transitoria o un estrés ligero. En roedores, se ha comprobado que una intensidad de campo superior a 50 kV m^{-1} causa rechazo en ellos.[16]

En un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) [16], se exponen una variedad de estudios que relacionan posibles causas adversas en la salud de las personas y animales expuestos a campos electromagnéticos de baja frecuencia. Algunas de estas causas adversas son las siguientes:

- Trastornos en el sistema nervioso
- Trastornos en el sistema neuroendocrino
- Trastornos en la reproducción y desarrollo
- Posible origen de cáncer
- Trastornos neurodegenerativos
- Afecciones al neurocomportamiento

Las conclusiones de estos estudios, en su mayoría, no son concluyentes ante la escasa e insuficiente información e investigación al respecto. Sin embargo, ante la falta de pruebas y resultados veraces se recomienda establecer unos límites para evitar efectos no deseados en la salud de las personas.

La International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), establece como valores límite de campo eléctrico y magnético para el público general, excluyendo trabajadores que tienen mayor exposición [10], que se muestran en la Tabla 3.

Rango de Frecuencia	VALORES LÍMITE DE CAMPOS NO IONIZANTES		
	E (kV/m)	H (A/ m)	B (T)
1 Hz – 8 Hz	5	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz- 25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f^2$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz – 50 Hz	5	1.6×10^2	2×10^{-4}
50 Hz – 400 Hz	250/f	1.6×10^2	2×10^{-4}

Tabla 3: Valores límite de campos no ionizantes (ICNIRP)

En lo que compete a este estudio, los valores límite son los siguientes:

- Límite de campo eléctrico (50Hz) = 5 kV/m
- Límite de campo magnético (50 Hz) = 200 μ T

5.3.1 APLICACIÓN DE LA NORMATIVA DE CAMPOS NO IONIZANTES A LA LÍNEA ELÉCTRICA “SALTO NUEVO”

La normativa e informes comentados en este apartado, tal y como se ha descrito con anterioridad, no contemplan un ámbito de aplicación de niveles de referencia sobre campos no ionizantes en animales [5]. Es por ello por lo que solo se van a exponer y contrastar los resultados obtenidos en las sucesivas simulaciones realizadas con los niveles de referencia para humanos, dado que se considera que en aves de medio y gran tamaño los límites podrían ser similares, o en su caso, de interés, para futuras investigaciones.

CAMPO ELÉCTRICO

El análisis de intensidad de campos eléctricos en el apoyo modelo y conductores próximos donde el AAP pudiera tener una tendencia a posarse, revela que los valores de campo eléctrico son hasta 30 veces superiores al límite para público general establecido (5 kV/m) en los conductores, y hasta 2 veces superior a lo largo de la cruceta. Bien es cierto, que en la cruceta el nivel de exposición es notablemente más elevado cuanto más próxima sea la distancia a los conductores laterales.

Es conveniente destacar que estos niveles de campo eléctrico son para una línea de 3ª categoría, por lo que, para grandes tendidos eléctricos de 1ª categoría o categoría especial, los niveles de intensidad de campo eléctrico podrían alcanzar valores dignos de un estudio más profundo para observar los posibles efectos adversos que podrían provocar en la salud de la avifauna.

CAMPO MAGNÉTICO

En el análisis realizado de campos magnéticos en el apoyo modelo los valores máximos alcanzados oscilan entre los 100-200 μT , es decir, pueden llegar a sobrepasar ligeramente los límites establecidos en personas, aunque no llegan a ser tan pronunciados como en los campos eléctricos. Esto se debe a que debido a la poca potencia que transporta esta línea, los valores de intensidad de corriente eléctrica no son lo suficientemente relevantes como para generar campos magnéticos tan elevados.

En lo respecto a la línea analizada en este trabajo, no se puede asegurar que los campos magnéticos tengan una relevancia importante aun superando los valores permitidos en humanos en ciertos puntos del entorno del apoyo, puesto que la información disponible es insuficiente.

6. CONCLUSIONES

El trabajo presentado en este documento desarrolla las principales problemáticas a las que se enfrenta el AAP en relación con la existencia de tendidos eléctricos en zonas de gran presencia y de interés para su supervivencia, concretamente en la zona de Alcañiz.

A través de la normativa vigente e investigaciones contrastadas al respecto, se han propuesto una serie de medidas contra la electrocución y colisión del ave para minimizar el impacto que sufre la población de AAP, así como un estudio presupuestario para poner en valor el coste que supondría tomar estas adaptaciones a los tendidos.

Por último, se ha desarrollado un modelo de elementos finitos con el software Opera 19 que muestra la exposición a campos eléctricos y magnéticos a la que es sometida la avifauna cuando se posa en un tendido eléctrico de 3ª categoría. Los resultados de este modelo han sido contrastados con los valores límite de referencia de campos no ionizantes, mostrando unos valores de campo eléctrico hasta 30 veces superiores a los recomendados para seres humanos y unos valores de campo magnético que se encuentran en el límite de los valores de referencia en puntos concretos del apoyo.

6.1 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

Respecto al futuro de este trabajo fin de grado, se exponen una serie de líneas de investigación que permitan el avance en conocimiento del impacto de las líneas aéreas de alta tensión y de los efectos negativos para la avifauna:

I. Análisis de nuevos tipos de armado en apoyos de tendidos eléctricos.

La búsqueda e investigación de nuevas configuraciones de conductores de líneas aéreas para evitar la electrocución de aves por contacto fase- tierra.

II. Análisis de los impactos fisiológicos producidos en la avifauna a causa de la exposición de campos no ionizantes.

Realización de estudios que observen la posibilidad de cambios fisiológicos en aves, que permitan la creación de niveles de referencia de campos eléctricos y magnéticos en seres vivos.

III. Estudio de nuevas medidas protectoras contra la colisión y electrocución en tendidos eléctricos de bajo coste.

La búsqueda e investigación de nuevas medidas protectoras que sean asequibles y más eficaces que las existentes, para poder adaptar el mayor número de tendidos eléctricos que representen un peligro para especies avícolas en peligro de extinción.

IV. Análisis de campos no ionizantes en líneas de 1ª categoría y categoría especial.

Modelado y simulación de campos no ionizantes en el entorno de líneas de muy alta tensión para determinar sus valores de referencia y su impacto en la avifauna.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Boletín Oficial de Aragón (2005). **Decreto 181/2005 de 6 de septiembre del Gobierno de Aragón, por el que se modificó de forma parcial del Decreto 49/1995 de 28 de marzo de la DGA (Diputación General de Aragón), por el que se regula el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón.** Gobierno de Aragón.
- [2] Boletín Oficial de Aragón (2011). **Decreto 326/2011, de 27 de septiembre, del Gobierno de Aragón, por el que se establece un régimen de protección para el águila-azor perdicera (*Hieraetus fasciatus*) en Aragón, y se aprueba el Plan de recuperación.** Gobierno de Aragón.
- [3] Boletín Oficial de Aragón (2013). **Orden de 16 de diciembre de 2013, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por la que se modifica el ámbito de aplicación del plan de recuperación del águila-azor perdicera, *Hieraetus fasciatus*, aprobado por el Decreto 326/2011, de 27 de septiembre, del Gobierno de Aragón.** Gobierno de Aragón.
- [4] Boletín Oficial del Estado (2014). **Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión. Instrucción Técnica Complementaria ITC-LAT 07.** Ministerio de Industria, Energía y Turismo
- [5] Diario Oficial de las Comunidades Europeas L199/59 (1999). **Recomendación del Consejo relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz) (1999/519/CE).** Consejo de la Unión Europea.
- [6] Dassault Systèmes UK Ltd. (2019). **Opera Manager User Guide. Version 19.**
- [7] Ferrer Baena, M.A. (2012). **Aves y tendidos eléctricos. Del conflicto a la solución.** Fundación MIGRES.
- [8] Gobierno de Aragón (2022). **Guía de soluciones tipo para evitar la electrocución de aves en líneas aéreas de alta tensión (LAAT) instaladas en zonas de protección para la avifauna de Aragón.**
- [9] Instituto Nacional de Estadística (2022). **Teruel: Población por municipios y sexo.** Obtenido de ine.es: <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2899>.
- [10] International Commission on Non - Ionizing Radiation Protection (2010). **ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time - varying electric and magnetic fields (1Hz - 100 kHz). Health Physics.**
- [11] Ministerio de Transición Ecológica RD 1432/2008 (2018). **Recomendaciones técnicas para la corrección de los apoyos eléctricos del riesgo de electrocución de aves, para la adaptación de las líneas eléctricas.**
- [12] Natural de Aragón (2011). **El Águila-Azor Perdicera vuela con un Plan de Recuperación.** Revista trimestral del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, otoño de 2011 (N.43),10-13.

[13] Usón, A. (2007). ***Aplicación del método de elementos finitos (M.E.F.) al perfeccionamiento de pinzas amperimétricas***. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

[14] SEO/BirdLife (2018). ***El águila perdicera en España, población reproductora en 2018 y método de censo***. Madrid: Del Moral, J. C. y Molina, B. (Eds.).

[15] SEO/BirdLife (2021). ***Libro Rojo de las aves de España***. López-Jiménez, N. Ed.

[16] World Health Organization (2007). ***Environmental Health Criteria 238. Extremely low frequency (ELF) fields***. Geneva: World Health Organization.

ANEXOS

ANEXO I
MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN
Y COLISIÓN DE AVES

1. MEDIDAS CORRECTORA ANTIELECTROCUCIÓN

1.1 FORRO AISLADORES Y CONDUCTORES

- Acción: Prevenir contacto fase-tierra y aislamiento parcial de conductor.
- Colocación: Instalación de forros en aisladores rígidos y cubrir el conductor en ambos lados de la cruceta.
- Montaje: Línea sin tensión.
- Material: Silicona.
- Equipo para montaje: 2 personas.
- Tiempo: 5 min por poste.
- Coste (forros aisladores): 120,25€/ ud.
- Coste (aislamiento conductor): 24€/ ud.

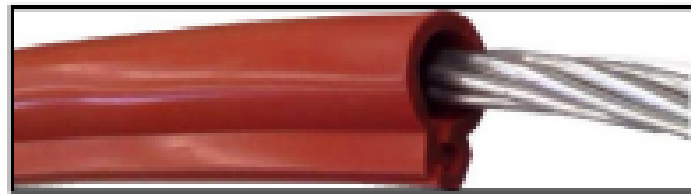


Fig. 22: Forros de aisladores y conductores[C1]

1.2 FORRO GRAPAS DE AMARRE

- Acción: Prevenir contacto fase-tierra.
- Colocación: Instalación de forros en aisladores con cadenas de amarre y cubrir el conductor en ambos lados de la cruceta.
- Montaje: Línea sin tensión.
- Material: Silicona.
- Equipo para montaje: 2 personas.
- Tiempo: 5 min por poste.
- Coste: 222,40€/ud.

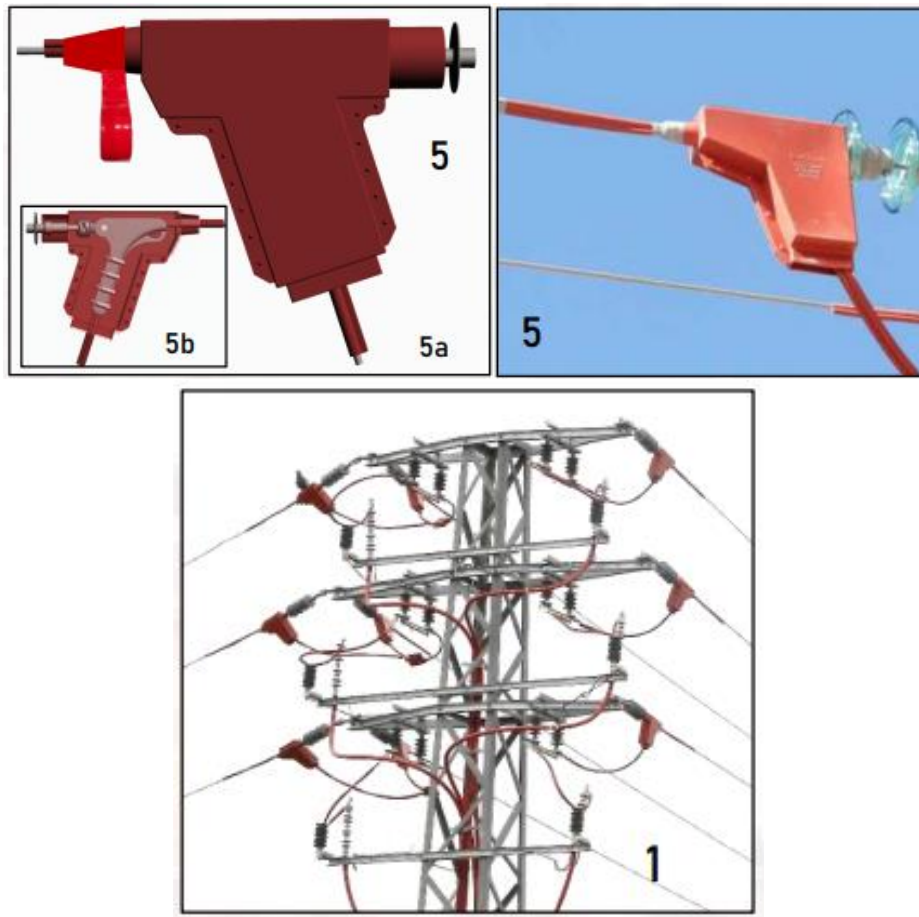


Fig. 23: Forro grapas de amarre[C2]

1.3 FORRADO DE BORNAS DE TRANSFORMADORES

- Acción: Prevenir contacto fase-tierra.
- Colocación: Instalación de forros en bornas de transformador.
- Montaje: Línea sin tensión.
- Material: Silicona.
- Equipo para montaje: 2 personas.
- Tiempo: 20 min por transformador.
- Coste: 350€/ud.

