



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:** Electrocution, collision, avifauna, high voltage, power lines

## Índice

Anexo I – “Análisis y recomendaciones a las medidas preventivas contra la electrocución en correcciones de tendidos eléctricos”. Fuente: 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. ....	1
Anexo II – “Anexo al Real Decreto 1432/2008, de 24 de agosto” Fuente: 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. ....	5



## Anexo I – “Análisis y recomendaciones a las medidas preventivas contra la electrocución en correcciones de tendidos eléctricos”.

Fuente: 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.

ELEMENTO DESCRIPTIVO	MEDIDA PREVENTIVA	INTERPRETACIÓN DE LA MEDIDA PREVENTIVA	RECOMENDACIONES ADICIONALES DE CORRECCIÓN
3.1 Aisladores rígidos, artículo 6.a	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.	a.1 Tanto en líneas existentes artículo 3.2 como en líneas de nueva construcción artículo 3.1 queda prohibida la utilización de aisladores rígidos, tanto de vidrio, como poliméricos o de porcelana en posición rígida.	a.1.1 Las nuevas líneas deberán construirse con cadenas de aisladores en posición suspendida o con cadena de aisladores en posición de amarre. En las líneas existentes, se sustituirán los aisladores rígidos. En el caso de aislador-soporte por cadenas de aisladores en posición suspendida, y en los de aislador-amarre por cadena de aisladores en posición amarre.
			a.1.2 Se recomienda en ambos casos que esta sustitución se realice por aisladores de tipo polimérico, más ligeros, con presencia de elementos que eviten el contacto de las aves.

Tabla 1. Interpretación del artículo 6.a. del RD 1432/2008

ELEMENTO DESCRIPTIVO	MEDIDA PREVENTIVA	INTERPRETACIÓN DE LA MEDIDA PREVENTIVA	RECOMENDACIONES ADICIONALES DE CORRECCIÓN
3.2 Puentes entre elementos en tensión, artículo 6.b	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.	b.1 La ubicación de todo equipo de maniobra y/o protección, tales como fusibles, seccionadores y autoválvulas (o pararrayos), deberá ser tal que, sus bornes o conectores, que puedan estar en tensión, queden por debajo de las crucetas o semicrucetas principales.  b.2 Se suprimen los conductores por encima de las crucetas principales. Por tanto, y en el caso de las líneas actuales, se procederá a trasladar los conductores por debajo de las crucetas mediante cadena de suspensión auxiliar.	b.1.1 Las nuevas líneas deberán construirse de modo que los equipos de protección y distribución queden ubicados sobre crucetas o estructuras metálicas, que fijadas al fuste de los apoyos, estén en un plano inferior al de las crucetas principales. En las líneas existentes, los equipos deberán reubicarse en posiciones menos dominantes:  - En apoyos en los que se hallen instalados seccionadores, fusibles o autoválvulas por encima de las crucetas principales, estos se trasladarán a una cruceta auxiliar a ubicar por debajo de las crucetas o semicrucetas principales.
			b.1.2 Las autoválvulas se consideran un caso especial, recomendándose su instalación, a ser posible, sobre la tapa del transformador en los casos de centros de transformación en poste.

