



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución
en líneas eléctricas de alta tensión.**

Autor: D. Juan Luis Higuera Fernández.

Tutor: D. Ángel L. Zorita Lamadrid.

Valladolid, Julio, 2022



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución
en líneas eléctricas de alta tensión.**

Autor: D. Juan Luis Higuera Fernández.

Tutor: D. Ángel L. Zorita Lamadrid.

Valladolid, julio, 2022

RESUMEN

En el marco del plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, el Gobierno de España ha aprobado una serie de ayudas para la corrección de apoyos de tendidos eléctricos de alta tensión de 2ª y 3ª categoría con el objetivo de que estos cumplan con el Real Decreto 1432/2008 de protección de la avifauna. Este trabajo de fin de máster plantea una serie de soluciones técnicas para que los apoyos de tendidos eléctricos de creación posterior a la entrada en vigor de dicha normativa, así como los previamente existentes cumplan con lo dispuesto en el Real Decreto.

Palabras clave: Electrocutión, colisión, avifauna, alta tensión, tendidos.

ABSTRACT

Within the framework of the Recovery, Transformation and Resilience plan, the Government of Spain has approved a series of grants for the correction of supports for 2nd and 3rd category high-voltage power lines with the aim that they satisfy with Royal Decree 1432 /2008 for the protection of birds. This master's thesis proposes a series of technical solutions so that the supports for power lines created after the entry into force of said regulations, as well as those previously existing, comply with the provisions of the Royal Decree.

Key words: Electrocutation, collision, avifauna, high voltage, power lines

Índice

Capítulo 1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Justificación del proyecto	1
1.2	Objetivos.....	1
1.3	Estado de la técnica	1
1.4	Estructura y contenido del trabajo.....	2
Capítulo 2	MARCO LEGISLATIVO Y TÉCNICO	3
2.1	VISIÓN GLOBAL DEL PROBLEMA.....	3
2.2	IMPORTANCIA EN LA AGENDA PÚBLICA	3
2.3	CONTEXTO LEGISLATIVO SOBRE LA ELECTROCUCIÓN	4
2.4	ACTUALIDAD DEL TEMA A TRATAR	4
2.5	RD 1432/2008.....	5
2.5.1	Medidas contra la electrocución.....	6
2.5.2	Medidas contra la colisión	7
2.6	Recomendaciones técnicas para la corrección de los apoyos eléctricos del riesgo de electrocución de aves.....	8
Capítulo 3	Constitución de los tendidos eléctricos de alta tensión con conductores desnudos	9
3.1	Tipologías de apoyos más comunes	13
3.1.1	Apoyos con aisladores rígidos	13
3.1.2	Apoyos con cruceta tipo bóveda.....	14
3.1.3	Apoyos con cruceta en plano horizontal.....	15
3.1.4	Apoyos en tresbolillo.....	16
3.1.5	Apoyos con derivaciones, fusibles, OCR o seccionador	17
3.1.6	Apoyos de fin de línea	18
Capítulo 4	Soluciones tipo propuestas que cumplan la legislación en lo relativo a la electrocución.....	21
4.1	Criterios de elección de las propuestas.....	21
4.2	Correcciones generales independientes de la tipología de los apoyos	21
4.2.1	Distancias de seguridad.....	21
4.2.2	Aislamientos	25
4.3	Soluciones específicas para cada tipología de apoyo.....	31
4.3.1	Apoyos con aisladores rígidos	31
4.3.2	Apoyos con cruceta tipo bóveda.....	32
4.3.3	Apoyos con cruceta en plano horizontal.....	34
4.3.4	Apoyos en tresbolillo.....	34
4.3.5	Apoyos con derivaciones, fusibles, OCR o seccionador	35

4.3.6	Apoyos de fin de línea	36
4.4	Disuasores de posada	37
4.5	Aspectos económicos	39
Capítulo 5	Soluciones propuestas que cumplan la legislación en lo relativo a la colisión ..	41
5.1	Soluciones que se ajustan al Real Decreto 1432/2008	41
5.1.1	Espirales.....	41
5.1.2	Dos tiras en X.....	42
Capítulo 6	Conclusiones.....	43
6.1	Valoración de los objetivos iniciales.....	43
6.2	Conclusiones principales	43
Bibliografía	45

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación del proyecto

La red eléctrica en España y en el mundo es cada vez más extensa debido a la creciente demanda energética que existe en nuestra sociedad. Esto implica que, al ocupar cada vez más espacios, la fauna silvestre se vea afectada. En el caso concreto de la red eléctrica de alta tensión, las especies más afectadas por su construcción y su explotación son las aves. En la actualidad, la electrocución y la colisión con tendidos eléctricos son una de las principales causas de muerte no natural en la avifauna.

Tras la crisis económica provocada por la Covid-19, la Unión Europea ha diseñado un plan de recuperación para la eurozona conocido como NextGenerationEU con una Europa más ecológica, digital y resiliente en el horizonte. En España estos fondos NextGenerationEU se cristalizan, concretan y canalizan mediante el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Gracias a estos fondos, las comunidades autónomas contarán con una gran inversión que permitirá la financiación de las correcciones pertinentes para reducir la mortalidad de la avifauna causadas por la electrocución en los tendidos.

La legislación vigente específica que trata la materia de la protección de la avifauna es principalmente el RD 1432/2008, del que se hablará de forma detallada en capítulos posteriores.

Este proyecto busca dar soluciones técnicas concretas sobre cómo hacer que se cumpla la legislación actual en materia de protección de la avifauna.

1.2 Objetivos

Bajo las premisas mencionadas en el apartado anterior se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- i. Analizar en profundidad el marco legislativo relativo a la protección de la avifauna.
- ii. Caracterizar los tipos de apoyos más comunes en las líneas aéreas de alta tensión.
- iii. Obtener propuestas con soluciones efectivas que cumplan la legislación.
- iv. Ofrecer un documento de utilidad para los propietarios de apoyos en líneas eléctricas.

1.3 Estado de la técnica

A la hora del diseño de los tendidos eléctricos, los factores que más importancia han tenido son la eficiencia del sistema y los costes de implementar esta tecnología. Como suele ser habitual en la industria, estos dos factores son los que guían el desarrollo de los tipos de apoyos y conductores a utilizar. Además, la legislación que los afecta se ha desarrollado sobre todo desde el punto de vista electrotécnico.

A lo largo de los últimos años, el impacto ambiental y social que provocan las infraestructuras, en este caso, los tendidos eléctricos, ha ido cobrando cada vez más importancia, por lo que esa legislación que se centraba de forma casi exclusiva en las características técnicas y electrotécnicas de las instalaciones eléctricas se ha ido completando con medidas de protección para las personas y el medio ambiente.

Hoy en día, al encontrarnos un tendido eléctrico de alta tensión, lo normal es que este no esté adaptada a la legislación de avifauna, por lo que en la mayoría de los casos estamos hablando de infraestructuras peligrosas para las aves que las utilizan para posarse.

Los diseños más peligrosos son aquellos que afectan de forma más directa a las zonas que las aves utilizan para posarse, es decir, aquellas infraestructuras con elementos en tensión sobre las crucetas. Algunos de los diseños más peligrosos son:

- Uso de aisladores de tipo rígido.
- Uso de puentes por encima de las crucetas.
- Posicionamiento de elementos de protección o maniobra en planos superiores al de la cruceta.

1.4 Estructura y contenido del trabajo

Para el desarrollo de los objetivos planteados se va a seguir la siguiente estructura:

- El **Capítulo 1**, en el que se encuentra el lector en la actualidad, se pretende contextualizar a quien lo lee sobre lo que se va a encontrar en los sucesivos capítulos de una forma global.
- El **Capítulo 2** se centra en la explicación detallada del marco legislativo en el que se engloba el trabajo además del marco técnico en el que se mueve la legislación.
- El **Capítulo 3** contendrá toda la información relacionada con cómo se constituyen los apoyos de las líneas eléctricas de alta tensión y cuáles son las configuraciones más usuales.
- El **Capítulo 4** incluirá las soluciones propuestas para que se cumpla con la legislación vigente de la forma más efectiva en lo relativo a la electrocución.
- El **Capítulo 5** incluirá las soluciones propuestas para que se cumpla con la legislación vigente en materia de colisión.
- El **Capítulo 6** detallará las conclusiones derivadas del trabajo.

Capítulo 2 MARCO LEGISLATIVO Y TÉCNICO

2.1 VISIÓN GLOBAL DEL PROBLEMA

Como se expone en la introducción del proyecto, el uso de la energía eléctrica como medio de transporte energético está en constante crecimiento por las ventajas que ofrece este tipo de tecnología a la hora de minimizar las pérdidas en el transporte desde los centros de generación a los centros de consumo.

Este transporte de larga distancia, ya que normalmente los centros de generación y consumo no se encuentran en los mismos lugares, hace necesario el uso de sistemas eléctricos de potencia que permitan suministrar, transferir y usar la electricidad generada.

Existen dos formas de diseño de líneas eléctricas de alta tensión: aérea y subterránea. Para el transporte de energía a largas distancias generalmente se utiliza la primera de las opciones puesto que el coste de este tipo de instalaciones es mucho menor que en el caso de las subterráneas. Sin embargo, el impacto socioambiental que se deriva de las líneas aéreas de alta tensión es mucho mayor.

El impacto social que estas generan en las comunidades que atraviesan este tipo de infraestructuras (construcción en terrenos de siembra, paso de los tendidos sobre naves o viviendas...) puede ser importante, sin embargo, este trabajo se centra en las consecuencias ambientales que se generan por la implantación de líneas aéreas de alta tensión, concretamente en las consecuencias para la avifauna.