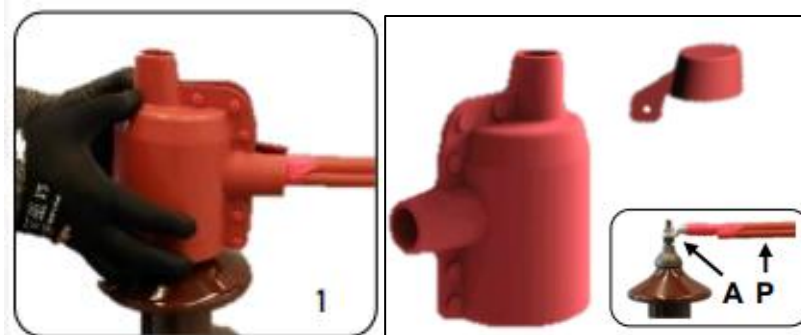


Fig. 24: Forrado de bornas de transformadores [I] [C3]

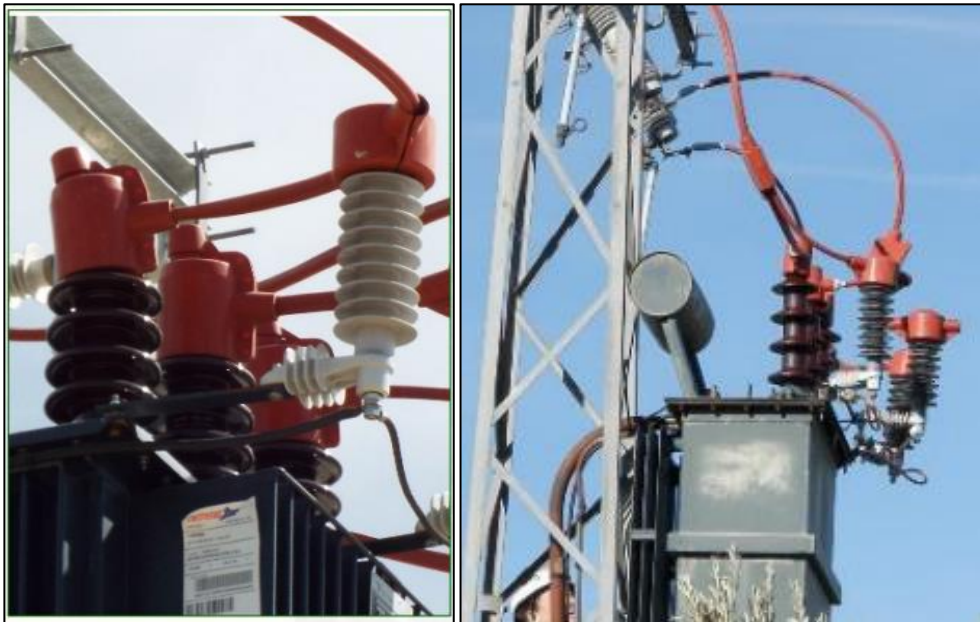


Fig. 25: Forrado de bornas de transformadores [II] [C4]

2. MEDIDAS CORRECTORAS ANTICOLISIÓN

2.1 ESPIRAL DE POLIPROPILENO

- Soporte: Cable-cable de tierra o conductor.
- Colocación: Manual.
- Montaje: Línea sin tensión.
- Material: PVC.
- Cadena: Cada 5 metros.[8]
- Equipo para montaje: 3 personas.
- Tiempo: 0,2 km/h.
- Coste: 39,00 €/ud.

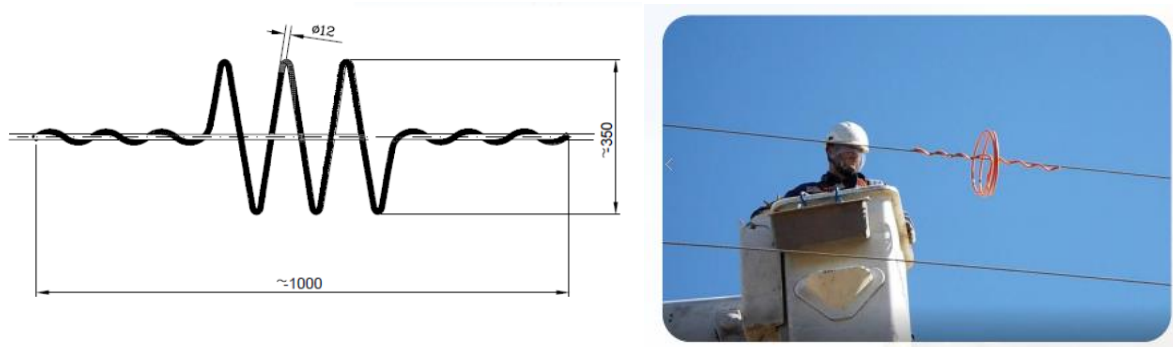


Fig. 26: Espiral de polipropileno anticollisión [C5]

REFERENCIAS CATÁLOGOS

[C1] *Nota.* Adaptado de “Catálogo Avifauna Envertec” (p. 51, p.51, p.35), por Envertec, 2016, Catálogo Avifauna Envertec 2023.

[C2] *Nota.* Adaptado de “Catálogo Avifauna Envertec” (p. 37, p.37, p.38), por Envertec, 2016, Catálogo Avifauna Envertec 2023.

[C3] *Nota.* Adaptado de “Catálogo Avifauna Envertec” (p.46, p.46), por Envertec, 2016, Catálogo Avifauna Envertec 2023.

[C4] *Nota.* Adaptado de “Catálogo Avifauna Envertec” (p. 86, p.81), por Envertec, 2016, Catálogo Avifauna Envertec 2023.

[C5] *Nota.* Adaptado de “Catálogo Avifauna Envertec” (p. 65, p.65), por Envertec, 2016, Catálogo Avifauna Envertec 2023.

ANEXO II
ANÁLISIS DETALLADO LÍNEA 15 kV
“SALTO NUEVO”

1. ANÁLISIS LÍNEA ELÉCTRICA "SALTO NUEVO"

Dentro del conjunto de líneas aéreas que se encuentran dentro del recinto limitado por la zona crítica objeto de este estudio, he optado por esta línea en particular ya que se encuentra lejos del núcleo urbano de Alcañiz y atraviesa lugares muy frecuentados por el AAP y sus zonas de nidificación. Analizaré aquellos apoyos de mayor interés por ser más numerosos y presentar más peligro de accidentes para el AAP. En la Fig. 27 se observa el tramo de trazado analizado. La central hidroeléctrica "Salto Nuevo" se encuentra junto al apoyo 31.

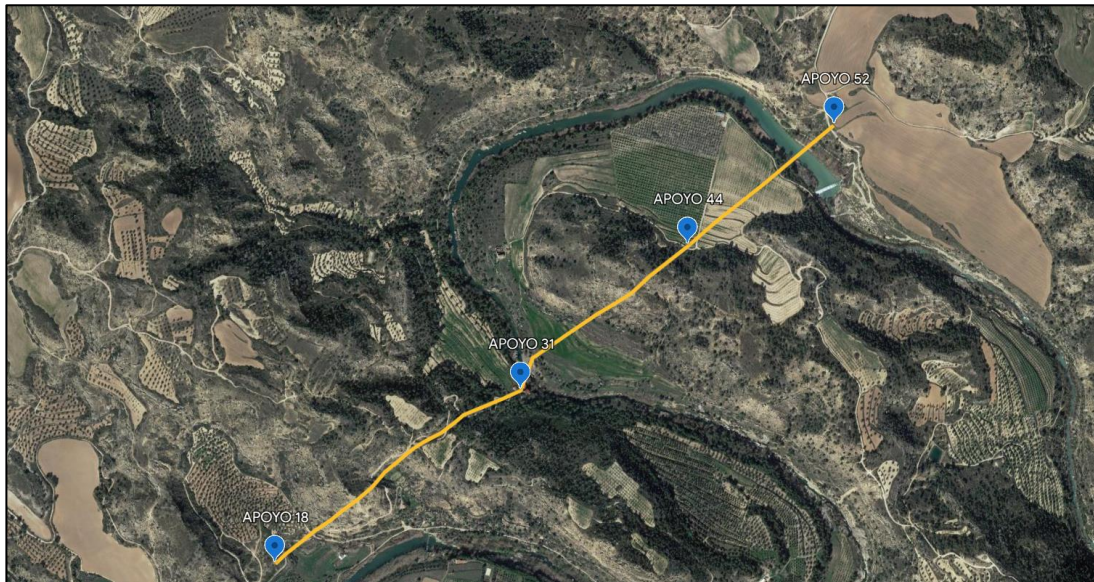


Fig. 27: Trazado línea "SALTO NUEVO"

Los apoyos de la línea que se van a estudiar y sus correspondientes coordenadas UTM30 ETRS80 quedan descritos en la Tabla 4.

UTM 30 ETRS80					
N.º DE APOYO	X	Y	N.º DE APOYO	X	Y
18	742.862,89	4.550.096,46	35	743.666,73	4.550.770,14
19	742.890,06	4.550.122,62	36	743.721,26	4.550.788,33
20	742.979,37	4.550.197,38	37	743.760,28	4.550.834,12
21	743.015,44	4.550.223,93	38	743.808,54	4.550.862,19
22	743.057,38	4.550.262,93	39	743.851,23	4.550.896,84
23	743.099,10	4.550.288,16	40	743.896,66	4.550.931,15
24	743.132,07	4.550.330,42	41	743.916,17	4.550.957,68
25	743.170,38	4.550.366,64	42	743.935,02	4.550.974,77
26	743.203,50	4.550.407,66	43	743.963,51	4.550.995,34
27	743.244,21	4.550.430,72	44	744.006,64	4.551.037,51
28	743.275,17	4.550.456,88	45	744.055,50	4.551.076,80
29	743.333,21	4.550.490,32	46	744.105,32	4.551.122,09
30	743.445,59	4.550.562,29	47	744.143,58	4.551.121,26
31	743.544,69	4.550.609,11	48	744.143,31	4.551.152,72
32	743.584,50	4.550.675,41	49	744.219,58	4.551.221,22
33	743.593,21	4.550.718,13	50	744.264,53	4.551.260,70
34	743.650,24	4.550.757,26	51	744.381,14	4.551.363,82
35	743.666,73	4.550.770,14	52	744.420,29	4.551.400,91
36	743.721,26	4.550.788,33			

Tabla 4: Coordenadas UTM 30 ETRS80 de los apoyos

1.1 APOYO 18 – APOYO 28

El primer apoyo de interés en el análisis de la línea de 15 kV “SALTO NUEVO” es el apoyo 18. Se ha tomado como principio de línea en este estudio dado que cuenta con un cruzamiento con una línea de tensión superior (132 kV).

Para este primer tramo, se han recogido los primeros 10 apoyos del recorrido, pues todos poseen las mismas características (ver Tabla 5).

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
APOYO 18 – APOYO 28	
Cimentación	Sobre suelo arcilloso-arenoso (monte bajo)
Tipo de poste	Madera
Tipo de aisladores	Aisladores rígidos
Disposición de conductores	Triángulo
Medidas de protección contra colisión	No
Medidas de protección contra electrocución	No

Tabla 5: Características Apoyo 18- Apoyo 28

En las figuras 28 a 32 pueden observarse estos apoyos. En la Fig. 28 también aparece el apoyo de suspensión de la línea de 132 kV Alcañiz-Valderrobres.