Tabla 2. Interpretación del artículo 6.b. del RD 1432/2008

ELEMENTO DESCRIPTIVO	MEDIDA PREVENTIVA	INTERPRETACIÓN DE LA MEDIDA PREVENTIVA	RECOMENDACIONES ADICIONALES DE CORRECCIÓN
		<p>b.3 En los postes o apoyos, tanto en líneas de nueva construcción como en las ya existentes, que contengan seccionadores, fusibles, autoválvulas, transformadores, derivaciones o conversiones a subterráneo, se aislarán todos los puentes o conexiones existentes entre los elementos en tensión y los bornes de conexión de los mismos.</p>	<p>b.3.1 Se aislarán, en todas las fases, los puentes y conexiones con cable desnudo entre elementos en tensión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las conexiones desde las grapas de las cadenas de aisladores a seccionadores o fusibles y a las autoválvulas.</li> <li>- Las conexiones a los bornes de un transformador en poste.</li> <li>- Colocación de piezas preformadas de material aislantes los bornes de los seccionadores, fusibles, las autoválvulas y transformador en poste.</li> <li>- Puentes entre grapa de amarre y otra grapas de amarre en crucetas en derivación.</li> </ul> <p>Este aislamiento será realizado utilizando conductor aislado o mediante cubrición con aislamiento eficaz del tipo preformado, fabricados a base de caucho de silicona sólida.</p> <p>En ambos casos, el material aislante deberá ser acorde con la tensión máxima de servicio de la línea.</p> <p>b.3.2 En los apoyos en amarre la distancia medida sobre el eje vertical con respecto armado del conductor inferior al mismo, será como mínimo de 0,60m. Solo en el caso de que la conformación del armado impida esta distancia podrá recurrirse a aislar el conductor inferior.</p> <p>Esta distancia de seguridad podrá conseguirse aumentando la separación entre ellos o bien mediante el aislamiento efectivo de los elementos en tensión.</p>

Tabla 3. Continuación de la interpretación del artículo 6.b. del RD 1432/2008

ELEMENTO DESCRIPTIVO	MEDIDA PREVENTIVA	INTERPRETACIÓN DE LA MEDIDA PREVENTIVA	RECOMENDACIONES ADICIONALES DE CORRECCIÓN
<p>3.3 Armado canadiense y tresbolillo, artículo 6.c</p>	<p>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 1,50 m.</p>	<p>c.1 En los armados canadiense y tresbolillo (atirantado o plano), en el lado del apoyo donde van fijados los conductores que discurren a distinto nivel, habrá de mantenerse la distancia de 1,5 m. entre la semicruceta inferior y el conductor superior que establece REAL DECRETO 1432/2008, de 29 de agosto.</p> <p>c.1.2 A la hora de diseñar estos tipos de armados, habrá que considerar a esta distancia de 1,50 m entre la semicruceta inferior y el conductor superior, el añadir la distancia mínima de seguridad entre el conductor y la cruceta superior, distancia esta última a la que se refiere el apartado e) en el artículo 6 del REAL DECRETO 1432/2008, de 29 de agosto, y el cuadro de su anexo.</p>	<p>c.1.1 Esta distancia mínima de 1,50 m entre la semicruceta inferior y el conductor superior, en apoyos con armados tipo canadiense y tresbolillo, se deberá de cumplir teniendo en cuenta lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En apoyo de suspensión, esta distancia de 1,50 m será la distancia vertical mínima existente entre la cruceta inferior y el conductor de fase superior.</li> <li>- En apoyo de amarre, esta distancia vertical mínima de 1,50 m será la distancia existente entre la cruceta inferior y el conductor superior entre las dos cadenas de amarre.</li> </ul> <p>Estas distancias, se han de cumplir también en el caso de armados en bandera y en doble circuito, tanto atirantado como plano.</p>