La demanda energética es cada vez mayor en todo el mundo y también lo es en España. Las implicaciones directas de este aumento de las necesidades energéticas son la construcción de un mayor número de tendidos de alta tensión. Por tanto, al ocupar más espacios en el entorno natural, las especies de la fauna silvestre se ven directamente afectadas puesto que su hábitat se ve transformado. Como es lógico, al tratarse de tendidos aéreos, las especies más afectadas son las aves.

En la actualidad, entre las principales causas de mortandad no natural de aves se encuentran la electrocución y la colisión ocasionadas por las líneas eléctricas de alta tensión. Este problema se acentúa en el caso de especies protegidas suponiendo un peligro muy importante para su conservación.

2.2 IMPORTANCIA EN LA AGENDA PÚBLICA

La conservación del medio ambiente es una preocupación que actualmente se encuentra en el centro de la política institucional y popular debido al calentamiento global y el cambio climático.

A nivel mundial se han redactado protocolos como el Protocolo de Kioto en 1997 o el acuerdo de París en 2015 que ponen de manifiesto la intención de tratar los problemas que afectan al medio ambiente.

Dentro de este contexto de preocupación por el medio ambiente, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó en 2015 la “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”¹ como “plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad”. Entre los 17 objetivos que plantea este plan, el número 15 trata sobre “Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad”. Más concretamente, la Meta 15.5 habla de “Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de diversidad biológica y, para 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción”. La agenda 2030 ha sido asumida por España por lo que las políticas que se desarrollen deben seguir este camino marcado por la ONU.

En el ámbito estatal, la Carta Magna en su artículo 45 habla sobre el deber de todos los españoles de conservar el medio ambiente. Además, España en 1979 se adhirió y posteriormente ratificó el Convenio de Berna relativo a la Conservación de la Vida Silvestre y del Medio Natural en Europa que busca entre otras cosas la adopción de medidas para la conservación de las especies silvestres.

2.3 CONTEXTO LEGISLATIVO SOBRE LA ELECTROCUCIÓN

En este contexto internacional de compromiso con la conservación de las especies silvestres y de sus ecosistemas, se enmarca el conocido como “Convenio de Bonn” o “Convención sobre las Conservación de las Especies Migratorias” en el que la Resolución 7.4 habla sobre la electrocución de aves migratorias y de las graves implicaciones que esto tiene, además de instar a los estados a la solución de este problema.

La legislación española que trata estas medidas contra la electrocución es el “Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución de líneas aéreas de alta tensión”, redactado en consecuencia de la Ley 42/2007 y las Leyes 21/1992 de Industria y 54/1997 de Regulación del Sector Eléctrico.

Este RD 1432/2008 será el eje central del presente trabajo a partir del cual se desarrollarán las diferentes soluciones técnicas.

2.4 ACTUALIDAD DEL TEMA A TRATAR

La Unión Europea ha diseñado un plan de recuperación tras la crisis de la Covid-19 para la eurozona conocido como NextGenerationEU. Este plan de inversión busca conseguir una Europa más ecológica, digital y resiliente después de la crisis económica y social derivada de la pandemia. En España estos fondos NextGenerationEU se cristalizan, concretan y canalizan mediante el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Estos fondos prevén un gran desembolso de dinero que permitirá financiar las correcciones de acuerdo con el RD 1432/2008 para reducir la mortalidad de la avifauna causada por la electrocución y la colisión con los tendidos.

¹Naciones Unidas. *Objetivos de desarrollo sostenible. Objetivo 15.* [https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/. Consulta de 15-04-2022]

Los fondos dedicados al cumplimiento del real decreto irán destinados a la corrección de tendidos existentes y no a la construcción de nuevos tendidos.

Con la llegada de esta financiación, aproximadamente 14 millones² de euros solo para Castilla y León, el número de infraestructuras que pueden ser subvencionadas crece exponencialmente, por lo que la existencia de diferentes diseños de apoyos de alta tensión implica tener que tomar soluciones diferentes para cada uno de esos diseños.

2.5 RD 1432/2008³

Como se ha comentado con anterioridad, este Real Decreto, aprobado el 29 de agosto de 2008 en Consejo de Ministros, tiene como objeto el establecimiento de normas de carácter técnico para la reducción de los riesgos de electrocución y colisión para la avifauna.

El ámbito de aplicación de esta normativa recogido en el artículo 3 de la misma hace referencia a las líneas eléctricas de alta tensión con conductores desnudos ubicados en zonas de protección, diferenciando dos tipos de supuestos:

1. “Líneas eléctricas aéreas de alta tensión con conductores desnudos ubicadas en zonas de protección, que sean de nueva construcción, o que no cuenten con un proyecto de ejecución aprobado a la entrada en vigor de este real decreto, así como las ampliaciones o modificaciones de las líneas eléctricas de alta tensión ya existentes.”
2. “Líneas eléctricas aéreas de alta tensión con conductores desnudos existentes a su entrada en vigor, ubicadas en zonas de protección, siendo obligatorias las medidas de protección contra la electrocución y voluntarias las medidas de protección contra la colisión.”

Las zonas de protección a las que se hace referencia en los párrafos anteriores se especifican en el artículo 4 del real decreto y son las siguientes:

1. “Los territorios designados como Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA)”.
2. “Los 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”.
3. “Las 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”.

² Avances del plan de recuperación, transformación y resiliencia, pp.45; Agenda 2030: Gobierno de España [<https://planderecuperacion.gob.es/sites/default/files/2022-01/Mapa-interactivo-ccaa-31-diciembre-2021.pdf>]. Consulta de 29-04-2022]

³ Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión; Ministerio de la Presidencia; «BOE» núm. 222, de 13 de septiembre de 2008; Referencia: BOE-A-2008-14914.

Las líneas eléctricas objetivo de este real decreto deberán cumplir lo establecido en el mismo sin perjuicio de la normativa electrotécnica que también les sea aplicable.

2.5.1 Medidas contra la electrocución

Las medidas establecidas en el artículo 6 del real decreto recogen aquellas relacionadas con la electrocución. En este caso las líneas eléctricas a las que se aplica son las de 2ª categoría (tensión nominal igual o inferior a 66 kV y superior a 30 kV) y 3ª categoría (tensión nominal igual o inferior a 30 kV y superior a 1 kV) con conductores desnudos. Las prescripciones que se aplican son las siguientes:

- a) “Las líneas se han de construir con cadenas de aisladores suspendidos, evitándose en los apoyos de alineación la disposición de los mismos en posición rígida”.
- b) “Los apoyos con puentes, seccionadores, fusibles, transformadores de distribución, de derivación, anclaje, amarre, especiales, ángulo, fin de línea, se diseñarán de forma que se evite sobrepasar con elementos en tensión las crucetas o semicrucetas no auxiliares de los apoyos. En cualquier caso, se procederá al aislamiento de los puentes de unión entre los elementos en tensión”.
- c) “En el caso del armado canadiense y tresbolillo (atirantado o plano), la distancia entre la semicruceta inferior y el conductor superior no será inferior a 1,5 m”.
- d) “Para crucetas o armados tipo bóveda, la distancia entre la cabeza del fuste y el conductor central no será inferior a 0,88 m, o se aislará el conductor central 1 m a cada lado del punto de enganche”.
- e) “Los diferentes armados han de cumplir unas distancias mínimas de seguridad «d», tal y como se establece en el cuadro que se contiene en el anexo. Las alargaderas en las cadenas de amarre deberán diseñarse para evitar que se posen las aves. En el caso de constatarse por el órgano competente de la comunidad autónoma que las alargaderas y las cadenas de amarre son utilizadas por las aves para posarse o se producen electrocuciones, la medida de esta distancia de seguridad no incluirá la citada alargadera”.
- f) “En el caso de crucetas distintas a las especificadas en el cuadro de crucetas del apartado e), la distancia mínima de seguridad «d» aplicable será la que corresponda a la cruceta más aproximada a las presentadas en dicho cuadro”.

2.5.2 Medidas contra la colisión

En cuanto a las medidas de prevención contra la colisión, establecidas en el artículo 7, se recogen las siguientes prescripciones siendo las líneas objetivo todas aquellas líneas eléctricas aéreas de alta tensión de nueva construcción que cuenten con conductores desnudos:

- a) “Los nuevos tendidos eléctricos se proveerán de salvapájaros o señalizadores visuales cuando así lo determine el órgano competente de la comunidad autónoma”.
- b) “Los salvapájaros o señalizadores visuales se han de colocar en los cables de tierra. Si estos últimos no existieran, en las líneas en las que únicamente exista un conductor por fase, se colocarán directamente sobre aquellos conductores que su diámetro sea inferior a 20 mm. Los salvapájaros o señalizadores serán de materiales opacos y estarán dispuestos cada 10 metros (si el cable de tierra es único) o alternadamente, cada 20 metros (si son dos cables de tierra paralelos o, en su caso, en los conductores). La señalización en conductores se realizará de modo que generen un efecto visual equivalente a una señal cada 10 metros, para lo cual se dispondrán de forma alterna en cada conductor y con una distancia máxima de 20 metros entre señales contiguas en un mismo conductor. En aquellos tramos más peligrosos debido a la presencia de niebla o por visibilidad limitada, el órgano competente de la comunidad autónoma podrá reducir las anteriores distancias”.

Las dimensiones mínimas que han de tener los salvapájaros o señalizadores son las siguientes:

- Espirales: Con 30 cm de diámetro × 1 metro de longitud.
- De 2 tiras en X: De 5 × 35 cm.”.
- Otros dispositivos que el órgano competente de la comunidad autónoma autorice.

En el caso de que el diámetro propio de los cables de tierra y los cables adosados al mismo, si existiesen, no sea inferior a 20 mm, se puede prescindir del uso de las protecciones anticolidión especificadas anteriormente.