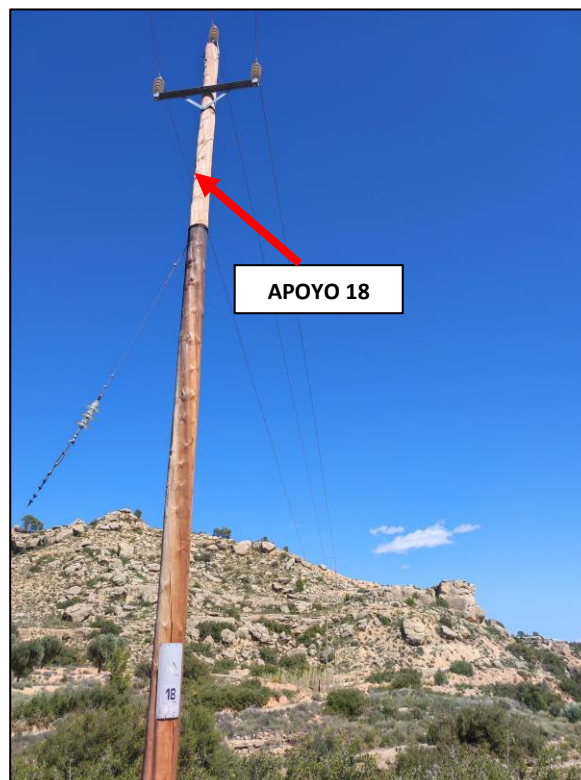


Fig. 28: Apoyo 18



Fig. 29: Apoyo 19

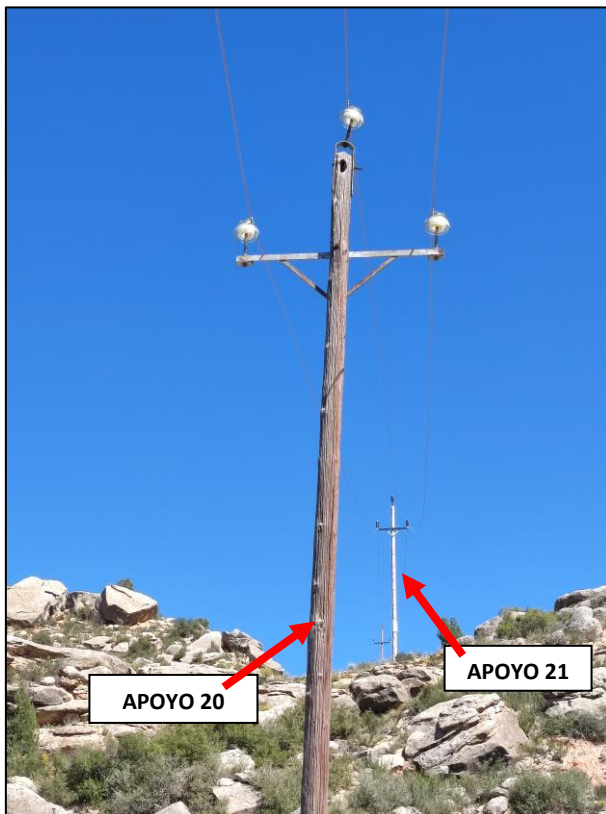


Fig. 30: Apoyo 20

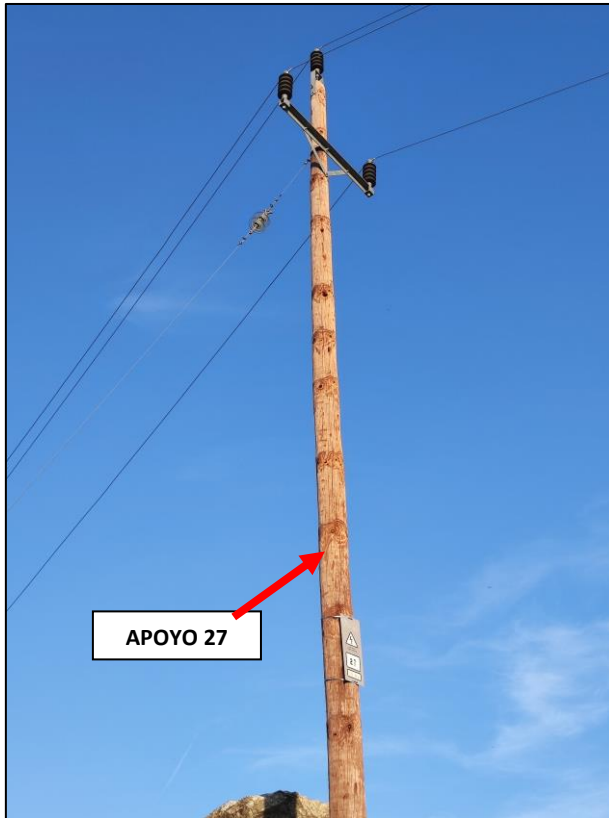


Fig. 31: Apoyo 27



Fig. 32: Apoyo 28

Los apoyos descritos no cuentan con ningún tipo de protección contra la posible colisión y electrocución de la avifauna, pues se trata de un tipo de apoyo altamente peligroso y sería recomendable tomar algún tipo de medida disuasoria. Para ello, se proponen las siguientes recomendaciones a implantar en los apoyos.

MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN

- Instalación de forros en aisladores rígidos y cubrir el conductor en ambos lados de la cruceta.

MEDIDAS CONTRA LA COLISIÓN

- Instalación de salvapájaros en forma de espiral de polipropileno.

1.2 APOYO 29 – APOYO 30

Los siguientes apoyos del recorrido de la línea aérea “SALTO NUEVO” muestran unas características diferentes a la de los apoyos descritos en el primer tramo, cuyas cimentaciones eran de madera y estaban dispuestos con un montaje en triángulo.

A continuación, se resumen sus propiedades en la Tabla 6:

CARACTERÍSTICAS GENERALES		
	APOYO 29	APOYO 30
Cimentación	Sobre suelo arcilloso-arenoso (monte bajo)	Sobre suelo arcilloso-arenoso (monte bajo)
Tipo de poste	Celosía	Hormigón
Tipo de aisladores	Cadenas de amarre	Cadenas de amarre
Disposición de conductores	Horizontal	Horizontal
Medidas de protección contra colisión	No	No
Medidas de protección contra electrocución	No	No

Tabla 6: Características Apoyo 29- Apoyo 30

En las figuras 33 y 34 se pueden observar la situación de los apoyos descritos correspondientes.

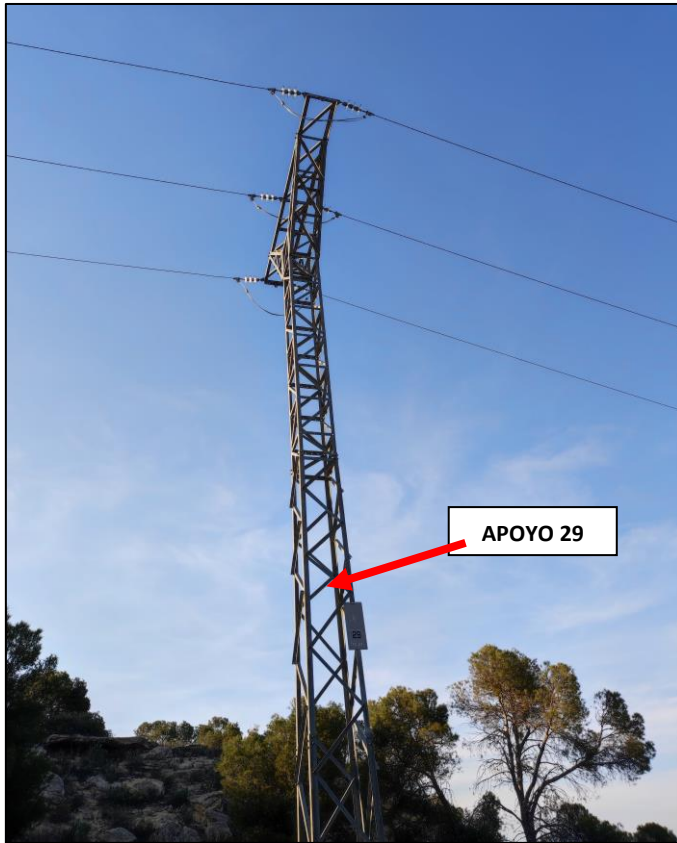


Fig. 33: Apoyo 29



Fig. 34: Apoyo 30

Los apoyos descritos no cuentan con ningún tipo de protección contra la posible colisión y electrocución de la avifauna.

Se trata de unos tipos de apoyos altamente peligrosos debido a su localización en posibles zonas de anidamiento, por lo que sería recomendable tomar algún tipo de medida disuasoria. Para ello, se proponen las siguientes recomendaciones a implantar en los apoyos.

MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN

- Instalación de forros en aisladores rígidos y cubrir el conductor en ambos lados de la cruceta.

MEDIDAS CONTRA LA COLISIÓN

- Instalación de salvapájaros de espiral de polipropileno.

1.3 APOYO 31

El apoyo 31 es una de las infraestructuras eléctricas del “SALTO NUEVO” con mayor peligrosidad para la avifauna de la zona. Se encuentra junto al río Guadalope, donde se produce su primer cruzamiento con este, cuenta con un transformador y se bifurca en dos recorridos: el que sigue el recorrido de la línea hasta el apoyo 52 y el que se conecta con los generadores de la central.

A continuación, se resumen sus propiedades en la Tabla 7:

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
	APOYO 31
Cimentación	Sobre terreno
Tipo de poste	Celosía
Tipo de aisladores	Cadena de amarre
Disposición de conductores	Horizontal
Medidas de protección contra colisión	No
Medidas de protección contra electrocución	No

Tabla 7: Características Apoyo 31

Como se ha comentado anteriormente, al ser de elevada importancia el apoyo 31, se va a mostrar en detalle en las figuras 35, 36 y 37.



Fig. 35: Apoyo 31



Fig. 36: Apoyo 31, conexión a central hidráulica

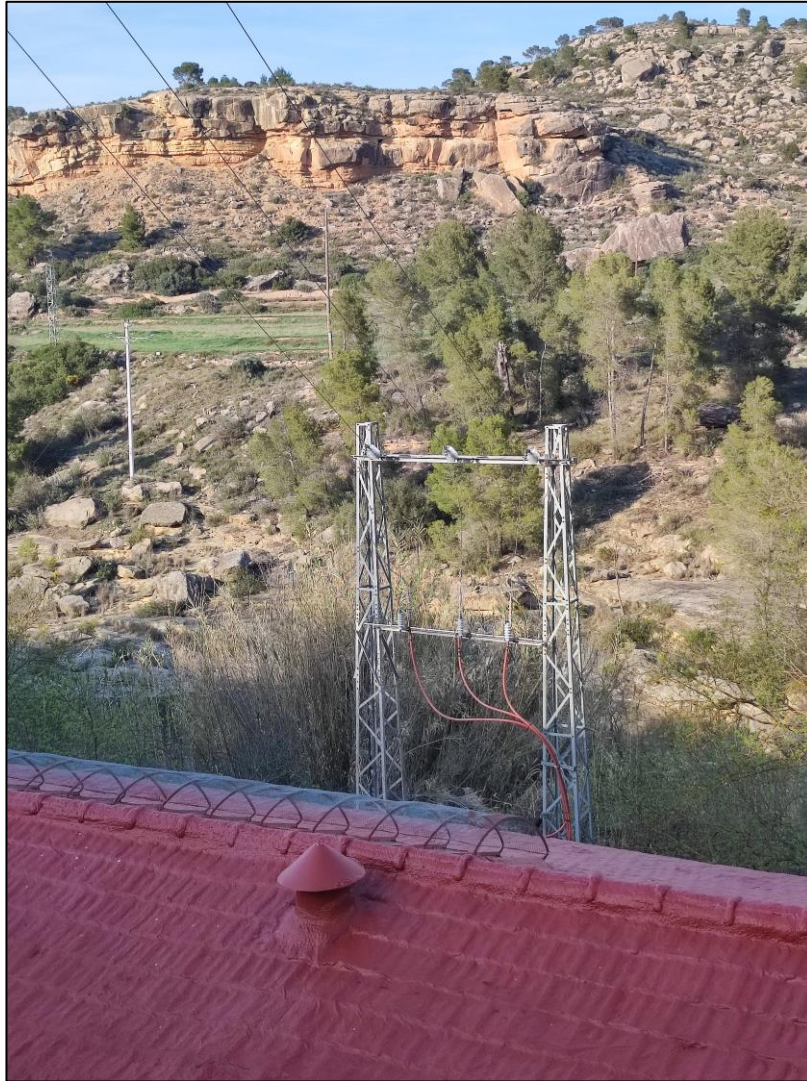


Fig. 37: Conexión a central hidráulica

Como se observa en las imágenes, no hay ningún tipo de medida que pueda proteger al AAP en caso de posible colisión y/o posado en cualesquiera de las infraestructuras colindantes. Para evitar, en la medida de lo posible cualquier tipo de accidente, se recomiendan las siguientes medidas de protección.

MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN

- Instalación de forros en aisladores, cadenas, conexiones al transformador y cubrir el conductor en ambos lados de la cruceta, así como en los conductores que unen el apoyo con la central hidráulica.

MEDIDAS CONTRA LA COLISIÓN

- Instalación de salvapájaros en forma de espiral de polipropileno en el vano que une los apoyos 31 y 32, así como en la unión con el punto de conexión de la central hidráulica.

1.4 APOYO 32 – APOYO 43

Tras el primer cruzamiento con el río Guadalope, la línea mantiene el mismo tipo de apoyo que en el primer tramo de la línea, pues es el montaje más común en esta línea de 3ª categoría (ver Tabla 8).