Tabla 4. Interpretación del artículo 6.c. del RD 1432/2008



ELEMENTO DESCRIPTIVO	MEDIDA PREVENTIVA	INTERPRETACIÓN DE LA MEDIDA PREVENTIVA	RECOMENDACIONES ADICIONALES DE CORRECCIÓN
3.4 Crucetas o armados tipo bóveda, artículo 6.d	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.	d.1 En crucetas o armados tipo bóveda, la distancia vertical entre la cabeza del fuste y el conductor central no será inferior a 0,88 m.  En todo caso de acuerdo con lo prescrito en el anexo del REAL DECRETO 1432/2008, habrá que aislar el conductor central a 1 m a ambos lados del eje vertical (eje del apoyo) del punto de enganche.	d.1.1. Se recomienda que la distancia de 0,88 m. se cumpla en todos los casos en armados en bóvedas.  d.1.2 A la hora de diseñar este tipo de armado, habrá que considerar a esta distancia de 0,88 m entre la cabeza del fuste de del apoyo y el conductor superior, el añadir la distancia mínima de seguridad entre el conductor y la cruceta superior, distancia esta última a la que se refiere el apartado e) en el artículo 6 de este REAL DECRETO 1432/2008, de 29 de agosto, y el cuadro de su anexo.  - d.1.2.1 El cuadro del anexo del RD 1432/2008 indica que la distancia mínima de seguridad en cadena en suspensión deberá de ser $d = 600$ mm y que cable central se aislará a 1 m a cada lado del punto de enganche.  - d.1.2.2 En el cuadro del anexo del RD 1432/2008 y para cadenas de amarre se indica que la distancia mínima de seguridad deberá de ser $d = 1$ metro y aislarse el conductor central.  - A la vista de ello se concluye que, aún con el cumplimiento de ambas distancias, $d = 600$ mm y de 0,88 m al fuste del apoyo, la fase central debe aislarse 1 m a cada lado del punto de enganche.  d.1.3. En las crucetas planas, o armados tipo bóveda plana y armados en amarre, se aislarán todos los conductores, no solo el central, sino los exteriores, 1 m. en ambos lados exteriores del punto de unión a la grapa de amarre

Tabla 5. Interpretación del artículo 6.d. del RD 1432/2008

ELEMENTO DESCRIPTIVO	MEDIDA PREVENTIVA	INTERPRETACIÓN DE LA MEDIDA PREVENTIVA	RECOMENDACIONES ADICIONALES DE CORRECCIÓN
3.5 Distancias mínimas de seguridad «d», artículo 6.e	e) Los diferentes armados han de cumplir unas distancias mínimas de seguridad «d», tal y como se establece en el cuadro que se incluye en el anexo de RD. Las alargaderas en las cadenas de amarre deberán diseñarse de manera que se evite 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 que se producen electrocuciones, la medida de esta distancia de seguridad no incluirá la citada alargadera.	e.1 Todos los armados han de cumplir las distancias en vertical y horizontal, mínimas de seguridad «d» comprendida entre la punta de la cruceta y la grapa de amarre y suspensión, tal como se establece en el cuadro que se incluye en el anexo de este RD para:  -Cruceta Canadiense: <ul style="list-style-type: none"> <li>En cadena de suspensión una distancia mínima de seguridad vertical <math>d = 478</math> mm.</li> <li>En cadena de amarre una distancia mínima de seguridad horizontal <math>d = 600</math> mm.</li> </ul> - <u>Cruceta en Tresbolillo atirantado y cruceta en Tresbolillo plano:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>En cadena de suspensión una distancia mínima de seguridad vertical <math>d = 600</math> mm.</li> <li>En cadena de amarre una distancia mínima de seguridad horizontal <math>d = 1.000</math> mm.</li> </ul> - <u>Cruceta en bóveda:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>En cadena de suspensión una distancia mínima de seguridad vertical <math>d = 600</math> mm y cable central aislado 1 m a cada lado del punto de enganche.</li> <li>En cadena de amarre una distancia mínima seguridad horizontal <math>d = 1.000</math> mm y conductor central aislado.</li> </ul>	e.1.1 Esta distancia de mínima de seguridad debe quedar garantizada en todos los casos que se recogen en el cuadro del anexo del REAL DECRETO 1432/2008, de 29 de agosto, por la longitud que desarrolla la cadena de aislamiento formada por los herrajes de fijación a la cruceta, el conjunto propio de aisladores y la rótula de fijación con la grapa, excluida esta última.  Si no se consigue algunas de estas dos tipos distancias mínimas de seguridad, en horizontal o/y en vertical, se recomienda proceder como sigue:  - <u>Cruceta tipo canadiense</u>  Se sustituirá la cadena de aislamiento con otro tipo hasta alcanzar como mínimo la distancia de seguridad de $d=600$ mm en horizontal y $d=480$ mm en vertical.  En el caso de que esta corrección supusiese incumplir la distancia de 1,50 m que debe existir entre la cruceta inferior y el conductor superior, no se procederá a cambiar la cadena de aisladores y se procederá a aislar 1 m ambos lados desde el punto de enganche con el apoyo.  - <u>Cruceta tipo tresbolillo atirantado y plano</u>  Se sustituirá la cadena de aislamiento con otro tipo hasta alcanzar como mínimo la distancia de seguridad de $d=1.000$ mm en horizontal y $d=600$ mm en vertical.  Excepcionalmente, en el caso de que esta corrección supusiese incumplir la distancia de 1,50 m que debe existir entre la cruceta inferior y el conductor superior, se procederá a:

Tabla 6. Interpretación del artículo 6.e. del RD 1432/2008

ELEMENTO DESCRIPTIVO	MEDIDA PREVENTIVA	INTERPRETACIÓN DE LA MEDIDA PREVENTIVA	RECOMENDACIONES ADICIONALES DE CORRECCIÓN
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Sustituir la cruceta por un modelo que alcance la distancia de seguridad que se indica en c.1.2.</li> <li>Aislar con piezas prefabricadas de material aislante el conjunto grapa-rótula y con funda también de material aislante los conductores 1,00 m a ambos lados del apoyo con cadenas de suspensión, y aislar el conjunto grapa-rótula, con funda también de material aislante los conductores 1,00 m a ambos lados del apoyo y el conductor flojo entre las cadenas de amarre.</li> </ul> <p>- <u>Cruceta tipo bóveda</u></p> <p>Se sustituirá la cadena de aislamiento con otro tipo hasta alcanzar como mínimo la distancia de seguridad de d=1.000 mm en horizontal y d=600 mm en vertical.</p> <p>Se deberá aislar el cable central 1 m a cada lado del punto de enganche en apoyo con cadenas de suspensión y el conductor central en apoyo con cadenas de amarre.</p> <p>En el caso de que esta corrección supusiese incumplir la distancia vertical mínima de 0,88 m que deba existir entre la cabeza del fuste y el conductor central, se procederá a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sustituir la cruceta por un modelo que alcance la distancia de seguridad que se indica en el apartado d.1.2, aislando el cable central 1 m a cada lado del punto de enganche en apoyo con cadenas de suspensión, y el conductor central en apoyo con cadenas de amarre.</li> </ul>