2.6 Recomendaciones técnicas para la corrección de los apoyos eléctricos del riesgo de electrocución de aves⁴

Este documento redactado en junio de 2018 por el Ministerio para la Transición Ecológica tiene como objeto definir el modo de ejecución de las medidas contra la electrocución presentes en el Real Decreto 1432/2008. De esta forma el ministerio pretende acotar las soluciones técnicas y aclarar aquellas medidas que han considerado que no lo están lo suficiente. Además, recoge medidas adicionales de corrección que amplían y mejoran la protección contra la electrocución. El documento se plantea en forma de tablas, en las que se recogen tanto la interpretación de las medidas del real decreto como dichas recomendaciones adicionales para cada uno de los artículos de la normativa de protección contra la electrocución. Estas tablas se encuentran recogidas en el Anexo 1.

Además de las medidas particulares para cada artículo del RD 1432/2008 que recoge el Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO) en dicho documento, existen una serie de recomendaciones generales para que dichas medidas sean realmente efectivas:

- Priorización de soluciones de carácter estructural frente a soluciones de aislamiento debido a su mayor eficacia a largo plazo.
- Prestar atención a la hora de realizar los montajes de los preformados para que se efectúen de la manera correcta y que no haya desplazamientos que pongan en riesgo la efectividad.
- Uso de materiales con mayor durabilidad y certificados.
- En crucetas que se asemejen a tipo bóveda se aislarán las fases extremas si no se garantiza la distancia mínima de seguridad.

⁴ Recomendaciones técnicas para la corrección de los apoyos eléctricos del riesgo de electrocución de aves, para la adaptación de las líneas eléctricas al R.D. 1432/2008; Ministerio para la Transición Ecológica; junio de 2018.

Capítulo 3 Constitución de los tendidos eléctricos de alta tensión con conductores desnudos

Los tendidos eléctricos de alta tensión están constituidos, en general, por los conductores y los apoyos, que sostienen tanto a estos como al resto de dispositivos presentes en los sistemas eléctricos de potencia.

La configuración de los tendidos eléctricos depende de muchos factores como pueden ser el número de conductores a utilizar, el número de circuitos que pasan por el tendido, la morfología del terreno, la función que realiza el apoyo, el trazado de la línea, etc.

En el caso de los tendidos de alta tensión por lo general se hablará de líneas trifásicas (3 conductores), aunque en tendidos antiguos pueden encontrarse líneas con tan solo dos conductores. En este escrito debido a la generalidad de esta disposición, se hablará tan solo de líneas aéreas de alta tensión con conductores desnudos trifásicas.

Existen diferentes tipos de formas para clasificar los apoyos según sus características:

- **Según su función**⁵:
 - **Atendiendo al tipo de cadena de aislamiento y su función en la línea:**
 - Apoyo de suspensión → Usa cadenas de aisladores en suspensión.
 - Apoyo de amarre → Usa cadena de aisladores en posición de amarre, es decir, en el mismo plano del punto de unión con la cruceta del apoyo.
 - Apoyo de anclaje → Usa cadena de aisladores de amarre con el objetivo de proporcionar un punto firme en la línea y evitar de esta forma la propagación de esfuerzos longitudinales excepcionales.
 - Apoyo de principio o fin de línea → Se trata de los apoyos primero y último de la línea y su función es soportar las solicitaciones longitudinales de los conductores. Usan cadenas de aisladores de amarre.
 - Apoyos especiales → Aquellos con funciones diferentes a las mencionadas.

⁵ Instrucción Técnica Complementarias, ITC-LAT 07, Ministerio de industria, energía y turismo.



Ilustración 1. Apoyos de suspensión, amarre y fin de línea de izquierda a derecha.

- **Atendiendo a suposición relativa respecto al trazado de la línea:**
 - Apoyo de alineación → Se utiliza en tramos rectilíneos de la línea.
 - Apoyo de ángulo → Se coloca en los puntos en los que la línea forma un ángulo en su trazado.

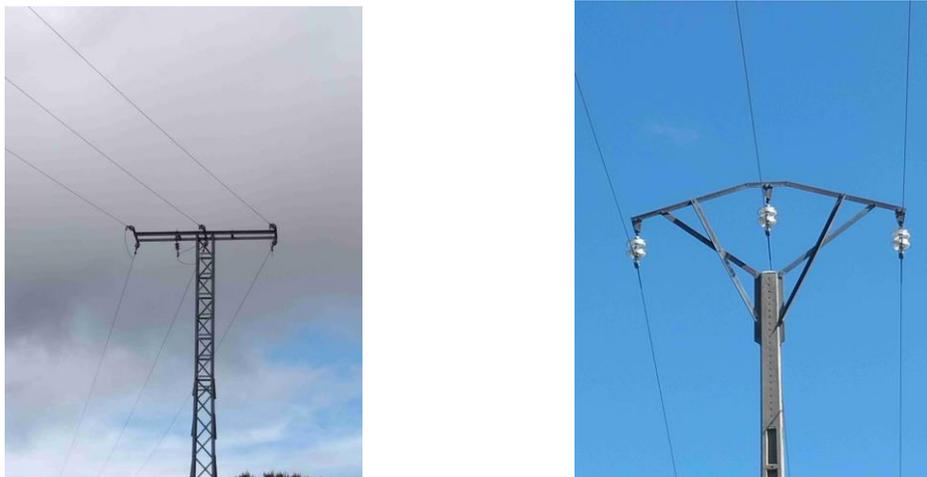


Ilustración 2. Apoyos de ángulo y de alineación de izquierda a derecha.

- **Según el voltaje de la línea⁶:**
 - Categoría especial → Tensión nominal igual o superior a 220 kV y aquellas que formen parte de la red de transporte.
 - Primera categoría → Tensión nominal inferior a 220 kV y mayor que 66 kV.

⁶ 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 complementarias ITC-LAT 01 a 09; Ministerio de Industria, Turismo y Comercio; «BOE» núm. 68, de 19 de marzo de 2008; Referencia: BOE-A-2008-5269.

- Segunda categoría → Tensión nominal igual o inferior a 66 kV y mayor que 30 kV.
- Tercera categoría → Tensión nominal igual o inferior a 30 kV y superior a 1 kV.
- **Según el número de circuitos:**
 - Simple circuito
 - Doble circuito



Ilustración 3. Apoyo de doble circuito.

- **Según la disposición de los conductores:**

- Triángulo
- Plano

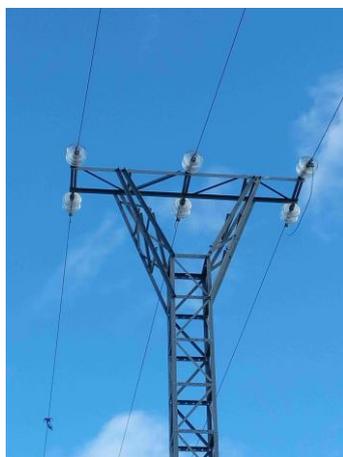


Ilustración 4. Armado plano y armado en triángulo de izquierda a derecha.

- **Según el tipo de aislador:**

- Apoyo con aisladores en suspensión
- Apoyo con aisladores en cadena de amarre
- Apoyo con aisladores rígidos



Ilustración 5. Aisladores rígidos, suspensión y amarre de izquierda a derecha.

- **Según la posición de los puentes flojos:**

- Por encima de la cruceta
- Por debajo de la cruceta



Ilustración 6. Puente central por encima y puentes por debajo de izquierda a derecha.

Las líneas eléctricas a las que se le aplica en Real Decreto 1432/2008 en su artículo sobre las medidas de protección frente a la electrocución son aquellas correspondientes, según su voltaje, a segunda y tercera categoría. Por lo tanto, a la hora de hablar de los tipos de apoyos más comunes en este documento, se hablará de las configuraciones más usuales para los apoyos de tendidos de esas categorías.

Las distintas clasificaciones anteriormente citadas, generan una gran variedad de tipologías de apoyos de alta tensión. Durante las siguientes páginas del capítulo, se pretende mostrar

las configuraciones más usuales con los incumplimientos más comunes en lo relativo al Real Decreto 1432/2008.

3.1 Tipologías de apoyos más comunes

La tecnología y los materiales a utilizar a la hora del diseño de apoyos que sustenten los tendidos eléctricos de alta tensión han ido evolucionando a lo largo del tiempo. Esto hace que la variedad de tipologías presentes a lo largo de la geografía de Castilla y León, y del resto de España sea muy amplia. Además, las diferentes funciones que realizan los apoyos a lo largo de las líneas eléctricas, los diferentes ingenieros encargados del diseño de los tendidos y el amplio abanico de empresas dedicadas a la fabricación, instalación y mantenimiento de las líneas hacen que las posibles soluciones que finalmente se construyen sean muy variadas.

A pesar de que por estas razones existen muchos tipos de apoyos, en este escrito se van a categorizar de tal forma que se recojan las más ampliamente utilizadas.