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
	APOYO 32 – APOYO 43
Cimentación	Sobre suelo rocoso
Tipo de poste	Madera
Tipo de aisladores	Aisladores rígidos
Disposición de conductores	Triángulo
Medidas de protección contra colisión	No
Medidas de protección contra electrocución	No

Tabla 8: Características Apoyo 32-Apoyo 43

Debido a la poca accesibilidad de estos apoyos, no se disponen de imágenes que representen sus características. Para proteger estos apoyos ante cualquier incidente con la avifauna local, se proponen las siguientes recomendaciones.

MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN

- Instalación de forros en aisladores rígidos y cubrir el conductor en ambos lados de la cruzeta.

MEDIDAS CONTRA LA COLISIÓN

- Instalación de salvapájaros de espiral de polipropileno.

1.5 APOYO 44 Y APOYO 45

Los primeros tipos de apoyos que encontramos en el segundo tramo en la línea de 15 kV son el Apoyo 44 y el Apoyo 45, cuyas características se resumen en la Tabla 9.

CARACTERÍSTICAS GENERALES		
	APOYO 44	APOYO 45
Cimentación	Sobre suelo rocoso	Sobre terreno
Tipo de poste	Madera	Madera
Tipo de aisladores	Aisladores rígidos	Aisladores rígidos
Disposición de conductores	Triángulo	Triángulo
Medidas de protección contra colisión	No	No
Medidas de protección contra electrocución	No	No

Tabla 9: Características Apoyo 44- Apoyo 45

En la Fig. 38 se describe de forma gráfica la geometría de los apoyos descritos, cuya fotografía ha sido tomada de manera que se pueda comprender con mayor detalle la realidad de los apoyos en la actualidad, en el paraje conocido como "Masada de Aguas".



Fig. 38: Apoyo 44 y Apoyo 45

Ambos apoyos no cuentan con ningún tipo de protección contra la posible colisión y electrocución de la avifauna, pues se trata de un tipo de apoyo altamente peligroso y sería recomendable tomar algún tipo de medida disuasoria.

Los apoyos de estas características cuentan con las tres fases de la línea situadas en dos planos, cuya fase central está más elevada que las otras dos.

MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN

- Instalación de forros en aisladores rígidos y cubrir el conductor en ambos lados de la cruceta.

MEDIDAS CONTRA LA COLISIÓN

- Instalación de salvapájaros en forma de espiral de polipropileno.

1.6 APOYO 46 – APOYO 49

Los siguientes apoyos de la línea, se ubican en terreno agrícola y mantienen una estructura similar a la de los apoyos 44 y 45, pues siguen siendo postes de madera, aunque constan en su armado de aisladores de suspensión de menor longitud que favorecen el posado de aves y, por tanto, aumenta la probabilidad de electrocución de estas. A continuación, se describen sus características en la Tabla 10.

CARACTERÍSTICAS GENERALES				
	APOYO 46	APOYO 47	APOYO 48	APOYO 49
Cimentación	Sobre terreno	Sobre terreno	Sobre terreno	Sobre terreno
Tipo de poste	Madera	Madera	Madera	Madera
Tipo de aisladores	Aisladores rígidos	Aisladores rígidos	Aisladores rígidos	Aisladores rígidos
Disposición de conductores	Triángulo	Triángulo	Triángulo	Triángulo
Medidas de protección contra colisión	No	No	No	No
Medidas de protección contra electrocución	No	No	No	No

Tabla 10: Características Apoyo 46-Apoyo 49

En la Fig. 39 se observan los apoyos 46 y siguientes. Al fondo se encuentra el azud de "La Badina" en el río Guadalope.

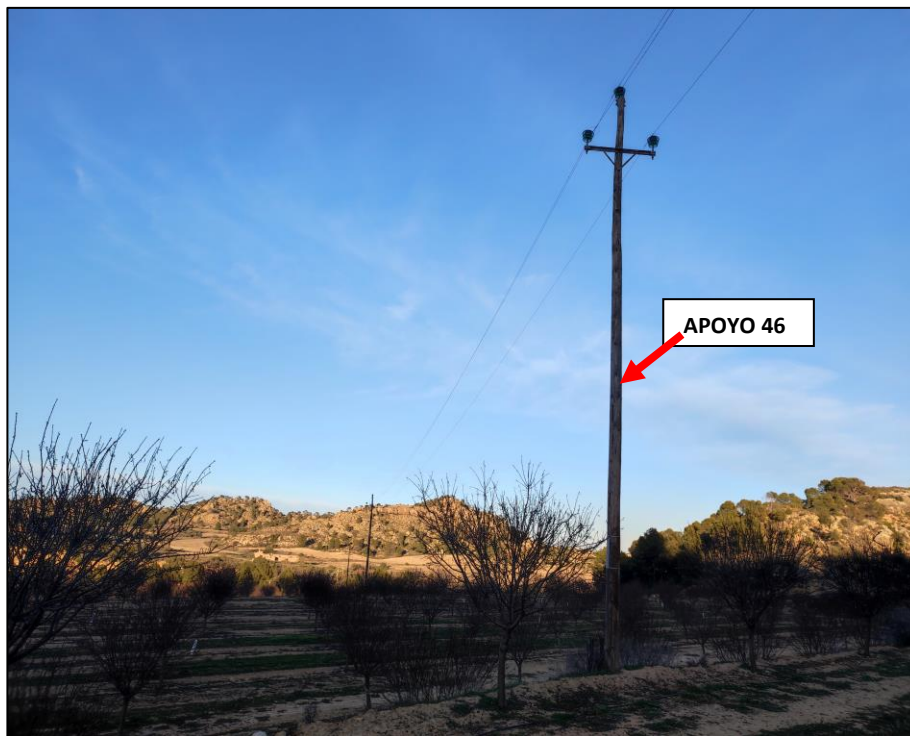


Fig. 39: Apoyo 46

Los apoyos descritos no cuentan con ningún tipo de protección contra la posible colisión y electrocución de la avifauna, pues se trata de un tipo de apoyo altamente peligroso y sería recomendable tomar algún tipo de medida disuasoria. Para ello, se proponen las siguientes recomendaciones a implantar en los apoyos.

MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN

- Instalación de forros en aisladores rígidos y cubrir el conductor en ambos lados de la cruceta.

MEDIDAS CONTRA LA COLISIÓN

- Instalación de salvapájaros de espiral de polipropileno.

1.7 APOYO 50 Y APOYO 51

Los apoyos más conflictivos que hay en este tramo de la línea son el apoyo 50 y el apoyo 51, pues su vano cruza el río Guadalope, estando estos cercanos a su orilla. Dada su posición, la protección de este tramo sería altamente recomendable debido a la gran densidad de especies avícolas que suelen frecuentar lugares como este.

Sus características se describen en la Tabla 11:

CARACTERÍSTICAS GENERALES		
	APOYO 50	APOYO 51
Cimentación	Sobre terreno	Sobre terreno
Tipo de poste	Celosía	Celosía
Tipo de aisladores	Cadenas de amarre	Aisladores rígidos
Disposición de conductores	Horizontal	Bóveda
Medidas de protección contra colisión	No	No
Medidas de protección contra electrocución	No	No

Tabla 11: Características Apoyo 50-Apoyo 51

Las figuras 40 y 41 muestran la peligrosidad de los apoyos y de su correspondiente vano.

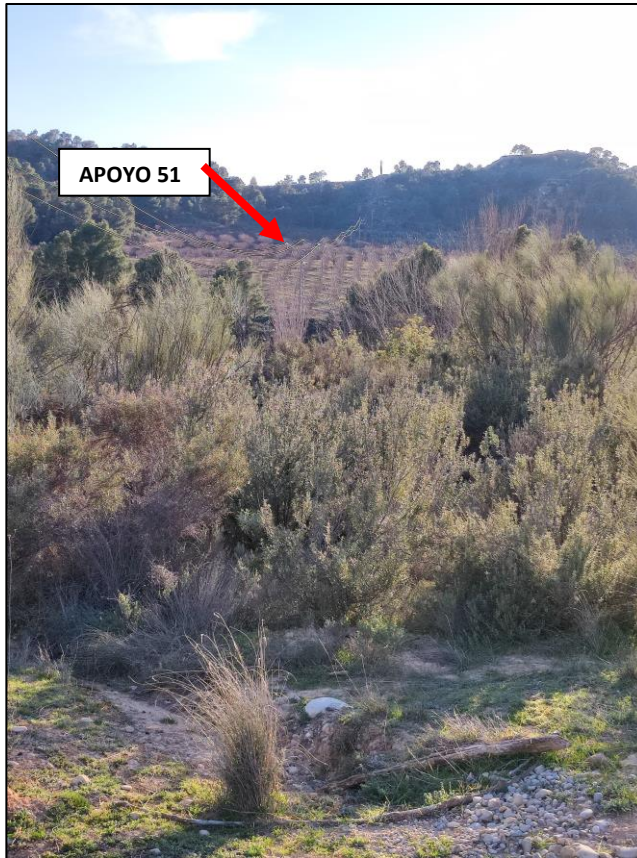


Fig. 40: Cruzamiento línea "SALTO NUEVO" con el río Guadalope



Fig. 41: Apoyo 50

El apoyo 50 cuenta con una disposición horizontal de los conductores, es decir, cuenta con las tres fases situadas todas en el mismo plano horizontal tensionadas por cadenas de amarre en ambos lados de la cruceta y con puentes por debajo. Además, cuenta con una cruceta inferior para la evacuación de la línea hacia la explotación agrícola con las mismas características. Este apoyo es de alto riesgo debido al propio diseño y a la redirección de los cables hacia el tramo “alternativo” que se describirá posteriormente en este anexo.

El apoyo 51 es de montaje tipo bóveda, con sus tres fases dispuestas en dos planos horizontales con la fase central elevada respecto a las otras. Están tensionadas por cadenas de amarre en ambos lados de la cruceta en forma de bóveda con puentes por debajo.

Para evitar accidentes innecesarios, estas son las recomendaciones que se proponen para su correcto adecuamiento:

MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN

- Apoyo 50: Instalación de forros en cadenas de aisladores de amarre.
- Apoyo 51: Instalación de forros en aisladores rígidos y cubrir el conductor en ambos lados de la cruceta. Se propone como medida adicional el aislamiento de la cruceta.

MEDIDAS CONTRA LA COLISIÓN

- Instalación de salvapájaros de espiral de polipropileno.

1.8 APOYO 52 – FIN DE LÍNEA

La línea de 15 kV se bifurca en dos circuitos antes de cruzar el río por segunda vez, un circuito que se dirige para abastecer a una explotación agrícola, que se encuentra a unos 200 metros, y otro que recoge el cruzamiento con el río Guadalope hasta el apoyo fin de línea (Apoyo 52).

Las características del apoyo de fin de línea se reúnen en la Tabla 12:

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
	APOYO 52 – FIN DE LÍNEA
Cimentación	Sobre gravas y arenas aluviales
Tipo de poste	Celosía
Tipo de aisladores	Cadenas de amarre
Disposición de conductores	Tresbolillo
Medidas de protección contra colisión	No
Medidas de protección contra electrocución	No

Tabla 12: Apoyo 52- Fin de línea

En la Fig. 42 se observa este apoyo fin de línea. Antiguamente continuaba el trazado hacia la central hidroeléctrica de "Las Vueltas", actualmente abandonada al ser inundada por la cola del pantano de Civán.



Fig. 42: Apoyo 52

El apoyo 52 es de montaje en tresbolillo, es decir, cuenta con un plano horizontal diferente para cada fase tensionados con cadenas de amarre. Su peligrosidad es moderada, aunque puede llegar a ser de alta peligrosidad si la distancia entre conductor y cruceta superior es insuficiente.

MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN

- Instalación de forros en cadenas de aisladores de amarre.

MEDIDAS CONTRA LA COLISIÓN

- Instalación de salvapájaros en forma de espiral de polipropileno.