Tabla 7. Interpretación del artículo 6.e. del RD 1432/2008

ELEMENTO DESCRIPTIVO	MEDIDA PREVENTIVA	INTERPRETACIÓN DE LA MEDIDA PREVENTIVA	RECOMENDACIONES ADICIONALES DE CORRECCIÓN																
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Aislar con piezas prefabricadas de material aislante el conjunto grapa-rótula y con funda también de material aislante los conductores 1,00 m a ambos lados del apoyo con cadenas de suspensión y el conductor flojo entre las cadenas de amarre.</li> </ul>																
		e.2 Solo se permite la utilización de alargaderas, cuando éstas no estén desautorizadas por el órgano competente de la comunidad autónoma.																	
3.6 Crucetas distintas a las especificadas en el apartado 6.e, artículo 6.f	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.	f.1 Por existir tipologías de armado y crucetas no especificadas en el cuadro de crucetas del apartado e), la verificación del cumplimiento de la distancia mínima a de seguridad se realizará asemejando ésta con la que más se aproxime de los tipos especificados en el cuadro del anexo del REAL DECRETO 1432/2008, de 29 de agosto.	<p>f.1.1 Se recomienda verificar el cumplimiento de la distancia mínima de seguridad “d”, tanto vertical como horizontal, en armados o crucetas de tipología distinta a las especificadas, por semejanza a las propuestas en la siguiente tabla:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE CRUCETA NO ESPECIFICADO EN CUADRO</th> <th>TIPO AL QUE SE ASEMEJA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo Doble Circuito en apoyo metálico en celosía</td> <td>Cruceta tresboilillo</td> </tr> <tr> <td>Tipo Doble Circuito en poste hormigón (HV)</td> <td>Cruceta tresboilillo</td> </tr> <tr> <td>Tipo Bandera en apoyo metálico en celosía</td> <td>Cruceta tresboilillo</td> </tr> <tr> <td>Tipo Bandera en poste hormigón (HV)</td> <td>Cruceta tresboilillo</td> </tr> <tr> <td>Tipo Plano stirantado y sin stirantar en apoyo</td> <td>Cruceta bóveda</td> </tr> <tr> <td>Tipo Plano stirantado y sin stirantar en poste</td> <td>Cruceta bóveda</td> </tr> <tr> <td>Tipo Triángulo en apoyo metálico en celosía</td> <td>Cruceta bóveda</td> </tr> </tbody> </table>	TIPO DE CRUCETA NO ESPECIFICADO EN CUADRO	TIPO AL QUE SE ASEMEJA	Tipo Doble Circuito en apoyo metálico en celosía	Cruceta tresboilillo	Tipo Doble Circuito en poste hormigón (HV)	Cruceta tresboilillo	Tipo Bandera en apoyo metálico en celosía	Cruceta tresboilillo	Tipo Bandera en poste hormigón (HV)	Cruceta tresboilillo	Tipo Plano stirantado y sin stirantar en apoyo	Cruceta bóveda	Tipo Plano stirantado y sin stirantar en poste	Cruceta bóveda	Tipo Triángulo en apoyo metálico en celosía	Cruceta bóveda
TIPO DE CRUCETA NO ESPECIFICADO EN CUADRO	TIPO AL QUE SE ASEMEJA																		
Tipo Doble Circuito en apoyo metálico en celosía	Cruceta tresboilillo																		
Tipo Doble Circuito en poste hormigón (HV)	Cruceta tresboilillo																		
Tipo Bandera en apoyo metálico en celosía	Cruceta tresboilillo																		
Tipo Bandera en poste hormigón (HV)	Cruceta tresboilillo																		
Tipo Plano stirantado y sin stirantar en apoyo	Cruceta bóveda																		
Tipo Plano stirantado y sin stirantar en poste	Cruceta bóveda																		
Tipo Triángulo en apoyo metálico en celosía	Cruceta bóveda																		

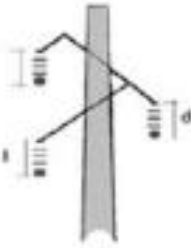
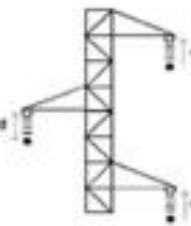
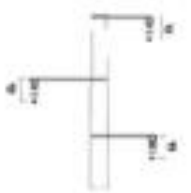

Tabla 8. Continuación de la interpretación del artículo 6.e. e interpretación del artículo 6.f. del RD 1432/2008

**Anexo II – “Anexo al Real Decreto 1432/2008, de 24 de agosto”**

Fuente: 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.

---

## ANEXO

Tipo de cruceta	Distancias mínimas de seguridad en las zonas de protección
 <p data-bbox="608 757 727 786"><b>Canadiense</b></p>	<p data-bbox="815 555 1046 607"><b>cadena en suspensión</b> d = 478 mm</p> <p data-bbox="815 645 999 696"><b>cadena de amarre</b> d = 600 mm</p>
 <p data-bbox="560 1106 775 1135"><b>Tresbolillo atirantado</b></p>	<p data-bbox="815 904 1046 956"><b>cadena en suspensión</b> d = 600 mm</p> <p data-bbox="815 994 999 1046"><b>cadena de amarre</b> d = 1.000 mm</p>
 <p data-bbox="584 1435 759 1464"><b>Tresbolillo plano</b></p>	<p data-bbox="815 1240 1046 1292"><b>cadena en suspensión</b> d = 600 mm</p> <p data-bbox="815 1330 999 1382"><b>cadena de amarre</b> d = 1.000 mm</p>
 <p data-bbox="632 1697 711 1727"><b>Bóveda</b></p>	<p data-bbox="815 1503 1078 1606"><b>cadena en suspensión</b> d = 600 mm y cable central aislado 1 m a cada lado del punto de enganche.</p> <p data-bbox="815 1644 1046 1718"><b>cadena de amarre</b> d = 1.000 mm y puente central aislado.</p>