3.1.1 Apoyos con aisladores rígidos

Apoyo con aisladores rígidos	Características	Descripción
	<p><u>Configuración más usual</u></p>	<p>Este tipo de apoyos son aquellos cuyos aisladores se colocan en un plano superior a la cruceta principal de tal forma que soportan sobre ellos el peso del conductor.</p>
	<p><u>Materiales</u></p>	<p>En su configuración más usual, utilizan apoyos de hormigón combinados con crucetas de madera sobre las que se posan los aisladores.</p>
	<p><u>Aisladores</u></p>	<p>Los aisladores suelen ser de vidrio (aunque puede haberlos cerámicos) y consisten en un plato sobre el que se posa el conductor.</p>
	<p><u>Puentes</u></p>	<p>No utilizan puentes flojos pero el conductor pasa por encima de la cruceta.</p>
	<p><u>Medidas del RD 1432/2008 que suelen incumplir</u></p>	<p>El real decreto prohíbe el uso de este tipo de apoyos por la presencia de los aisladores rígidos ya que se encuentran por encima de la cruceta principal.</p>

3.1.2 Apoyos con cruceta tipo bóveda

Apoyos con cruceta tipo bóveda	Características	Descripción
 	<p><u>Configuración más usual</u></p>	<p>Se denominan así por la configuración de la cruceta que tiene una forma muy característica en la que el conductor central atraviesa la misma por un hueco que existe en su parte media.</p>
	<p><u>Materiales</u></p>	<p>Para apoyos de alineación, se utilizan apoyos de hormigón combinados con crucetas de metálicas.</p> <p>En el caso de apoyos angulares o de anclaje, suelen estar formados por un apoyo y cruceta metálicos en celosía para soportar mayores tensiones.</p>
	<p><u>Aisladores</u></p>	<p>Normalmente se colocan cadenas de platos de vidrio y pueden hacerlo en forma de cadena de amarre o en suspensión dependiendo de la función del apoyo.</p>
	<p><u>Puentes</u></p>	<p>Llevan puentes flojos cuando los aisladores se colocan en cadena de amarre. En estos casos el puente pasa por el hueco de la bóveda.</p>
	<p><u>Medidas del RD 1432/2008 que suelen incumplir</u></p>	<p>Para cumplir el real decreto este tipo de apoyos deben cumplir:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Una distancia entre la parte superior de la cruceta y la grapa que une el conductor y la cadena de aisladores (sin contar las dimensiones de la grapa) de 0,6 m en caso de aisladores en suspensión y de 1 m para el caso de aisladores en cadena de amarre. Normalmente no se cumple. ○ Una distancia de 0,88 m entre la cabeza del fuste y el conductor (aisladores en suspensión) o el punto más bajo del puente flojo (aisladores en cadena de amarre). Normalmente no se cumple. ○ Aislamiento del puente central en el caso de aisladores en cadena de amarre y de 1 m a cada lado de la grapa con los aisladores en suspensión. Normalmente no se cumple.

3.1.3 Apoyos con cruceta en plano horizontal

Apoyos con cruceta en plano horizontal	Características	Descripción
	<p><u>Configuración más usual</u></p>	<p>Consisten en una cruceta horizontal que utiliza aisladores en cadena de amarre.</p>
	<p><u>Materiales</u></p>	<p>En su configuración más usual, utilizan apoyos de hormigón o metálicos en celosía combinados con crucetas también metálicas desde las que arrancan los aisladores.</p>
	<p><u>Aisladores</u></p>	<p>Se colocan en cadenas de platos de vidrio en posición de amarre.</p>
	<p><u>Puentes</u></p>	<p>Los puentes flojos normalmente van por debajo de la cruceta utilizando aisladores auxiliares en suspensión para separarlo del fuste. Sin embargo, existen muchos casos en los que los puentes, especialmente el central, van por encima de la cruceta aumentando la peligrosidad del apoyo para la avifauna.</p>
	<p><u>Medidas del RD 1432/2008 que suelen incumplir</u></p>	<p>Los apoyos en plano horizontal se asemejan a la hora del cumplimiento del real decreto a los apoyos con crucetas tipo bóveda, por lo que las medidas a aplicar serán las mismas que para ese tipo de crucetas. Como ocurre para las “tipo bóveda”, en este caso tampoco se cumplen las medidas en la gran mayoría de los casos.</p> <p>En las ocasiones de que existan puentes flojos por encima de la cruceta, el real decreto establece la prohibición del uso de elementos en tensión en planos superiores al de la cruceta por lo que no estarían permitidos.</p>

3.1.4 Apoyos en tresbolillo

Apoyos en tresbolillo	Características	Descripción
 	<p><u>Configuración más usual</u></p>	<p>Los apoyos en tresbolillo se configuran de tal forma que desde una estructura central surgen dos crucetas hacia un lado y otra hacia el otro formando un triángulo en el plano del apoyo.</p>
	<p><u>Materiales</u></p>	<p>En su configuración más usual, se utilizan apoyos de metal en celosía de los que surgen las crucetas donde se colocan los aisladores.</p>
	<p><u>Aisladores</u></p>	<p>Se colocan en cadenas de platos de vidrio y pueden hacerlo en forma de cadena de amarre o en suspensión.</p>
	<p><u>Puentes</u></p>	<p>Los puentes flojos, en los casos de cadenas de aisladores en posición de amarre, van por debajo de las tres crucetas.</p>
	<p><u>Medidas del RD 1432/2008 que suelen incumplir</u></p>	<p>Para el caso de los apoyos en tresbolillo, el real decreto tiene en cuenta dos distancias:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ La primera relativa a las cadenas de aisladores: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 m en cadena de amarre. ▪ 0,6 en aisladores en suspensión. ○ La segunda distancia a tener en cuenta es la que existe entre la parte más baja del conductor o el puente flojo y la cruceta que sostiene el conductor inferior en el lado de la estructura que cuenta con dos conductores. Esta distancia no debe ser menor de 1,5 m. <p>Normalmente no se suelen cumplir estas distancias.</p> <p>Existen otras configuraciones menos usuales para el rango de tensiones de aplicación del real decreto que, en caso de encontrarse con ellas, se tomarán medidas semejantes a las de los apoyos en tresbolillo. Estas configuraciones son los apoyos de doble circuito y los apoyos en plano vertical.</p>

3.1.5 Apoyos con derivaciones, fusibles, OCR o seccionador

Apoyo con derivaciones, fusibles, OCR o seccionador	Características	Descripción
	<p><u>Configuración más usual</u></p>	<p>Se trata de todo tipo de apoyo que disponga de derivaciones a otras líneas o elementos de maniobra o protección. Todas estas singularidades se suelen colocar en crucetas auxiliares que las sostengan. Este tipo de dispositivos añaden tramos de puentes entre elementos en tensión a cualquier apoyo en el que estén presentes, por lo que aumentan la peligrosidad del apoyo.</p>
	<p><u>Materiales</u></p>	<p>Se pueden encontrar en cualquier tipo de apoyo por lo que los materiales utilizados pueden ser muy variados.</p>
	<p><u>Aisladores</u></p>	<p>Los aisladores en estos caso se disponen en cadena de aisladores en amarre.</p>
	<p><u>Puentes</u></p>	<p>Los puentes pueden ir por encima o por debajo de la cruceta dependiendo de la posición en la que se encuentren colocados estos elementos. Normalmente están dispuestos en crucetas auxiliares que se encuentran por debajo del plano de la cruceta por lo que los puentes irán por debajo también.</p>
	<p><u>Medidas del RD 1432/2008 que suelen incumplir</u></p>	<p>A la hora del cumplimiento del real decreto, el apoyo deberá cumplir las medidas que le afecten según la cruceta de la que dispongan.</p> <p>Además de esas medidas, deberán ir aislados todos los puentes entre elementos en tensión del apoyo y deben estar posicionados por debajo de la cruceta principal.</p>

3.1.6 Apoyos de fin de línea

Cualquier tendido eléctrico sirve para el transporte de energía de unos lugares a otros. Las líneas de segunda y tercera categoría forman parte de la red de distribución y por tanto la electricidad que transportan es utilizada para la actividad humana pero no a la tensión a la que es transportada. Las líneas aéreas de estas categorías, por tanto, tienen dos finales posibles; el primero es un centro de transformación que la convierta en baja tensión (igual o menor a 1 kV) o que simplemente del tendido aéreo se pase a uno subterráneo.

3.1.6.1 Con transformador de intemperie

Apoyo de fin de línea con transformador de intemperie	Características	Descripción
	<p><u>Configuración más usual</u></p>	<p>Este tipo de apoyos son aquellos que sostienen un transformador. Este tipo de apoyos suelen ser de plano horizontal o con la estructura de pórtico. La estructura en pórtico consiste en dos columnas de hormigón que sostienen una cruceta horizontal de metal.</p> <p>Siempre llevan autoválvulas de protección.</p> <p>Muchas veces estos apoyos también cuentan con otros elementos de protección o maniobra.</p>
	<p><u>Materiales</u></p>	<p>Estos apoyos pueden ser completamente metálicos o con el fuste de hormigón y la cruceta metálica.</p>
	<p><u>Aisladores</u></p>	<p>Los aisladores suelen ser de vidrio formando una cadena de amarre.</p>
	<p><u>Puentes</u></p>	<p>Los puentes debido a que el transformador siempre está por debajo de la cruceta principal suelen ir por debajo. Sin embargo, es muy común la instalación de dispositivos de protección como son las autoválvulas por encima de la cruceta haciendo que también existan puentes por encima en esos casos.</p>
	<p><u>Medidas del RD 1432/2008 que suelen incumplir</u></p>	<p>Al igual que para el caso anterior, el apoyo deberá cumplir las medidas que se le apliquen por la cruceta de la que disponga además del aislamiento de puentes y la prohibición de colocar elementos en tensión por encima de la cruceta. Ninguna de estas medidas se suele cumplir.</p>

3.1.6.2 Con paso de aéreo a subterráneo

Apoyo de fin de línea con paso de aéreo a subterráneo	Características	Descripción
 	<p><u>Configuración más usual</u></p>	<p>Se trata de los apoyos en los que existe un paso de línea aérea a subterránea. Suelen ser de plano horizontal.</p> <p>Siempre llevan autoválvulas de protección.</p> <p>En la mayoría de los casos, estos apoyos también cuentan con otros elementos de protección o maniobra.</p>
	<p><u>Materiales</u></p>	<p>Existe una gran variedad de apoyos de este tipo por lo que los materiales son muy diversos.</p>
	<p><u>Aisladores</u></p>	<p>Los aisladores suelen ser de vidrio y en posición de cadena de amarre.</p>
	<p><u>Puentes</u></p>	<p>Los puentes pueden ir por encima o por debajo debido a la posición de las botellas terminales y dependiendo de la posición de las autoválvulas.</p>
	<p><u>Medidas del RD 1432/2008 que suelen incumplir</u></p>	<p>Las medidas a cumplir son las mismas que en el caso de los apoyos con transformadores de intemperie.</p>

Capítulo 4 Soluciones tipo propuestas que cumplan la legislación en lo relativo a la electrocución

Tras la clasificación de las tipologías más comunes de apoyos se va a proceder a la selección de una serie de soluciones técnicas para cada una de las tipologías que se exponen en el capítulo anterior.