1.9 APOYOS DE INTERÉS TRAMO EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA (EA)

Como se ha expuesto con anterioridad, la línea se bifurca justo antes del cruzamiento, creando un recorrido trazado perpendicular que discurre paralelo al río" (ver fotografía en la Fig. 43)

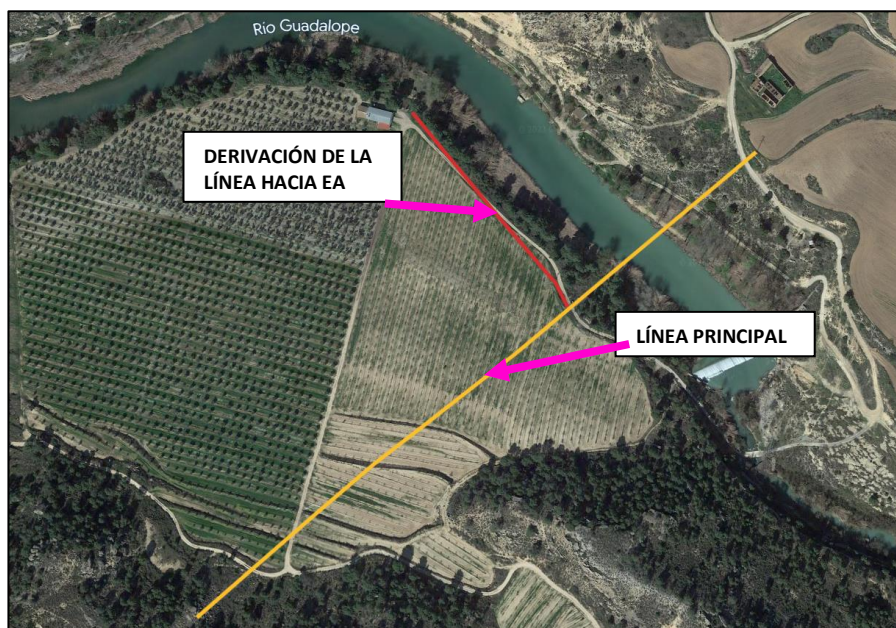


Fig. 43: Trazado línea "SALTO NUEVO" con derivación a EA

Este tramo consta de tres apoyos, cuyas características se observan en la Tabla 13. Los apoyos de interés se han nombrado en orden tomando como origen la derivación de la línea "principal" de la siguiente manera: "APOYO 01 EA", "APOYO 02 EA" y "APOYO 03 EA- FIN DE LÍNEA".

CARACTERÍSTICAS GENERALES			
	APOYO 01 EA	APOYO 02 EA	APOYO 03 EA-FIN DE LÍNEA
Cimentación	Sobre terreno	Sobre terreno	Sobre terreno
Tipo de poste	Hormigón	Hormigón	Celosía
Tipo de aisladores	Cadenas de amarre	Aisladores rígidos	Aisladores rígidos
Disposición de conductores	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Medidas de protección contra colisión	No	No	No
Medidas de protección contra electrocución	No	No	No

Tabla 13: Características de los apoyos con derivación a EA

En las figuras 44, 45 y 46 se muestran estos apoyos, que constituyen una derivación de la línea principal y sirven para alimentar las instalaciones de una nave y otras edificaciones de la EA.

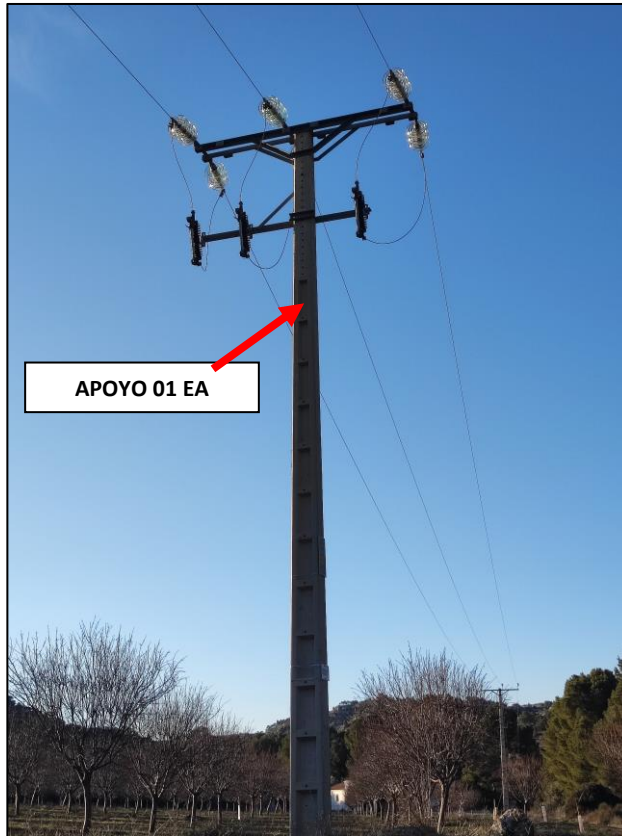


Fig. 44: Apoyo 01 EA



Fig. 45: Apoyo 02 EA



Fig. 46: Apoyo 03 EA - Fin de línea

Debido a su cercanía al río, es de suma importancia que estos apoyos estén bien protegidos para evitar accidentes innecesarios. Por ello, estas son las recomendaciones que se proponen para su correcto adecuamiento:

MEDIDAS CONTRA LA ELECTROCUCIÓN

- **APOYO 01 EA:** Instalación de forros en cadenas de aisladores de amarre.
- **APOYO 02 EA:** Instalación de forros en aisladores rígidos y cubrir el conductor en ambos lados de la cruceta
- **APOYO 03 EA- FIN DE LÍNEA:** Instalación de forros en cadenas de aisladores de amarre y en bornas del transformador. Como medida adicional, se podría aislar 1 metro de conductor para reforzar la seguridad.

MEDIDAS CONTRA LA COLISIÓN

- Instalación de salvapájaros de espiral de polipropileno en todos los vanos.

ANEXO III
PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO ELECTROCUCIÓN

1.1 APOYOS

PRESUPUESTO APOYOS LÍNEA SALTO NUEVO							
Tipo Armado	N.º Apoyos	N.º Cad.Amarre	N.º Aisl.Rígidos	Precio Amarre (€/Ud)	Precio Rígido (€/Ud)	Precio Forrado Cable (€/Ud)	Importe (€)
Horizontal	7	33	9	222,40	120,25	48	8.757,45
Triángulo	29	0	88	222,40	120,25	48	11.974,00
Bóveda	1	0	3	222,40	120,25	48	408,75
Tresbolillo	1	0	3	222,40	120,25	48	408,75
Presupuesto Electrocción Apoyos Total							21.548,95

Tabla 14: Desglose Presupuesto electrocción

1.2 TRANSFORMADORES

PRESUPUESTO TRANSFORMADORES LÍNEA SALTO NUEVO			
	N.º Bornas	Precio Forrado Transformador (€/Ud)	Importe (€)
Transformador 1	3	350	1.050,00
Transformador 2	3	350	1.050,00
Presupuesto Electrocción Transformadores Total			2.100,00

Tabla 15: Desglose Presupuesto transformadores

2. PRESUPUESTO COLISIÓN

PRESUPUESTO COLISIÓN LÍNEA SALTO NUEVO			
Longitud Línea (m)	N.º de Salvapájaros (Ud)	Precio Salvapájaros (€/Ud)	Importe (€)
2274	455	39	17.737,00
Presupuesto Colisión Total			17.737,00

Tabla 16: Desglose Presupuesto colisión

3. RESUMEN

PRESUPUESTO LÍNEA SALTO NUEVO		
DESGLOSE		IMPORTE TOTAL (€)
1.PRESUPUESTO ELECTROCUCIÓN		23.648,95
1.1	<i>PRESUPUESTO ELECTROCUCIÓN APOYOS</i>	21.548,95
1.2	<i>PRESUPUESTO ELECTROCUCIÓN TRANSFORMADORES</i>	2.100,00
2.PRESUPUESTO COLISIÓN		17.737,00
PRESUPUESTO TOTAL (SIN IVA)		41.385,95
IVA (21%)		8.691,05
PRESUPUESTO TOTAL		50.076,99

Tabla 17: Desglose Presupuesto Total

El presupuesto total de la adaptación de la línea aérea “Salto Nuevo” asciende a **50.076,99 €**, CINCUENTA MIL SETENTA Y SEIS EUROS CON 99 CÉNTIMOS.

ANEXO IV
ANÁLISIS MODELO OPERA

1. SOFTWARE OPERA

El programa informático Opera es un software de simulación de análisis de elementos finitos de sistemas electromagnéticos y electromecánicos en 2 y 3 dimensiones desarrollado por SIMULIA, Dassault Systemes (ver Fig.47). Es un software muy extendido para el diseño de imanes y máquinas eléctricas.

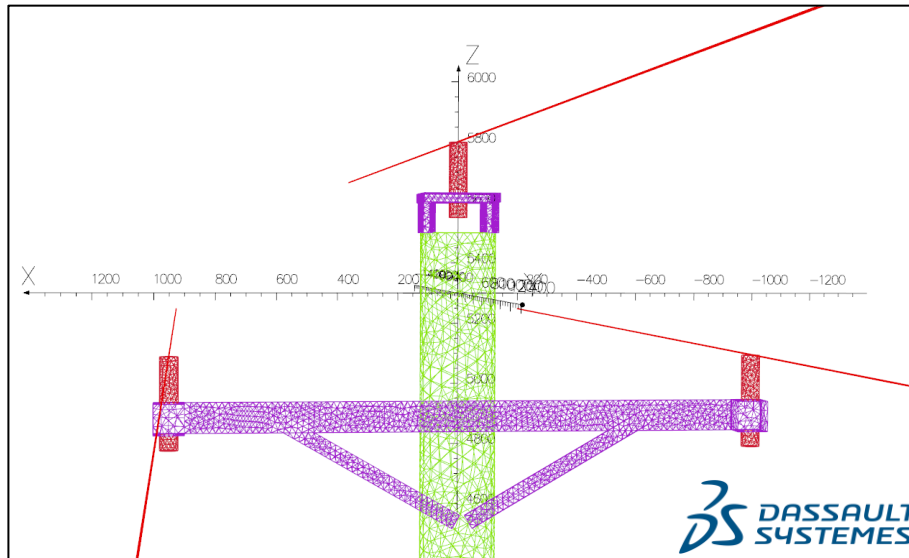


Fig. 47: Mallado del apoyo realizado con Dassault Systemes

El modelo desarrollado en este trabajo se ha realizado con la versión 19 de Opera Simulation Software, a través de licencia de uso académico.

2. MODELO APOYO

El modelo desarrollado en Opera corresponde al apoyo más frecuente que se encuentra en la línea de alta tensión "SALTO NUEVO" de 15 kV de tensión analizada en el **Anexo II: ANÁLISIS DETALLADO LÍNEA 15 kV "SALTO NUEVO"**.

Se trata de un apoyo de madera con aisladores de vidrio dispuestos en triángulo con una altura de 5,8 metros y de 2 metros de ancho de cruceta. Los conductores tienen un radio de 12,12 mm. Se ha tomado como apoyo modelo el apoyo 20 de la línea "SALTO NUEVO".

En las figuras 48, 49 y 50 se detallan las dimensiones del apoyo 20 y los conductores utilizados para la simulación, así como su disposición.

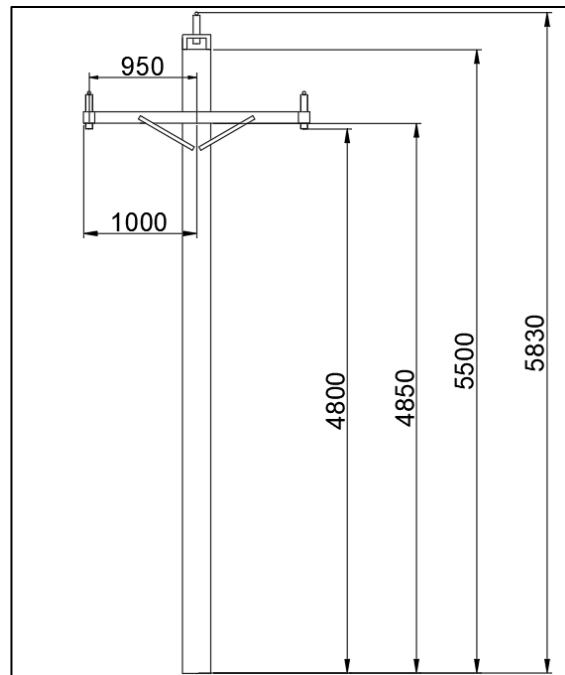


Fig. 48: Alzado apoyo 20

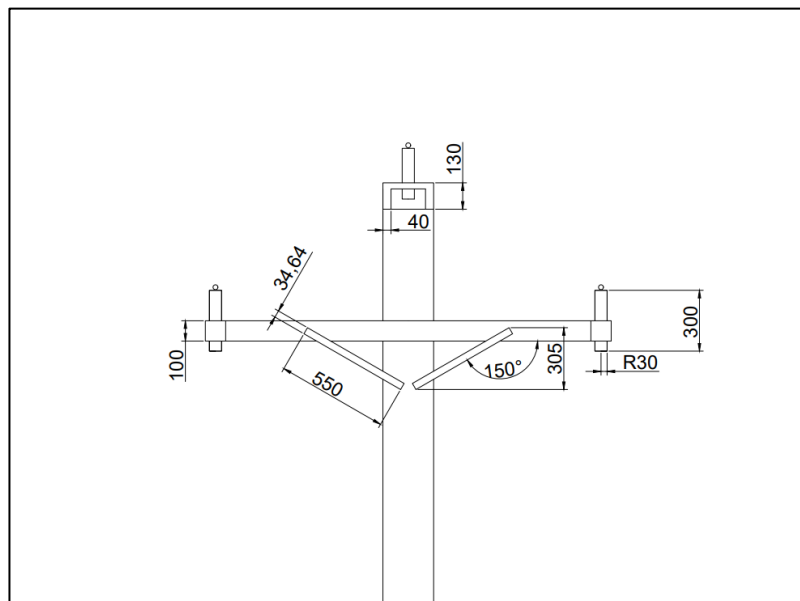


Fig. 49: Alzado apoyo 20, cruceta

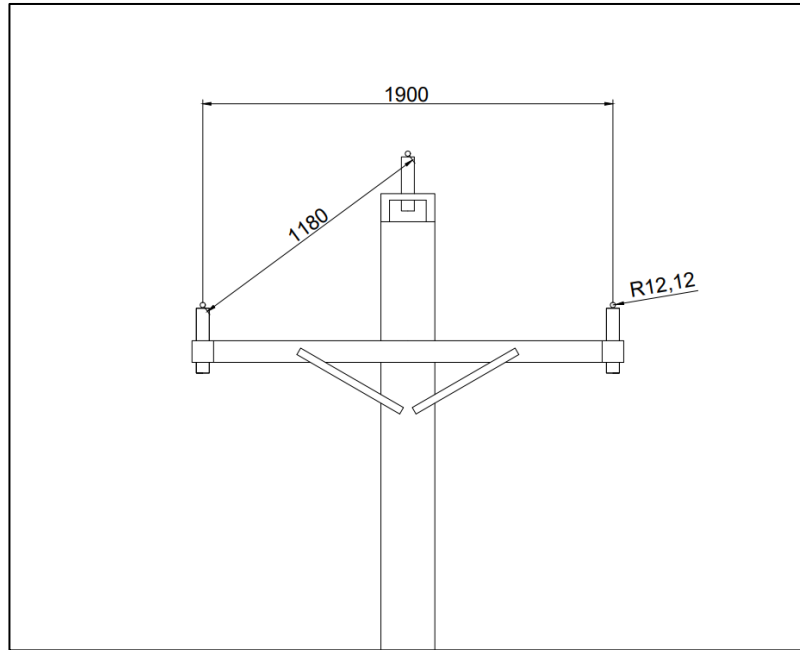


Fig. 50: Alzado apoyo 20, conductores

En las figuras 51,52 y 53 se muestra el alzado, perfil y planta del modelo en el software de simulación Opera.

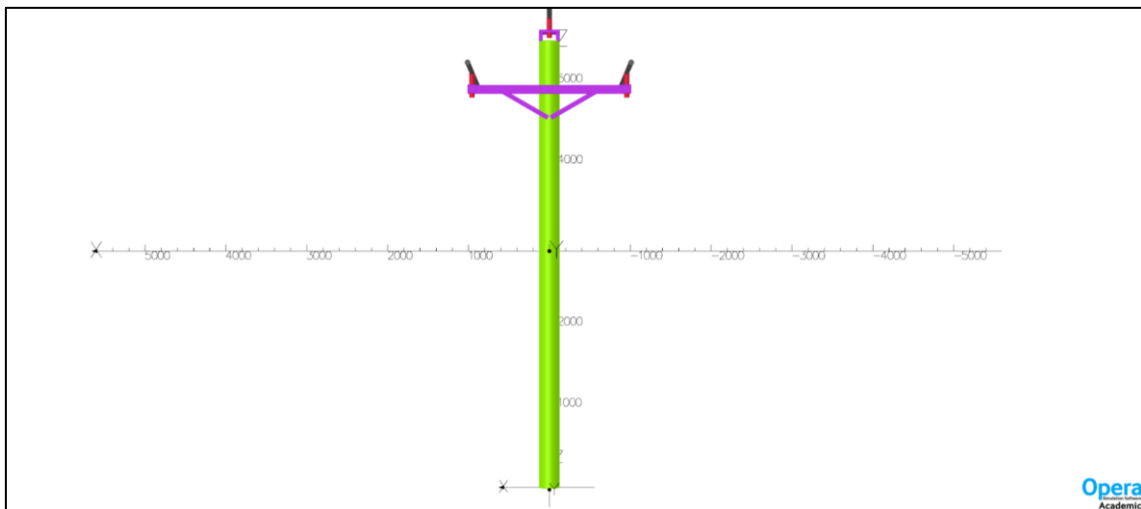


Fig. 51: Vista de alzado del apoyo modelo

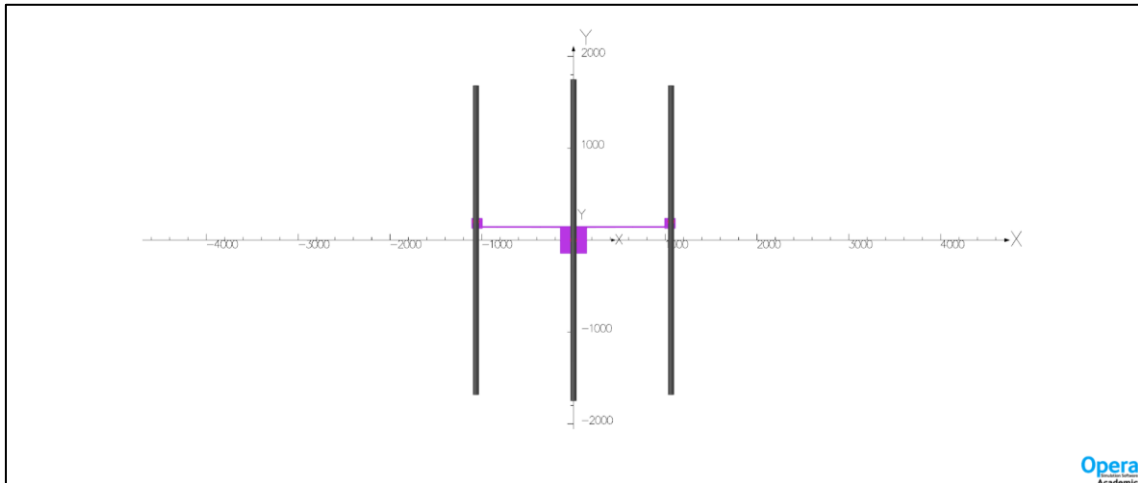


Fig. 52: Vista de planta del apoyo modelo

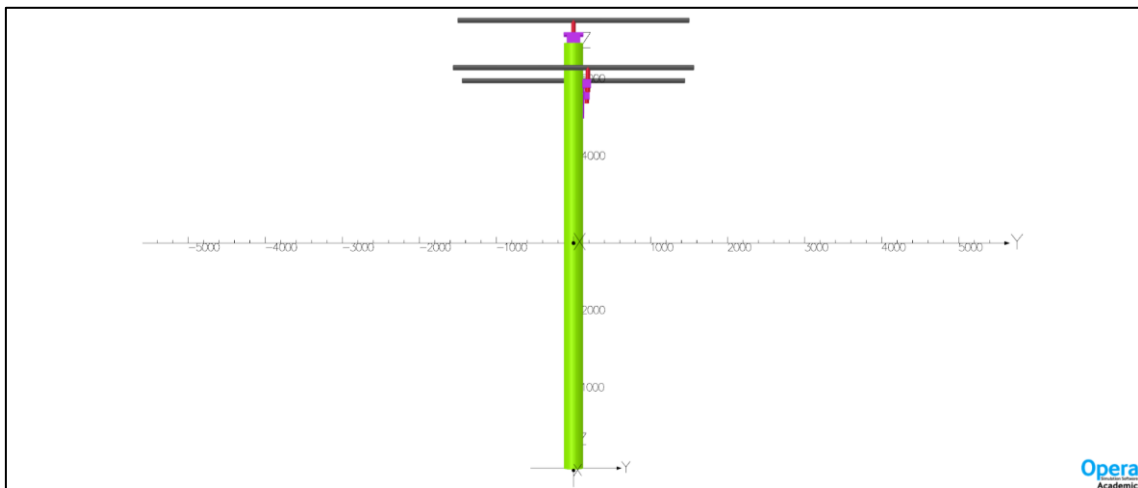


Fig. 53: Vista de perfil del apoyo modelo

Observando las figuras anteriores, distinguimos 4 elementos que definen el modelo: el apoyo de madera (caracterizado con color verde), aisladores de vidrio (caracterizados como pequeños cilindros de color rojo), la cruceta y elementos de apoyo de acero que sujetan los conductores (caracterizados de color morado) y los conductores de la línea (caracterizados de color negro).

3. MODELO ELECTROSTÁTICO

El análisis de campos eléctricos en el apoyo se ha llevado a cabo con la opción de simulación “Electrostatic” que permite Opera [6]. Se van a realizar 6 simulaciones con este modelo para analizar los casos más desfavorables a lo largo de la onda sinusoidal trifásica de la línea, es decir, dos simulaciones para cada una de las fases cuando se encuentren en el pico de la onda (ver Fig. 54).

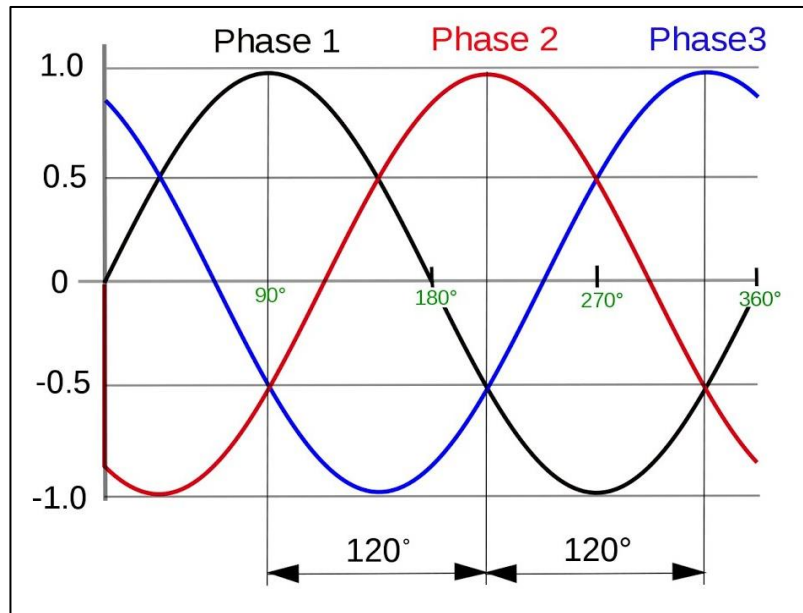


Fig. 54: Onda senoidal trifásica

Como se observa en la Fig. 54, cuando una de las fases se encuentra en el pico de la onda, las otras dos se encuentran a una tensión de signo opuesto a 0,5 veces la tensión de la que se encuentra en el pico.

La tensión introducida en el modelo ha sido extraída de la tabla 1 del reglamento de líneas aéreas de alta tensión con conductores desnudos (ITC-LAT 07), que describe las tensiones nominales de las líneas aéreas de alta tensión y su correspondiente tensión más elevada de la red (ver Tabla 18) [4].

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED (U_n) kV	TENSIÓN MAS ELEVADA DE LA RED (U_s) kV
3	3,6
6	7,2
10	12
15	17,5

Tabla 18: Tensiones de red [ITC-LAT 07]

Como la tensión nominal de la línea es de 15 kV, le corresponde una $U_s = 17,5$ kV. El voltaje máximo de cada fase introducido en cada una de las simulaciones se calcula según la expresión [1]:

$$U_{rms}(kV) = U_s * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 17,5 * \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 14,289 \text{ kV [1]}$$

A modo de resumen, en la Tabla 19 se muestran las seis simulaciones que se han realizado de acuerdo con lo descrito.