4.1 Criterios de elección de las propuestas

A la hora de elegir unas soluciones u otras, en primer lugar, se va a tener en cuenta que cumplan las medidas establecidas en los dos documentos que se mencionan en el “capítulo 2”:

- Real Decreto 1432/2008.
- Documento de recomendaciones técnicas para la corrección de los apoyos eléctricos del riesgo de electrocución de aves.

Es decir, cualquiera de las soluciones que se van a presentar en los siguientes apartados cumplirán lo establecido en ambos documentos.

Además de esos documentos se propondrán correcciones que mejoren lo que se propone en ellos para mejorar la efectividad de las soluciones.

Se priorizarán siempre medidas estructurales, como son las distancias físicas entre elementos, a las medidas más coyunturales como pueden ser los aislamientos o la complementación de ambos tipos de soluciones.

4.2 Correcciones generales independientes de la tipología de los apoyos

Antes de hablar sobre las soluciones concretas para cada una de las tipologías expuestas en el “capítulo 2”, se va a hablar sobre correcciones que tienen que llevarse a cabo en varias tipologías por lo que no son específicas de ninguna de ellas.

4.2.1 Distancias de seguridad

Independientemente del tipo de apoyo que se vaya a corregir, todos ellos deberán cumplir unas distancias mínimas de seguridad que dependerán sobre todo del tipo de aisladores con los que cuente el apoyo.

En el contenido del RD 1432/2008 y del documento de recomendaciones técnicas del Ministerio de Transición Ecológica, las referencias a las distancias que se deben cumplir son claras en cuanto a las distancias, pero no tanto a la hora de como alcanzarlas ya que en ambos se habla de la posibilidad del uso de alargadera siempre que estén diseñadas para que no se posen las aves.

Es por ello, por lo que en todos los casos se va a seguir un criterio común a la hora de elegir la mejor manera de cumplir esas distancias. Las distancias a cumplir están estrechamente relacionadas con las dimensiones y el posicionamiento de las cadenas de aisladores por lo que se van a dividir las soluciones en dos categorías dependiendo del tipo de cadena a utilizar, es

decir, en suspensión o en amarre.

4.2.1.1 Aisladores en suspensión

El caso de los aisladores de cadena en suspensión es el más sencillo de los dos debido a que, por su posicionamiento, es más complicado que se utilicen como elemento de posada.

Por tanto, a la hora de alcanzar los 0,6 m de distancia de seguridad se pueden barajar diferentes opciones:

- Utilización de aisladores de vidrio

Los aisladores de vidrio son los que más abundan en la actualidad en los tendidos eléctricos. Sin embargo, a la hora de cumplir las distancias mínimas para la avifauna pueden surgir algunos problemas.

Este tipo de configuración utiliza platos de vidrio que se unen en forma de cadena, y dependiendo de la tensión nominal del tendido en el que se instalen se utilizarán más o menos platos. Las dimensiones y el diseño de los platos más utilizados se basan en la norma CEI 60305/95 y según lo consultado con algunos fabricantes y proyectos tipo de distribuidoras, el paso de cada uno de estos platos varía entre los 10 y los 15 cm aproximadamente. Esto hace que sea difícil de alcanzar la distancia de seguridad sin el uso de alargaderas.



Ilustración 7. Cadenas de dos, tres y cuatro aisladores de vidrio. Fuente: Catalogo de aparellaje eléctrico Andel.

- Utilización de aisladores poliméricos:

Los aisladores poliméricos, también conocidos como aisladores compuestos, son aisladores conformados por una sola pieza de un material compuesto que suele estar formado por un núcleo de fibra de vidrio y un recubrimiento de silicona. La ventaja principal de estos aisladores, en el ámbito de la avifauna, es la posibilidad de instalar piezas ya diseñadas que cumplan con las distancias mínimas.



Ilustración 8. Cadena de suspensión Modelo CAD36PGS. Fuente: Catálogo EnverTec.

De esta forma y ya que las alargaderas suelen ser metálicas y por esa razón conductoras de electricidad, se van a utilizar, en todas las **soluciones que lleven aisladores en suspensión, los aisladores de tipo polimérico similares al modelo CAD36PGS del catálogo EnverTec.**

4.2.1.2 Aisladores en cadena de amarre

Para el caso de los aisladores de amarre, la distancia mínima de seguridad será de 1 m. Sin embargo, al encontrarse las cadenas en posición horizontal, pueden ser utilizadas por las aves para posarse. En este tipo de disposición también se pueden distinguir entre el uso de aisladores de vidrio y poliméricos:

- Utilización de aisladores de vidrio

Los aisladores de vidrio son los que más abundan en la actualidad en los tendidos eléctricos también en el caso de las cadenas en amarre. Si en el caso de los aisladores en suspensión ya es difícil cumplir los 0,6 m de distancia de seguridad con los platos de vidrio, para este tipo de colocación es aún más complicado debido a que como se ha comentado con anterioridad, la distancia mínima para la avifauna es de 1 m. Por eso a la hora de cumplirlas se deben colocar los aisladores anclados a una chapa metálica antiposada. Esta combinación de platos más alargadera (junto con los herrajes que los unen entre ellos y a la cruceta y la grapa) es la que debe tener el mínimo de 1 m de longitud.

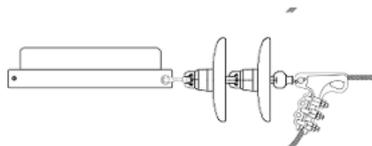


Ilustración 9. Cadenas de dos aisladores de vidrio con alargadera antiposada. Fuente: “Ensayo para la evaluación de diversas tipologías de cadenas de amarre como zonas de posada de distintos grupos de rapaces”.

- Utilización de aisladores poliméricos:

Al igual que en el caso anterior, su ventaja principal es la posibilidad de instalar piezas ya diseñadas que cumplan con la distancia mínima.

Existen varios diseños de piezas poliméricas (en este caso solo se incluyen piezas con dispositivos antiposada) que se pueden utilizar cumpliendo la legislación. A continuación, se muestran las dos configuraciones más representativas:

- Cadena aisladora polimérica antiposada



Ilustración 10. Cadena CAON - KORWI Modelo C3670EBAV_AR. Fuente: Catálogo EnverTec.

- Cadena aisladora tipo PECA (aislador polimérico y espiral antiposada)



Ilustración 11. Cadena tipo PECA. Fuente: Olval Aparallaje Eléctrico

Estos diferentes materiales y diseños demuestran efectividades diferentes a la hora de disuadir la posada de las aves y del riesgo que conllevan esas posadas. Es por ello que según el estudio realizado por el Ministerio para la Transición Ecológica conocido como “Ensayo para la evaluación de diversas tipologías de cadenas de amarre como zonas de posada de

distintos grupos de rapaces”⁷ se ha concluido que **la cadena aisladora tipo PECA es la mejor solución contra las posadas, por lo que el “Conjunto de aislamiento y protección avifauna PECA-1000” es la tipología seleccionada.**

4.2.2 Aislamientos

En la mayoría de las correcciones de avifauna no es suficiente con asegurar las distancias mínimas de los aisladores puesto que hay otros elementos en tensión que por la configuración de los apoyos no pueden colocarse de forma que cumplan esas distancias:

- Apoyos con elementos de maniobra, protección o transformadores.
- Apoyos con derivaciones.
- Puentes que se sitúan cercanos al fuste o a partes de la cruceta.
- Etc.

En estos casos se deberá utilizar aislantes que minimicen los riesgos que no se pueden solventar con medidas estructurales.

En muchas correcciones realizadas, se utilizan materiales como cinta de silicona autovulcanizable para aislar grapas o conductores. Si bien este tipo de materiales puede servir como aislamiento, al haberlas colocado a la intemperie, su eficacia se puede ver reducida de forma notable debido a una mala colocación por parte del operario que lo instale o por el paso del tiempo. Es por esto que este tipo de soluciones no son viables para que la seguridad sea la máxima posible.



Ilustración 12. Cinta de silicona autovulcanizable. Fuente: Catálogo EnverTec

A la hora de instalar aislantes que protejan aparellaje, conductores o bornes, siguiendo las recomendaciones del MITECO, se deben utilizar aislantes de tipo preformado. Este tipo de tecnología al estar diseñada expresamente para cada uno de los componentes que puede haber en un tendido eléctrico, hacen que su instalación sea mucho más sencilla, que su adaptación al elemento a aislar sea lo más perfecta posible y que aseguren una capacidad de aislamiento adecuada a la tensión de diseño de la línea eléctrica.

⁷ Ensayo para la evaluación de diversas tipologías de cadenas de amarre como zonas de posada de distintos grupos de rapaces; Ministerio para la Transición Ecológica; marzo de 2018 [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/pdfwebpublicacionamarres5marzo2019_tcm30-487691.pdf. Consulta de 26-05-2022].

El material que utiliza la empresa EnverTec⁸ en sus diseños, y que se utilizará como referencia para las correcciones que necesiten preformados aislantes, es caucho de silicona sólido con vulcanización a elevada temperatura (180º) cuyo uso está concebido para una tensión máxima de entre 15 kV y 66 kV, cubriendo de esta forma el rango de tensiones de aplicación del RD 1432/2008.