	TENSIÓN (kV)		
	FASE A	FASE B	FASE C
FASE A (90°)	14,289	-7,144	-7,144
FASE A (270°)	-14,289	7,144	7,144
FASE B (210°)	-7,144	14,289	-7,144
FASE B (30°)	7,144	-14,289	7,144
FASE C (330°)	-7,144	-7,144	14,289
FASE C (150°)	7,144	7,144	-14,289

Tabla 19: Resumen de simulaciones de campo eléctrico

Para conseguir unos resultados más fieles a la realidad, en el modelo se han creado dos *background* en forma de cilindro para mallar con más exactitud las zonas de interés del apoyo (ver figuras 55 y 56).[13]

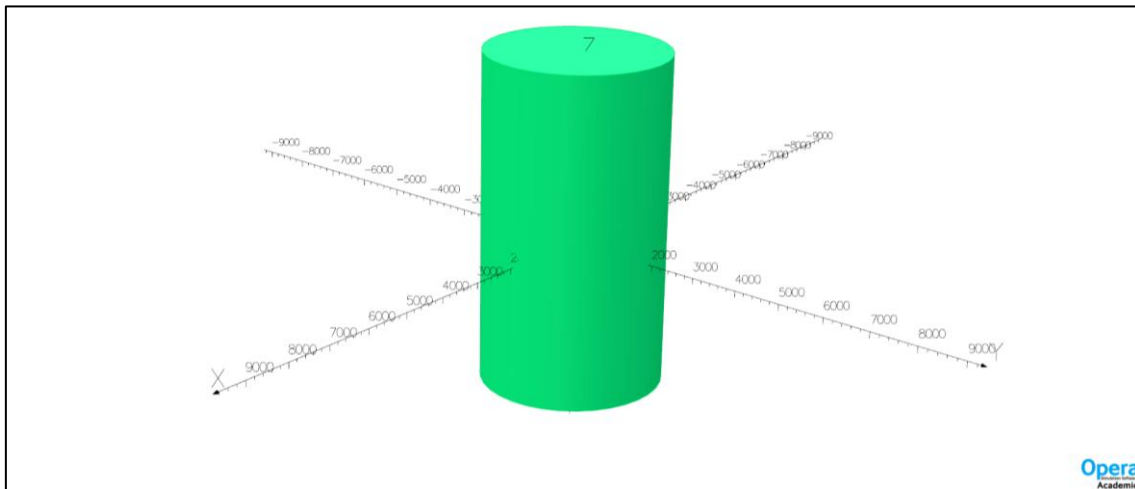


Fig. 55: Background exterior, modelo electrostático

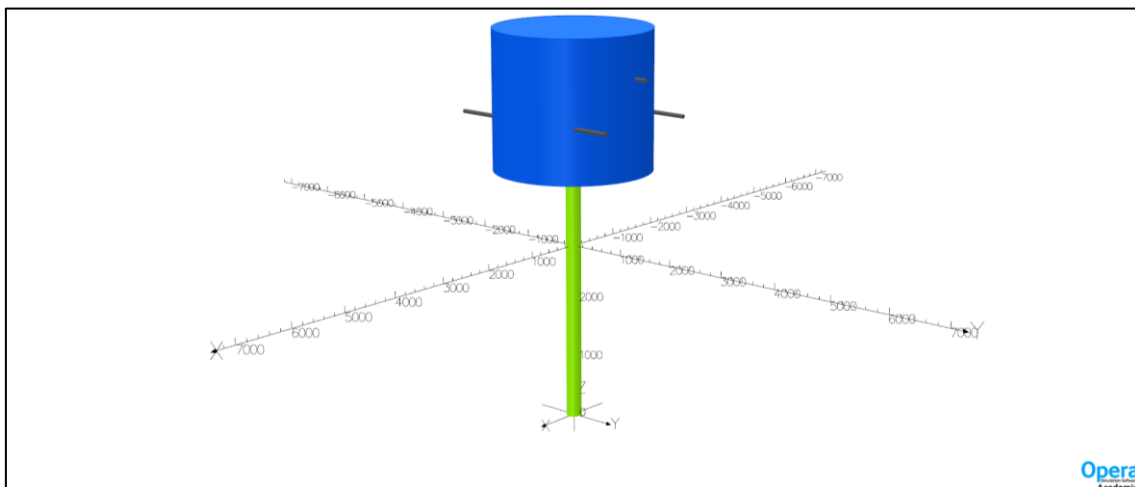


Fig. 56: Background interior, modelo electrostático

El *background* exterior se ha utilizado para delimitar la zona de estudio alrededor del apoyo, y el *background* interior para conseguir un mallado más detallado en las zonas donde es más probable que se pose el AAP, es decir, la cruceta y la zona de los conductores más próximas al apoyo.

El modelo ha sido definido con un mallado que posee 592.097 nodos para su posterior cálculo en cada simulación (ver figuras 57 y 58). Los elementos metálicos de la cruceta ajenos a los conductores de fase se han considerado conductores ideales con potencial igual a cero (conectados a tierra).

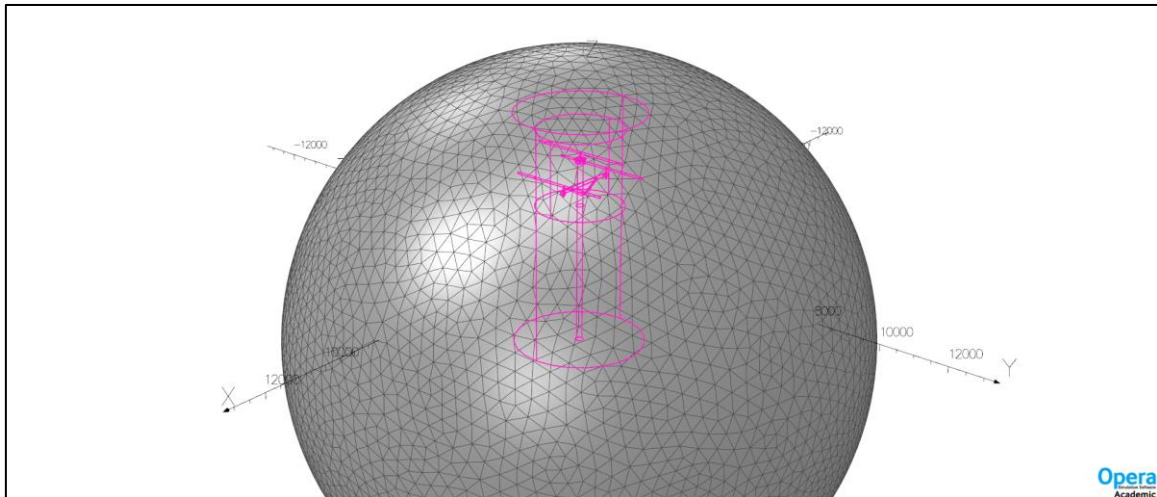


Fig. 57: Mallado modelo electrostático

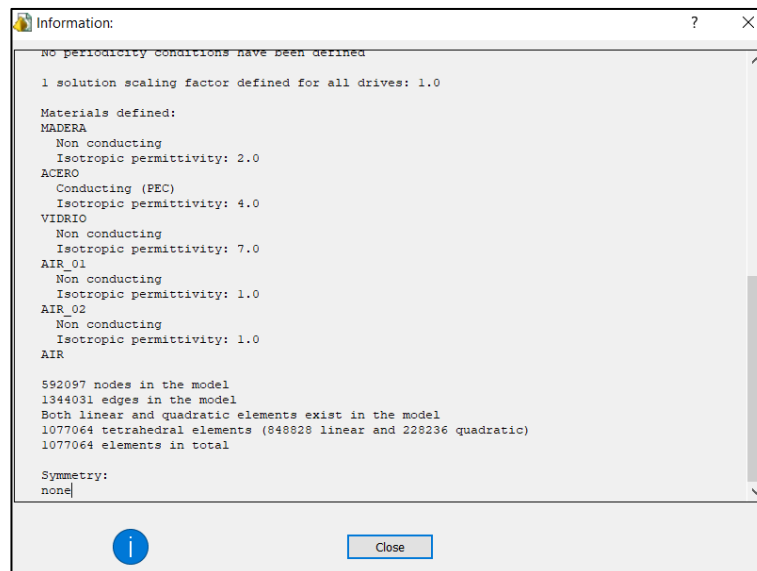


Fig. 58: Resultados modelo electrostático

4. MODELO MAGNETOSTÁTICO

El análisis de campos magnéticos en el apoyo se ha llevado a cabo con la opción de simulación “Magnetostatic” que permite Opera [6]. Se van a realizar 6 simulaciones con este modelo para analizar los casos más desfavorables a lo largo de la onda sinusoidal trifásica de la línea, es decir, dos simulaciones para cada una de las fases cuando se encuentren en el pico de la onda.

Para el cálculo de la corriente prevista se va a partir de la tensión del apartado anterior, una potencia de 500 kW y un factor de potencia de 0,9. La corriente máxima de fase introducida en cada una de las simulaciones se calcula según la expresión [2]:

$$I_{rms}(A) = \frac{500 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 17,5 \text{ kV} \cdot 0,9} \cdot \sqrt{2} = 25,92 \text{ A [2]}$$

A modo de resumen, en la Tabla 20 se muestran las seis simulaciones que se han realizado de acuerdo con lo descrito.

	CORRIENTE (A)		
	FASE A	FASE B	FASE C
FASE A (90º)	25,92	-12,96	-12,96
FASE A (270º)	-25,92	12,96	12,96
FASE B (210º)	-12,96	25,92	-12,96
FASE B (30º)	12,96	-25,92	12,96
FASE C (330º)	-12,96	-12,96	25,92
FASE C (150º)	12,96	12,96	-25,92

Tabla 20: Resumen de simulaciones de campo magnético

Para conseguir unos resultados más fieles a la realidad, en el modelo se han creado dos background en forma de prisma para mallar con más exactitud las zonas de interés del apoyo y se han alargado los conductores para que no hubiese interferencias en el cálculo (ver figuras 59 y 60).[13]

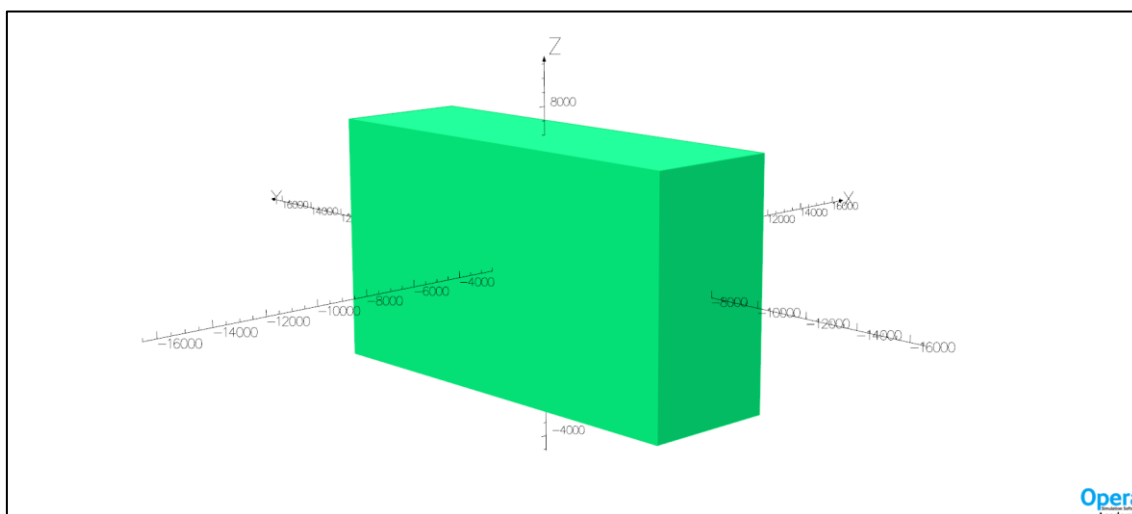


Fig. 59: Background exterior, modelo magnetostático

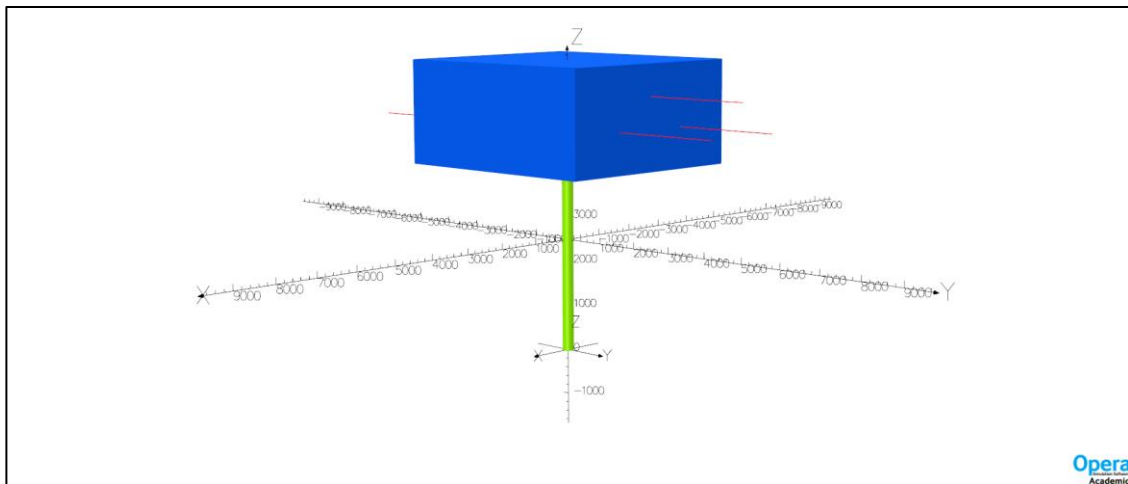


Fig. 60: Background interior, modelo magnetostático

El *background* exterior se ha utilizado para delimitar la zona de estudio alrededor del apoyo y sus inmediaciones, llegando a una profundidad de 1 metro bajo el suelo, ya que el campo magnético no se va a apantallar. El *background* interior se ha utilizado para conseguir una mallado más detallado en las zonas donde es más probable que se pose el AAP, es decir, la cruceta y la zona de los conductores más próximas al apoyo.