A continuación, se muestran los diseños que se van a utilizar para los diferentes tipos de correcciones:

- **Conductores:**

Cuando se deban aislar conductores en cualquier tipo de apoyo, se utilizará un preformado de la familia SWP o similar. Este tipo de preformados deben colocarse de tal forma que no se puedan desplazar a lo largo del conductor, por lo que el Ministerio de Transición Ecológica recomienda el uso de retenes como varillas preformadas o bridas metálicas. Además, el preformado debe quedar en sus primeros 3-4 cm dentro del preformado de la grapa.

De esta forma la eficacia se mantendrá en su máxima expresión.

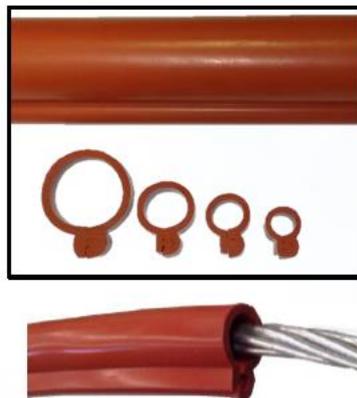


Ilustración 13. Preformados tipo SWP para conductores. Fuente: Catálogo Envertec.

- **Grapas:**

Las grapas suponen un potencial punto de posada para las aves por lo que, para maximizar la seguridad de la avifauna, se deben usar preformados con aisladores poliméricos que aíslen y protejan contra la electrocución. Al existir diferentes tipos de aisladores, es necesario el diseño de estos preformados de forma que se adapten perfectamente a las posiciones derivadas de su función. En este documento se van a distinguir tres:

- Grapas de suspensión:

Estas grapas se utilizan en apoyos con los aisladores en suspensión.

⁸ Envertec (2021): "Sistemas y dispositivos de protección avifauna, antielectrocución, antiposada, anticolidión, continuidad del servicio eléctrico y prevención de incendios", [<https://envertec.eu/avifauna.htm>]. Consulta de 26-05-2022].



Ilustración 14. Forro para grapas en suspensión. Fuente: Catálogo EnverTec

- Grapas de amarre:

Estas grapas se utilizan en apoyos con los aisladores en amarre.



Ilustración 15. Forro para grapas de amarre. Fuente: Catálogo EnverTec

- Tipo Ampact:

Este tipo de forros se utilizan en grapas que realizan la unión de dos conductores diferentes.

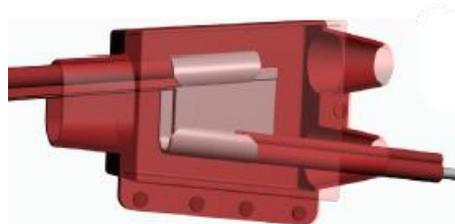


Ilustración 16. Forro para grapas tipo AMPACT. Fuente: Catálogo EnverTec.

- **Bornes:**

Los bornes de todo elemento que esté en tensión en un tendido eléctrico son un punto potencialmente peligroso para la avifauna debido a que su presencia, no solamente como elemento de posada sino también a la hora de levantar el vuelo, aumenta la probabilidad de que un ave toque simultáneamente dos elementos con diferentes tensiones ya que existe mayor densidad de puntos de posible electrocución en el apoyo.

Existen muchos elementos necesarios en los sistemas eléctricos de potencia que cuentan con bornes de conexión:

○ Transformadores:

La cercanía entre los bornes de un centro de transformación de intemperie es un problema muy grave ya que son puntos cuyas distancias relativas se encuentran condicionados por las dimensiones del transformador y por tanto no se pueden tomar medidas estructurales que los alejen entre sí.

Por esta razón es imprescindible tanto el aislamiento de los puentes que los unen al conductor como el de los bornes del transformador.

Para ello se utilizan caperuzas preformadas que impiden tocar el elemento en tensión.

A continuación, se muestra una imagen de dos tipos de caperuzas válidas:



Ilustración 17. Caperuza aisladora para bornes de transformadores. Modelo SPP. Fuente: Catálogo EnverTec.



Ilustración 18. Caperuza aisladora para bornes de transformadores. Modelo SPB. Fuente: Catálogo EnverTec.

○ Autoválvulas:

Las autoválvulas son dispositivos cuya función es absorber las sobretensiones que se puedan producir por cualquier situación en la línea eléctrica y por tanto protegen los aisladores y demás elementos en tensión para que, en caso de existir estas sobretensiones, no ocasionen daños en estos o cortes de suministro.

Se colocan en posición vertical y por tanto también se cubrirán con caperuzas preformadas diseñadas específicamente para este tipo de dispositivos de protección. Aunque la forma del aislamiento es similar, su diámetro es menor que el de los utilizados para los bornes de los transformadores.



Ilustración 19. Caperuza aisladora para autoválvulas. Modelo SPSA. Fuente: Catálogo EnverTec.

○ **Botellas terminales (en pasos de línea aérea a subterránea):**

En las cercanías de las poblaciones y donde se tienen centros de transformación de interior, lo más común es que de una línea aérea se pase a una subterránea. El dispositivo que se utiliza para realizar esa transición, son las botellas terminales.



Ilustración 20. Autoválvula (izquierda) y botella terminal (derecha) de un paso de aéreo a subterráneo.

Como se puede observar en la ilustración, la botella cuenta con un borne superior de conexión colocado hacia arriba por lo que existe riesgo de electrocución. Por tanto, ese punto debe estar protegido por lo que se utilizará el siguiente preformado:



Ilustración 21. Forro aislador para botellas terminales. Modelo SPEB. Fuente: Catálogo EnverTec.

○ Fusibles XS:

Los fusibles XS son elementos de protección que están presentes a lo largo de todas las líneas de alta tensión y su función es interrumpir el circuito eléctrico en caso de sobretensión.



Ilustración 22. Ejemplo de Fusible XS. Fuente: S&C ELECTRIC COMPANY.

Como se puede observar en la ilustración anterior, la fisionomía de este tipo de dispositivos es compleja por lo que se debe realizar un diseño exclusivo que se adapte a su forma.

Existen varios tipos de preformados para el aislamiento de los fusibles XS que se pueden dividir en dos grupos: los que aíslan ambos bornes del fusible y los que solo cubren la parte superior de este.

Estos últimos al no ofrecer la seguridad máxima se ha decidido descartarlos como opción.

Por tanto, **los preformados protectores seleccionados como mejor opción son los que cubren ambos bornes. El modelo de referencia es el recogido en el catálogo de avifauna de EnverTec denominado SCUP-SCDW que se muestra en la siguiente ilustración:**

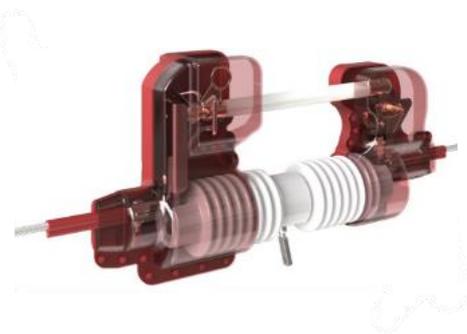


Ilustración 23. Preformado SCUP-SCDW para fusibles XS. Fuente: Catálogo EnverTec.

○ Seccionadores:

Los seccionadores son elementos de maniobra presentes en los tendidos eléctricos que en posición abierto aseguran una distancia de seccionamiento que satisface unas condiciones específicas de aislamiento. Existen diferentes tipos, sin embargo, los más utilizados en el campo de aplicación del RD1432/2008 son los seccionadores unipolares y son estos los que se van a tener en cuenta.

Al igual que ocurre para los fusibles XS la forma de los seccionadores es compleja y requiere un diseño específico para ellos.

El modelo KSELA de EnverTec es el más completo que se ha encontrado, ya que cubre la totalidad de los puntos en tensión del seccionador.



Ilustración 24. Preformado para seccionador. Fuente: Catálogo EnverTec.

4.3 Soluciones específicas para cada tipología de apoyo

A continuación, se van a explicar de forma específica, para cada una de las tipologías de apoyos que se recogen en el “Capítulo 3”, las correcciones de avifauna a aplicar para conseguir la máxima protección para las aves. Por tanto, las soluciones aquí recogidas como ya se mencionó anteriormente son más ambiciosas que las recogidas en el RD 1432/2008.

Todas estas medidas son complementarias al resto de medidas técnicas que debe cumplir cualquier instalación de alta tensión por lo que el aparellaje debe respetar las solicitudes mecánicas, eléctricas o de otra índole recogidas en la legislación vigente.

4.3.1 Apoyos con aisladores rígidos

Los apoyos con aisladores rígidos son una de las tipologías de apoyo más peligrosas para la avifauna debido a que los conductores pasan por encima de la cruceta de tal forma que aumentan exponencialmente las probabilidades de contacto conductor-cruceta o conductor-conductor por parte del ave provocando así su electrocución.

Como se expuso anteriormente, esta tipología queda claramente prohibida en el RD 1432/2008 de tal forma que estos apoyos deben adaptar sus aisladores a posiciones de amarre o suspensión.

Los apoyos con aisladores rígidos cumplen la función de apoyos de alineación, por lo que las soluciones que se tomarán para adaptar este tipo de apoyos serán las de convertir estos aisladores rígidos en aisladores en suspensión.

Esta acción conlleva directamente la sustitución de la cruceta por otra diseñada para la sujeción de los aisladores en suspensión, por lo que se propone la utilización de crucetas tipo bóveda. Al tratarse de la misma solución que para los apoyos con cruceta tipo bóveda, las características concretas se tratan en el siguiente apartado.

El cambio de cruceta puede hacer que no se cumplan las exigencias mecánicas por parte del fuste que sostiene la infraestructura, por lo que en ese caso habría que realizar un cambio total del apoyo y por tanto además de cambiar la cruceta habría que cambiar también el fuste que la sustenta.

4.3.2 Apoyos con cruceta tipo bóveda

Los apoyos con cruceta de tipo bóveda son muy comunes para los apoyos de alineación. Al tener los aisladores por debajo del plano más alto de la estructura son los apoyos que menor peligrosidad tienen, aunque no cumplan la legislación de protección de avifauna.

A la hora de seleccionar la cruceta en los apoyos con cruceta de tipo bóveda tanto si lleva aisladores en suspensión o aisladores en cadena de amarre se debe tener en cuenta:

- Distancia de 0,88 m entre la cabeza del fuste y el conductor central.
- Distancia al conductor central:
 - Suspensión → Conjunto de aisladores de mínimo 0,6 m (distancia entre la cruceta y la grapa)
 - Amarre → Distancia de 0,6 m entre la cruceta y el puente flojo.

Por tanto, la cruceta debe tener como mínimo 1,5 m desde el punto central de la misma hasta el punto más alto del fuste.



Ilustración 25. Distancias mínimas para las crucetas tipo bóveda. Fuente: Catálogo Jovir.

Si se trata de un apoyo existente y no se cumplen estas medidas, se debería sustituir la cruceta por una que si cumpla las distancias anteriormente mencionadas.

Los aisladores que se deben instalar son los especificados en apartado 4.2.1 de este capítulo.

En lo relativo a aislamientos, se deben aislar, con los materiales que se especifican en el apartado 4.2.2, los siguientes elementos:

- Todas las grapas presentes en el apoyo.

- Aisladores en suspensión → 1 m de conductor a cada lado de la grapa de los tres conductores.
- Aisladores en amarre → 1 m de conductor hacia el exterior de la estructura y los puentes flojos de los tres conductores.



Ilustración 26. Cruceta tipo bóveda con aisladores en suspensión corregido.



Ilustración 27. Cruceta tipo bóveda con aisladores en amarre corregido.

4.3.3 Apoyos con cruceta en plano horizontal

Esta tipología de apoyos realiza funciones de anclaje o amarre de la línea en tramos rectilíneos o formando ángulos. Por tanto, las cadenas de aisladores que utilizan estos apoyos deben ser de 1 m.

Es común en esta tipología de apoyo que existan puentes por encima de la cruceta principal apoyados en un aislador rígido o en algún accesorio, lo cual queda terminantemente prohibido por el RD 1432/2008.

Para solucionar este problema, se debe cambiar la posición de los puentes flojos dominantes y situarlos por debajo de la cruceta. De manera adicional se debe instalar aisladores auxiliares en suspensión que sujeten los puentes flojos de cada fase para asegurar de esta manera que se cumple la distancia de seguridad de 0,6 m.

En lo relativo a aislamientos, se deben aislar, con los materiales que se especifican en el apartado 4.2.2, los siguientes elementos:

- Todas las grapas presentes en el apoyo.
- 1 m de conductor hacia el exterior de la estructura y los puentes flojos de los tres conductores.



Ilustración 28. Apoyo de cruceta en plano horizontal corregido.

4.3.4 Apoyos en tresbolillo

Los apoyos en tresbolillo se corrigen de forma similar a los de tipo bóveda.

Se deben aislar, con los materiales que se especifican en el apartado 4.2.2, los siguientes elementos:

- Todas las grapas presentes en el apoyo.

- Aisladores en suspensión → 1 m de conductor a cada lado de la grapa de los tres conductores.
- Aisladores en amarre → 1 m de conductor hacia el exterior de la estructura y los puentes flojos de los tres conductores.

A la hora de elegir la cruceta en tresbolillo se debe tener en cuenta que en el lado en el que se sitúan dos de los tres conductores, debe existir una distancia mínima de 1,5 m entre el conductor o el puente flojo de la fase superior y la cruceta que sujeta el conductor inferior.

4.3.5 Apoyos con derivaciones, fusibles, OCR o seccionador

A lo largo de una línea eléctrica de alta tensión, diferentes tipos de singularidades que aumentan la complejidad de la corrección de los apoyos debido a la mayor cantidad de elementos en tensión.

Los apoyos con estas singularidades suelen ser apoyos con cruceta en plano horizontal en la mayoría de los casos, por lo que además de lo que se recoge en este apartado, se deben tener en cuenta las características derivadas de ese tipo de cruceta.

Las medidas que se debe tomar con estos elementos son las siguientes:

- Resituar en crucetas auxiliares (por debajo de la cruceta principal) cualquier elemento que se sitúe en posición dominante.
- Aislar grapas, bornes y puentes flojos con los preformados recogidos en el apartado 4.2.2.



Ilustración 29. Corrección de apoyo con cruceta tipo bóveda en celosía y aisladores en amarre con fusibles XS y derivación corregidos.

4.3.6 Apoyos de fin de línea

Esta categoría se diferencia de las demás porque solo existen conductores desnudos a un lado de la cruceta debido a que la línea aérea termina en ellos. Los apoyos de fin de línea pueden tener dos funciones diferentes: Centro de transformación de intemperie y Paso de aéreo a subterráneo.

En ambos casos cuentan con dispositivos de protección contra sobre tensiones como son las autoválvulas que habrá que tener en cuenta a la hora de tomar medidas.

Por otro lado, la morfología del apoyo generalmente será de tipo cruceta en plano horizontal, aunque también hay casos de fin de línea en tresbolillo para los apoyos con paso de aéreo a subterráneo.

4.3.6.1 Con transformador de intemperie

Los apoyos con centro de transformador de intemperie, como se mencionó con anterioridad, son peligrosos debido a la cercanía de los bornes del transformador entre sí. Normalmente la estructura de los apoyos se basa en el uso de crucetas en plano horizontal, por lo que los aisladores deberán cumplir la distancia de 1 m.

Para la corrección de estos apoyos se debe en primer lugar colocar las autoválvulas en la parte superior del transformador.

Una vez realizado esto y teniendo en cuenta que la morfología del apoyo será la que determine las medidas concretas a tomar en lo relativo a aisladores; se procederá al aislamiento de grapas, bornes y puentes que conecten los diferentes elementos entre sí con los preformados del apartado 4.2.2.



Ilustración 30. Apoyo con CTI corregido.

4.3.6.2 Con paso de aéreo a subterráneo

En el caso concreto de los apoyos con paso de aéreo a subterráneo, existen dos tipos de disposiciones comunes: con cruceta en tresbolillo o en plano horizontal. En ambos casos se utilizarán aisladores en cadena de amarre al tratarse de un final de línea por lo que el conjunto de herrajes y aisladores deberán medir al menos 1 m.

Dependiendo de la morfología de apoyo, deben cumplir las medidas adicionales recogidas en apartados anteriores.

En lo estrictamente relacionado a los elementos presentes en un paso de aéreo a subterráneo, botellas terminales y autoválvulas, las medidas a tomar serán el aislamiento con los preformados del apartado 4.2.2. Por tanto, los elementos aislados son:

- Bornes de las botellas terminales.
- Bornes de las autoválvulas.
- Puentes que unen los elementos en tensión.
- Cualquier grapa que exista en la instalación.

Además de estas medidas de aislamiento, todos los elementos que se encuentren en una posición dominante deben colocarse en crucetas auxiliares que se encuentren por debajo de la cruceta principal, de tal forma que respeten las distancias características de la morfología del apoyo.

4.4 Disuasores de posada

Además de las soluciones ya comentadas, existen diversas tecnologías cuyo objetivo es la reducción de la peligrosidad de los tendidos eléctricos en lo relativo a la electrocución. Estos dispositivos se conocen como elementos disuasores de posada.

Hasta el momento de la redacción de este documento, no existe en España ninguna comunidad autónoma, como autoridad competente según el real decreto, que haya reconocido algún elemento disuasor de posada como eficaz contra la electrocución, por lo que la instalación de estos dispositivos no evita el cumplimiento de las medidas establecidas en el mismo. Es decir, el instalar un disuasor de posada no exime de aplicar las medidas del RD 1432/2008.

Sin embargo, existen una serie de tecnologías que se deben mencionar, a pesar de no ser válidas como medidas de protección a la avifauna a nivel legal, debido a su extendido uso:

1. Espinas de policarbonato:

Este dispositivo es un conjunto de espinas de policarbonato, que se colocan en la parte superior de las crucetas principales con el objetivo de que las aves no se posen en estas por la incomodidad generada por las espinas.



Ilustración 31. Espinas de policarbonato. Fuente: Catálogo EnverTec.

2. Paraguas antinido:

Los paraguas antinido, son unas estructuras normalmente metálicas con varillas colocadas simulando un paraguas cuya función es evitar que las aves puedan construir sus nidos sobre las crucetas.



Ilustración 32. Paraguas antinido. Fuente: Postemel.

3. Tejadillo antiposada y antinido:

El tejadillo antiposada y antinido consiste en una pieza de chapa metálica a dos aguas cuya inclinación, a priori, debe disuadir a las aves de posarse o nidificar sobre el apoyo.



Ilustración 33. Tejadillo antiposada. Fuente: Wigeva.

4. Percha de posada alternativa:

La percha antiposada ofrece un punto más alto y alejado de los puntos en tensión de la línea a las aves para que puedan otear.



Ilustración 34. Percha de posada alternativa. Fuente: Wigeva.

4.5 Aspectos económicos

Aunque no es el objetivo de este trabajo realizar un estudio de mercado y a raíz del mismo proponer unas tarifas, en este apartado se van a añadir unas pequeñas nociones que puedan ilustrar al lector de cuánto dinero es necesario para llevar a cabo las medidas. Las medidas que se han planteado en los apartados anteriores son más ambiciosas que las que realmente establece el real decreto, por lo que los importes que aquí se muestran serán los correspondientes a las medidas descritas en el trabajo.