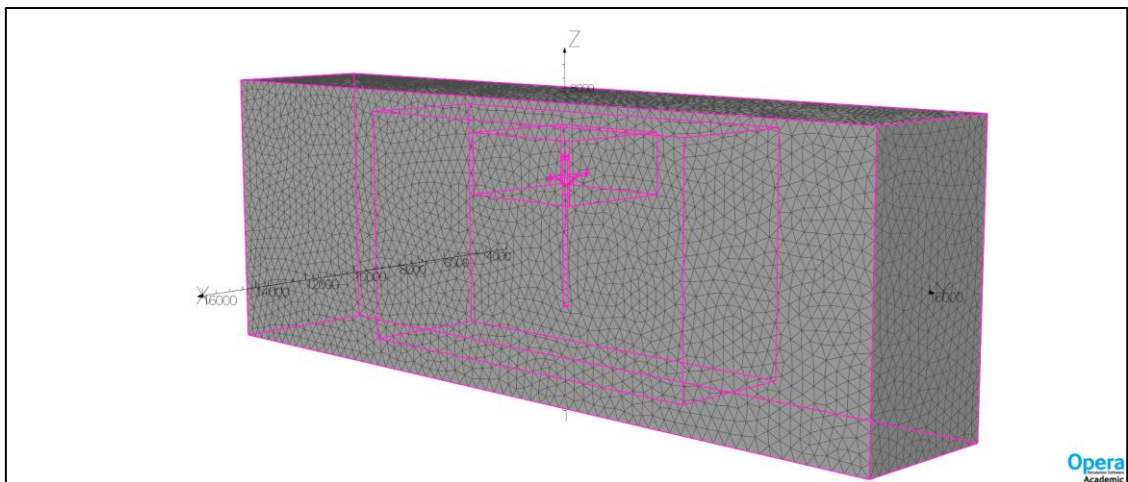


Fig. 61: Mallado modelo magnetostático

El modelo ha sido definido con un mallado que posee 1.046.275 nodos para su posterior cálculo en cada simulación. El cálculo se ha realizado teniendo en cuenta una permeabilidad lineal en los diferentes materiales del apoyo (ver figuras 61 y 62). La permeabilidad del hierro se ha tomado como $\mu_{\text{acero}}=3500\mu_0$.

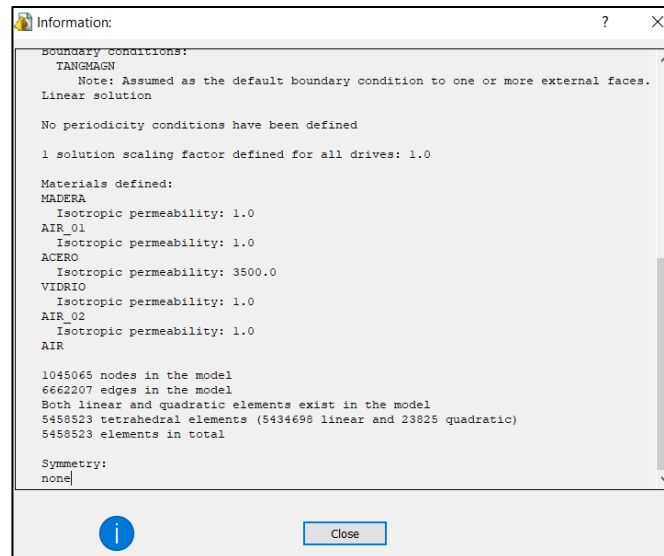


Fig. 62: Resultados modelo magnetostático

5. DISTRIBUCIÓN DE CAMPOS

El software Opera utilizado para simular los campos electromagnéticos en el apoyo y su entorno permite observar la distribución de las líneas de campo que se producen en cada una de las simulaciones. Por ello, se ha creado un plano bidimensional ZX que atraviesa el apoyo, el cual muestra las diferentes direcciones y sentidos de los campos no ionizantes.

5.1 DISTRIBUCIÓN CAMPO ELÉCTRICO

En las figuras 63 y 64 se observa el campo eléctrico producido por los conductores en tensión junto a los vectores de campo que muestran una distribución radial a lo largo del plano. Se ha tomado como referencia las simulaciones en las que la fase central toma el mayor valor de tensión, cuando esta es positiva (Fig.63) y negativa (Fig.64).

A mayor intensidad de campo, el tamaño de los “conos” es mayor, esto ocurre en los puntos más próximos a los conductores. Además, podemos observar cómo dependiendo de la polaridad del conductor, las líneas de campo van en un sentido u en otro.

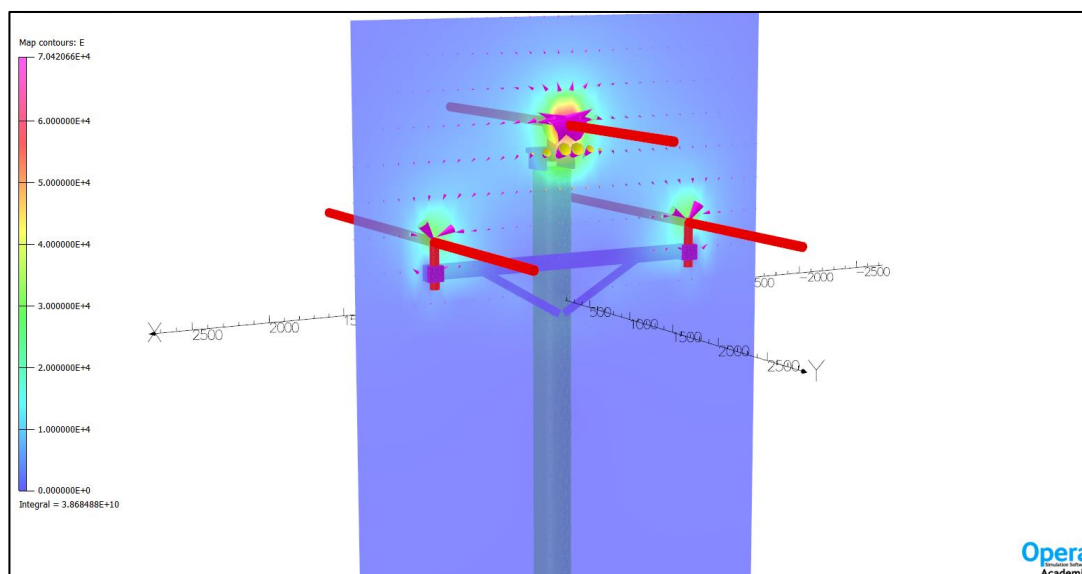


Fig. 63: Distribución campo eléctrico en plano ZX con $y=134$ mm [I]

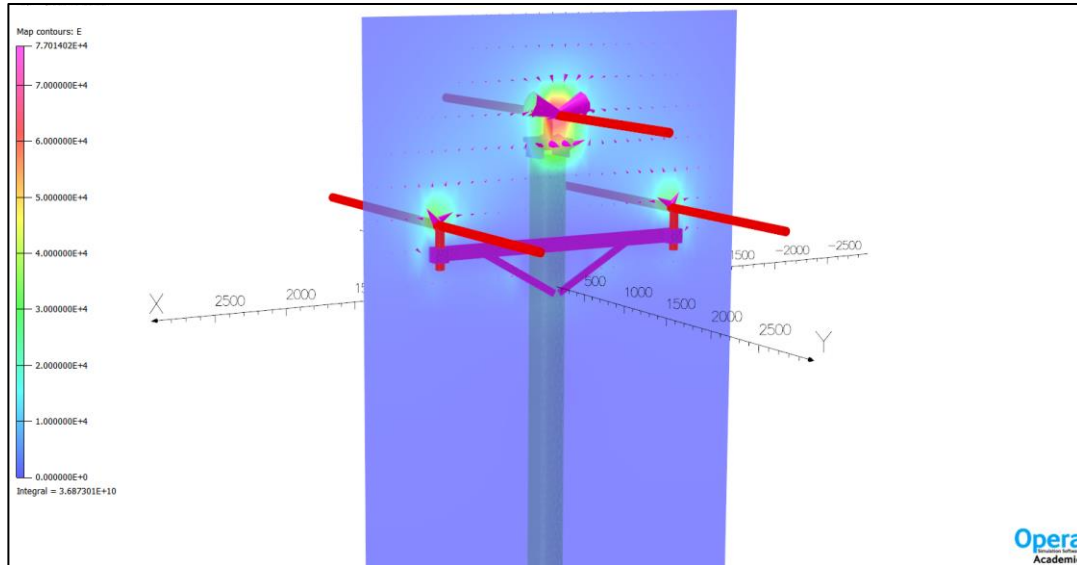


Fig. 64: Distribución campo eléctrico en plano ZX con $y=134$ mm [II]

5.2 DISTRIBUCIÓN CAMPO MAGNÉTICO

En las figuras 65 y 66 se observa el campo magnético producido por los conductores junto a los vectores de campo que toman un sentido u otro dependiendo del sentido de la corriente. Se ha tomado como referencia las simulaciones en las que la fase central toma el mayor valor de corriente, cuando esta es positiva (Fig.65) y negativa (Fig.66).

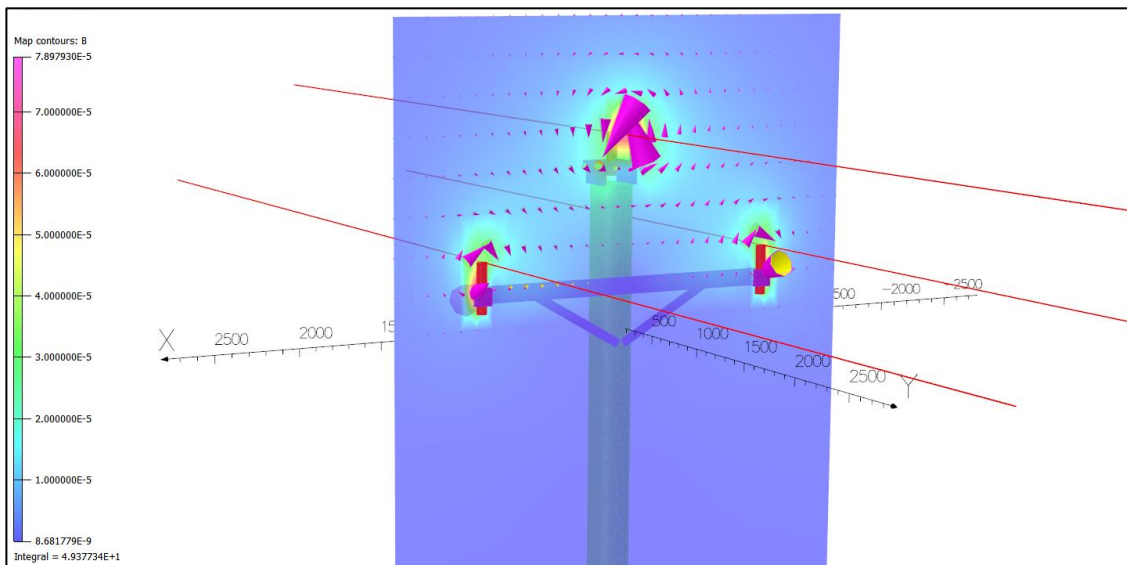


Fig. 65: Distribución campo magnético en plano ZX con $y=180$ mm [I]

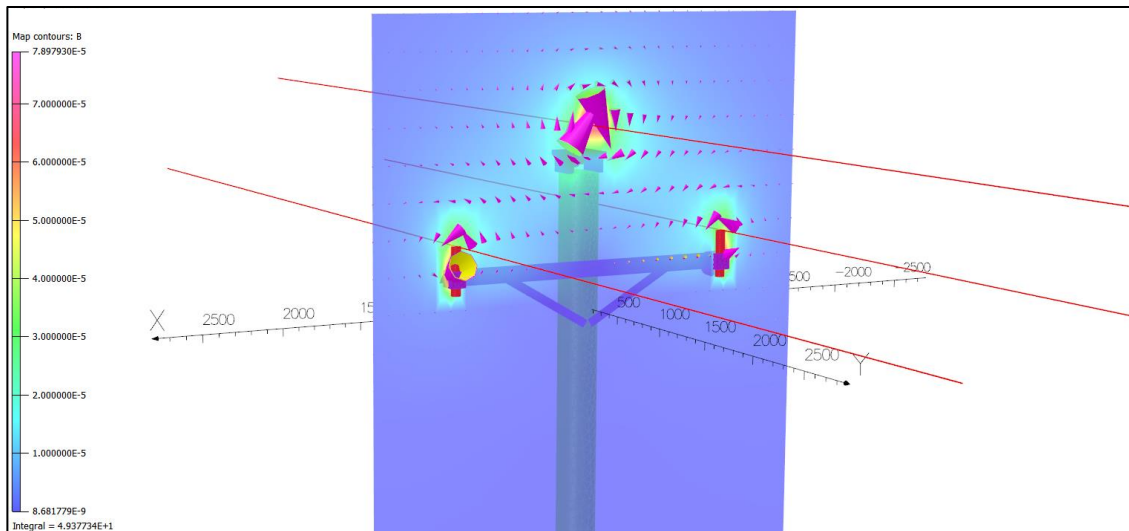


Fig. 66: Distribución campo magnético en plano ZX con $y=180$ mm [II]