A la hora de realizar esta estimación se ha usado como referencia el “Manual de correcciones de tendidos eléctricos para la protección de la avifauna y tarifas asociadas”⁹. Para cada tipo de solución se proponen dos valores entre los que oscilan las tarifas o uno aproximado. Estos valores dependen de la cantidad de correcciones (cambio de aisladores, de crucetas, aislamiento de elementos, recolocación de elementos dominantes...) a llevar a cabo las soluciones establecidas:

TIPO DE APOYO A CORREGIR	TARIFA MÍNIMA (€)	TARIFA MÁXIMA (€)	TARIFA APROXIMADA (€)
AISLADORES RÍGIDOS	1280	2580	-
CRUCETA TIPO BÓVEDA	330	1280	-
CRUCETA EN PLANO HORIZONTAL	-	-	1930
EN TRESBOLILLO	330	1280	-
DERIVACIONES, FUSIBLES, OCR, SECCIONADOR...	2110	3025	-
FIN DE LÍNEA	-	-	1510

Tabla 1. Tabla de tarifas orientativas

⁹ Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. (2022). *Manual de correcciones de tendidos eléctricos para la protección de la avifauna y tarifas asociadas*. [<https://medioambiente.jcyl.es/web/es/medio-natural/proteccion-aves-frente-lineas.html>. Consulta 30-06-2022]

Todos estos precios se dan para la realización de los trabajos en descargo, es decir, sin la línea en tensión.

Capítulo 5 Soluciones propuestas que cumplan la legislación en lo relativo a la colisión

Otro de los problemas que generan las líneas aéreas de alta tensión es la colisión. Como se expuso en capítulos anteriores las medidas que se establecen en el RD son solo de aplicación para los tendidos eléctricos de alta tensión de construcción posterior a la entrada en vigor del RD 1432/2008 siempre que lo determine el órgano competente.

5.1 Soluciones que se ajustan al Real Decreto 1432/2008

Las tipologías de salvapájaros o señalizadores recogidas en la legislación de avifauna, aunque la autoridad competente podría permitir más, son dos: las espirales y las dos tiras en forma de X. Para ambos casos la ley recoge la misma forma de colocarlos y las mismas distancias. Se puede prescindir de las medidas anticolidión en los casos en que el diámetro propio de los conductores o los cables de tierra, ya sean solos o con un cable adosado, sea menor a 20 mm. De esta forma los dispositivos deberán colocarse de tal forma que generen un efecto visual cada 10 m y se colocarán en las localizaciones que se exponen a continuación y con el orden de preferencia indicado en el siguiente listado:

1. Si existen cables de tierra, se colocarán dispuestos cada 10 m si el cable es único o cada 20 m de forma alternante en el caso de que hay dos cables.
2. Si no existiesen cables de tierra, se colocarán en los conductores de forma alterna con un efecto visual cada 10 m y una distancia de 20 m entre señales contiguas en un mismo conductor.

5.1.1 Espirales

Las medidas que se recogen en el real decreto en lo relativo a dimensiones de este tipo de dispositivos son las siguientes:

- 1 metro de longitud y 30 cm de diámetro de la espiral.

Las espirales anticolidión que se proponen como solución son las recogidas por EnverTec en su catálogo de 2021. Se trata de espirales de color rojo hechas con PVC y con las dimensiones recogidas en la ilustración que cumplen las dimensiones legales.

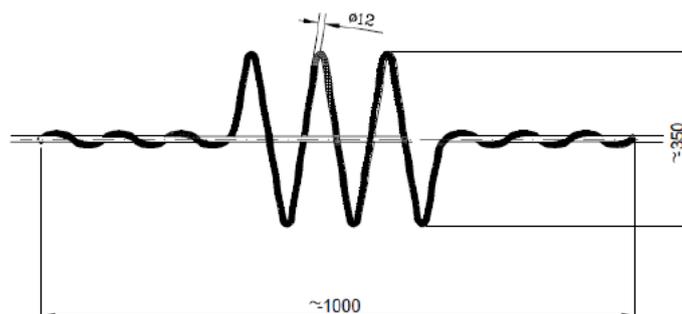


Ilustración 35. Espiral anticolidión. Fuente: Catálogo EnverTec.

5.1.2 Dos tiras en X

Las dimensiones mínimas que han de tener las dos tiras en X son de 5 × 35 cm.

La apariencia de estos dispositivos que simulan la presencia de un pájaro posado en el cable es la que se muestra en la siguiente ilustración.

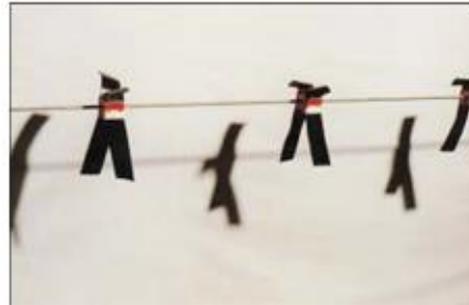
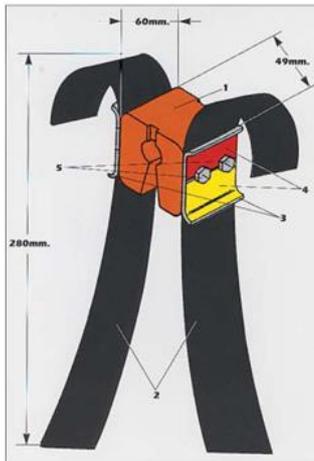


Ilustración 36. Balizas anticollisión de dos tiras en forma de X. Fuente: S.A. DE PREFORMADOS METÁLICOS

Capítulo 6 Conclusiones

Como capítulo final se recogen las conclusiones derivadas del análisis realizado a lo largo del trabajo.

6.1 Valoración de los objetivos iniciales

Como se expuso en el primer capítulo, los objetivos que se buscaban con la realización de este trabajo eran la de convertir las medidas y reglas recogidas en legislación vigente de una formas general, en soluciones concretas y efectivas para cada uno de los tipos de apoyos más comunes en las líneas aéreas de alta tensión y construir así una referencia para la adopción de medidas de protección de avifauna tanto para distribuidoras como para propietarios particulares.

Estos objetivos han sido satisfactoriamente cumplidos, ya que se ha generado una guía aclaratoria con medidas específicas para cada uno de los apoyos más comunes en las líneas eléctricas de alta tensión de segunda y tercera categoría.

6.2 Conclusiones principales

Tras la realización de este trabajo de fin de máster, se concluye que:

- [1] La legislación es más concreta en las medidas contra la colisión que contra la electrocución.
- [2] En la legislación vigente se priman las medidas de carácter estructural antes que las medidas de aislamiento.
- [3] A pesar de que la legislación es imprecisa se ha podido generar una serie de soluciones concretas para la protección contra la electrocución.
- [4] Las soluciones que se toman para las tipologías de apoyos más comunes son fácilmente adaptables para otras tipologías no tan comunes ya que las medidas tomadas son versátiles.
- [5] Se ha generado una fuente de consulta de soluciones a tomar para los apoyos más comunes en líneas de segunda y tercera categoría.

Bibliografía

- [1] Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión; Ministerio de la Presidencia; «BOE» núm. 222, de 13 de septiembre de 2008; Referencia: BOE-A-2008-14914.
- [2] Instrucción Técnica Complementarias, ITC-LAT 07, Ministerio de industria, energía y turismo.
- [3] Recomendaciones técnicas para la corrección de los apoyos eléctricos del riesgo de electrocución de aves, para la adaptación de las líneas eléctricas al R.D. 1432/2008; Ministerio para la Transición Ecológica; junio de 2018.
- [4] 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 complementarias ITC-LAT 01 a 09; Ministerio de Industria, Turismo y Comercio; «BOE» núm. 68, de 19 de marzo de 2008; Referencia: BOE-A-2008-5269.
- [5] Ensayo para la evaluación de diversas tipologías de cadenas de amarre como zonas de posada de distintos grupos de rapaces; Ministerio para la Transición Ecológica; marzo de 2018 [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/pdfwebpublicacionamarres5marzo2019_tcm30-487691.pdf. Consulta de 26-05-2022].
- [6] Envertec (2021): “Sistemas y dispositivos de protección avifauna, antielectrocución, antiposada, anticolisión, continuidad del servicio eléctrico y prevención de incendios”, [<https://envertec.eu/avifauna.htm>. Consulta de 26-05-2022].
- [7] S&C ELECTRIC COMPANY (2022). *Cortacircuito Fusible Tipo XS* [<https://www.sandc.com/es/productos-y-servicios/productos/cortacircuito-fusible-tipo-xs/>. Consulta de 27-06-2022]
- [8] SAPREM S.A. DE PREFORMADOS METÁLICOS. *Balizas salvapájaros*. [<https://saprem.com/balizas/salvapajaros/>. Consulta de 06-06-2022]
- [9] Naciones Unidas. Objetivos de desarrollo sostenible. Objetivo 15. [<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>. Consulta de 15-04-2022]
- [10] Avances del plan de recuperación, transformación y resiliencia, pp.45; Agenda 2030: Gobierno de España [<https://planderecuperacion.gob.es/sites/default/files/2022-01/Mapa-interactivo-ccaa-31-diciembre-2021.pdf>. Consulta de 29-04-2022]

- [11] Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. (2022). *Manual de correcciones de tendidos eléctricos para la protección de la avifauna y tarifas asociadas*. [<https://medioambiente.jcyl.es/web/es/medio-natural/proteccion-aves-frente-lineas.html>. Consulta 30-06-2022]